

33A



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

RUTA CRITICA PARA LA PUESTA EN OPERACION DE LA PLANTA DE ACRILONITRILO DE SAN MARTIN TEXMELUCAN, PUEBLA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A N :

MARTIN GALICIA GOMEZ JOSE ALEJANDRO RIVERA GONZAGA



MEXICO, D. F.

1994

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



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.

POR LOS MAESTROS!

POR LA FACULTAD!

POR LA UNIVERSIDAD!

¡G000000YA!



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

Jurado asignado:

Presidente : Prof. Alfonso Mondragón Medina
Vocal : Prof. Arturo López Torres
Secretario : Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
1er. Suplente : Prof. José Agustín Texta Mena
2do. Suplente : Prof. Humberto Rangel Dávalos

Sitio donde se desarrollo el tema: Planta petroquímica de acrilonitrilo de
San Martín Texmelucan, Puebla.

Asesor del tema: Ing. Arturo López Torres
Sustentantes : Martín Galicia Gómez
José Alejandro Rivera Gonzaga

INDICE

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO UNO	
GENERALIDADES DE LA METODOLOGIA DEL CAMINO CRITICO	
Antecedentes históricos.....	3
Breve descripción del método.....	3
CAPITULO DOS	
DEFINICION DEL PROYECTO	
Servicios auxiliares.....	10
Descripción del proceso.....	12
Sección de reacción.....	12
Sección de recuperación.....	20
Sección de purificación.....	31
CAPITULO TRES	
LISTA Y DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	
Lista de actividades de arranque inicial de la planta de acrilonitrilo de San Martín Texmelucan, Puebla.....	43
Descripción de actividades.....	46
CAPITULO CUATRO	
DETERMINACION DE LA MATRIZ DE SECUENCIAS Y LA MATRIZ DE TIEMPOS	
Matriz de secuencias.....	75
Matriz de tiempos.....	84
CAPITULO CINCO	
CONSTRUCCION DE LA RED Y MATRIZ DE ELASTICIDAD	
Construcción de la red.....	89
Matriz de elasticidad.....	101
CAPITULO SEIS	
CALCULO DE PENDIENTES Y COMPRESION DE LA RED	
Cálculo de pendientes.....	107
Compresión de la red.....	111

CAPITULO SIETE

ETAPA DE ANALISIS Y EVALUACION

Ordenes de trabajo.....	118
Reporte de avances.....	120
Análisis.....	122
Conclusiones.....	127

APENDICE

Lista de equipo.....	128
BIBLIOGRAFIA.....	133

INTRODUCCION

INTRODUCCION

Una de las actividades fundamentales que desarrolla el ingeniero químico, dentro de su amplio campo de acción, es la puesta en operación de plantas químicas. Una vez que se ha terminado la construcción y después de que se ha probado la resistencia mecánica de tubería y equipo, así como el buen funcionamiento de los diferentes sistemas (eléctricos, de instrumentación, etc.) se estará en condiciones de ponerla en funcionamiento hasta llevarla a alcanzar los objetivos para los cuales fué diseñada.

La labor del ingeniero químico consiste en optimizar el tiempo de arranque así como también el costo total que representa éste, por lo que debe programar todas y cada una de las actividades necesarias para la puesta en operación. Para realizar dicha programación, debe de contarse con algún plan maestro que tenga la suficiente flexibilidad operacional para adaptarse a cualquier situación, sin presentar grandes desviaciones del objetivo final.

El presente trabajo pretende mostrar un ejemplo práctico de como elaborar un programa para la etapa de operación con base en la experiencia adquirida en el arranque inicial de la planta petroquímica de acrilonitrilo, ubicada en San Martín Texmelucan, Puebla.

Para realizar la puesta en operación (arranque inicial) de dicha planta, se seleccionó como medio de programación el método denominado como "ruta crítica". considerando su gran adaptabilidad a diferentes tipos de proyectos, a su facilidad para readaptar el programa y a su eficiencia ampliamente demostrada para programar, ejecutar y controlar un proyecto técnica y administrativamente. Cabe hacer mención de que en el presente trabajo el término "ruta crítica" representa el mismo concepto que "camino crítico", por lo que no debe causar confusión el usar uno u otro término.

El establecimiento de la ruta crítica se hará considerando solo las actividades más significativas para un mejor control, así como los recursos humanos, materiales y financieros disponibles.

Dado que en el arranque inicial de la planta se tuvieron que considerar

las actividades más importantes, es justo mencionar que dichas actividades fueron seleccionadas en común acuerdo con personal experimentado que tomó parte en el arranque.

En el capítulo correspondiente, se dará una descripción de cada una de las actividades para definir su alcance y determinar su duración ya que de cada una bien podría formarse una ruta crítica particular. El número que les fué asignado a las actividades de ninguna manera corresponde a su orden de ejecución, pero sirve para su identificación en la construcción de la red.

CAPITULO UNO

GENERALIDADES DE LA METODOLOGIA DEL CAMINO CRITICO

ANTECEDENTES HISTORICOS.

Hasta hace poco tiempo, la herramienta fundamental en la programación era la cartá o diagrama de Gantt, la que permitía presentar en forma gráfica las actividades a realizar frente a una escala de tiempos. Debido a los graves problemas que ocurrían al tratar de readaptar el programa para nuevas condiciones y a la dificultad de decidir cuales eran las actividades críticas que controlaban la duración del proyecto, condujo a un grupo de investigadores norteamericanos a tratar de elaborar un método de programación más eficiente.

El método del Camino Crítico actual tiene como origen dos métodos: el método PERT (Program Evaluation and Review Technique) desarrollado en 1958 por la firma Booz, Allen and Hamilton, de Chicago, Illinois, a solicitud de la oficina de Proyectos Espaciales de la Marina de los Estados Unidos, para controlar la ejecución del proyectil Polaris, obteniéndose como resultado un ahorro de cerca de dos años en la ejecución del proyecto.

El método CPM (Critical Path Method), el segundo origen del método, fué desarrollado por Morgan R. Walker, entonces miembro del Departamento de Ingeniería de la Cía. E.I. Dupont, y por James E. Kelley, investigador de la Remington Rand Company, buscando el control y la optimización de los costos de operación basado fundamentalmente en el análisis de redes.

Ambos métodos aportan los elementos administrativos necesarios para obtener un método híbrido, el cual utiliza el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

No fué sino hasta 1961 que la Dirección General de Construcción de Edificios, y en 1962 la Comisión Federal de Electricidad empezaron a aplicar estas técnicas en México, y desde entonces son muchas las oficinas federales y particulares que las emplean. (Ref. 1)

BREVE DESCRIPCION DEL METODO.

El método del Camino Crítico es un proceso administrativo de planeación que sirve para programar, ejecutar y controlar todas y cada una de las activida-

des que componen un proyecto que deberá desarrollarse dentro de un tiempo crítico y al costo óptimo.

Consta de dos ciclos:

- 1.- Planeación y Programación.
- 2.- Ejecución y Control.

El primero de ellos consta de las siguientes etapas:

- 1.- Definición del proyecto.
- 2.- Lista de actividades.
- 3.- Matriz de secuencias.
- 4.- Matriz de tiempos.
- 5.- Matriz de elasticidad.
- 6.- Construcción de la red de actividades.
- 7.- Costos y pendientes.
- 8.- Compresión de la red.

Y el segundo ciclo contiene las siguientes:

- 1.- Ordenes de ejecución.
- 2.- Reporte de avances.
- 3.- Análisis y conclusiones.

En este capítulo daremos una breve semblanza de los puntos mencionados en el ciclo de preparación, y conforme se vaya desarrollando el presente trabajo, se ampliará cada punto en cuestión.

1.- DEFINICION DEL PROYECTO.

Esta etapa, aunque es esencial para la ejecución del proyecto, no forma parte del método. Es una etapa previa que debe desarrollarse separadamente y para lo cual también puede emplearse el método de la ruta crítica. Es una investigación de objetivos, métodos y elementos viables y disponibles, lo que nos puede aclarar si el proyecto va a satisfacer una necesidad o si es costeable su realización.

2.- LISTA DE ACTIVIDADES.

Es la relación de actividades físicas o mentales que forman procesos interrelacionados en un proyecto total. No es necesario que las actividades se listen en orden de ejecución, aunque sí es conveniente porque evita que se olvide alguna de ellas. Sin embargo, las omisiones se descubrirán más tarde al hacer la red correspondiente.

Es conveniente numerar progresivamente las actividades para su identificación y en algunos casos puede denominarse en clave; no es necesario indicar la cantidad de trabajo ni las personas que la ejecutarán.

3.- MATRIZ DE SECUENCIAS.

Existen dos procedimientos para conocer la secuencia de las actividades:

- a) Por precedencias.
- b) Por secuencias.

En el primer caso se determinará junto con los responsables de los procesos cuales actividades deben quedar terminadas para ejecutar cada una de las que aparecen en la lista. Debe cuidarse que todas y cada una de las actividades tenga cuando menos un precedente, en el caso de ser iniciales, la actividad precedente será cero.

En el segundo procedimiento se preguntará a los responsables de la ejecución, cuales actividades deben hacerse al terminar cada una de las que aparecen en la lista de actividades. Para este efecto se debe presentar la matriz de secuencias iniciando con la actividad "cero" que servirá para indicar el punto de partida de las demás.

4.- MATRIZ DE TIEMPOS.

Mediante esta matriz conocemos el tiempo de duración de cada actividad del proyecto. El método de la ruta crítica utiliza únicamente un tipo de estimación de duración, basado en la experiencia obtenida con anterioridad en una actividad "X".

Para asignar el tiempo de duración de una actividad debemos basarnos en la

manera más eficiente para terminarla de acuerdo con los recursos disponibles.

5.-CONSTRUCCION DE LA RED DE ACTIVIDADES.

La representación visual del método de la ruta crítica es el diagrama de flechas o red de actividades, que consiste en la ilustración gráfica del conjunto de operaciones de un proyecto y sus interrelaciones. La red esta formada por flechas que representan actividades, nodos o unidades que simbolizan eventos.

Cuando se encuentran varias flechas conectadas una tras otra es que existe una secuencia entre ellas, esa es la manera de ilustrar dicha dependencia. Las uniones de las flechas, denominadas eventos, se representan en la gráfica en forma de círculos y significan la terminación de las actividades que culminan en un evento determinado y la iniciación de las subsecuentes.

El establecimiento lógico de la secuencia de actividades se obtiene contestando las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué actividad ó actividades deben de realizarse inmediatamente antes de poder iniciar esta actividad?
- b) ¿Qué actividad ó actividades deben de iniciarse inmediatamente después de que esta actividad se termine?
- c) ¿Qué actividad ó actividades pueden realizarse simultáneamente a esta actividad?

Puesto que es un método lógico, la longitud de la flecha no tiene importancia así como la dirección en la cual señala. El hecho significativo es que la flecha representa el principio de la actividad y la punta representa su terminación.

Para establecer la red se dibuja ó dibujan las actividades que parten del evento "cero". A continuación no debe tomarse la ordenación progresiva de la matriz de secuencias para dibujar la red, sino las terminales de las actividades de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, este proceso se repite considerando las recomendaciones para la construcción de la red.

Una vez construida la red de actividades, se debe asignar la duración corres-

pondiente a cada una de ellas, para calcular la duración total del proyecto y la determinación de las fechas de realización de cada actividad.

6.- MATRIZ DE ELASTICIDAD.

Una vez construída la red de tiempos normales es conveniente conocer la flexibilidad de retraso en su tiempo de ejecución sin que perjudique a otra actividad ó al proyecto en general. A esta flexibilidad se le denomina holgura y se conocen tres clases de ellas en función de su efecto sobre el proyecto:

- a) Holgura total, que no afecta el tiempo total del proyecto.
- b) Holgura libre, que no afecta la iniciación de actividades.
- c) Holgura independiente, que no afecta iniciación de actividades precedentes.

Una vez determinados los tiempos próximos de realización, los tiempos lejanos de realización y las holguras, se vierte esta información en forma tabular junto con las actividades, su duración y los eventos que las contienen para formar la matriz de elasticidad ó matriz de holguras.

7.- COSTOS Y PENDIENTES.

Una vez elaborado un plan de acción lógico se plasma en un diagrama de flechas, estimándose el tiempo y recursos necesarios para llevar a cabo las diferentes actividades, es posible calcular los costos de mano de obra para cada tarea. Esto nos permite evaluar el costo de mano de obra de varias alternativas y entre ellas seleccionar la mejor.

Existe una relación entre el tiempo de realización de cualquier proyecto y su costo, además todo proyecto tiene su punto óptimo de realización y cualquier desviación existente elevará el costo del proyecto, por ejemplo si se acelera la realización del proyecto para ejecutarlo en un tiempo menor al óptimo de realización, se requiere equipo ó mano de obra adicional, lo que produce costos mayores y reduce la eficiencia de la operación.

Si el proyecto se ejecuta en un tiempo mayor que el tiempo óptimo, su costo aumenta debido al incremento en los gastos fijos, supervisión, renta de equipo, etc.

Generalmente en el caso de un proyecto compuesto por numerosas actividades, se determinan los puntos normal y acelerado de ejecución solicitando los costos de cada actividad realizada en tiempo estándar y en tiempo acelerado, y se extrae una relación lineal. Esta relación se denomina "pendiente" y relaciona el incremento de costos debido a la compresión en tiempo.

Una vez que tenemos a nuestra disposición esta información, podemos utilizar el método del camino crítico para obtener conclusiones sobre diferentes alternativas de programación, cada una con su costo correspondiente (a tiempo estándar y a tiempo acelerado).

8.- COMPRESION DE LA RED.

El problema que debe resolverse al comprimir la duración de un proyecto es encontrar el punto en el cual se debe suspender la compresión y aceptar la duración del proyecto.

La duración óptima del proyecto se puede determinar en forma de una curva de costos totales del proyecto. Esta curva presenta una suma de los costos directos e indirectos del proyecto. (Ref. 2)

Los puntos antes mencionados se podrían relacionar mediante el siguiente esquema (fig. 1).

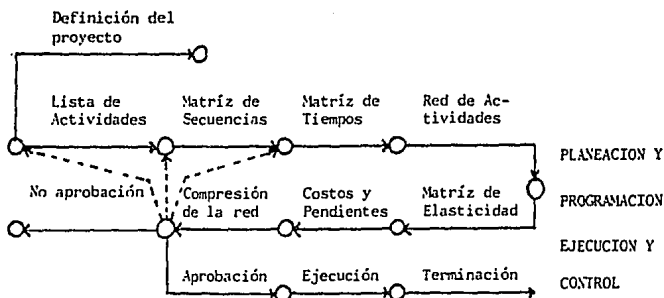


Figura 1

CAPITULO DOS

DEFINICION DEL PROYECTO

DEFINICION DEL PROYECTO.

Un proyecto es una tarea que tiene un principio y un fin definibles y que requiere el empleo de uno ó más recursos en cada una de las actividades independientes, pero interrelacionadas, que deben ejecutarse para alcanzar los objetivos para los cuales el trabajo o proyecto fué instituído.

Los elementos que conforman un proyecto son:

- a) Las operaciones, o las cosas que hacemos.
- b) Los recursos, o las cosas que usamos.
- c) Las condiciones o limitaciones bajo las cuales debemos trabajar. Estas son las cosas que quedan fuera de nuestro control.

Una vez constituído como tal, el proyecto conduce a la necesidad de coordinar operaciones interdependientes que deben ser consideradas para producir un plan y un programa.

Un plan es un modelo del orden en el cual debemos ejecutar todas las actividades (operaciones) requeridas para terminar nuestro proyecto. Al planear un proyecto entonces, el primer paso es establecer las operaciones ó actividades necesarias por desarrollar, y enseguida determinar la secuencia y orden de realización. (Ref. 3).

Un programa es la determinación de la fecha de calendario en que deben usarse los recursos de acuerdo a su asignación previa. Para formular un programa debe tomarse en cuenta la disponibilidad y necesidad de recursos, y la secuencia de actividades (iniciación y terminación de cada operación).

El proyecto que nos ocupa (arranque inicial de la planta de acrilonitrilo de San Martín Texmelucan, Puebla), queda definido en primera instancia, por las actividades (operaciones), las que a su vez se derivan del funcionamiento de la planta.

Es, por lo tanto, necesaria la descripción del proceso para la obtención del acrilonitrilo. pero antes necesitamos conocer los servicios auxiliares requeridos para la operación de la planta.

SERVICIOS AUXILIARES.

SISTEMA DE VAPOR. Hay cuatro niveles de vapor en la planta y son:

	Kg/cm ²	°C
1.- Vapor sobrecalentado de alta presión	42.2	343
2.- Vapor saturado de alta presión	42.2	256
3.- Vapor de presión media	10.2	258
4.- Vapor de baja presión	3.2	143

SISTEMA DE CONDENSADO. El condensado se colecta del condensador de vapor EA-140 de los cambiadores de calor de proceso calentados con vapor, y de los rehervidores. Este condensado se enfría en el enfriador de condensado de los rehervidores EA-141 y se regresa al tanque TK-137 de agua de alimentación a calderas para volverse a usar.

SISTEMA DE COMBUSTIBLE. Gas natural se usa para el quemador piloto y para el quemador principal del calentador de arranque BA-101 a 30 lb/plg² de presión.

SISTEMA DE AIRE. El aire de planta se proporciona a todas las estaciones de servicio en toda el área de producción. El aire de planta también se usa para presionar a la tolva de catalizador, para aereación del catalizador en la tolva durante las operaciones de trasiego y para varias purgas. La presión de aire es de 10 Kg/cm².

SISTEMA DE REFRIGERACION. El sistema de refrigeración consiste de dos circuitos separados de recirculación para eliminación de calor. Se usa propileno como refrigerante primario para enfriar una corriente de salmuera recirculante que remueve calor del proceso. La salmuera es una solución de 25 % en peso de metanol en agua y tiene una temperatura de -4.0°C.

SISTEMA DE GAS INERTE. Un sistema de gas inerte (nitrógeno) abastece a muchas purgas que se usan en el proceso para mantener varias localizaciones libres de taponamientos con polímeros y catalizador. El gas inerte también se usa para purgar la regadera de carga del reactor antes de la introducción de la carga durante el arranque, y en un paro, para evitar formar mezclas explosivas en la unidad de acrilonitrilo.

SISTEMA ELECTRICO. Se incluyen en el sistema eléctrico los circuitos desde la acometida hasta la subestación eléctrica principal, los circuitos de fuerza de alta y baja tensión, el centro de control de motores, el sistema de apartarrayos y el sistema de alumbrado.

Una vez conocidos los servicios auxiliares requeridos para la operación de la planta, procederemos a la descripción del proceso de obtención del acrilonitrilo.

DESCRIPCION DEL PROCESO.

La planta de acrilonitrilo fué diseñada para producir 150 toneladas diarias de acrilonitrilo de 99.9% de pureza.

Las materias primas para producir este producto son propileno, amoniaco y aire. Además del acrilonitrilo se obtienen como subproductos: sulfato de amonio, acetonitrilo y ácido cianhídrico, los cuales son factibles de recuperarse para ser usados en otros procesos.

El uso principal que se le dá al acrilonitrilo es para la fabricación de fibras acrílicas (llamadas también lanas sintéticas) y que sirven como sustitutos de la lana en la confección de ropa.

El proceso de la planta está dividido en las siguientes secciones: sección de reacción, sección de recuperación y sección de purificación. Cuenta además con sus respectivos servicios auxiliares como tratamiento de aguas, calderas, almacenamiento de materia prima, productos intermedios y producto final, así como laboratorio, llenaderas, torre de enfriamiento y tratamiento de deshechos. A continuación presentamos la descripción de las diferentes secciones y el equipo involucrado en cada una de ellas.

1.- SECCION DE REACCION.

Esta sección consta principalmente de los siguientes equipos: reactor (DC-101), enfriador del efluente del reactor (EA-102), tolva de catalizador (HA-102), calentador de aire para arranque (BA-101), deareador (FA-106), tambor de vapor (FA-104), acumulador de purgas (FA-139), bombas de agua de enfriamiento al reactor (GA-102 A-B-C), bombas de agua tratada de repuesto (GA-103 A-B-C). También en esta sección se incluyen los circuitos de carga al reactor (ver diagrama de sección de reacción al final del capítulo).

1.1.- CARGA A LA PLANTA.

1.1.1.- AMONIACO. El amoniaco que va a servir como carga a la planta, proviene de las esferas de almacenamiento de amoniaco de la planta (TE-200 y

TE-201), en forma líquida.

De estas esferas de almacenamiento, el amoniaco se manda a la planta a 32°C y 13.2 Kg./cm² con las bombas BA-101 A-B a los vaporizadores de amoniaco EA-105 A-B, donde se recibe a control de nivel de éstos con los controladores LIC-12 y LIC-13, aquí el amoniaco se vaporiza intercambiando calor con agua de recirculación de la torre de absorción DA-103; los vapores de amoniaco que salen de los vaporizadores a 7°C y 4.8 Kg./cm² se juntan y van al separador de arrastre FA-125 donde se elimina el líquido que hayan arrastrado, de aquí pasan al sobrecalentador de amoniaco EA-128, donde se calientan a 66°C con vapor de baja por medio del TIC-23, y salen a unirse con los vapores de propileno antes de entrar al reactor.

La presión de la carga de vapores de amoniaco al reactor se controla a 3.2 Kg./cm² con el controlador PICA-2 y el flujo de amoniaco se controla con el controlador FICA-8. También se cuenta con un sistema de protección por bajo flujo de amoniaco al reactor FS-8, que corta la carga (amoniaco, propileno y aire) al reactor e inyecta nitrógeno.

1.1.2.- PROPILENO. La carga de propileno proviene de las esferas de almacenamiento de propileno de la planta (TE-300 y TE-301) en forma líquida.

De estas esferas de almacenamiento, el propileno se manda a la planta a 32°C y 14.8 Kg./cm² con las bombas BA-102 A-B a los vaporizadores de propileno EA-104 A-B, donde se recibe a control de nivel de éstos con los controladores LIC-15 y LIC-16, aquí el propileno se vaporiza intercambiando calor con agua de recirculación de la torre de absorción DA-103; los vapores de propileno producidos a 0°C y 5.3 Kg./cm² se juntan y van al separador de arrastre FA-124, donde se elimina el líquido que hayan arrastrado, posteriormente pasan al sobrecalentador de propileno EA-129 donde los vapores se calientan a 66°C con vapor de baja, controlándose su temperatura con TIC-24, y salen a unirse con los vapores de amoniaco para formar una mezcla y entrar al reactor a través de un distribuidor.

La presión de los vapores de propileno al reactor se controla con PICA-3 a 3.2 Kg./cm² y el flujo de propileno al reactor se controla con el FICA-7. Se cuenta con un sistema de protección por bajo flujo de propileno FS-7, que

corta la carga (amoníaco, propileno y aire) al reactor e inyecta nitrógeno. La mezcla amoníaco-propileno entra al reactor a 66°C y 3.2 Kg./cm².

1.1.3.- AIRE. El aire al reactor lo proporciona una compresora centrífuga GB-101 que opera a 5500 r.p.m. y que es accionada por una turbina de contrapresión GT-101, que opera con vapor de 42 Kg./cm² y 343°C, y descarga el vapor exhausto a 3.2 Kg./cm².

La compresora ó soplador toma el aire de la atmósfera a través del filtro FA-200 y lo descarga hacia el reactor con presión de 2.5 Kg./cm² y temperatura de 160°C.

La presión de descarga de la compresora es controlada con PIC-302 para regular el vapor y por consecuencia la velocidad de la compresora dentro de los límites de 4400-5775 r.p.m.

Se cuenta con protección por bajo flujo de aire de descarga (flujo mínimo) que evita que la compresora entre en "surge" cuando el flujo de descarga es bajo; si esto sucede el controlador FIC-301 manda a abrir la válvula PIV-301 para descargar aire a la atmósfera a través del silenciador SS-200 y así mantener un flujo mínimo de descarga en la compresora.

El flujo de aire al reactor se regula con FICA-3, el cual para automáticamente la compresora por bajo flujo de amoníaco y propileno.

1.2.- CALENTADOR DE AIRE PARA ARRANQUE (BA-101).

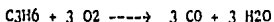
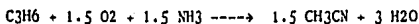
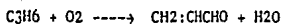
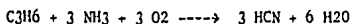
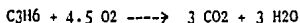
La función principal del calentador de aire para arranque es calentar el catalizador con aire durante el arranque del reactor hasta 100°C antes de introducir la carga de amoníaco y propileno; al entrar el amoníaco al reactor empieza a haber generación de calor, por lo que en seguida se apaga el calentador.

La temperatura de aire a la salida del calentador se regula con el controlador de temperatura TICA-3, que controla la cantidad de gas combustible al calentador.

1.3.- REACTOR (DC-101).

El reactor es el equipo donde se llevan a cabo las reacciones entre el amoníaco, propileno y aire para producir acrilonitrilo y otros compuestos por medio de un catalizador que se encuentra dentro formando una cama fluidizada.

Las principales reacciones que se llevan a cabo son las siguientes:



De donde:

C_3H_6 = propileno

NH_3 = amoníaco

O_2 = oxígeno (aire)

$CH_2:CHCN$ = acrilonitrilo

H_2O = agua

CO_2 = bióxido de carbono

HCN = ácido cianhídrico

$CH_2:CHCHO$ = acroleína

CH_3CN = acetonitrilo

CO = monóxido de carbono

Las reacciones son exotérmicas por lo que hay que eliminar el calor que generan, lo cual se hace por medio de serpentines internos que conducen agua y que al calentarse producen vapor; la cantidad de agua depende de la temperatura que se debe controlar en el reactor (430°C).

Carga al reactor:

-Propileno -Amoníaco

-Oxígeno -Nitrógeno

Productos que salen del reactor.

- Acrilonitrilo
- Acetonitrilo
- Acido cianhidrico
- Acetona
- Agua
- Acroleína
- Bióxido de carbono
- Monóxido de carbono
- Propileno
- Propano
- Amoniaco
- Oxígeno
- Nitrógeno

El catalizador dentro del reactor (100 ton.) se encuentra fluidizado y en estado de agitación, provocado por la carga y los gases de la reacción; algo de catalizador se arrastra con los gases que van hacia la salida del reactor, para impedir que se pierda se cuenta con ciclones por donde pasan los gases y lo separan, regresándolo por las piernas de los ciclones hacia la cama del catalizador. Aún así, siempre hay algo de catalizador (finos) que salen del reactor junto con los gases, por lo que hay que reponerlo continuamente para mantener constante la carga dentro del reactor.

El flujo de carga al reactor es muy importante, así como las relaciones en que entran el amoniaco, propileno y aire.

$$\text{Relación amoniaco/propileno} = \frac{\text{flujo de amoniaco (m}^3\text{N/h)}}{\text{flujo de propileno (m}^3\text{N/h)}}$$

$$\text{Relación aire/propileno} = \frac{\text{flujo de aire (m}^3\text{N/h)}}{\text{flujo de propileno (m}^3\text{N/h)}}$$

Los flujos de diseño de las cargas son los siguientes:

$$\text{Amoniaco} = 3,975 \text{ m}^3\text{N/h}$$

$$\text{Propileno (95\% puro)} = 3,985 \text{ m}^3\text{N/h}$$

$$\text{Aire} = 39,000 \text{ m}^3\text{N/h}$$

Las relaciones recomendadas son las siguientes:

Amoniaco/Propileno = (1.05-1.15)

Aire/Propileno = (9.8-10.0)

Otro punto importante es el contenido de oxígeno a la salida del reactor (1-3%) el cual se controla con la cantidad de aire al reactor y con la relación amoniaco/propileno; si el % de oxígeno es muy bajo hay peligro de reducir el catalizador, si es alto (mayor de 7.5%) hay peligro de que se forme una mezcla explosiva.

Con una baja relación amoniaco/propileno, el propileno forma mayor cantidad de CO y CO₂, lo cual eleva la temperatura y aumenta el consumo de oxígeno, disminuyendo la producción de acrilonitrilo y el contenido de oxígeno con peligro de reducir el catalizador.

Si aumentamos la relación amoniaco/propileno, aumenta algo la producción de acrilonitrilo, pero también la de ácido cianhídrico, y hay mayor cantidad de amoniaco sin reaccionar a la salida del reactor, por lo que es necesario mayor cantidad de ácido sulfúrico para neutralizarlo.

Para eliminar el calor generado en la reacción, y controlar la temperatura (430°C), se tiene dentro del reactor un conjunto de serpentines por donde fluye agua tratada la cual al calentarse va posteriormente a producir vapor de 42 Kg./cm². Se tienen 24 serpentines de enfriamiento que manejan agua tratada, y 4 para sobrecalentar el vapor generado en los serpentines anteriores; la temperatura se controla metiendo o sacando serpentines de enfriamiento según lo requiera, así como variando la carga al reactor.

La presión en el reactor debe mantenerse a 1.06 Kg./cm² en el domo, esta presión se controla con la válvula PIC-8 en la torre absorbidora (DA-103), ya que los gases que salen del reactor llegan hasta esta torre.

Es muy importante controlar la presión del reactor: la alta presión disminuye la velocidad de los gases de salida del reactor, lo cual causa que no fluyese bien el catalizador, asimismo hay mayor producción de CO₂, por lo tanto mayor consumo de oxígeno, lo que ocasiona también una elevación de temperatura en el reactor provocando menor producción de acrilonitrilo; la baja

presión favorece la producción de acrilonitrilo, pero también hay mayor pérdida de catalizador porque aumenta la velocidad de los gases y los ciclones son menos eficientes.

Los gases saliendo del reactor a 430°C y 1.06 Kg./cm² de presión, constituyen la corriente llamada "efluente del reactor", el siguiente paso del proceso es enfriar esta corriente por lo que en seguida pasa al "enfriador del efluente del reactor" (EA-102).

1.4.- ENFRIADOR DEL EFLUENTE DEL REACTOR (EA-102).

El enfriador del efluente del reactor es un cambiador de calor vertical y su principal objetivo es enfriar el efluente del reactor de 430 a 232°C, usando agua tratada de enfriamiento al reactor, la que se calienta aquí de 100 a 227°C. Esta agua de enfriamiento a 100°C proviene del deareador (FA-106) a través de las bombas GA-103 A-B-C y va a servir posteriormente para absorber el calor producido en la reacción que se lleva a cabo en el reactor y producir vapor, para luego salir hacia el tambor de vapor FA-104.

Para controlar la temperatura del efluente del reactor se tiene un controlador de temperatura TIC-8, que toma señal del gas a la entrada de la torre de apagado y controla la cantidad de agua caliente (254°C) de recirculación proveniente del tambor FA-104 con las bombas GA-102 A-B-C.

1.5.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL REACTOR.

1.5.1.- DEAREADOR (FA-106). En el deareador se recibe el condensado producido en los equipos de la planta, el cual va posteriormente a recircularse como agua tratada de enfriamiento al reactor y producir vapor; el flujo necesario de este condensado se complementa con agua tratada que proviene de la sección de tratamiento de agua, y que también se recibe en este deareador a través de las bombas GA-152 A-B-C del tanque de agua TK-137.

El objetivo de este equipo, aparte de calentar el agua, es eliminar del condensado los gases incondensables y corrosivos CO₂, N₂ y O₂, ya que son perjudiciales en los equipos. Para esto el deareador cuenta con una alimentación de vapor de baja presión que elimina estos gases por el domo; este vapor

se alimenta por medio de un controlador de presión PIC-213 que mantiene la presión del deareador a 0.2 Kg./cm^2 . El agua tratada de repuesto se recibe en el deareador por medio del control de nivel LIC-216 que mantiene el nivel en éste.

De este equipo, las bombas GA-103 A-B-C toman el agua deareada y la mandan al enfriador del efluente del reactor donde se calienta de 100 a 227°C y en seguida va al tambor de vapor ó caldereta FA-104, donde se recibe por medio del control de nivel LICA-2 de este acumulador.

1.5.2- TAMBOR DE VAPOR (FA-104). De este tambor de vapor ó caldereta que opera con presión de 42.2 Kg./cm^2 y temperatura de 254°C , se manda el agua con las bombas GA-102 A-B-C, parte a los serpentines de enfriamiento del reactor y parte al EA-102 para controlar la temperatura de los gases del efluente a 232°C por medio del TIC-8.

Se tienen 24 serpentines de enfriamiento, doce de cada lado del reactor que se pueden bloquear o abrir para controlar la temperatura (operan sin flujo, si es necesario), se tienen además otros 4 serpentines, 2 de cada lado, para sobrecalentar el vapor saturado.

El agua de enfriamiento pasa a través de los serpentines internos del reactor y absorbe el calor de la reacción, produciendo una mezcla de vapor y condensado caliente, ésta regresa al tambor de vapor donde se separa del vapor saturado que es de 42.2 Kg./cm^2 y 254°C ; el vapor saturado sale del FA-104 y una parte va a sobrecalentarse a los serpentines de sobrecalentamiento del reactor y otra al cabezal de vapor de media (10.2 Kg./cm^2 , 258°C) por medio del control de presión PIC-214; el vapor sobrecalentado sale del reactor a 339°C y se baja y controla su temperatura a 343°C agregando vapor saturado por medio del TICA-9, mandándose posteriormente al cabezal de vapor de alta presión para complementar el vapor de alta producido en las calderas de la planta.

1.5.3.- ACUMULADOR DE PURGA (FA-139). Es necesario mantener una purga constante del condensado en el tambor de vapor FA-104 para controlar los sólidos totales de este equipo; la purga sale caliente a 254°C y con presión de 42.2 Kg./cm^2 , por esta causa se recibe en el acumulador separador (FA-139)

donde hay menos presión (10.2 Kg./cm^2). Al llegar el condensado a este separador se flashea produciendo vapor de media; por el fondo sale el condensado a enfriarse en el enfriador de purga EA-146 y después al drene por medio del control de nivel LIC-3 del acumulador separador.

Los gases del efluente del reactor parcialmente enfriados en el enfriador del efluente a 232°C salen hacia la torre de apagado DA-101 en la sección de recuperación.

Es importante que los gases no se enfrien a una temperatura menor de 232°C porque esto provocará condensación y en consecuencia polimerización de los productos del reactor, lo que ocasionará taponamientos en el enfriador del efluente del reactor EA-102.

2.- SECCION DE RECUPERACION.

Esta sección consta de los siguientes equipos principales: torre de apagado (DA-101), post-enfriador de la torre de apagado (EA-139), torre absorbidora (DA-103), vaporizadores de amoníaco (EA-105 A-B), vaporizadores de propileno (EA-104 A-B), torre recuperadora (DA-104), decantador de la torre recuperadora (FA-111), acumulador de balance de los fondos de la torre recuperadora (FA-140), fraccionador de acetonitrilo (DA-105), acumulador de reflujo del fraccionador de acetonitrilo (FA-112). Ver los diagramas de la sección de recuperación al final del capítulo.

2.1- TORRE DE APAGADO.

Los gases procedentes del enfriador del efluente del reactor EA-102 a 232°C , llegan a la torre de apagado DA-101, que es una torre empacada con anillos de acero inoxidable y sus funciones son las siguientes:

- a) Enfriar los gases del efluente del reactor de 232 a 85°C .
- b) Eliminar el amoníaco que no reaccionó neutralizándolo con ácido sulfúrico
- c) Eliminar por el fondo el exceso de agua producido en la reacción, así como los finos del catalizador arrastrado y los polímeros separados en la torre recuperadora DA-104 que fueron producidos en el proceso.

Los gases del reactor a 232°C llegan a la parte inferior del empaque de la

torre de apagado y ascienden hacia el domo, enfriándose a contracorriente con agua de apagado hasta 85°C. En esta operación prácticamente no hay condensación de productos de los gases del reactor, pero sí evaporación del agua de apagado.

El agua de apagado proviene de los siguientes equipos: fondos de la torre recuperadora (DA-104) a 113°C, contiene 1% de polímeros; decantador de la torre de despunte (DA-106) a 40°C, contiene algo de acrilonitrilo; fondos de la torre de producto (DA-107), a 64°C, consta principalmente de orgánicos pesados con rastros de ácido cianhídrico.

En caso necesario se puede usar también agua tratada de desechos proveniente del tanque TK-122 con la bomba GA-137.

El agua de apagado entra por el domo de la torre de apagado y va a un distribuidor que está sobre el empaque de la torre, el agua baja por el empaque poniéndose en contacto con los gases que ascienden enfriándolos y vaporizando algo del agua que se une a los gases que salen por el domo a 85°C. La cantidad de agua se mide con el FIA-17, la cual deberá de ser de 600 m³/h. Se tiene una alarma por bajo flujo de agua al domo de la torre.

El agua llega al plato colector y sale por medio de las bombas GA-107 A-B-C, una parte de esta agua se recircula al domo de la torre y otra a la parte inferior del empaque mediante FIA-18. Los fondos se mandan a control de nivel de la torre con el controlador LICA-3 a la sección de filtración de catalizador.

Hay que tener presente que toda el agua que circula en el proceso de la planta se forma en la reacción dentro del reactor y sale junto con los gases del efluente, se incrementa en la torre de apagado y posteriormente en los siguientes equipos se va separando, regresando ya condensada en diversas corrientes como agua de apagado. Finalmente esta agua se separa del proceso por el fondo de la torre de apagado, junto con el catalizador arrastrado y otros compuestos, como agua de desechos.

Las corrientes que regresan a la torre como agua de apagado contienen acrilonitrilo, así como pesados y polímeros. Al entrar estas corrientes a la torre,

el acrilonitrilo se vaporiza y sale junto con los gases; los polímeros y pesados salen por el fondo junto con el agua.

El amoniaco se hace reaccionar con ácido sulfúrico para formar sulfato de amonio, el ácido se agrega al agua de circulación de la torre de apagado con las bombas GA-105 A-B, que toman el ácido de los tanques de ácido sulfúrico FA-146 A-B.

La cantidad de ácido que se agrega puede controlarse automáticamente por medio del controlador y registrador PHRC-1 que controla el pH del agua de recirculación en 5.5-6.0, la cantidad de ácido agregado se mide con FR-20.

El sulfato de amonio producido sale por el fondo de la torre junto con el agua, catalizador y polímeros, así como pesados.

Se agrega anti-espumante en la succión de las bombas de agua de recirculación GA-107 A-B-C, en forma intermitente, para prevenir formación de espuma en la torre.

Los gases que salen por el domo de la torre pasan por un separador de arrastre FA-115, que separa el líquido y lo regresa a la torre, los gases secos pasan al post-enfriador de la torre de apagado EA-139.

2.2.- POST-ENFRIADOR DE LA TORRE DE APAGADO (EA-139).

Este es un cambiador de calor vertical integrado con un acumulador-separador en el fondo. La función principal de este equipo es enfriar los gases del efluente del reactor que proceden de la torre de apagado, usando agua de enfriamiento. Durante el enfriamiento de los gases hay condensación de agua que se acumula en el fondo del enfriador, esta agua se toma con las bombas GA-149 A-B, una corriente se manda a la parte superior del enfriador y otra sale a control de nivel a la torre de recuperación DA-104.

Los gases procedentes de la torre de apagado a 85°C entran por la parte superior del enfriador, pasan por los tubos del enfriador donde se enfrían a 35°C y se condensa parte del agua y algunos orgánicos, llega la mezcla de gases y condensado al acumulador-separador donde se separan; los gases salen

hacia la torre absorbedora y el condensado lo toman las bombas GA-149 A-B, una parte se regresa como agua de recirculación al espejo superior de los tubos del enfriador para lavarlo y la otra corriente se manda a control de nivel del fondo del enfriador con el controlador LICA-9 hacia la torre de recuperación DA-104 para recuperar los orgánicos.

Al agua de recirculación al espejo superior se le agrega ocasionalmente una solución al 10% de carbonato de sodio para controlar el pH de esta corriente en 6.0-6.5 y de esta manera evitar la corrosión, asimismo se le agrega a esta corriente hidroquinona para evitar la polimerización del acrilonitrilo. Se tiene un registrador PHRC-2 que nos sirve para vigilar el pH en el condensado.

A la salida de los gases del enfriador se tiene un analizador-registrador O2RA-1 que sirve para vigilar constantemente el contenido de oxígeno en el efluente del reactor, el cual deberá ser de 1-3% y en ningún caso mayor de 7% porque hay peligro de formar mezclas explosivas. Los gases saliendo del enfriador a 35°C pasan a la torre absorbedora DA-103.

2.3.- TORRE ABSORBEDORA (DA-103).

Esta es una torre de 66 platos compuesta de dos partes: la parte superior de 6 platos y que sirve para cambiar calor, la parte inferior de 60 platos que sirve para absorber el acrilonitrilo y otros compuestos orgánicos en agua fría.

La función principal de esta torre es separar de la corriente de gases del reactor, los productos orgánicos: acrilonitrilo, ácido ciáhdrico, acetónitrilo, acroleína, cianuros, etc., absorbiéndolos en agua fría de 2°C y dejando libre los gases que no se absorben que son: bióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, oxígeno, propano y propileno; la corriente de estos gases se ventea a la atmósfera por la chimenea de venteo, junto con vapor de agua que se arrastra.

Los gases procedentes del post-enfriador EA-139 a 35°C entran a la sección inferior de la torre abajo del plato 1 y ascienden poniéndose en contacto a contracorriente con agua fría (agua pobre) que entra al plato # 60; el agua

absorbe los productos orgánicos y sale junto con éstos por el fondo de la torre. El "agua rica" del fondo de la torre la toman las bombas GA-109 A-B y la descargan a la torre recuperadora DA-104, por medio de un controlador LICA-10 que mantiene el nivel en la torre absorbadora.

Los gases inorgánicos libres de productos orgánicos salen fríos del plato 60 de la primera sección de la torre y pasan a la segunda sección (plato 61) donde a contracorriente enfrían el agua pobre que va a servir como agua de absorción, finalmente a 37°C salen del domo de la torre (plato 66) y van a la atmósfera por la chimenea de venteo.

La eficiencia de la torre se checa analizando los gases de venteo (la cantidad máxima de acrilonitrilo que debe pasarse por la chimenea es de 2 Kg./h).

El agua para la absorción "agua pobre", libre de productos orgánicos y con pequeñas cantidades de cianuros y polímeros proviene del acumulador de balance del fondo de la torre de recuperación FA-140. De este acumulador con las bombas GA-116 A-B se manda el agua pobre de 118°C hacia los cambiadores EA-108 A-B donde se enfría con agua rica hasta 78°C, saliendo de éstos se divide en dos corrientes: una va como agua solvente a la torre de recuperación y la otra al enfriador de agua de absorción EA-110 donde se enfría con agua de enfriamiento a 38°C, esta temperatura se controla con el controlador TIC-18 que opera una válvula automática de 3 vías para desviar el agua pobre fuera del enfriador.

El agua saliendo del enfriador EA-110 a 38°C, entra por medio del controlador FICA-23 al plato 66 del domo de la torre, aquí se enfría con los gases fríos de la primera sección de la torre y llega al plato acumulador de extracción 61. de aquí el agua sale a control de nivel del plato 61 con el controlador LICA-11 con temperatura de 26°C y la toman las bombas GA-110 A-B que la mandan a los vaporizadores de amoníaco EA-105 A-B donde se enfría a 17°C, pasando en seguida a los vaporizadores de propileno EA-104 A-B de donde sale a 9°C. y finalmente llega a los chillers EA-107 A-B donde se enfría con salmuera (solución al 25% de metanol) a 2°C. Esta temperatura se controla con el controlador TICA-17 que regula la cantidad de salmuera que entra a los chillers.

El agua pobre de absorción a 2°C y a control de nivel del plato 61, entra al plato 60, pero antes de entrar se agrega anti-espumante, y sale por el fondo de la torre como agua rica.

La cantidad de agua que entra al plato 60 se mide con FIA-24. Una condición importante es la presión de operación de la torre, a mayor presión es mejor la absorción de los orgánicos y menor la pérdida de acrilonitrilo por la chimenea de venteo, pero esta presión afecta la del reactor y ocasiona problemas en éste, por lo tanto la presión en la torre debe ser la máxima sin que afecte la operación del reactor. La presión de diseño es de 0.32 Kg./cm^2 en el domo de la torre, y se controla con PIC-8 el cual acciona la válvula PICV-8 para ventear a la atmósfera más ó menos gases.

La absorción también se favorece con bajas temperaturas y con mayor flujo de agua de absorción. La temperatura del agua que entra al plato 60 deberá de ser lo más baja que sea posible, pero hay peligro de que se congele (la temperatura de diseño es de 2°C). La temperatura del agua que entra al domo deberá de ser de 38°C, la cual se controla con el enfriador EA-110, a temperatura más baja se favorece la absorción, pero aparecerá más agua en el fondo de la torre de apagado porque se elimina menor agua por la chimenea de venteo. Aumentando el flujo de agua se favorece la absorción, pero esta agua necesita enfriarse por lo que se requerirá mayor refrigeración, es decir mayor flujo de salmuera y por lo tanto mayor trabajo de la compresora de refrigeración.

Todos los ajustes de operación deberán hacerse para mantener la menor pérdida de acrilonitrilo por los gases de venteo, ésta no deberá de ser mayor de 2 Kg./h. de acrilonitrilo.

El agua junto con los productos orgánicos absorbidos, sale a 24°C por el fondo de la torre absorbidora y se envía por medio de las bombas GA-109 A-B como carga a la torre de recuperación DA-104 y a esta corriente se le llama "agua rica"; antes de entrar a la torre de recuperación, intercambia calor con "agua pobre" en los cambiadores de calor de "agua rica" contra "agua pobre" EA-108 A-B donde se calienta a 84°C. Esta temperatura se controla con el controlador TIC-25 el cual regula una válvula automática de 3 vías TICV-25 para desviar "agua rica" a la entrada de los cambiadores.

2.4.- TORRE RECUPERADORA (DA-104).

Esta torre de 95 platos perforados tiene como función separar el acrilonitrilo del acetonitrilo y parte del agua.

La carga que recibe esta torre llamada "agua rica", proviene del fondo de la torre de absorción y consta de agua, acrilonitrilo, acetonitrilo, ácido cianhídrico, acroleína, cianuros y polímeros. Además recibe otras corrientes que se unen a la carga antes de entrar a la torre, que son: a) condensado del post-enfriador de la torre de apagado EA-139, a 35°C, el cual contiene acrilonitrilo, acetonitrilo y ácido cianhídrico que llega por medio de las bombas GA-149 A-B; b) del acumulador de reflujo de la torre de producto FA-117, a 43°C, por medio de las bombas GA 124 A-B, conteniendo acrilonitrilo con algo de agua; c) del decantador de la torre de recuperación FA-111, con las bombas GA-111 A-B, la cual consiste de agua con trazas de acrilonitrilo; d) asimismo, esta torre puede recibir una corriente de producto fuera de especificaciones, acrilonitrilo crudo procedente del tanque TK-122 con la bomba GA-137.

La temperatura de la carga total a la torre se controla por medio del controlador TIC-25 a 84°C, pudiendo variar de acuerdo a la operación de la torre.

La separación de acetonitrilo del acrilonitrilo es difícil por destilación simple a causa de que tienen puntos de ebullición muy cercanos, en este caso se usa la destilación extractiva que consiste en agregar otro componente (agua) donde sea más soluble un compuesto que el otro (aquí se utiliza agua, llamada "agua solvente", en la cual es más soluble el acetonitrilo que el acrilonitrilo), de ésta se obtiene una corriente más pesada de acetonitrilo con agua, y otra más ligera de acrilonitrilo más agua y ácido cianhídrico. La primera corriente se destila en los platos inferiores de la torre donde se separa parcialmente el acetonitrilo del agua, la corriente más ligera sale por el domo de la torre.

La corriente de agua solvente a 115°C llega al domo de la torre procedente del tanque de balance FA-140 del plato 1 de la propia torre de recuperación DA-104 por medio de las bombas GA 116 A-B, pasa a enfriarse en los cambiadores de "agua pobre" contra "agua rica" EA-108 A-B a 78°C y de aquí una parte

va como "agua pobre" a la torre absorbedora, la otra parte que es el agua solvente se enfría con agua de enfriamiento en el "enfriador de agua solvente" EA-109 y llega al domo de la torre.

La temperatura del agua solvente a la entrada de la torre se controla con el controlador de temperatura TIC-27 que regula una válvula automática de 3 vías TICV-27 para desviar el agua solvente a través del enfriador EA-109. El flujo de agua se controla con el controlador FIC-29, debiendo mantenerse en 56,320 litros por hora; es importante que esta agua solvente no contenga más de 50 ppm de acetonitrilo, de lo contrario contaminaría el acrilonitrilo que está saliendo por el domo. La temperatura en el domo deberá conservarse a 75°C por medio del flujo de agua solvente. Al bajar esta corriente de agua por los platos de la torre va absorbiendo el acetonitrilo, dejando libre el acrilonitrilo que es menos soluble en el agua; por el domo sale una corriente gaseosa compuesta de agua, acrilonitrilo y ácido cianhídrico con rastras de acetonitrilo (0-300 ppm).

En la parte inferior de la torre se va formando una mezcla de agua y acetonitrilo libre de acrilonitrilo.

Del plato 37 se hace una extracción de vapores a 107°C que contiene agua y acetonitrilo más una pequeña parte de ácido cianhídrico, esta corriente se regula con el controlador FIC-38 y va al fondo de la torre fraccionadora de acetonitrilo DA-105, donde se separa el acetonitrilo del agua. Del fondo de esta torre a 107°C, se regresa al plato 36 con las bombas GA-114 A-B una corriente de agua con pequeñas partes de acetonitrilo por medio del controlador LICA-22 que mantiene el nivel constante en la torre fraccionadora de acetonitrilo DA-105.

Del plato 1 (fondo de la torre), se hace una extracción de agua conteniendo menos de 50 ppm de acetonitrilo y se recibe en el acumulador de balance FA-140 de aquí, con las bombas GA-116 A-B se manda esta corriente como agua solvente y agua de absorción.

El nivel del acumulador de balance FA-140 se regula por medio del controlador LICA-18 que opera una válvula automática para recircular agua de la descarga de las bombas al fondo de la torre.

Del fondo de la torre se extrae una corriente de agua a 118°C, con las bombas GA-115 A-B, conteniendo 1% de polímeros. Esta corriente se envía a la torre de apagado. Con el controlador FIC-32 se mantiene este flujo, desviando el exceso de esta corriente al tanque de agua de deshechos TK-905.

El nivel de la torre se controla con el controlador LICA-19 que mantiene constante el nivel, regulando una válvula automática en la descarga de las bombas. La temperatura en el fondo se mantiene a 119°C.

La torre cuenta con 2 rehervidores EA-114 A-B, que proporcionan el calor para llevar a cabo la separación del acetonitrilo, usando vapor de baja (3.2 Kg./cm^2 , 142°C) como medio de calentamiento. El vapor a los rehervidores se regula con un controlador de flujo FIC-30 que trabaja en cascada con un controlador de temperatura TIC-28, éste toma señal del plato 44 de la torre. La temperatura del plato 44 se controla a 85°C, pudiendo variar de 80 a 95°C; los vapores que salen por el domo de la torre, que constan de agua, acrilnitrilo y ácido cianhídrico y que no deberán tener más de 300 ppm de acetonitrilo, se condensan y enfrían a 40°C en el condensador con agua de enfriamiento EA-113 y de aquí pasan al decantador de la torre de recuperación FA-111; en este acumulador se separan dos fases (capas). La capa inferior, rica en agua, se regresa con las bombas GA-111 A-B como carga a la torre. La capa superior, rica en acrilnitrilo y ácido cianhídrico se envía por medio de las bombas GA-112 A-B a la torre de despunte DA-106.

El nivel de interfase en el acumulador se regula con el controlador LICA-20 que mantiene constante la interfase por medio de una válvula automática LICV-20 que regula la cantidad de agua que se regresa a la carga. La corriente rica en acrilnitrilo y ácido cianhídrico se extrae del acumulador por medio del controlador FICA-31 que mantiene el flujo constante hacia la torre DA-106.

La presión en el acumulador debe mantenerse a 0.2 Kg./cm^2 por medio del controlador PIC-9, que manda el exceso de vapores al quemador elevado. Se mantiene una inyección permanente de nitrógeno al acumulador para tener siempre la presión positiva en éste.

La operación de la torre se concentra en tener en el domo una corriente que

no contenga más de 300 ppm de acetonitrilo y en el plato 1 una corriente de agua que no deberá de tener más de 60 ppm de acetonitrilo, ni más de 300 ppm de ácido cianhídrico y el acrilonitrilo no deberá ser de más de 50 ppm. La corriente de agua que regresa al plato 36 del fondo de la torre fraccionadora de acetonitrilo, no deberá tener más de 1% de acetonitrilo ni más de 450 ppm de ácido cianhídrico.

Si la corriente del domo tiene más de 300 ppm de acetonitrilo, las causas más comunes pueden ser: alta temperatura en la carga; alta temperatura, bajo flujo o exceso de acetonitrilo (más de 50 ppm) en el agua solvente; exceso de vapor a los rehervidores y por consecuencia alta temperatura en el plato 44. Alta temperatura en el plato 44 indica que está saliendo exceso de acetonitrilo por el domo, si la temperatura es baja la concentración de acrilonitrilo y ácido cianhídrico es alta en la extracción que va como carga a la torre fraccionadora DA-105 apareciendo en el acetonitrilo producto.

Si la corriente de extracción del plato 1 está fuera de especificaciones por alto contenido de acrilonitrilo y ácido cianhídrico normalmente se debe a que le falta vapor a los rehervidores, esto se corrige, (cuando se tiene controlado el domo) metiendo más vapor a los rehervidores y aumentando la extracción hacia la torre fraccionadora de acetonitrilo; la temperatura en el fondo deberá permanecer a 118°C, si esta temperatura disminuye se debe a que el agua que sale en el fondo está contaminada y por lo mismo la extracción del plato 1 también.

Se agrega hidroquinona a la línea de vapores del domo de la torre de recuperación para evitar la polimerización de acrilonitrilo (la cantidad que se debe agregar es para mantener una concentración de 100-150 ppm en esta corriente). También se agrega solución al 10% de carbonato de sodio y anti-espumante a la torre de recuperación DA-104 y en el acumulador FA-140.

El carbonato se agrega para evitar la corrosión del sistema y para la formación de acroleín-cianohidrina, ajustando el pH del agua de recirculación en 6-6.5 como rango.

El anti-espumante se agrega para controlar la formación de espuma en la torre.

2.5.- TORRE FRACCIONADORA DE ACETONITRILLO (DA-105).

Esta torre compuesta de 15 platos perforados, recibe como carga una corriente de vapores a 107°C, regulada con el controlador de flujo FIC-38, del plato 37 de la torre de recuperación DA-104. Esta corriente que tiene agua, acetonitrilo y algo de ácido cianhídrico se recibe en la torre fraccionadora en el plato 1 (fondo de la torre); al subir los vapores se ponen en contacto con una corriente de reflujo procedente del domo, de esta forma los vapores se van haciendo más puros en acetonitrilo.

Por el domo de la torre se obtiene una corriente de vapores que van al condensador EA-115 donde se condensan y enfrían a 38°C, de aquí pasan al acumulador de reflujo FA-112 de donde lo toman las bombas GA-117 A-B; a la salida de éstas una parte se regresa como reflujo al domo para mantener una temperatura en éste de 94°C y la otra se regula por medio del controlador de flujo FIC-39 constituyendo la corriente de acetonitrilo producto, enviándose a la planta de acetonitrilo o al tanque de deshechos orgánicos TK-904, de donde posteriormente se envía al incinerador.

El nivel en el acumulador se regula con el controlador LICA-23, que mantiene fijo el nivel, regulando una válvula automática que está en la línea de reflujo. La presión del acumulador se mantiene a 0.2 Kg./cm² por medio de un controlador de presión PIC-10 que manda el exceso de vapores al quemador elevado; se tiene una inyección permanente de nitrógeno para mantener siempre una presión positiva en el acumulador.

Del fondo de la torre, con las bombas GA-114 A-B se extrae una corriente compuesta principalmente de agua que se regresa al plato 36 de la torre de recuperación DA-104. El nivel de la torre se controla con el controlador LICA-22, el cual activa una válvula automática que está sobre la línea de agua que se regresa al plato 36.

Los puntos importantes en la operación de esta torre consisten en tener en la corriente de acetonitrilo producto que se extrae del acumulador FA-112 una concentración mínima de 50% de acetonitrilo y máxima de 5% de ácido cianhídrico, y por el fondo una corriente que no contenga más de 1% de acetonitrilo ni más de 450 ppm de ácido cianhídrico.

La concentración del acetonitrilo en el domo se ajusta con la extracción del acumulador mediante FIC-39, con menor extracción aumenta la concentración de acetonitrilo en la corriente de acetonitrilo producto, pero puede también aumentar la concentración de este producto en el domo de la torre de recuperación debido a que no se está extrayendo todo el acetonitrilo. En esta corriente de acetonitrilo no debe haber más de 5% de ácido cianhídrico y nada de acrilonitrilo, si aparece acrilonitrilo debe aumentarse la temperatura del plato 44 de la torre de recuperación ya que está baja; si el ácido cianhídrico es mayor de 5%, esto causará problemas de taponamiento en el condensador EA-115, esto se evita, (cuando se tiene buena temperatura en el plato 44) aumentando la concentración de agua, lo que se logra aumentando la extracción con FIC-39.

Cuando se tiene en el fondo del fraccionador más de 1% de acetonitrilo, se puede deber a que la extracción de acetonitrilo producto del acumulador es muy baja y por consecuencia se está regresando acetonitrilo a la torre de recuperación, lo mismo sucede con el ácido cianhídrico; si la concentración en el fondo es mayor de 450 ppm se debe a que no se está extrayendo lo suficiente por el domo, ó a que el plato 44 de la torre de recuperación requiere mayor temperatura.

Se tiene una línea de adición de anti-espumante en la línea de reflujo para evitar la formación de espuma en la torre.

3.- SECCION DE PURIFICACION.

Esta sección consta de los siguientes equipos principales: torre de despunte secadora (DA-106) y su equipo auxiliar que consiste en un condensador (EA-118), un acumulador (FA-927), un decantador (FA-116), dos rehervidores (EA-116 A-B); torre de producto (DA-107) y su equipo auxiliar constituido de un acumulador de reflujo (FA-117), un condensador (EA-120), un eyector (EE-106), dos bombas de extracción (GA-131 A-B), dos bombas de fondos (GA-151 A-B).

3.1.- TORRE DE DESPUNTE SECADORA (DA-106).

Esta torre de 62 platos perforados recibe como carga una corriente proceden-

te del decantador de la torre de recuperación FA-111, que es la fase orgánica, por medio de las bombas GA-112 A-B y regulada con el controlador FICA-31. Esta corriente se compone principalmente de agua, acrilonitrilo y ácido cianhídrico.

La función principal de esta torre es separar el acrilonitrilo del ácido cianhídrico y del agua, obteniendo por el fondo una corriente de acrilonitrilo con pequeñas impurezas.

Antes de entrar a la torre, la carga se calienta con vapor de baja en el precalentador EA-112 a 60°C y la temperatura de salida de éste se fija con el controlador TICA-33, el cual opera una válvula que regula el vapor al precalentador de carga.

En el domo de la torre se obtiene una corriente de vapores de ácido cianhídrico, los cuales no deberán tener más de 100 ppm de acrilonitrilo; estos vapores van a la parte superior del condensador vertical EA-118 donde se condensan y enfrían a 29°C, el medio de enfriamiento del condensador es una solución al 25% de metanol (salmuera a -4°C), el condensado de ácido cianhídrico se acumula en la parte inferior del condensador y regresa por gravedad al domo de la torre para mantener una temperatura aquí de 32°C, los vapores que no condensaron y líquido arrastrado van al acumulador de ácido cianhídrico FA-927.

La cantidad de salmuera al condensador es regulada por el controlador de temperatura TIC-34, el cual toma señal del plato 52 de la torre (la temperatura de control de este plato es de más o menos 50°C, pero lo importante es mantener 32°C en el domo).

Del acumulador de cianhídrico FA-927, los vapores de ácido cianhídrico se mandan por medio de un control de presión al incinerador o al quemador elevado. La presión en este acumulador se controla a 0.3 Kg./cm² por medio del controlador PICA-210 que opera 2 válvulas de rango dividido para mantener la presión, primero abre la válvula PICA-210-1V totalmente para mandar el cianhídrico al incinerador y en seguida la válvula PICA-210-2V para mandarlo al quemador elevado.

Del plato 26 de la torre se extrae una corriente lateral líquida a 80°C y que contiene agua, acrilonitrilo y más de 2% de ácido cianhídrico, ésta se enfría a 40°C en el enfriador EA-117, donde la mayor parte se condensa, y se recibe en el acumulador decantador de la torre de despunte FA-116. En este decantador se forman dos capas: la capa superior, rica en acrilonitrilo, se regresa a la torre con las bombas GA-119 A-B, una parte va a control de flujo con FIC-46 al plato 28 y otra al plato 25 por medio del controlador LICA-28 que mantiene estable el nivel de la capa orgánica en el decantador; estas corrientes no deberán tener más de 2% de ácido cianhídrico. La capa acuosa del decantador, la cual contiene la mayor parte del agua, lleva algo de acrilonitrilo y ácido cianhídrico, se toma con las bombas GA-120 A-B y se manda normalmente a la torre de apagado, pero puede enviarse también a la torre de recuperación. El nivel de la interfase entre las dos capas se controla con el controlador LICA-27 que mantiene estable la interfase por medio de una válvula automática que regula la descarga de la bomba GA-120.

Del fondo de la torre se obtiene una corriente de acrilonitrilo (que debe tener 500 ppm máximo de ácido cianhídrico y 0.25% máximo de agua) por medio de las bombas GA-118 A-B, y se manda como carga a la torre de producto DA-107. El nivel en la torre DA-106 se controla por medio del controlador LICA-26, en cascada con FIC-45, que regula la cantidad de carga a la torre de producto para mantener fijo el nivel en la torre DA-106.

El calentamiento del fondo de la torre se lleva a cabo por medio de los rehedidores EA-116 A-B, que usan vapor de baja presión para controlar la temperatura en el fondo de la torre.

La cantidad de vapor a los rehedidores se regula con el controlador FICA-48, manteniendo 90°C en el fondo. El condensado formado en los rehedidores se extrae con las bombas GA-162 A-S y se manda al sistema de condensado que regresa al deareador; se forma vacío del lado del condensado para hacer más eficiente el aprovechamiento del calor y el vacío se hace por medio del e-yector EE-108.

Los puntos principales en la operación de esta torre son los siguientes:

a) La corriente del domo no deberá contener más de 100 ppm de acrilonitrilo,

esto se logra manteniendo una temperatura en el domo de 32°C y vigilando que la temperatura del plato 52 permanezca estable, si esta temperatura sube, aumentará la cantidad de acrilonitrilo (y también de agua) que se pierde por el domo; si baja, aumentará la cantidad de ácido cianhídrico en el fondo de la torre. La temperatura en el domo y en el plato 52 se controla por medio del TIC-34, el cual a su vez controla el flujo de salmuera al condensador EA-118 para producir más o menos reflujo.

b) Otro punto importante de control es el contenido de ácido cianhídrico en la fase orgánica del decantador FA-116, rica en acrilonitrilo, deberá tener de 0.5-2.0 % (una cantidad mayor de ácido cianhídrico puede contaminar el fondo de la torre), esto se consigue elevando la temperatura del plato 52 con vapor a los rehervidores y ajustando el flujo al plato 28 por medio del FIC-46 (teniendo controlada la temperatura del domo).

c) El fondo de la torre de despunte no deberá tener más de 500 ppm de ácido cianhídrico. si esto ocurre es debido a que la parte superior de la torre no está trabajando bien y el contenido de este producto es alto en la fase orgánica del decantador FA-116. Si el contenido de agua es mayor de 0.25 %, deberá aumentarse considerablemente la cantidad de vapor alimentado a los rehervidores.

d) Se agrega hidroquinona en el plato 60 para evitar la polimerización de acrilonitrilo. en una cantidad que no exceda de 150 ppm en el fondo, también se agrega ácido acético a la línea del domo antes del condensador EA-118 para evitar la polimerización de ácido cianhídrico, asimismo se agrega bióxido de azufre (SO₂) a los vapores de ácido cianhídrico que van al acumulador FA-927.

3.2.- TORRE DE PRODUCTO (DA-107).

Esta es una torre de 50 platos perforados, y su función principal es eliminar los compuestos ligeros por el domo y los compuestos pesados por el fondo del acrilonitrilo producto.

La carga a esta torre procede del domo de la torre de despunte DA-106 por

medio de las bombas GA-118 A-B, el flujo de esta corriente se controla con FIC-45 que opera en cascada con el controlador de nivel de la torre de despunte LICA-26; se recibe en el plato 12 a la temperatura de 90°C. Esta corriente se compone de acrilonitrilo con impurezas de ácido cianhídrico, agua, cianuros, polímeros y pudiendo también contener acetnitrilo, acetona, acroleína, ácido acético y propionitrilo.

Los compuestos ácido cianhídrico y agua son los que se eliminan por el domo de la torre, los pesados como cianuros y polímeros son los que se eliminan por fondo, las demás impurezas (acetnitrilo, acetona, acroleína, ácido acético) son compuestos que vienen arrastrándose en el proceso, por lo que deben eliminarse ajustando la operación de los equipos anteriores a la torre de producto, porque algunas no se separan del acrilonitrilo en esta torre.

Por el domo de la torre salen a 45°C los vapores de acrilonitrilo llevando las impurezas de ácido cianhídrico y agua, y se condensan en el condensador EA-120 con agua de enfriamiento, el líquido va luego al acumulador de reflujo FA-117, el cual trabaja a 43°C y con una presión de 260 mm Hg abs. (299 mm Hg de vacío), de aquí lo toman las bombas GA-124 A-B, que descargan una parte al domo de la torre como reflujo para mantener en éste 45°C y la otra se regresa como parte de la carga a la torre de recuperación.

El nivel del acumulador FA-117 se regula con el controlador LICA-30, el cual opera una válvula automática que está sobre la línea de reflujo. Por medio del controlador FICA-31, una pequeña parte se recircula a la torre de recuperación, esto se hace para evitar la acumulación de impurezas en el domo de la torre.

Este acumulador FA-117 trabaja con presión negativa de 260 mm Hg abs. El vacío se lleva a cabo por medio del eyector EE-106, que opera con vapor de media; los gases que succiona el eyector del acumulador van al condensador vertical EA-121, el cual usa como medio de enfriamiento salmuera; aquí parte de estos gases se condensa y regresan en forma líquida a la succión de las bombas GA-124 A-B. los gases que no condensan los succiona el eyector por medio de una válvula automática que es operada por el controlador PICA-14, que a su vez toma señal del acumulador, controlándose en esta forma la presión. En el condensador del eyector EA-142 el condensado formado se manda

al drenaje químico y los gases incondensables al quemador de campo.

Del plato 40 de la torre, se extrae el acrilonitrilo producto (a 50°C), de donde lo toman las bombas GA-131 A-B que descargan hacia el enfriador EA-122, donde se enfría a 38°C con agua de enfriamiento. De aquí pasa al enfriador con salmuera EA-144, donde se enfría a 18°C y a esta temperatura se manda a los tanques de almacenamiento de "producto diario" TK-126 A-B-C-D, cuando el acrilonitrilo está dentro de especificaciones, si está fuera de especificaciones por acetonitrilo se bombea al tanque TK-902 de acrilonitrilo crudo, y si es por cualquier otra razón se bombea a los tanques de acrilonitrilo fuera de especificaciones TK-903.

La cantidad de acrilonitrilo que se extrae del plato 40 se controla por medio del controlador FIC-51 que opera en cascada con el controlador LICA-29 para mantener estable el nivel en el fondo de la torre.

Del fondo de la torre se extrae una corriente a 64°C de acrilonitrilo que contiene las impurezas de productos pesados como son cianuros y polímeros, esto se hace por medio de las bombas GA-151 A-B, esta corriente se manda como recirculación a la torre de apagado por medio del controlador de flujo FIC-54.

La temperatura en el fondo de la torre se mantiene por medio de los rehedores EA-119 A-B, los cuales usan vapor de baja como medio de calentamiento; el flujo de vapor se regula por medio del controlador FICA-52, el condensado formado se extrae por medio de la bomba GA-163 y se regresa al sistema de recirculación de condensado. Del lado del condensado se efectúa vacío por medio del eyector EE-108.

La operación de esta torre se concreta a obtener producto dentro de especificaciones, usando como guía el análisis de las corrientes del acrilonitrilo producto, de la corriente del domo y la del fondo.

Las especificaciones de operación de acrilonitrilo producto son las siguientes:

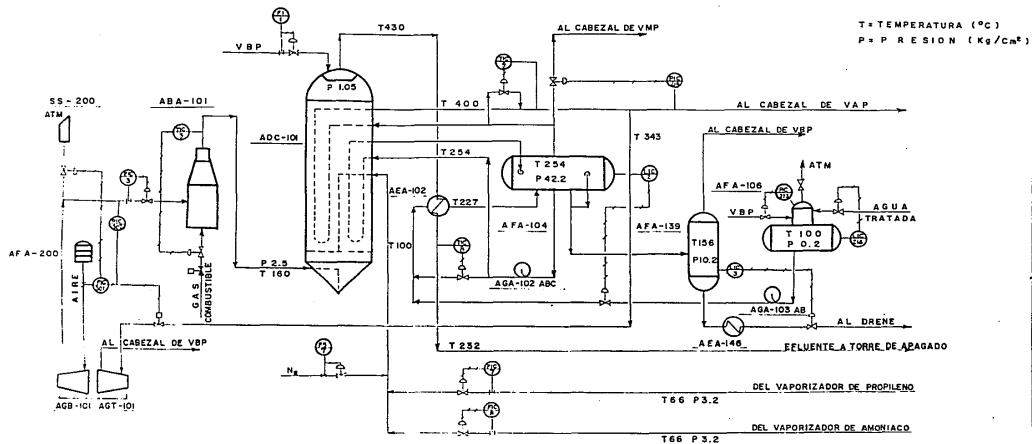
- 1.- Contenido de ácido cianhídrico no debe ser más de 3 ppm.
- 2.- Contenido de agua 0.2-0.4% en peso.

- 3.- Contenido de inhibidor metil éter de hidroquinona de 35- 45 ppm.
- 4.- Contenido de acetonitrilo no deberá de ser más de 200 ppm.
- 5.- Contenido de acetona no deberá de ser más de 100 ppm.
- 6.- Contenido de propionitrilo no deberá de ser más de 50 ppm.
- 7.- Contenido de acroleína no deberá de ser más de 10 ppm.
- 8.- Contenido de acidéz no debe ser más de 20 ppm.
- 9.- Apariencia, debe ser clara y libre de materia en suspensión.

El domo de la torre de producto no deberá tener más de 100 ppm de ácido cianhídrico. El fondo de la torre de producto deberá tener de 1000 a 4000 ppm de cianuros.

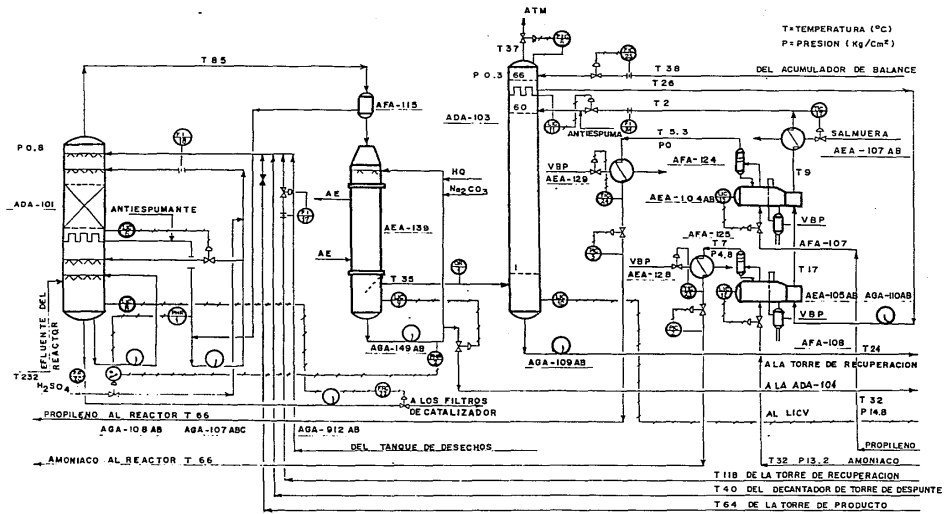
El domo de la torre se mantiene a temperatura de 45°C por medio del reflujo, pero lo importante para la operación de la torre es mantener en el domo (o reflujo) una concentración de ácido cianhídrico que no exceda de 100 ppm, un valor mayor indica que hay acumulación de ligeros en la torre que pueden contaminar al producto, en este caso se deberá aumentar el flujo de recirculación hacia la torre de recuperación por medio del controlador FICA-31 hasta que el acrilonitrilo producto esté dentro de especificaciones por ácido cianhídrico.

La temperatura en el fondo de la torre se mantiene a 64°C, al igual que en domo, lo importante es mantener en el fondo una concentración de cianuros -(reportada como ácido cianhídrico) de 1000 a 4000 ppm; concentraciones mayores de este rango indican que hay acumulación de pesados en la torre, que pueden contaminar el acrilonitrilo producto; para lograr esta concentración se deberá aumentar el flujo de recirculación del fondo de la torre hacia la torre de apagado por medio del controlador FIC-54, hasta obtener el acrilonitrilo dentro de especificaciones por cianuros.

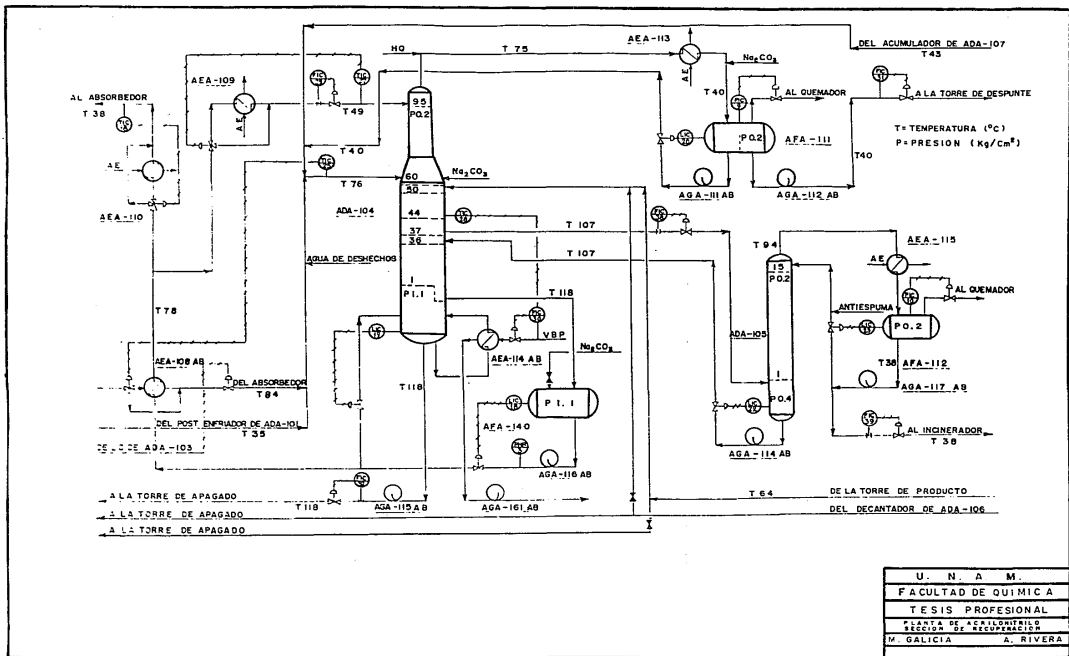


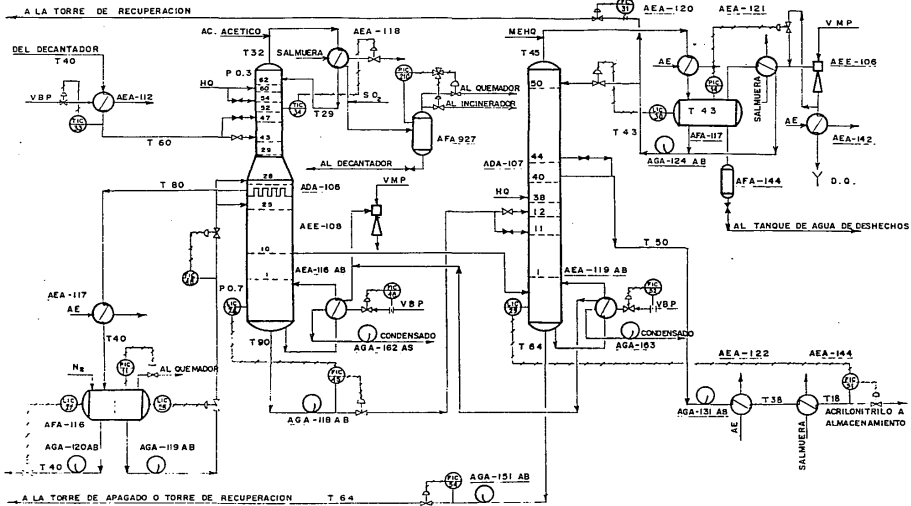
38

U. N. A. M.	
FACULTAD DE QUIMICA	
TESIS PROFESIONAL	
PLANTA DE ACRILONITRILLO	
SECCION DE REACCION	
M. GALICIA	A. RIVERA



U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL
FRANCISCO DE ACILIBENTRILLO
SECCION DE RECUPERACION
M. GALICIA A. RIVERA





U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL
PLANTA DE ACRILONITRILAS
SECCION DE PURIFICACION
M. GALICIA A. RIVERA

CAPITULO TRES

LISTA Y DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

LISTA Y DESCRIPCION DE ACTIVIDADES.

A continuación estableceremos la lista de actividades (operaciones) que son necesarias para el arranque inicial de la planta de acrilonitrilo, mismas que nos serán útiles para la construcción del programa de ruta crítica. El grado de "descomposición" de cada concepto depende de cada proyecto y está sujeto a la naturaleza del trabajo y tipo de mano de obra, a la localización de las operaciones y la disponibilidad de recursos, entre otras cosas. A la terminación de cada una de estas actividades se le llama evento, por lo tanto, las actividades consumen tiempo mientras que los eventos no, éstos se encuentran separados por las actividades.

Esta relación de actividades que forman procesos interrelacionados en el proyecto, es la información básica que se obtiene, en primer término, de los manuales de operación de la planta, que nos dan la secuencia operativa, y se complementa con la experiencia obtenida en otros arranques por las personas que intervendrán en la ejecución del proyecto de acuerdo con la asignación de actividades y responsabilidades al momento de la definición del proyecto.

La relación de actividades no está sujeta a ninguna forma especial de ejecución, puede levantarse una lista preliminar para el análisis y depuración de la misma. Al establecer la relación de actividades no es necesario que las actividades se listen en el orden de ejecución, sin embargo es conveniente para evitar olvidos de algunas de ellas ya que durante el desarrollo del método de ruta crítica, sobre todo en el capítulo de construcción de la red, surgen las incongruencias motivadas por tal olvido.

En este paso no es necesario indicar la cantidad de trabajo ni el personal que lo realizará (el grado de minuciosidad dependerá de la necesidad de control dentro del proyecto), es suficiente con nombrar las actividades; representa una ventaja en el manejo de este método numerarlas progresivamente, inclusive denominarse en clave.

En términos generales, se considera actividad a la operación o serie de operaciones realizada por una o varias personas en forma continua, con tiem-

pos determinables de iniciación y terminación. Esta lista de actividades sirve de base a las personas responsables de cada proceso para que elaboren sus presupuestos de ejecución, indicando los recursos necesarios tales como: materiales, especificaciones, mano de obra, herramienta, equipo especial, condiciones de trabajo, costos, etc. (Ref. 4).

Establecido lo anterior, procedemos a determinar la lista de actividades y operaciones de arranque inicial de la planta de acrilonitrilo de San Martín Texmelucan, Puebla.

LISTA DE ACTIVIDADES DE ARRANQUE INICIAL DE LA PLANTA DE ACRILONITRILLO DE SAN MARTIN TEXMELUCAN, PUEBLA.

Las actividades que a continuación se enumeran, deberán ser ejecutadas al término de construcción de la planta, y una vez que se ha comprobado el cumplimiento de las normas que cubren los requisitos de construcción y de pruebas de presión, sistemas de tubería, instrumentación y equipos en general; esto es con el fin de verificar la resistencia mecánica, hermeticidad, y buen funcionamiento de los mismos, para poder hacer constar que la planta ha sido debidamente proyectada y construida.

La siguiente lista comprende la actividad a efectuarse, su duración en días y una clave de identificación de dicha actividad (en este caso usaremos letras mayúsculas del alfabeto).

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>DURACION</u>	<u>CLAVE</u>
Inicio	0	-
Preparación de soluciones químicas auxiliares.	15	A
Habilitación del sistema de drenaje.	10	B
Puesta en servicio de energía eléctrica.	30	C
Pruebas de presión a equipo no mecánico.	45	D

Prueba de hermeticidad a equipo y tubería.	45	E
Puesta en servicio del sistema de refrigeración.	7	F
Preparación del sistema de purificación.	1	G
Suministro de agua.	15	H
Lavado y soplado de líneas.	15	I
Ficticia.	0	J
Pruebas de presión a tubería.	45	K
Arranque inicial de bombas.	10	L
Comprobación de circuitos de control e instrumentos.	7	M
Arranque del sistema de circulación (secc. recuperación).	5	N
Arranque del sistema de agua de apagado.	5	Ñ
Pasivación de la torre de apagado.	1	O
Preparación de la torre de apagado y el postenfriador.	1	P
Suministro de aire.	15	Q
Puesta en servicio del sistema de condensado.	7	R
Suministro de vapor.	7	S
Inertizado.	15	T
Ficticia.	0	U
Ficticia.	0	V

Acondicionamiento del sistema de generación de vapor.	7	W
Arranque del soplador del reactor.	5	X
Trasvase del catalizador de la tolva al reactor.	7	Y
Suministro de gas combustible.	15	Z
Encendido del calentador de arranque.	5	A1
Puesta en servicio del sistema de desfogue.	7	B1
Preparación del reactor.	2	C1
Ficticia.	0	D1
Arranque de los evaporadores de carga.	3	E1
Introducción de carga de amoníaco.	1	F1
Ajuste de la temperatura del reactor con serpentines.	1	G1
Introducción de carga de propileno.	1	H1
Ajuste de nivel de líquido en DA-103, DA-104 y FA-140.	2	I1
Estabilización de la torre de absorción.	1	J1
Estabilización de la torre fraccionadora de acetonitrilo.	1	K1
Estabilización de la torre de recuperación.	1	L1
Ficticia.	0	M1
Ficticia.	0	N1
Estabilización de la torre de despunte.	1	Ñ1

Estabilización de la torre de producto.	1	01
Análisis y control de producto.	1	P1
Producto a tanques de almacenamiento.	1	Q1

Hasta este punto cabe hacer mención de dos notas aclaratorias de suma importancia y que son las siguientes:

(1) La duración considerada es la máxima posible para cada una de las actividades en cuestión, y es determinada por experiencia adquirida.

(2) Dentro de esta lista fueron introducidas algunas actividades ficticias o también llamadas "virtuales" que no consumen tiempo pero sirven para una mejor determinación de la secuencia lógica a la hora de construir la red de actividades. Más adelante se detallará el uso de éstas.

DESCRIPCION DE ACTIVIDADES.

(A) PREPARACION DE SOLUCIONES QUIMICAS AUXILIARES.

(1) Metil éter de hidroquinona (MERQ). La solución de inhibidor deberá de ser de 13% en peso de MERQ en acrilonitrilo.

Después de que se ha agregado el acrilonitrilo al tanque mezclador, se debe conectar el mezclador. El tiempo de mezclado puede ser de varias horas. El mezclador debe conectarse tan pronto como se disuelva el MERQ.

Cuando la solución de inhibidor esté completamente mezclada, se descarga al tanque de almacenamiento donde queda lista para usarse.

(2) Hidroquinona (HQ). Esta solución de inhibidor deberá prepararse en la misma manera descrita para el MERQ, excepto que se prepara solución al 6.5% en peso. La hidroquinona es menos soluble en acrilonitrilo que el MERQ.

(3) Antiespumante. El agente antiespumante Betz Foam-trol LT, o el Betz DL 300-S2, ó su equivalente en Nalco, se agrega sin diluir.

El líquido antiespumante se deberá cargar al tanque de antiespumante.

(4) Carbonato de sodio. Se carga condensado al tanque de carbonato de sodio para hacer una adición suficiente de éste y se conecta al mezclador hasta hacer una solución al 10% en peso. Mezclar hasta que el carbonato de sodio esté completamente disuelto.

(5) Acido acético. Se usa una solución de ácido acético en agua al 50% en peso. Agregar lentamente el ácido acético al condensado en el tanque hasta que se obtenga la concentración deseada.

(6) Acido sulfúrico. El ácido sulfúrico se manda con la bomba de ácido GA-105 A-B del tanque de ácido a la corriente de agua de circulación de la torre de apagado. El pH del agua de circulación de apagado se controla entre 5.5-6.0; el flujo de adición variará según varée la operación del reactor. El ácido sulfúrico se agrega al agua de circulación de apagado para neutralizar el amoniaco no convertido que sale en la corriente del efluente del reactor.

(7) Anhídrido sulfuroso. El anhídrido sulfuroso se agrega de cilindros de este gas, para mantener la concentración del mismo de 400 a 600 ppm en los vapores de ácido cianhídrico. El anhídrido sulfuroso se agraga en la línea de vapores de ácido cianhídrico que sale del condensador EA-118 de la torre de despunte, para reducir al mínimo la polimerización de la fase vapor de este compuesto en esta línea.

Cuando se llegue al capítulo de construcción de la red, por simplicidad pondremos las actividades precedentes inmediatas a una determinada. Tomemos por ejemplo la preparación de soluciones químicas auxiliares; para llevar a cabo esta actividad se debió de haber llevado a cabo las siguientes actividades, entre otras:

- Pruebas de presión a tubería.
- Pruebas de presión a equipo no mecánico.
- Puesta en servicio de energía eléctrica.
- Puesta en servicio del sistema de condensado.
- Arranque inicial de bombas.

Ya que lo que se trata es de dar una red que sea ilustrativa del arranque inicial pero que a la vez dé una visión lo más completa que se pueda, es por esta razón que no se mencionan estas interrelaciones que en algunos casos

se encuentran implícitas dentro de la actividad.

Así como se mencionó el ejemplo de la preparación de soluciones químicas auxiliares, se dá este caso en la mayoría de las otras actividades.

(B) HABILITACION DEL SISTEMA DE DRENAJE.

Las aguas de deshecho de las áreas de una planta son de muy diversa índole, tales como de lluvia, de lavado de equipos, de contraincendio, de enfriamiento, sanitarias, aceitosas, así como de deshechos químicos, los cuales se colectan y se desalojan del área por medio de un conjunto de tuberías y sus obras complementarias que conforman los sistemas de drenaje.

Dichos sistemas de drenaje se clasifican principalmente como: drenaje pluvial, aceitoso, químico y sanitario, siendo los tres primeros los de mayor importancia dentro de una planta industrial.

El drenaje pluvial es aquél que recibe y desaloja las aguas de lluvia de calles y áreas pavimentadas, así como todas aquéllas aguas no contaminadas, y se descargan directamente a un colector, el que las conduce a un emisor que se encarga de desalojarlas fuera de la planta.

El drenaje aceitoso es el que colecta y desaloja las aguas no corrosivas que están contaminadas con hidrocarburos, las cuales se tratan en los sistemas de tratamiento de efluentes, para permitir que las aguas residuales cumplan con la legislación sobre control de la contaminación y protección al medio ambiente.

El drenaje químico es el sistema que se utiliza para recibir y desalojar el agua en donde se trabaja con productos ácidos, alcalinos, corrosivos y los tóxicos, en concentraciones que pueden dañar al material de construcción utilizado en los otros tipos de drenaje. Las aguas que maneja este sistema se conducen mediante un circuito cerrado con registros perfectamente sellados, descargándose a las unidades de tratamiento de efluentes, donde se neutralizan o tratan antes de eliminarse al exterior.

La prueba que se le practica al drenaje consiste en inundar la planta apro-

vechando el agua de enfriamiento cuando se está haciendo la prueba de las bombas, tirando por todas las líneas de mayor diámetro en todos los puntos de la planta y observando el tiempo que tarda en drenarse dicha agua y en base a esto determinar la operabilidad del sistema.

(C) PUESTA EN SERVICIO DE ENERGIA ELECTRICA.

Ya que la energía eléctrica se requiere para la operación de los demás servicios, este sistema será el primero que entre en operación; en esta etapa de preparación y arranque ya no habrán instalaciones eléctricas provisionales, y cuando ello fuera estrictamente necesario deberán estar perfectamente localizadas y se tendrá un reporte escrito de su naturaleza y medidas de precaución que se están tomando para evitar accidentes personales o daño al equipo.

Se incluyen en el sistema eléctrico los circuitos desde la acometida hasta la subestación eléctrica principal, la subestación eléctrica misma, los circuitos de fuerza de alta y baja tensión, el centro de control de motores, el sistema de apartarrayos y el sistema de alumbrado.

En el momento en que se tiene energía eléctrica en la subestación eléctrica principal de la planta, se procede a energizar los siguientes sistemas:

1.- Centro de control de motores.

Con esto se podrán operar los motores eléctricos en vacío, observándose toma de corriente, estado de baleros, calentamiento, etc. Con los motores en condiciones de operar y acoplados al equipo por accionar, se procede a probar las bombas.

2.- Alumbrado.

Se requiere energizar el sistema de alumbrado para trabajos nocturnos.

3.- Cuarto de control.

Con esto se pueden iniciar las pruebas a instrumentos.

(D) PRUEBAS DE PRESION A EQUIPO NO MECANICO.

El equipo no mecánico (recipientes, torres, cambiadores de calor, etc.) pueden incluirse dentro de las pruebas que se la hacen al circuito de tubería cuando las condiciones máximas de operación de éstos sean iguales que las de la tubería, efectuándose la prueba a la presión indicada para el equipo (sección 337.4.1 del código U.S.A.S.) aún cuando la presión de prueba resulte menor que la mínima calculada.

Si no fué posible incluir algunos equipos se efectúa su prueba individualmente, revisando que estén anclados y alineados correctamente así como verificando que las boquillas sean las especificadas.

Previamente a la prueba de presión hidrostática se lleva a cabo una inspección completa de los mismos checando la limpieza interior para eliminar cualquier objeto extraño, rebaba, madera, etc., y limpieza externa para quitar todo soporte provisional usado durante la construcción. Asimismo se revisan todos los recipientes para determinar la forma más adecuada y segura de llenado y drenado, con el fin de evitar aire entrampado o la formación de vacío que dañarían a los mismos.

A continuación se hará una breve descripción de las pruebas que se realizan a las torres, recipientes, cambiadores de calor y tanques.

1.- Recipientes. Se sellan todas las boquillas con bridas ciegas y los coples con tapones. Se coloca una válvula de venteo en la parte más alta del equipo para eliminar el aire durante el llenado. Se coloca junto con ésta, un manómetro para la lectura de la presión. Se coloca un manómetro en el punto más bajo del recipiente. Se lleva a cabo el llenado del equipo desplazando el aire. Cuando el equipo está lleno y venteado se procede a presionar, manteniéndolo así el tiempo suficiente para una inspección minuciosa. Se verá que el recipiente no sufra ninguna deformación visible exteriormente. Una vez terminada la prueba, se depresiona el equipo por medio del venteo, el cual quedará abierto para proceder al vaciado del fluido de prueba, através de la válvula de purga, por el fondo del recipiente.

2.- Torres. Se procede de acuerdo a la secuencia descrita para los recipientes.

3.- Tanques. A los tanques se les efectúan tres tipos de pruebas: prueba de fondo, prueba de cuerpo y prueba de techo. La prueba de fondo se efectúa cuando se ha terminado de soldar el primer anillo, utilizando un dique de tabique apoyado en la saliente del anillo de cimentación de manera que forme una represa provisional. Se llena con agua la represa, que penetrará entre la placa y el firme del terreno, se mantendrá así durante el tiempo suficiente. Se inspecciona el interior del tanque para ver si se detecta alguna indicación de transmisión de agua entre las juntas soldadas.

Una vez concluida la construcción del tanque se efectúa la prueba de cuerpo que consiste en llenar el tanque manteniéndolo presionado, se observa si no hay fugas en las juntas soldadas y conexiones del tanque.

La prueba de techo se realiza aprovechando que el tanque se encuentra lleno de agua; se inyecta aire por medio de un cople instalado en el centro del mismo, junto con un manómetro. Se detectan las fugas mediante solución jabonosa aplicada a las juntas. Terminadas las pruebas se procede al vaciado del tanque.

4.- Cambiadores de calor. Para realizar la prueba hidrostática a los cambiadores de calor se procede de la siguiente forma: Se quitan los cabezales. Se coloca el anillo de prueba con sus empaques, se aplica presión en el cuerpo, si hay fuga ésta se detecta fácilmente, de haberlas se procede a rolar los tubos, repitiéndose la prueba las veces que sea necesario. Una vez terminada la prueba, se sopla por el lado de los tubos y por el lado cuerpo para la eliminación completa del fluido de prueba (ver lista de equipo en el apéndice A).

(E) PRUEBA DE HERMETICIDAD A EQUIPO Y TUBERIA.

Antes de arrancar inicialmente la planta o en los arranques subsecuentes, es conveniente asegurarse de que todos los accesorios de la unidad se han apretado correctamente. Una prueba de hermeticidad se puede hacer para este propósito, que también sirve para la localización de pequeñas omisiones en los detalles de construcción, como juntas ciegas que se olvidaron en las pruebas hidrostáticas.

La prueba de hermeticidad se lleva a cabo metiendo a presión al equipo con aire de planta o gas inerte, teniendo cuidado de no sobrepasar la presión de diseño.

El procedimiento que generalmente se utiliza para detectar fugas es el de colocar cinta engomada alrededor de las juntas bridadas, practicando a continuación un pequeño orificio en la parte superior de la cinta.

La aplicación de jabonadura en la perforación permite observar la existencia de fugas a través del empaque de las juntas bridadas.

Un procedimiento alternativo consiste en usar un aspersor manual, aplicando mediante una boquilla la solución jabonosa y vigilando la aparición de burbujas alrededor de las bridas, conexiones roscadas, etc.

(F) PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION.

El sistema de refrigeración consiste de dos circuitos separados de recirculación para eliminación de calor. La refrigeración se suministra a una planta por una unidad de refrigeración de recompresión con vapor (GB-140).

El lector debe consultar la información proporcionada por el fabricante de la unidad de refrigeración para los detalles relativos al ciclo de recompresión, que forma parte del manual de operación de la planta pero que no se incluye en éste.

Se usa propileno como refrigerante primario para enfriar una corriente de salmuera recirculante que remueve calor del proceso. La salmuera es una solución al 25% de metanol en agua. La salmuera a -4.0°C se almacena en el tanque de salmuera TK-123 y de ahí se manda con las bombas de salmuera GA-141 A-B a los cambiadores de calor de la planta. Luego se manda a la unidad de refrigeración donde se enfría con propileno que se vaporiza en el evaporador de propileno EA-104 A-B.

Después de enfriarse la salmuera regresa al tanque de salmuera para recirculación.

(G) PREPARACION DEL SISTEMA DE PURIFICACION.

Antes del arranque de la sección de purificación, la torre de despunte, tuberías conexas y equipo auxiliar deben acidularse ó limpiarse con baño químico usando ácido acético.

El baño químico se ejecuta agregando unos 450 lts. de ácido acético al 50 %, a la torre de despunte usando la bomba de ácido acético y una línea temporal en el fondo de la torre. Al mismo tiempo, se deberá agregar agua al fondo de la torre, se llena y se drena, purgándose posteriormente con nitrógeno.

Precisamente antes de iniciar la carga a la torre de despunte, se empieza la adición de inhibidor y ácido acético a la torre. Se establece el flujo de salmuera al condensador del domo EA-118 y agua de enfriamiento al enfriador de corriente lateral. El incinerador deberá estar en operación y listo para quemar ácido cianhídrico.

(H) SUMINISTRO DE AGUA.

De la torre de enfriamiento se alinea el agua para realizar la prueba hidrostática, luego se lava abundantemente con la misma agua hasta dejar limpios todos los cabezales y ramales. Una vez limpia la tubería, se suministra agua a los siguientes sistemas:

a) Agua de proceso. En este punto se estará en condiciones de establecer circulación de agua de enfriamiento a través de circuitos preestablecidos.

b) Agua contra incendios. Este servicio opera desde el inicio de la construcción como fuente de agua para muchas actividades como pruebas hidrostáticas, lavado de líneas y como protección para posibles incendios. Sin embargo, hasta este momento cercano a la puesta en marcha de las instalaciones, es cuando se detalla completamente para su objetivo fundamental, por lo que se instalan los monitores, mangueras, conexiones especiales, etc., procediendo a probar el funcionamiento de los mismos para su disponibilidad.

(I) LAVADO DE LINEAS.

Todo el equipo que maneje fluidos, particularmente las tuberías, deberán limpiarse completamente de incrustaciones y mugre interior (cascarilla) que se acumula durante la construcción. Esto se ejecuta soplando o lavando con aire, vapor, agua u otros medios adecuados.

Algunos sistemas de servicios auxiliares como agua y vapor de alta presión, se pueden limpiar satisfactoriamente por sus medios normales, introducidos por los canales normales. Otros sistemas deben lavarse o soplarse con un medio adecuado como aire, vapor, agua o gas inerte, que se admite por una manguera o conexiones de tubería temporales. Para la limpieza del sistema de servicios auxiliares se procede de la siguiente forma:

Primero se lava el cabezal principal de suministro totalmente, haciendo una salida final (abriendo una brida o accesorio, si es necesario), luego se lava cada cabezal lateral de la misma manera y finalmente se lava las líneas de ramales que salen del cabezal.

Los sistemas que manejan fluidos de proceso y auxiliares se lavan principalmente con agua. Cualesquiera líneas no accesibles al agua, o líneas que atraparían agua de manera que no se puedan drenar, deberán soplarse con aire.

La mayoría de las líneas de proceso y auxiliares pueden lavarse siguiendo circuitos establecidos desde recipientes que estén llenos de agua para ese propósito. Un solo llenado de un recipiente puede que no proporcione un lavado adecuado para todas las líneas que de él se deriven, en cuyo caso se deberá mantener un flujo de agua continuo e intermitente al recipiente. Alternativamente, si el lavado del propio recipiente es el objetivo principal, se introduce agua por la parte superior del recipiente, por una conexión de manguera a una línea superior de reflujo o por otro medio. Las líneas elevadas y los cambiadores se lavan derramando el recipiente respectivo.

Antes de empezar a lavar se deben efectuar las siguientes operaciones:

1.- Todas las válvulas de control se bloquean aislándolas y desviándolas hasta que la mayor parte de la materia extraña se haya removido de sus sistemas.

2.- Los medidores de flujo y los orificios de restricción no se instalan hasta que las líneas estén limpias. Cualquier orificio instalado antes de la limpieza se deberá quitar.

3.- Todas las conexiones en las bombas, compresoras y unidades motrices se cierran o desconectan mientras las líneas que corren hacia ellas se limpian muy bien.

4.- Todas las conexiones a los instrumentos se cierran o desconectan durante la limpieza. Las líneas de aire de instrumentos se deben soplar con especial esmero. Se debe tener mucho cuidado para liberar el sistema de partículas de polvo y evitar que la humedad entre el sistema. Se usa solamente aire seco para soplar líneas de aire de instrumentos.

5.- Se desconectan los quemadores del horno hasta que todas las líneas a él estén limpias. Luego se vuelve a conectar y se sopla el aire a través de ellos.

Cuando se termina el lavado de cualquier sistema, se revisa cuidadosamente para ver que se restablezca el alineamiento normal, se quiten las conexiones temporales, se instalen los orificios, etc.

Una vez terminado el lavado a chorro de las líneas de proceso, inmediatamente se drena el agua del sistema tan completamente como sea posible.

Se debe proporcionar bastante venteo en las partes superiores durante la operación de drene o siempre que se está bajando el nivel en un recipiente para evitar que se haga el vacío en el equipo. Se sopla las líneas con aire para efectuar una eliminación más completa del agua.

(K) PRUEBAS DE PRESION A TUBERIA.

Se utiliza como base y guía para llevar a cabo las pruebas de presión a la tubería, la norma T-300 de la Subdirección de proyectos y construcción de obras (ANSI B-31.3, tuberías de refinación y plantas químicas).

Se revisa la correcta y completa instalación de soportería, para evitar so-

brefatiga al aplicar la carga al fluido de prueba, así como las conexiones de purga y venteo necesarias para la eliminación de aire, y para asegurar su drenado completo después de la prueba.

Durante estos trabajos deberán bloquearse las válvulas de control, tomas de instrumentos y demás accesorios que puedan dañarse.

Para las pruebas neumáticas de los sistemas de aire de planta, aire de instrumentos, gas combustible, tubería en servicio de vacío o equipo con catalizador, normalmente se hace uso de aire, y cuando no sea recomendable su empleo, se seleccionará algún gas que resulte apropiado, como por ejemplo nitrógeno o gas combustible; se tomarán todas las precauciones pertinentes a fin de evitar daños personales.

Antes de efectuarse las pruebas a los circuitos de tubería, deberán limpiarse usando el método que se considere más adecuado, según el caso: circulación de agua a presión, soplado con aire, limpieza mecánica o limpieza química.

Una vez que el circuito se tiene preparado y se ha efectuado su limpieza, se procede a presionarlo con el fluido de prueba (comúnmente agua), se instalan dos manómetros de rango adecuado, uno próximo a la bomba de prueba y el otro en un lugar distante; se aplica la presión de prueba mediante una bomba específica o una bomba acondicionada, manteniéndola el tiempo suficiente para que se lleve a cabo la inspección de las juntas bridadas y soldadas, o para detectar posibles caídas de presión.

Para la localización de fugas en las pruebas neumáticas de tubería se emplea una solución de jabón sobre todas las juntas bridadas, roscadas o soldadas. Las juntas bridadas se preparan para la prueba, cubriéndolas con cinta engomada y haciendo un agujero a dicha cinta; las fugas se detectan mediante la aplicación de jabonadura al agujero.

(L) ARRANQUE INICIAL DE BOMBAS.

A las bombas nuevas se les debe hacer una corrida preliminar circulando agua donde sea posible con el objeto de probar su funcionamiento mecánico y corre-

gir las fallas que haya antes de intentar arrancar la unidad. Se deberán usar coladeras temporales de malla fina en sus líneas de succión. Esta circulación preliminar sirve también como una operación suplementaria de limpieza de las líneas y el equipo en el que pasa el flujo. La mugre arrastrada se atrapará en las coladeras de succión. Estas coladeras se deberán revisar a intervalos frecuentes.

Antes de arrancar una bomba centrífuga, deberá girarse a mano para asegurarse de que gira libremente, si una bomba está amarrada, deberá desmantelarse e inspeccionarse para ver si hay arenisca en la cubierta, fricción excesiva en el estopero, o la holgura es inadecuada en los rotores y cojinetes.

Si la bomba está libre, se abre su válvula de succión, se purga la cubierta para asegurarse de que se llene de líquido, y se abre la válvula de descarga ligeramente. Si la bomba requiere enfriamiento o flujo de lavado a los sellos o empaque, se establece el flujo. La bomba está lista para su arranque una vez que sus válvulas de succión o descarga estén abiertas y su unidad motriz esté lista.

Una vez que se pone en rotación, una bomba centrífuga se lleva con prontitud a su velocidad normal para que desarrolle una presión sustancial con objeto de proporcionar lubricación interna para el rotor. La válvula de descarga de la bomba deberá permanecer en posición de extrangulación hasta que la bomba llegue a su velocidad y se obtenga la presión total de descarga establecida la válvula se puede entonces abrir lentamente hasta que se obtenga el flujo de líquido deseado.

La bomba deberá pararse después de correr durante varias horas o siempre que muestre señales de pérdida de succión, para quitar, inspeccionar y limpiar la coladera. La coladera se repone, se revisa el alineamiento, se arranca la bomba y se repite el proceso hasta que la malla sale limpia, y en este momento se quita permanentemente la malla fina de la coladera, quedando lista para operarse.

(M) COMPROBACION DE CIRCUITOS DE CONTROL E INSTRUMENTOS.

Antes del arranque de la planta, es necesaria una revisión rigurosa final

de todos los controles e instrumentación de la unidad. Esto a menudo se denomina como revisión del circuito de control, debido a que todos los dispositivos en el sistema se comprueban para la operación.

Dado que está actividad es una de las que consume más tiempo durante la puesta en marcha de cualquier instalación, se recomienda que se realice, en la mayor parte posible, antes del inicio de las actividades propias del arranque definitivo de las instalaciones.

Todos los elementos de los instrumentos se deben calibrar y revisar respecto a los datos de diseño para su localización correcta, conexiones apropiadas, marca de identificación y capacidad de medición. Las válvulas de control se prueban comprobando que responden apropiadamente a sus índices de control y de acción correcta, por falla de aire. Se deben probar los dispositivos de alarma y los interruptores de paro automático. Se deben probar tantos instrumentos como se pueda durante la prueba del equipo.

(N) ARRANQUE DEL SISTEMA DE CIRCULACION DE LA SECCION DE RECUPERACION.

Este sistema consiste del absorbedor, la columna de recuperación, la columna fraccionadora de acetonitrilo y los cambiadores de calor. Se agrega agua de alimentación a calderas al absorbedor por una línea de 2" provista en el fondo del absorbedor. Cuando se ha establecido un nivel en el absorbedor, se ponen en operación las bombas de fondos GA-109 del absorbedor y se forma un nivel en la torre de recuperación. Cuando se haya establecido un nivel apropiado en el fondo de la torre de recuperación y en el acumulador de balance, se pone en operación las bombas de corriente lateral de la torre de recuperación GA-116 A-B y se establece el flujo de agua solvente a la torre de recuperación y el flujo de agua pobre al absorbedor. Luego se pone en marcha la bomba de circulación al absorbedor GA-110 A-B; se establece un flujo de los fondos de la torre de recuperación a la torre de apagado con las bombas GA-115 A-B.

Se pone la torre de recuperación y la fraccionadora de acetonitrilo a su temperatura de diseño, iniciando el flujo de vapor a los rehervidores de la torre de recuperación. Se desfoga el sistema en todos los puntos altos. La fraccionadora de acetonitrilo y la torre de recuperación se ponen a reflujos

total.

La adición de vapor a los rehervidores de la torre de recuperación sirve para calentar la corriente de agua de circulación y poner las torres en condiciones de operación. El sistema de agua de circulación en los cambiadores de calor deberá llevarse a las temperaturas de diseño, si es posible.

El TICA-17 en la salida de los enfriadores EA-107 A-B de la corriente lateral del absorbedor, deberá calibrarse inicialmente arriba del diseño unos 10-15°C hasta que el sistema esté alineado.

(Ñ) ARRANQUE DEL SISTEMA DE AGUA DE APAGADO.

El sistema de circulación de apagado consiste de la torre de apagado, las bombas y todas las conexiones de tubería.

Los fondos de la torre de recuperación se meten al sistema para establecer un nivel en la torre de apagado. Cuando se ha establecido un nivel suficiente, se deberá de arrancar la bomba de circulación de la torre de apagado GA-107 A-B y establecer la circulación de la torre. Se establece el flujo de fondos al drenaje pluvial. Este flujo deberá desviarse al sistema de eliminación de desechos un poco antes de que se agregue amoniaco al reactor. El sistema de la torre de apagado se conserva circulando para que esté listo cuando se arranque el reactor.

La adición de antiespumante deberá empezar antes de que se metan las cargas al reactor. El sistema de adición de ácido sulfúrico deberá activarse un poco antes de que se agregue amoniaco al reactor. Se controla el pH agregando ácido según se requiera.

(O) PASIVACION DE LA TORRE DE APAGADO.

Se deberá bajar el pH de la torre de apagado a 5.5 antes de introducir amoniaco al reactor. Esto se logrará mediante la lenta adición de ácido sulfúrico en la línea de recirculación del domo de la torre. Este pH deberá observarse durante el arranque viendo que se mantenga entre 5.0 y 6.0 unidades.

(P) PREPARACION DE LA TORRE DE APAGADO Y DEL POSTENFRIADOR.

La torre de apagado deberá estar circulando durante el periodo de calentamiento del reactor. Al agregar amoniaco al reactor, la adición de ácido sulfúrico a la torre de apagado se aumentará rápidamente y permanecerá alta hasta que se inicie la carga de propileno. El flujo de ácido se deberá controlar manualmente durante este periodo y se deberán hacer todos los esfuerzos para mantener el pH en los límites de 5.5 a 6.0 máximo. Después de que el reactor esté razonablemente estabilizado, el control de pH será automático.

El flujo de agua de enfriamiento habrá estado circulando por el postenfriador de apagado EA-139, durante el periodo de calentamiento del reactor. El flujo de condensado del postenfriador de apagado se habrá establecido a la carga de la torre de recuperación.

(Q) SUMINISTRO DE AIRE.

Teniendo en condiciones estables los compresores, se procede a su alineación con sus separadores de aceite, líquidos y acumulador, y a sus respectivos cabezales (aire de plantas y aire de instrumentos).

1.- Aire de plantas. Una vez terminada la prueba hidrostática de este sistema se procederá a hacer el soplado con el mismo aire para eliminar el agua estancada en la línea, hasta que quede totalmente limpia y drenada por las partes bajas. Cuando se tenga la certeza de que ya no queden líquidos, se dejará en operación el sistema.

2.- Aire de instrumentos. Deberá efectuarse la misma operación que para el sistema de aire de plantas, pero deberá tenerse un especial cuidado para evitar la humedad en este aire, ya que ocasionaría lecturas incorrectas, además de dañar los aparatos.

Con este servicio en operación, se podrán checar: circuitos de presión, flujo, etc. Además se podrá simular la operación con la instrumentación de varios sistemas.

(R) PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE CONDENSADO.

El condensado se colecta del condensador de vapor EA-140, de los cambiadores de calor del proceso calentados con vapor y de los rehervidores. Este condensado se enfría en el enfriador de condensado de los rehervidores EA-141 y se regresa al tanque TK-127 de agua de alimentación a calderas para volverse a usar.

Antes de alinear este servicio se habrá llevado a cabo su limpieza en forma adecuada, así como de todas las líneas de trapeo de vapor, después de lo cual se alinea el trapeo mencionado y los sistemas de condensado limpio recuperado de las turbinas.

(S) SUMINISTRO DE VAPOR.

Inicialmente las calderas suministrarán todo el vapor sobrecalentado de alta presión (343°C, 42.2 Kg./cm²) requerido por el proceso. A medida que el reactor se lleva a las relaciones de carga de diseño y empieza a producir vapor, la demanda de vapor de las calderas disminuirá.

Se procede a suministrar gradualmente a los cabezales principales para su calentamiento lento y uniforme que permita al sistema, en forma segura, alcanzar sus condiciones estables de operación por presión y temperatura, antes del arranque del reactor.

Antes de alinear totalmente el vapor, se sopla repetidamente los cabezales hasta que la prueba de impacto se haya realizado (la cual consiste en colocar una placa de cobre en el punto de soplado y que al ser golpeada por el chorro de vapor, ésta presente como máximo de 5 a 6 impactos por pulgada cuadrada, para considerar su limpieza como adecuada). Después se soplan cada uno de sus ramales.

Se deben abrir los desfogues para dejar escapar el aire del sistema. Los drenes en las líneas que llevan vapor solamente deberán abrirse para eliminar el condensado.

Las líneas a la turbina del soplador de aire al reactor y a la turbina del

compresor de refrigeración, deberán bloquearse durante este periodo.

Los desfuegos y purgas se pueden cerrar cuando el aire y el condensado se han eliminado del sistema. El sistema puede permanecer calentado y a presión hasta que el reactor comience a producir vapor.

(T) INERTIZADO.

Este procedimiento tiene el propósito de eliminar el aire presente en el interior de las tuberías, recipientes y equipos de la planta, una vez que se ha comprobado que los diferentes elementos están debidamente ensamblados y conectados de acuerdo al proceso, y han sido sometidos a una prueba de hermeticidad integral.

Para realizar esta actividad es conveniente separar o dividir la planta en secciones, porque en caso de fugas es más fácil controlarlas. El inertizado se realiza utilizando un gas inerte, gas combustible o bién con producto.

Esta maniobra se lleva a cabo presionando y depresionando sucesivamente las secciones por inertizar, teniendo cuidado de usar las presiones convenientes. El procedimiento es el siguiente:

- a) Mantener todos los venteos abiertos para eliminar el aire.
- b) Alinear a la sección el gas inerte N₂ o gas combustible.
- c) Llenar la sección o sistema a inertizar.
- d) El gas desplazado por el gas inerte se ventea a la atmósfera por los puntos altos y finales de un circuito y se drena el agua acumulada por los puntos bajos de los equipos.
- e) Se hacen pruebas repetidamente en los puntos de venteo para eliminar gradualmente el oxígeno, hasta asegurar una concentración de este gas menor de 0.05% en volumen, que es la condición deseada para considerar el sistema inertizado.

Una vez terminado el inertizado de las diferentes secciones, se deja solo una pequeña presión positiva de gas en ellas, venteando el exceso a la atmósfera.

(W) ACONDICIONAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPOR.

El vapor deberá traerse a la planta de una caldera de fuera del límite de batería. Los gases inertes se deberán purgar por todos los desfuegos y drenes del sistema de vapor. El cabezal principal de vapor y todas las líneas ramales deberán purgarse abundantemente en sus extremos para remover aire y mugre del sistema. Es conveniente hacer una prueba de presión del sistema de vapor del reactor a alta presión antes del arranque del reactor. Se usa para esta prueba vapor de alta presión de la caldera de fuera de la planta.

Establecimiento de flujos. El flujo de agua de alimentación a calderas dea-reada del FA-106 se inicia al tambor de vapor FA-104 a través de las bombas GA-103 A-B-C. El aire se desfoga del sistema de todos los lugares apropiados al fluir el agua por el sistema. El flujo de agua sigue su recorrido a través del enfriador del efluente EA-102 y al tambor de vapor. Cuando se ha establecido un nivel en el tambor de vapor, se pone en operación las bombas de enfriamiento del reactor GA-102 A-B-C. El flujo de las bombas es inicialmente a través de la línea de recirculación al enfriador del efluente. Se debe asegurar que esté fluyendo agua por el enfriador del efluente antes de que se establezca el flujo de gas a través de él. No se debe circular agua en los serpentines de vapor del reactor.

Cuando el sistema esté lleno de agua y circulando completamente, la necesidad de agua disminuirá temporalmente. Tan pronto como se meten las cargas al reactor y se ponen en servicio los serpentines generadores de vapor, los requerimientos de agua de alimentación aumentarán.

Se estabilizará cuando se alcancen los niveles normales de operación.

Establecimiento de presión y temperatura. Inicialmente el sistema generador de vapor deberá soplarse purgando completamente por el tambor de purga FA-139, para eliminar los lodos y otras materias extrañas del sistema. El sistema de purga se cierra antes de que empiece la producción de vapor. El tambor de vapor debe entonces purgarse según sea necesario para mantener la calidad del agua.

Aunque no sea necesario, el sistema deberá calentarse a su temperatura de operación. El calentamiento del sistema evita golpes de ariete en los serpentines de enfriamiento del reactor y en el enfriador del efluente. El calentamiento y la purga se pueden hacer con vapor de alta presión de la caldera de la planta. Se deben abrir los desfogues para dejar escapar el aire del sistema. Los drenes en las líneas que llevan vapor solamente deberán abrirse para eliminar el condensado. Los desfogues y purgas se pueden cerrar cuando el aire y el condensado se han eliminado del sistema. El sistema puede permanecer calentado y a presión hasta que el reactor empiece a producir vapor.

Al calentarse el reactor durante el periodo de arranque, el controlador de temperatura del efluente se pone en operación automática para sostener la temperatura de la línea del efluente del reactor aproximadamente a 232°C. Durante este periodo, cuando el reactor esté subiendo a su temperatura de operación, el calor se transfiere gradualmente al sistema de agua de circulación en el enfriador EA-102. Esto ayuda a incrementar la temperatura del agua de circulación y a mantener la presión del sistema.

Todos los pasos anteriores se ejecutan antes o mientras el reactor se esté calentando con anterioridad a la introducción de amoníaco y propileno. Cuando el amoníaco y propileno se alimentan al reactor, el flujo de vapor al cabezal de vapor de presión media aumentará considerablemente. El personal deberá enterarse de las inminentes variaciones de producción de vapor para que tome las medidas necesarias.

Los serpentines de enfriamiento del reactor se meterán según se requiera para mantener el control de la temperatura durante el arranque del reactor. Los controladores de presión de vapor del sistema PIC-214 y PIC-215 se deben poner en operación lo más pronto posible después de que el reactor ha empezado a producir vapor.

El flujo se establece através de los serpentines sobrecalentadores de vapor tan pronto como se pueda. Los serpentines de sobrecalentamiento deben ponerse en servicio antes de la introducción de carga al reactor. Las líneas de vapor sobrecalentado deben desfogarse y drenarse cuando se ponen en servicio. Los desfogues en el sistema de vapor sobrecalentado se cierran des-

pués de que las líneas se han purgado completamente.

(X) ARRANQUE DEL SOPLADOR DEL REACTOR.

Se cuenta con una compresora o soplador para producir el aire del proceso del reactor. El soplador se mueve con una turbina.

El soplador toma succión de la atmósfera através de un filtro. Cuando los requerimientos de aire son bajos, una parte de aire se puede descargar a la atmósfera através de un desvío de flujo mínimo para evitar surge en el soplador. El flujo de aire por el desvío de flujo mínimo se controla automáticamente con el controlador indicador FIC-301. La presión de descarga requerida se mantiene automáticamente con el controlador indicador PIC-302. El soplador de aire se para automáticamente por bajo flujo de propileno, amoniaco o aire.

El soplador deberá estar equipado con alarma apropiada y dispositivos de paro para protegerlo por sobrevelocidad, falta de aire de instrumentos o de corriente, falta de circulación de aceite lubricante o alta temperatura de descarga. Ya revisada la instrumentación y demás dispositivos se estará en condiciones de establecer el flujo de aire al reactor, procediéndose de la siguiente forma:

Se abre lentamente el controlador de flujo de aire al reactor (FICA-3) y se hace que el flujo de aire através del calentador de arranque, torre de apagado, torre de absorción y chimenea de desfogue sea de $35,000 \text{ m}^3/\text{h}$. Se mantiene la presión del reactor cerca de $0.7 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man.}$, estrangulando la válvula de control de presión PIC-8 localizada en la línea de venteo del absorbedor, esto dará una velocidad en el reactor de unos 0.3 m/s .

(Y) TRASVASE DE CATALIZADOR DE LA TOLVA AL REACTOR.

Se alinean las válvulas y las juntas ciegas en el sistema de trasvase de catalizador para permitir el flujo de la tolva al reactor. Se establece un flujo de aire de transporte através de la línea de carga de catalizador al reactor y se ajusta manualmente el flujo a la relación de diseño.

Cuando la temperatura en el reactor esté en 200°C ó arriba, se puede trasvasar el catalizador al reactor. Se establece el flujo de aire de planta a la línea de desfogue de la tolva de catalizador, manteniéndolo la presión aproximadamente a 3.0 Kg/cm man. en la parte superior de la tolva. Se abre poco a poco la válvula del fondo de la tolva. El catalizador debe ahora fluir al reactor.

Un peso conocido se deberá cargar a la tolva y todo el catalizador de peso conocido se mandará al reactor. Debido a las pérdidas muy pequeñas asociadas con la carga de la tolva y el trasvase al reactor, se puede suponer que todo el peso conocido se carga al reactor.

Cuando se ha completado el trasvase del catalizador, se cierra la válvula de bloqueo en el fondo de la tolva de catalizador y el aire de planta usado para meter presión a la tolva. Reducir la presión de la tolva a la presión atmosférica lentamente por medio de la válvula de purga a la atmósfera. Para entonces, el aire que fluye através de la línea de trasvase de catalizador al reactor deberá haberse limpiado de catalizador, y este flujo de aire se puede bloquear. Se cierra la válvula en el reactor primero y luego la válvula en la línea de aire de trasvase. Se cierra el aire de purga en todas las válvulas del sistema de trasvase de catalizador después de que estén cerradas las válvulas de aire de trasvase.

(Z) SUMINISTRO DE GAS COMBUSTIBLE.

Después de haber sido lavado y soplado con aire, con su instrumentación calibrada e instalada, este sistema se somete a una prueba de hermeticidad total, después de la cual se inertiza con gas nitrógeno ó en su defecto, con gas combustible, mismo que se suministra gradualmente para desalojar el aire del sistema (veteando hacia un lugar seguro al gas), hasta tener una prueba de explosividad menor de 0.05% en volumen de oxígeno.

Logrado lo anterior, se procede a alinear completamente el gas combustible a la planta.

(A1) ENCENDIDO DEL CALENTADOR DE ARRANQUE .

Cuando el reactor se ha calentado hasta donde sea posible con el aire de la compresora de aire del reactor, se deberá poner en servicio el calentador de arranque BA-101. Se establece el flujo de gas combustible al piloto y se enciende. Con el controlador de temperatura TICA-3 en manual, se abre la válvula de control de gas combustible para encender el quemador principal. Se ajusta el quemador para obtener una temperatura de salida del calentador que suba aproximadamente 80°C por hora, hasta que la temperatura de salida llegue a su nivel de diseño.

(B1) PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE DESFOGUE.

Los sistemas de desfogue son el medio adecuado con que cuentan las instalaciones para eliminar con seguridad y en forma controlada, las corrientes gaseosas de desechos resultantes de una falla de equipo o de alguna situación de emergencia. Antes de que se empiezen a introducir hidrocarburos a la planta, se hace necesario la puesta en operación de los cabezales de desfogue de alta y baja presión con sus respectivos quemadores de campo, para la cual se procede como sigue:

Se efectúa la instalación de todas las válvulas de reejevo de los diferentes equipos y sistemas, se comprueba la hermeticidad del sistema, se efectúa el inertizado del sistema de desfogue usando para ello el arreglo de purga, se encienden los pilotos de los quemadores y se mantienen encendidos los pilotos de los quemadores con el gas de purga.

(C1) PREPARACION DEL REACTOR.

La temperatura del reactor bajará durante el trasvase del catalizador. El reactor y la carga de catalizador se deben calentar a 400°C, temperatura a la cual se introduce el amoniaco.

Al estar calentando el reactor por medio del aire que proviene del calentador de arranque, se ajusta la presión procurando mantener la velocidad de gas apropiada.

Al acercarse la temperatura del reactor a 400°C, se debe hacer lo siguiente:

1) Con las válvulas de bloqueo todavía cerradas, las válvulas de control de los controladores de amoníaco y propileno FICA-8 y FICA-7 deberán ponerse a cero.

2) La válvula de control manual de vapor de apagado de la cámara colectora del reactor (HIC-1) deberá abrirse totalmente. Antes de abrirlas, las líneas a estas válvulas deberán purgarse para que queden libres de condensado.

3) El analizador de O₂ deberá ajustarse a cero y verificar el rango 0-25%. Se deberá empezar el flujo del efluente del reactor al analizador de oxígeno.

Antes de la introducción de las cargas, se asegura que las válvulas de bypass entre la entrada y salida de los serpentines de vapor saturado estén abiertas.

(E1) ARRANQUE DE LOS EVAPORADORES DE CARGA.

Se pone en funcionamiento los evaporadores de amoníaco y propileno en la sección de recuperación. Los evaporadores deberán purgarse y desfogarse para eliminar el aire. Se establece y mantiene un nivel en ambos vaporizadores. Se bloquea el propileno y amoníaco hasta que el flujo de carga al reactor se inicie.

Las temperaturas de los evaporadores de carga deberán observarse cuidadosamente durante el arranque del reactor para evitar que se congelen del lado del agua ya que aumenta rápidamente la relación de vaporización de la carga. La mejor manera de efectuar esto es tener la temperatura del agua más alta que la de diseño antes del arranque del reactor. Esta temperatura no debe ser tan alta que abra las válvulas de alivio de los evaporadores, o evite la introducción de amoníaco o propileno a sus respectivos evaporadores.

(F1) INTRODUCCION DE CARGA DE AMONIACO.

Se abre la válvula de control manual de vapor de apagado a la cámara del

reactor cerca del 25%. Se abre la purga de nitrógeno a la regadera de carga de propileno.

Se reduce el flujo de aire al reactor a aproximadamente el 30% del valor de diseño y simultáneamente se disminuye la presión del reactor al mínimo, con objeto de incrementar la velocidad lineal.

Se inicia el flujo de amoníaco al reactor con el controlador de flujo FICA-8. Se incrementa suave y rápidamente el flujo de amoníaco. Al empezar a reaccionar el amoníaco y el oxígeno, el contenido de oxígeno en el efluente del reactor declinará y la temperatura del reactor subirá. Esta temperatura se estabiliza agregando serpentines de enfriamiento.

Se cierra el calentador de aire una vez que la reacción entre el amoníaco y el aire sea suficiente para incrementar la temperatura del reactor sin necesidad de éste.

(G1) AJUSTE DE LA TEMPERATURA DEL REACTOR CON SERPENTINES.

Los serpentines de enfriamiento deberán ponerse en servicio uniformemente alrededor de la circunferencia del reactor, primero de un lado y luego del otro. Siempre se intenta tener el mismo número de pasos en servicio en los lados opuestos del reactor.

Se agrega una cantidad suficiente de serpentines de enfriamiento para mantener una elevación de temperatura estable hasta la temperatura de operación normal (430°C).

(H1) INTRODUCCION DE CARGA DE PROPILENO.

Una vez que se han ajustado la carga de amoníaco y el flujo de aire en el reactor, y de que el nivel de oxígeno haya declinado a menos de 7.5%, se puede agregar el propileno al reactor por medio del controlador de flujo FICA-7.

Los flujos de aire y de amoníaco se aumentan hasta los de diseño. El flujo de propileno también se aumenta suavemente hasta el flujo de diseño. La

presión del reactor se controla para dar la velocidad apropiada y la temperatura del reactor se controla a que quede dentro de los límites de 425-440°C, por la adición de serpentines de enfriamiento.

A medida que se incrementan los flujos de amoniaco y propileno, se debe vigilar la temperatura del agua del absorbedor por si hay señales de congelación.

(I1) AJUSTE DEL NIVEL DE LIQUIDO EN DA-103, DA-104 y FA-140.

Al estar introduciendo el efluente del reactor al absorbedor, el nivel del líquido en los platos del absorbedor fluctuará. Por este motivo, los niveles de líquido en el fondo del absorbedor, la torre de recuperación y tanque de balance se deberán elevar. Esto evita pérdidas de nivel y de flujo a través de los evaporadores de carga durante el arranque del reactor.

(J1) ESTABILIZACION DE LA TORRE DE ABSORCION.

El absorbedor se ha puesto en funcionamiento como parte del sistema de agua de circulación de la sección de recuperación.

El agua de proceso se bombea del tanque de balance FA-140 del fondo de la torre de recuperación a través de los cambiadores de agua rica/agua pobre EA-108 A-B, del enfriador de agua del absorbedor EA-110 y a la sección superior del absorbedor. La relación de flujo se mantiene con el controlador de flujo FICA-23. El flujo se ha establecido en el absorbedor con el objeto de proporcionar el calor requerido para vaporizar el amoniaco y el propileno de la carga.

El sistema de circulación del absorbedor estará fluyendo a la relación de diseño por control de nivel LICA-11 en la parte superior del absorbedor mismo. La temperatura de agua pobre se controla arriba del diseño durante el arranque del reactor.

Tan pronto como las cargas se meten al reactor, la temperatura del absorbedor empezará a bajar debido al enfriamiento proporcionado por la vaporización del amoniaco y del propileno.

La temperatura del agua a la salida de los enfriadores EA-107 A-B de la corriente lateral del absorbedor, inicialmente está fijada de 10 a 15°C y se controla con un controlador de temperatura TICA-17 localizado después de los enfriadores de la corriente lateral del absorbedor.

La temperatura del absorbedor subirá debido al calor de absorción. Después de que el reactor se ha alineado, las temperaturas del absorbedor se ajustan al diseño por medio de la refrigeración de la sección de recuperación, los by-pass de los cambiadores y el vapor de los rehedidores EA-114 A-B de la torre de recuperación.

(K1) ESTABILIZACION DE LA TORRE FRACCIONADORA DE ACETONITRILLO.

El fraccionador de acetonitrilo se arranca al mismo tiempo que la torre de recuperación. Inicialmente, operando FIC-38 se calentará el fraccionador a 100°C. Se pone esta torre a reflujo total. A medida que el acetonitrilo desciende por la torre de recuperación y alimenta a la fraccionadora, la temperatura en ésta bajará.

Cuando la concentración de acetonitrilo en el domo del fraccionador llegue a 50%, se empieza el flujo de acetonitrilo crudo por medio del FIC-39 al tanque de desechos orgánicos. Se debe tratar de mantener una concentración de HCN menor de 5% en peso, en el domo de la fraccionadora.

(L1) ESTABILIZACION DE LA TORRE DE RECUPERACION.

La torre de recuperación de acetonitrilo se ha puesto en condiciones de operar previamente usando agua de proceso. Se ha establecido un nivel en el fondo de la torre, los cambiadores de calor alrededor de la torre se han puesto en servicio y se ha iniciado el flujo de agua de enfriamiento al condensador del domo. La corriente de carga del absorbedor y la corriente de agua solvente de la extracción de agua pobre/agua rica se han ajustado a sus relaciones de diseño. Las temperaturas de la carga y del agua solvente se mantienen aproximadamente a los valores de diseño a la entrada de la torre. El flujo del fondo de la torre es hacia la torre de apagado.

Poco después de que las cargas se introducen al reactor, la corriente de

carga a la torre de recuperación, que viene del absorbedor contendrá productos orgánicos. En ese momento se establece un flujo de inhibidor (HQ) a la línea del domo de la torre de recuperación. Antes de este momento la línea de inhibidor se habrá llenado de solución usando la bomba de inhibidor.

Antes de que se metan orgánicos a la torre de recuperación, el controlador de temperatura del plato 44 (TIC-18) deberá tener lectura de 100 a 115°C. Cuando entran los primeros orgánicos a la torre la temperatura bajará rápidamente.

Es más fácil estabilizar la torre de recuperación, si el domo no está muy caliente, como a 100°C, cuando los orgánicos lleguen a la torre. El domo de la torre se puede mantener frío (70-90°C), conservando la temperatura del agua solvente abajo de 55°C y el flujo abajo de la de diseño. Esto también se puede hacer manteniendo el vapor de los rehervidores EA-114 A-B a menos del flujo de diseño, y por lo tanto, conservando baja la ebullición en la torre de recuperación.

Con el objeto de tener el controlador de temperatura TIC-28 dentro de los límites de control fácil y rápidamente, se tiene que vigilar de cerca el registrador de temperatura del plato 44.

Es extremadamente importante que la concentración de acetonitrilo en los fondos de la torre de recuperación no sea mayor de 50 ppm.

Cuando aparece un nivel de acrilonitrilo en la parte superior de la capa de agua en el decantador FA-111 de la torre de recuperación, se establece un nivel en la sección orgánica del decantador. Se establece el flujo de orgánicos al tanque de nitrilos crudos TK-903. Cuando esta corriente orgánica se ha analizado y se ha encontrado dentro de especificación, se puede alimentar a la torre de despunte. Se pone en funcionamiento el controlador de flujo de carga de la torre de despunte FICA-31, y se ajusta, si es necesario, para mantener el nivel del decantador de la torre de recuperación FA-111 dentro de los límites deseados.

(N1) ESTABILIZACION DE LA TORRE DE DESPUNTE.

Se llena el lado de agua del decantador FA-116 de la torre de despunte con condensado frío o agua tratada. Se inicia el flujo de carga a la torre y se acumula un nivel en el lado orgánico del decantador. Cuando se alcance el nivel normal de operación en el lado orgánico del decantador, se empieza el flujo de regreso al plato 28 aproximadamente al flujo de diseño vía FIC-46 y se empieza el flujo al plato 25 vía LICA-28. Pronto aparecerá un nivel en el fondo de la torre. Se inicia el flujo de vapor al rehervidor vía FICA-48.

Se ajusta el flujo de vapor, de manera que siempre haya un nivel en el fondo de la torre. Se baja lentamente el nivel de agua en el lado de agua del decantador bombeándolo a la torre de apagado. Se pone el controlador de interfases LICA-27 en automático. Se ajusta el flujo de vapor al de diseño. Se normaliza la temperatura del domo de la torre ajustando la relación de reflujo. Se mantiene el nivel del fondo de la torre sacándolo por bombeo al tanque de fuera de especificación TK-903.

(01) ESTABILIZACION DE LA TORRE DE PRODUCTO.

Se pone a funcionar el eyector EE-106 en el condensador EA-121 de la torre de producto antes de empezar la carga desde la torre de despunte. Se controla la presión en el tambor de reflujo FA-117 de la torre de producto a la de diseño con el uso del controlador indicador de presión PICA-14.

Se asegura que todos los desfuegos y drenes de la torre de producto estén cerrados.

Cuando los fondos de la torre de despunte contengan menos de 500 ppm de HCN y menos de 0.5% de agua, se empieza a alimentar a la torre de producto. Se establece un nivel en la torre de producto y luego se abren las válvulas al rehervidor.

Se inicia el vapor a los rehervidores de la torre de producto, poniendo en servicio el controlador de flujo FICA-52 en el sistema de vapor, tratando de aproximar el flujo de vapor a aproximadamente la relación de diseño. Se mantiene el nivel en el fondo de la torre de producto en todo momento.

El domo de la torre de producto fluye através del condensador al tambor de reflujo. Los vapores que salen del tambor de reflujo pasan por el condensador de desfogue en donde se licuarán los condensables y se regresarán al sistema.

Se agrega HQ a la línea del domo a un flujo mínimo. Este inhibidor permanece en el producto final, por lo que la relación de adición es muy importante.

(P1) ANALISIS Y CONTROL DE PRODUCTO.

Cuando se ha establecido el reflujo de la torre y el nivel del fondo ya no se puede controlar ajustando el flujo de vapor de los rehervidores, se abre la línea de extracción de producto y se manda el flujo a los tanques de acrilonitrilo fuera de especificaciones TK-903.

Se muestrea la corriente de extracción lateral. Si es acrilonitrilo dentro de especificación, se desvía el flujo a uno de los tanques de "diario" de acrilonitrilo TK-126. Si el análisis de la muestra indica acrilonitrilo fuera de especificación, se continúa el flujo hacia el tanque de fuera de especificación. Se continúa el muestreo a intervalos hasta que la muestra esté dentro de especificaciones.

(Q1) ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO.

Cuando el tanque de "diario" de acrilonitrilo esté lleno, el personal de laboratorio analizará una muestra. Si el laboratorio informa que la muestra está dentro de especificaciones, excepto por agua e inhibidor, se agrega la cantidad prescrita por el laboratorio de condensado e inhibidor, y se hace que se vuelva a tomar una muestra del tanque. Si entonces está dentro de especificaciones, se bombea el acrilonitrilo del tanque de "diario" al tanque de almacenamiento de acrilonitrilo. Si el laboratorio informa que el acrilonitrilo en el tanque de "diario" está fuera de especificaciones porque contiene exceso de acetónitrilo, se bombea el acrilonitrilo al tanque de acrilonitrilo crudo TK-902. Si el acrilonitrilo está fuera de especificación por cualquier otra causa, se bombea al tanque de acrilonitrilo fuera de especificación. TK-903.

CAPITULO CUATRO

DETERMINACION DE LA MATRIZ DE SECUENCIAS Y LA MATRIZ DE TIEMPOS

MATRIZ DE SECUENCIAS.

Una vez establecida la lista de actividades, procedemos a ordenarlas en función de interdependencia, utilizando la matriz de secuencias, que desarrollaremos en este capítulo.

Para la determinación de la matriz de secuencias es estrictamente indispensable conocer la operación de la planta (manual de operación) y por lo tanto se consultará a las personas de más experiencia en el caso así como a los responsables del arranque para establecer que actividades se realizarán al terminar cada una de las consideradas en la lista. Para esto es necesario presentar en la matriz de secuencias la actividad que nos marque el punto de partida de las demás actividades y la denominaremos actividad cero "0".

La información de la lista debe considerarse una a una sin omisiones, siendo este análisis el que nos permitirá establecer la secuencia entre las actividades, además en la matriz haremos las observaciones necesarias que nos permitan aclarar las situaciones especiales o poco claras de las secuencias para que nos faciliten la construcción de la red.

Esta matriz puede o no ser la definitiva ya que generalmente se hacen ajustes posteriores con relación a diversos factores como son: existencia y disponibilidad de materiales, mano de obra, o alguna interdependencia mal considerada, etc.

Con esto, la matriz de secuencias queda establecida en la tabla que aparece en la siguiente hoja. Aunque por el momento sólo nos interesa conocer la secuencia entre las actividades, incluimos el código de secuencia para quedar mejor identificadas, aunque más adelante se explicará cómo surge este par de números.

TABLA DE MATRIZ DE SECUENCIAS.

<u>ACTIVIDAD</u>		<u>SECUENCIA</u>		<u>OBSERVACIONES</u>
Código de Secuencia	Clave	Código de Secuencia	Clave	
(0,1)	Cero	(1,2),(1,3),(1,6),(1,20),(1,21)	A,B,C,D,E	Simultáneas
(1,2)	A	(2,26),(2,29)	F,G	Simultáneas
(1,3)	B	(3,4)	H	
(1,6)	C	(6,7),(6,11)	L,M	Simultáneas
(1,20)	D	(20,21)	DI	Ficticia
(1,21)	E	(21,22)	EI	
(2,26)	F	(26,27),(26,28),(26,29)	J1,K1,L1	Simultáneas
(2,29)	G	(29,30)	Ñ1	
(3,4)	H	(4,5),(4,7)	I,J	(4,7)Ficticia
(4,5)	I	(5,11)	K	
(4,7)	J	(7,8)	N	
(5,11)	K	(11,12),(11,13),(11,14),(11,17)	Q,R,S,T	Simultáneas
(6,7)	L	(7,8)	N	
(6,11)	M	(11,12),(11,13),(11,14),(11,17)	Q,R,S,T	Simultáneas
(7,8)	N	(8,9)	Ñ	
(8,9)	Ñ	(9,10)	O	

(9,10)	O	(10,24)	P	
(10,24)	P	(24,25)	H1	
(11,12)	Q	(12,16)	U	Ficticia
(11,13)	R	(13,14)	V	Ficticia
(11,14)	S	(14,15)	W	
(11,17)	T	(17,18)	Z	
(12,16)	U	(16,19)	Y	
(13,14)	V	(14,15)	W	
(14,15)	W	(15,16)	X	
(15,16)	X	(16,19)	Y	
(16,19)	Y	(19,23)	C1	
(17,18)	Z	(18,19),(18,30)	A1,B1	Simultáneas
(18,19)	A1	(19,23)	C1	
(18,30)	B1	(30,31)	O1	
(19,23)	C1	(23,24)	G1	
(20,21)	D1	(21,22)	E1	
(21,22)	E1	(22,23)	E1	
(22,23)	F1	(23,24)	G1	
(23,24)	G1	(24,25)	H1	

(24,25)	H1	(25,26)	I1	
(25,26)	I1	(26,27), (26,28), (26,29)	J1, K1, L1	Simultáneas
(26,27)	J1	(27,29)	M1	Ficticia
(26,28)	K1	(28,29)	N1	Ficticia
(26,29)	L1	(29,30)	Ñ1	
(27,29)	M1	(29,30)	Ñ1	
(28,29)	N1	(29,30)	Ñ1	
(29,30)	Ñ1	(30,31)	O1	
(30,31)	O1	(31,32)	P1	
(31,32)	P1	(32,33)	Q1	
(32,33)	Q1	Fin del Proyecto.		

Del análisis de actividades en función de su interrelación se estableció la matriz de secuencias anterior y se leerá en orden progresivo del número asignado a cada una de ellas, en algunos casos se mencionará la actividad como ficticia o de liga.

Una actividad ficticia o de liga, ya que no existe, se emplea para mantener correcta la secuencia lógica de los trabajos así como su interrelación; no necesita tiempo, ni cuesta nada, pero es una restricción definitiva y lógica.

De la actividad cero "0" continúan las actividades A,B,C,D,E simultáneamente

De la actividad A continúan las actividades F,G simultáneamente.

De la actividad B continúa la actividad H.

De la actividad C continúan las actividades L,M simultáneamente.

De la actividad D continúa la actividad D1, que es una actividad ficticia.

De la actividad E continúa la actividad E1.

De la actividad F continúan las actividades J1, K1, L1, simultáneamente.

De la actividad G continúa la actividad Ñ1.

De la actividad H continúan las actividades I, J simultáneamente, siendo J una actividad ficticia.

De la actividad I continúa la actividad K.

De la actividad J continúa la actividad N.

De la actividad K continúan las actividades Q, R, S, T simultáneamente.

De la actividad L continúa la actividad N.

De la actividad M continúan las actividades Q, R, S, T simultáneamente.

De la actividad N continúa la actividad Ñ.

De la actividad Ñ continúa la actividad O.

De la actividad O continúa la actividad P.

De la actividad P continúa la actividad H1.

De la actividad Q continúa la actividad U, que es una actividad ficticia.

De la actividad R continúa la actividad V, que es una actividad ficticia.

De la actividad S continúa la actividad W.

De la actividad T continúa la actividad Z.

De la actividad U continúa la actividad Y.

De la actividad V continúa la actividad W.

De la actividad W continúa la actividad X.

De la actividad X continúa la actividad Y.

De la actividad Y continúa la actividad C1.

De la actividad Z continúan las actividades A1, B1 simultáneamente.

De la actividad A1 continúa la actividad C1.

De la actividad B1 continúa la actividad O1.

De la actividad C1 continúa la actividad G1.

De la actividad D1 continúa la actividad E1.

De la actividad E1 continúa la actividad F1.

De la actividad F1 continúa la actividad G1.

De la actividad G1 continúa la actividad H1.

De la actividad H1 continúa la actividad I1.

De la actividad I1 continúan las actividades J1, K1, L1 simultáneamente.

De la actividad J1 continúa la actividad M1.

De la actividad K1 continúa la actividad N1.

De la actividad L1 continúa la actividad Ñ1.

De la actividad M1 continúa la actividad N1.

De la actividad N1 continúa la actividad Ñ1.

De la actividad Ñ1 continúa la actividad O1.

De la actividad O1 continúa la actividad P1.

De la actividad P1 continúa la actividad Q1.

La actividad Q1 representa la terminación del proyecto.

El objetivo de marcar el orden de análisis de las actividades en el desglose anterior, es el de establecer un orden que nos permita ir eligiendo la secuencia de las actividades sin ser éste de carácter absoluto, pero sí de fácil comprensión y aplicación, además nos facilitará la construcción de la red preliminar en el capítulo correspondiente.

Este orden usado o cualquier otro diseñado para el problema en turno también nos disminuirá al máximo las confusiones en la determinación de las secuencias ya que es un problema inevitable en el método de la ruta crítica, pero sí reducible.

Es necesario hacer notar que el orden de análisis elegido no es riguroso y puede, en un momento dado, alterarse parcial o totalmente en función del dominio que se tenga tanto de la interrelación de las operaciones o actividades de arranque como del método de la ruta crítica.

Representando la secuencia de actividades en forma tabular, se obtiene la matriz de precedentes y sucedentes.

En la matriz de precedentes y sucedentes podemos visualizar fácil y rápidamente las interrelaciones que existen entre las diferentes actividades, mediante la intersección columna-renglón correspondiente.

Por ejemplo la columna que representa las actividades precedentes, etiquetada con la letra "A", interseca con los renglones que representan las

actividades sucedentes "F" y "G". Esto indica que inmediatamente después de que se realice la actividad "A", deben ejecutarse las actividades "F" y "G" simultáneamente.

La siguiente página muestra la matriz de precedentes y sucedentes del proyecto en cuestión y que servirá como base y guía para la construcción de la red preliminar.

MATRIZ DE TIEMPOS.

En este capítulo los responsables de la construcción de este programa de ruta crítica, de acuerdo al conocimiento del proyecto y a la experiencia que tengan, deben considerar tres cantidades de tiempos elementales: el tiempo óptimo (t_o), el tiempo normal (t_n) y el tiempo pésimo (t_p).⁽¹⁵⁾

Los tiempos antes mencionados, mediante la fórmula PERT nos permiten conocer un tiempo promedio resultante llamado tiempo esperado (t_e), y que corresponde a la duración estimada de cada actividad.

$$t_e = \frac{t_o + 4t_n + t_p}{6}$$

Esto es, el tiempo esperado, es igual al tiempo óptimo más cuatro veces el tiempo normal, más el tiempo pésimo y esta suma dividida entre 6.

El tiempo normal (t_n), es el tiempo normal de ejecución de una actividad derivado de la experiencia personal del informador.

El tiempo óptimo (t_o), es el que representa la ejecución de una actividad en el tiempo mínimo posible, sin importar el costo o cuantía de los recursos materiales y humanos que se requieran.

El tiempo pésimo (t_p), es el tiempo excepcionalmente grande que pudiera presentarse ocasionalmente como consecuencia de faltas de suministro, accidentes, etc. (causas no previstas). Debe contarse únicamente el tiempo efectivo de solución al problema y no el tiempo ocioso (Ref. 5).

No es suficiente con conocer estos tiempos empleados en el desarrollo de las actividades, sino que también es necesario determinar la desviación estándar (T) que nos indica que tan dispersos se encuentran los tiempos promediados dentro del campo total de estudio.

Esta desviación nos dará una idea de la probabilidad que existe de reducir o ampliar el tiempo esperado.

La fórmula PERT para determinar la desviación estándar (T), deriva de los

tiempos pésimos y óptimos y es la siguiente:

$$T = \frac{t_p - t_o}{6}$$

Dicha dispersión proporciona una idea clara del promedio de dispersión positiva y negativa del tiempo usado.

Cualquier fracción decimal que se obtenga con la forma PERT para la determinación de (t_e) se aumentará al número entero superior para dar un margen de seguridad al tiempo total del proyecto general, por ejemplo la actividad "H" tiene un tiempo esperado (t_e) y una desviación (T) siguientes:

$$t_e = \frac{t_o + 4t_n + t_p}{6}$$

De donde: $t_o = 9$
 $t_n = 11$
 $t_p = 15$

Sustituyendo valores tenemos:

$$t_e = \frac{9 + 4(11) + 15}{6} = 11.3$$

De donde 11.3 se redondea a 12 por lo tanto $t_e = 12$

$$T = \frac{t_p - t_o}{6}$$

Y sustituyendo valores:

$$T = \frac{15 - 9}{6} = 1.000$$

Siguiendo el mismo procedimiento para las demás actividades se obtiene la matriz de tiempos que aparece en la siguiente tabla.

TABLA DE MATRIZ DE TIEMPOS.

Actividad	to	tn	tp	te	T
Cero	-	-	-	-	-
A	9	11	15	12	1.0000
B	6	8	10	8	0.6666
C	18	23	30	24	2.0000
D	27	34	45	35	3.0000
E	6	8	10	8	0.6666
F	4	5	7	6	0.5000
G	1	1	1	1	0.0000
H	9	11	15	12	1.0000
I	9	11	15	12	1.0000
J	-	-	-	-	-
K	27	34	45	35	3.0000
L	6	8	10	8	0.6666
M	4	5	7	6	0.5000
N	3	4	5	4	0.3333
Ñ	3	4	5	4	0.3333
O	1	1	1	1	0.0000

P	1	1	1	1	0.0000
Q	9	11	15	12	1.0000
R	4	5	7	6	0.5000
S	4	5	7	6	0.5000
T	9	11	15	12	1.0000
U	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-
W	4	5	7	6	0.5000
X	3	4	5	4	0.3333
Y	4	5	7	6	0.5000
Z	9	11	15	12	1.0000
A1	3	4	5	4	0.3333
B1	4	5	7	6	0.5000
C1	1	1	2	2	0.1666
D1	-	-	-	-	-
E1	2	2	3	3	0.1666
F1	1	1	1	1	0.0000
G1	1	1	1	1	0.0000
H1	1	1	1	1	0.0000

II	1	1	2	2	0.0000
J1	1	1	1	1	0.0000
K1	1	1	1	1	0.0000
LI	1	1	1	1	0.0000
M1	-	-	-	-	-
N1	-	-	-	-	-
Ń1	1	1	1	1	0.0000
OI	1	1	1	1	0.0000
PI	1	1	1	1	0.0000
Q1	1	1	1	1	0.0000

CAPITULO CINCO

CONSTRUCCION DE LA RED Y MATRIZ DE ELASTICIDAD

CONSTRUCCION DE LA RED.

A la representación gráfica de la secuencia de actividades comprendidas entre sus eventos o nodos, la denominamos red de ruta crítica o red de camino crítico. Esta red nos indicará la interrelación de las actividades del programa de arranque.

Se le llama "camino crítico" o "ruta crítica" a las actividades involucradas desde el inicio del proyecto hasta su terminación y que se caracterizan por no tener flexibilidad en su tiempo de ejecución. Cualquier retraso de una de ellas provocará el retraso en todo el proyecto, no así para las actividades laterales que podrán o no ser ajustadas por el coordinador del arranque de la planta, dependiendo de la red de ruta crítica definitiva.

Para la construcción de la red es necesario tomar en cuenta las siguientes reglas: (Ref. 6).

1) Representaremos las actividades por flechas. Puede usarse una flecha y sólo una, para representar cada trabajo. La longitud de la flecha y la dirección en que señala no tienen importancia. Asimismo esta flecha representa el trabajo de su principio a su final (cola a punta) y el tiempo transcurrido durante la ejecución. (fig. a).

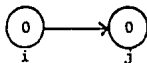


Figura a. Representación gráfica de una actividad teniendo como principio (cola) el evento i y como final (punta) el evento j.

2) Un diagrama de flechas (o modelo del proyecto) se forma conectando flechas, esto se hace considerando, para cada flecha, tres preguntas siempre:

-¿Qué precede?

-¿Qué sucede?

-¿Qué puede ser coexistente (realizarse simultáneamente)?

3) Ya que las flechas representan trabajos o actividades que consumen tiempo, las uniones de las flechas representan posiciones en el tiempo cuando todos los trabajos precedentes han terminado y los siguientes pueden comenzar. Estos puntos en el tiempo son llamados "eventos"; los eventos se encuentran al inicio y al final de cada trabajo y serán representados gráficamente por círculos. Cuando el diagrama de flechas se ha terminado, todos los eventos están numerados. Como resultado, cada flecha tiene un par de números único que representa una actividad única (fig. b).

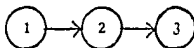


Figura b. Representación gráfica de un evento (círculos entre flechas).

Como se ve en la figura anterior, el evento final de una actividad será el evento inicial de la siguiente actividad.

Una actividad general será representada como la actividad (i,j), donde se tiene que: i = evento de iniciación (cola de la flecha).

j = evento de terminación (punta de la flecha).

4) La numeración de los eventos debe ser tal que el número de la punta de la flecha sea siempre mayor que el número de su cola. Los números no necesitan ser consecutivos ni tampoco necesitan comenzar en 1.

Es buena práctica iniciar cada diagrama con una flecha llamada flecha de iniciación o "tiempo de partida". Esto se hace para basar todos los tiempos del proyecto en un tiempo de partida predeterminado. Al tiempo de partida puede o no, asignársele un tiempo de duración.

5) Al surgir la necesidad de relacionar una actividad con otra sin que esta relación represente una actividad, la presentaremos con una línea punteada llamada "actividad ficticia" o de liga. Esta actividad ficticia se introduce para mantener correcta la lógica y para conservar única la designación numérica de los eventos en la cola y la punta de la flecha; no necesita tiempo ni cuesta nada (fig.c).

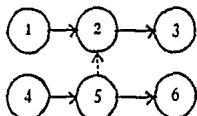


Figura c. La actividad ficticia o de liga se representa con una flecha punteada.

6) De una actividad pueden partir varias simultáneamente o llegar de la misma forma (fig. d).

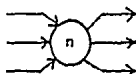


Figura d. Actividades simultáneas

7) Al partir 2 o más actividades de un mismo evento produce confusión, siendo necesario por esto abrirlas y relacionarlas con una actividad ficticia (fig. e).



Figura e. Al partir 2 o más actividades de un mismo evento y llegar a otro evento en común es necesario introducir actividades ficticias para conservar una designación numérica única.

Todas las actividades iniciarán en un evento y terminarán en otro, nunca en la flecha que representa la actividad (fig. f).

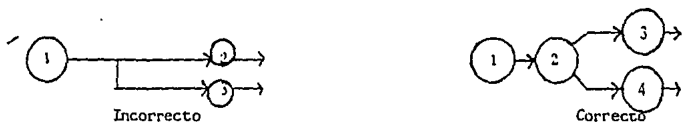


Figura f. Toda actividad nunca inicia o termina en una flecha, pues ésta representa otra actividad y no un evento.

8) No es conveniente dejar eventos sueltos. Para evitar confusiones, esto se puede hacer relacionándolo con otro evento que tenga relación ó con la actividad final o inicial. (fig.g).

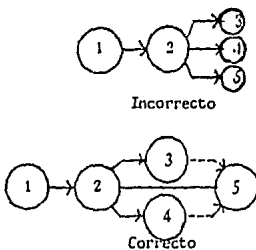


Figura g. Nunca se deben dejar eventos sueltos, pues crean confusiones posteriores.

El camino o ruta crítica quedará representado mediante una línea remarcada o de mayor grosor que el resto de las líneas (fig. h).

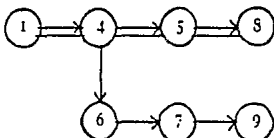


Figura h. La línea doblemente punteada o más gruesa representa la ruta crítica.

Podemos utilizar indistintamente el código de secuencias o la clave de la actividad para nombrarla dentro del diagrama de flechas. El código de secuencia quedará determinado por los eventos inicial y final y la clave por una letra del alfabeto, como se vió en el capítulo anterior (Ref. 7).

La duración de cada actividad (tiempo esperado) se pondrá en un rectángulo abajo de la flecha que representa cada actividad (fig. i).

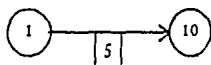


Figura i. Representación del tiempo esperado mediante un rectángulo abajo de la flecha. El número dentro del círculo representa el evento.

Para hacer la determinación de la ruta crítica (eje de la red), haremos inicialmente una red preliminar utilizando la secuencia establecida en el capítulo de estudio de la matriz de secuencias. Esta red preliminar tiene como objetivo establecer el tiempo esperado o duración estimada de cada actividad y determinar cual ruta en función del tiempo acumulado resulta la más larga (ver red preliminar en el diagrama).

Como se observa en el diagrama de red preliminar, el camino crítico (marcado con la línea gruesa), comprende las actividades Cero, B, H, I, K, T,

Z, A1, C1, G1, H1, I1, L1, N1, O1, P1, Q1, con un tiempo total programado de 106 días.

Reordenando la red en función del camino crítico obtenemos la segunda red que llamaremos red de tiempos esperados (ver diagrama).

Una vez realizada la red de actividades se debe asignar la duración correspondiente a cada una de ellas, para calcular la duración total del proyecto y la determinación de las fechas próximas de realización de cada actividad.

Para llevar a cabo estos cálculos se debe tomar en cuenta lo siguiente: (Ref. 8).

a) Se basarán todos los tiempos del proyecto con relación al tiempo cero, por lo tanto, todas las actividades que se inicien en el primer evento, o en la iniciación del proyecto, tendrán una fecha más próxima de iniciación (FMPI) igual a cero.

b) La fecha más próxima de iniciación (FMPI) del último evento correspondiente a la fecha más lejana de terminación del proyecto (FMLT).

c) No se debe iniciar ninguna actividad sin antes haber completado las actividades de cuya ejecución depende ésta.

d) La ejecución de cada actividad debe iniciarse tan pronto como sea posible.

e) Una vez iniciada, cada actividad se ejecuta sin interrupción, hasta ser terminada.

f) Las actividades ficticias se manejarán como si fueran trabajos reales con una duración nula.

Para poder entender mejor esto, es necesario aclarar algunos conceptos que usaremos comúnmente a lo largo del desarrollo del presente capítulo, por lo que procedemos a dar su definición.

FECHA MAS PROXIMA DE INICIACION. (FMPI).

La fecha más próxima de iniciación (FMPI) es el total de unidades (tiempo esperado de cada actividad), que deben ser consumidas antes de que una o más actividades que parten de un evento específico puedan iniciarse.

FECHA MAS PROXIMA DE TERMINACION (FMPT).

La fecha más próxima de terminación (FMPT) es la suma de tiempo esperado (duración estimada) de la actividad a la fecha más próxima de iniciación. Esto es, lo más próximo que se pueda concluir una actividad si la iniciamos en su fecha más próxima de iniciación (FMPI).

FECHA MAS LEJANA DE INICIACION (FMI).

La fecha más lejana de iniciación (FMI) es el tiempo acumulado correspondiente al momento más lejano que se puede iniciar una actividad de manera que no se retrase el tiempo total del proyecto.

FECHA MAS LEJANA DE TERMINACION (FMLT).

La fecha más lejana de terminación (FMLT) es el tiempo esperado (duración estimada) de la actividad a la fecha más lejana de iniciación. Esto es, lo más tarde que se pueda concluir una actividad si la iniciamos en su fecha más lejana de iniciación (Ref. 9).

Ahora bien, el círculo que representa un evento lo dividiremos en tres secciones para poder anotar la fecha más próxima de iniciación (FMPI) y la fecha más lejana de terminación (FMLT). La primera sección (parte superior) servirá para registrar el número del evento en cuestión, la segunda sección (parte inferior derecha) servirá para anotar la FMPI y por último la tercera sección (parte inferior izquierda) servirá para anotar la FMI (figura j).

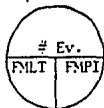


Figura j

Como es posible calcular las fechas más próximas de iniciación y terminación de cada actividad, podemos realizar el mismo procedimiento de cálculo para obtener las fechas más lejanas de iniciación y terminación de cada actividad, de acuerdo con la duración total del proyecto. El cálculo de estas fechas es sencillo: lo más pronto que una actividad se puede iniciar es la fecha más próxima en que todas sus precedentes se pueden terminar. Lo más pronto que se puede terminar es simplemente la fecha más próxima de iniciación (FMPI) más la duración requerida para su terminación (D).

El primer cálculo que se hace es el de las fechas más próximas de iniciación (FMPI) de cada actividad y el procedimiento es el siguiente: (Ref. 10).

1.- Por convención asignamos una fecha más próxima de iniciación igual a cero para el primer evento (FMPI = 0).

2.- Se procede a sumar la duración de cada una de las actividades que principian en ese evento y se anota del lado izquierdo del evento de terminación respectivamente. Este tiempo corresponde a su fecha más próxima de iniciación (FMPI).

3.- En el caso de actividades cuyo evento de terminación sea el mismo, deberá considerarse el valor máximo que arrojen los cálculos del paso 2, siendo éste la fecha más próxima de iniciación (FMPI) de la siguiente actividad.

4.- Se repiten los pasos 2 y 3 hasta que se calcule la fecha más próxima de iniciación de todas las actividades.

5.- La fecha más próxima de iniciación del último evento corresponde al tiempo en que se puede llevar a cabo el proyecto (es la duración total del proyecto).

El segundo cálculo que se hace es el de las fechas más lejanas de terminación (FMLT). Esta determinación se efectúa en forma inversa a la anterior y el procedimiento es el siguiente:

1.- Partimos del hecho de que la fecha más próxima de iniciación del úl-

timo evento es igual a la fecha más lejana de terminación del último evento.

FMPI = FMLT en el último evento

2.- Se restan de dicho valor las duraciones de cada una de las actividades que terminan en ese evento y se anotan del lado izquierdo del evento de iniciación respectivamente, siendo estos valores la fecha más lejana de terminación (FMLT).

3.- Cuando dos o más actividades tengan el mismo evento de iniciación, debe considerarse el valor mínimo que arrojen los cálculos del paso 2 siendo éste la fecha más lejana de terminación de las actividades anteriores.

El final consiste en calcular la fecha más lejana de iniciación (FMLI) y la fecha más próxima de terminación (FMPT) de acuerdo a las siguientes relaciones:

Fecha más próxima de terminación = Fecha más próxima de iniciación

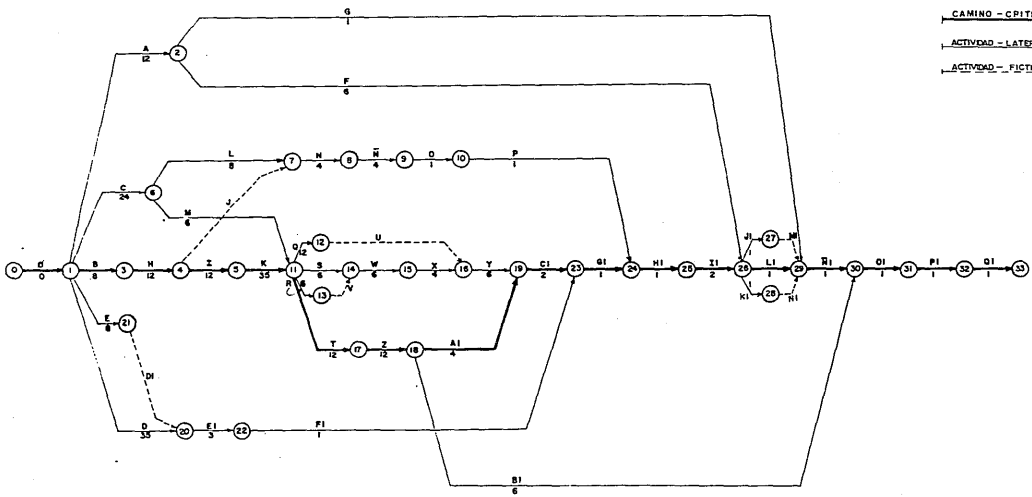
$$\begin{array}{c} + \\ \text{Duración} \\ \text{FMPT}_{(j)} = \text{FMPI}_{(i)} + D_{(i,j)} \end{array}$$

Fecha más lejana de iniciación = Fecha más lejana de terminación

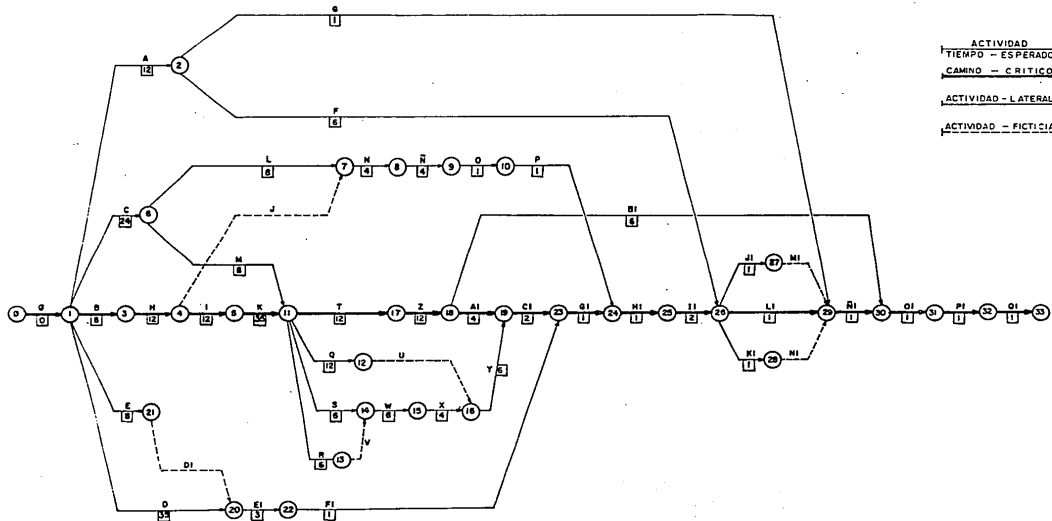
$$\begin{array}{c} - \\ \text{Duración} \\ \text{FMLI}_{(i)} = \text{FMLT}_{(j)} - D_{(i,j)} \end{array}$$

Con lo anteriormente expuesto se procede a calcular las fechas más próximas de iniciación y terminación así como las fechas más lejanas de iniciación y terminación auxiliándonos en la red de tiempos esperados (ver red para la determinación de las holguras).

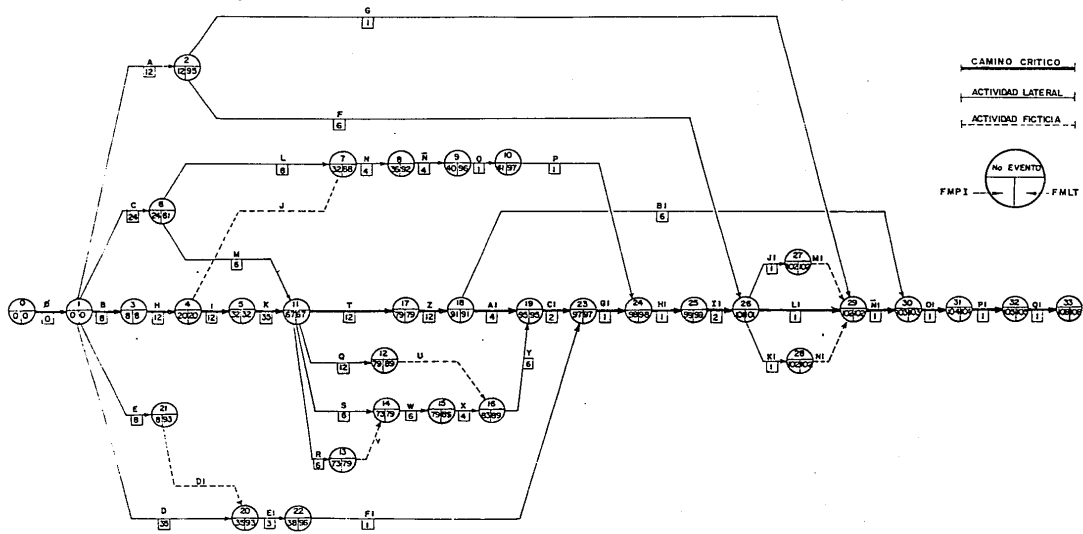
CLAVE - ACTIVIDAD
 TIEMPO ESPERADO
 CAMINO - CRITICO
 ACTIVIDAD - LATERAL
 ACTIVIDAD - FICTICIA



U	N	A	M
FACULTAD	DE	QUIMICA	
TESIS	PROFESIONAL		
RED	PRELIMINAR		
M. GALICIA	A. RIVERA		



U	N	A	M
FACULTAD DE QUIMICA			
TESIS PROFESIONAL			
RED DE TIEMPOS ESPERADOS			
M. GALICIA		A. RIVERA	



U	N	A	M
FACULTAD DE QUIMICA			
TESIS PROFESIONAL			
RED PARA DETERMINACION DE			
M GALICIA A. RIVERA			

MATRIZ DE ELASTICIDAD

Existe un procedimiento que nos proporciona la posibilidad de retrasar una actividad sin consecuencia para las otras, es decir a flexibilidad de las mismas.

Dicho procedimiento se basa en la determinación de las holguras: la holgura del evento, la holgura total, la holgura libre y la holgura independiente (Ref. 11).

La holgura del evento es la diferencia entre la fecha más próxima de iniciación (FMPI) y la fecha más lejana de terminación (FMLT) en cualquier evento. Esta diferencia se representa como HE.

$$HE = FMPI - FMLT \text{ en cualquier evento.}$$

La holgura total es el total del tiempo extra disponible para una actividad, considerando que todas las actividades precedentes (anteriores de las cuales depende), se iniciaron en sus fechas más próximas de iniciación y que todas las actividades sucedentes (posteriores) se empezarán en sus fechas más lejanas de iniciación.

La utilización de la holgura total de la actividad es la suma del tiempo que una actividad puede retrasarse sin afectar el tiempo total del proyecto. Para calcularla se emplea la siguiente expresión:

$$\text{Holgura total}_{(i,j)} = \text{Fecha más lejana de iniciación}_{(i)} - \text{Fecha más próxima de iniciación}_{(j)}$$

$$HT_{(i,j)} = FMLI_{(i)} - FMPI_{(i)}$$

ó alternativamente:

$$\text{Holgura total}_{(i,j)} = \text{Fecha más lejana de terminación}_{(j)} - \text{Fecha más próxima de terminación}_{(j)}$$

$$HT_{(i,j)} = FMLT_{(j)} - FMPT_{(j)}$$

La holgura libre es el exceso de tiempo disponible para una actividad, si cada actividad en el proyecto principia en su fecha más próxima de iniciación. Es la suma del tiempo que puede posponerse una actividad sin interferir con el trabajo (actividad o actividades) sucesentes.

Por lo tanto:

$$\text{Holgura libre}_{(i,j)} = \text{Holgura total}_{(i,j)} - \text{Holgura del evento}_{(j)}$$

$$HL_{(i,j)} = HT_{(i,j)} - HE_{(j)}$$

La holgura independiente es el exceso mínimo de tiempo disponible sobre el tiempo requerido (duración). La holgura independiente es una cantidad útil de evaluar, ya que proporciona una medida de la variación del tiempo de iniciación de las actividades sin afectar ningún otro trabajo del proyecto. Con esto queremos decir que si una actividad tiene holgura independiente, su tiempo de iniciación puede ser diferido hasta su límite sin afectar ningún otro trabajo (actividad) del proyecto. La holgura independiente se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$\text{Holgura independiente}_{(i,j)} = \text{Holgura libre}_{(i,j)} - \text{Holgura del evento}_{(i)}$$

$$HI_{(i,j)} = HL_{(i,j)} - HE_{(i)}$$

Con base a lo anterior es posible identificar a las actividades críticas, las cuales deben cumplir con todas las condiciones siguientes:

- 1.- $FMPI = FNLI$
- 2.- $FMPI = FMLT$
- 3.- $FMPT = FNLI = D$
- 4.- $HT = HL = HI = 0$

Puede observarse que las actividades críticas no pueden retrasarse, ni en

su inicio ni en su duración y no tienen holgura, un retraso en estas actividades provocaría un retraso en el proyecto (Ref. 12).

Aplicando las relaciones mencionadas hasta el momento, es posible construir la matriz de holgura de eventos y con ésta la matriz de flexibilidad o matriz de holguras; ambas aparecen a continuación.

HOLGURA DE EVENTOS.

<u>Número de evento</u>	<u>FMPI</u>	<u>FMLT</u>	<u>HE</u>
0	0	0	0
1	0	0	0
2	12	95	83
3	8	8	0
4	20	20	0
5	32	32	0
6	24	61	37
7	32	88	56
8	36	92	56
9	40	96	56
10	41	97	56
11	67	67	0
12	79	89	10
13	73	79	6
14	73	79	6
15	79	85	6
16	83	89	6
17	79	79	0
18	91	91	0
19	95	95	0
20	35	93	58
21	8	93	85
22	38	96	56
23	97	97	0
24	98	98	0
25	99	99	0
26	101	101	0

27	102	102	0
28	102	102	0
29	102	102	0
30	103	103	0
31	104	104	0
32	105	105	0
33	106	106	0

MATRIZ DE FLEXIBILIDAD O MATRIZ DE HOLGURAS. (MATRIZ DE ELASTICIDAD).

<u>ACTIVIDAD</u> <u>(CLAVE)</u>	<u>CODIGO DE</u> <u>SECUENCIA</u>	<u>DURACION</u> <u>(DIAS)</u>	<u>FMPI</u>	<u>FMPT</u>	<u>FMLI</u>	<u>FMLT</u>	<u>HT</u>	<u>HL</u>	<u>HI</u>
O	(0,1)	0	0	0	0	0	0	0	0
A	(1,2)	12	0	12	83	95	83	0	0
B	(1,3)	8	0	8	0	8	0	0	0
C	(1,6)	24	0	24	37	61	37	0	0
D	(1,20)	35	0	35	58	93	58	0	0
E	(1,21)	8	0	8	85	93	85	0	0
F	(2,26)	6	12	18	95	101	83	83	0
G	(2,29)	1	12	13	101	102	89	89	6
H	(3,4)	12	8	20	8	20	0	0	0
I	(4,5)	12	20	32	20	32	0	0	0
J	(4,7)	0	20	20	88	88	68	12	12
K	(5,11)	35	32	67	32	67	0	0	0
L	(6,7)	5	24	32	80	88	56	0	37

M	(6,11)	6	24	30	61	67	37	37	0
N	(7,8)	4	32	36	88	92	56	0	56
N	(8,9)	4	36	40	92	96	56	0	56
O	(9,10)	1	40	41	96	97	56	0	56
P	(10,24)	1	41	42	97	98	56	56	0
Q	(11,12)	12	67	79	77	89	10	0	0
R	(11,13)	6	67	73	73	79	6	0	0
S	(11,14)	6	67	73	73	79	6	0	0
T	(11,17)	12	67	79	67	79	0	0	0
U	(12,16)	0	79	79	89	89	10	4	6
V	(13,14)	0	73	73	79	79	6	0	0
W	(14,15)	6	73	79	79	85	6	0	6
X	(15,16)	4	79	83	85	89	6	0	6
Y	(16,19)	6	83	89	89	95	6	6	0
Z	(17,18)	12	79	91	79	91	0	0	0
A1	(18,19)	4	91	95	91	95	0	0	0
B1	(18,30)	6	91	97	97	103	6	6	6
C1	(19,23)	2	95	97	95	97	0	0	0
D1	(20,21)	0	8	8	93	93	85	0	85

E1	(20,22)	3	35	38	93	96	58	2	54
FI	(22,23)	1	38	39	96	97	58	58	58
GI	(23,24)	1	97	98	97	98	0	0	*0
HI	(24,25)	1	98	99	98	99	0	0	*0
I1	(25,26)	2	99	101	99	101	0	0	*0
J1	(26,27)	1	101	102	101	102	0	0	*0
K1	(26,28)	1	101	102	101	102	0	0	*0
L1	(26,29)	1	101	102	101	102	0	0	*0
MI	(27,29)	0	102	102	102	102	0	0	*0
NI	(28,29)	0	102	102	102	102	0	0	*0
Ñ1	(29,30)	1	102	103	102	103	0	0	*0
O1	(30,31)	1	103	104	103	104	0	0	*0
P1	(31,32)	1	104	105	104	105	0	0	*0
Q1	(32,33)	1	105	106	105	106	0	0	*0

Una vez identificadas las actividades críticas se establece el camino o ruta crítica. Las actividades críticas fueron marcadas con el signo (*). Cabe hacer mención que hay actividades que no son críticas, pero al afectarles su holgura hasta cero, pueden convertirse en actividades críticas.

CAPITULO SEIS

CALCULO DE LAS PENDIENTES Y COMPRESION DE LA RED

CALCULO DE LAS PENDIENTES.

Se le llama pendiente de costos a la relación que existe entre el incremento del costo al disminuir el tiempo programado para la ejecución de una actividad. Esta relación se representa como c/t ó simplemente como c cuando t es igual a 1, por ejemplo la actividad D (ver matriz de pendientes) tiene una pendiente $M=707$ que nos indica el incremento al costo esperado de 707 por cada día que se desée disminuir la ejecución de la actividad D.

Se tomarán los valores determinados por los costos directos generados por la ejecución de cada actividad, como son salarios, material, pago de herramienta o equipo, entre otros, pero antes es necesario aclarar que estos valores son estimados ya que los datos reales son estrictamente confidenciales por cuestiones de seguridad de la empresa; sin embargo, guardan cierta proporción dentro de ellos en función de la magnitud de cada actividad.

Para la determinación de las pendientes de cada actividad aplicamos la siguiente fórmula establecida por el método de la ruta crítica, relacionando los costos esperados y óptimos con los tiempos esperados y óptimos.

$$M = \frac{Co - Ce}{te - to}$$

En donde:

M = Pendiente

Co = Costo óptimo

Ce = Costo esperado

to = Tiempo óptimo

te = Tiempo esperado

Por ejemplo:

La actividad D ya seleccionada tiene los siguientes valores.

Co = 68,310 \$ to = 27 días

Ce = 62,650 \$ te = 35 días

$$M = \frac{68.310 - 62.650}{35 - 27} = 707 \text{ S/día}$$

De este modo obtenemos los valores de M para cada actividad y la matriz de pendientes.

MATRIZ DE PENDIENTES.

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>te</u>	<u>to</u>	<u>Ce</u>	<u>Co</u>	<u>M</u>
Cero	-	-	-	-	-
A	12	9	20,460	22,590	710
B ^o	8	6	13,640	14,860	610
C	29	18	41,280	48,020	1,123
D	35	27	62,650	68,310	707
E	8	6	13,640	14,860	610
F	6	4	9,560	10,920	680
G	1	1	1,665	2,270	0
H ^o	12	9	19,980	27,430	2,483
I ^o	12	9	21,060	26,005	1,648
J	-	-	-	-	-
K ^o	35	27	60,200	72,400	1,525
L	8	6	13,880	15,040	580
M	6	4	9,640	11,380	670
N	4	3	6,820	7,930	1,110
Ñ	4	3	6,300	7,000	700
O	1	1	1,655	2,250	0

P	1	1	1,670	2,275	0
Q	12	9	20,100	22,520	806
R	6	4	9,000	9,930	465
S	6	4	8,980	10,050	535
T ^a	12	9	19,980	27,430	2,483
U	-	-	-	-	-
V	-	-	-	-	-
W ^b	6	4	9,260	13,260	2000
X	4	3	7,470	8,540	1070
Y	6	4	9,980	10,990	505
Z ^c	12	9	19,980	27,430	2,483
A1 ^d	4	3	6,700	7,840	1,140
B1	6	4	9,260	13,260	2,000
C1 ^e	2	1	2,315	3,460	1,145
D1	-	-	-	-	-
E1	3	2	4,695	4,180	515
F1	1	1	1,675	2,245	0
G1 ^f	1	1	1,675	2,245	0
H1 ^g	1	1	1,675	2,245	0

I1*	2	1	2,315	3,420	1,105
J1	1	1	1,720	2,380	0
K1	1	1	1,720	2,380	0
L1*	1	1	1,720	2,380	0
M1	-	-	-	-	-
N1	-	-	-	-	-
N1*	1	1	1,720	2,380	0
O1*	1	1	1,720	2,380	0
P1*	1	1	1,375	2,245	0
Q1*	1	1	1,375	2,245	0

Nota: todas las actividades marcadas con (*) forman parte de la ruta crítica.

COMPRESION DE LA RED.

Llamamos compresión de la red a la disminución de tiempo total de programa establecido en la red de tiempos.

Para efecto de esta compresión es necesario hacer uso de los tiempos esperados y óptimos, así como las pendientes para cada actividad.

El tiempo esperado nos marcará el tiempo normal de ejecución, mientras que el óptimo nos indicará la posibilidad práctica de reducir ése tiempo de ejecución, para que finalmente la pendiente nos marque el costo diario por disminución del tiempo de ejecución (sean horas, días, semanas, meses, etc); siendo este capítulo el índice más claro de la relación tiempo-costos de la programación por el método de la ruta crítica.

Como primer paso para llevar a cabo la compresión está considerada la realización de un nuevo diagrama o red de ruta crítica que contendrá los puntos contenidos en la matriz de pendientes (clave de la actividad y pendiente en la parte superior, tiempo esperado y tiempo óptimo en la parte inferior), siendo esta red muy similar a la red de tiempos esperados, con la variante mencionada y que describiremos a continuación para la actividad "D" como ejemplo.

D - 707

35 - 27

La anterior expresión se lee así: la actividad "D" tiene una pendiente de 707 y se puede realizar a un tiempo esperado de 35 días ó a un tiempo óptimo de 27 días.

A la nueva red la llamaremos red de información y análisis para la compresión, (ver diagrama en pág. 116).

Una de las condiciones establecidas al realizar este programa de ruta crítica para el arranque de la planta es la siguiente: a las actividades cuyo tiempo de ejecución sean menores a un día, no es posible indicarlo como actividades de tiempo cero debido a que tienen una duración de horas, sien-

do la condición darles un tiempo mínimo de 1 día a estas actividades que pueden verse en la matriz de tiempos y en la cual se encuentra el mismo valor numérico para los tres tiempos (óptimo, normal y pésimo) teniendo como consecuencia una pendiente $M=0$ debido a la fórmula:

$$M = \frac{C_o - C_e}{t_e - t_o}$$

Aplicaremos la condición de no comprimir las actividades de pendiente M con valor de cero ya que este valor se obtiene debido al valor de los tiempos o debido a los costos.

Como primer paso para la compresión de la red, se obtiene la "red de información y análisis para la compresión" (ver dibujo).

El segundo paso para la compresión de la red, consiste en hacer un análisis sobre la red anterior y para esto se divide el programa en todos los caminos posibles desde el evento inicial del proyecto hasta el evento final, acumulando los tiempos óptimos de las actividades que componen cada camino debiendo seleccionar el camino crítico (a tiempo óptimo) de mayor duración. Este tiempo es el menor en que se puede ejecutar todo el proyecto. La siguiente tabla muestra el análisis para la ruta crítica a tiempo óptimo.

<u>RUTA O</u>	<u>ACTIVIDADES</u>	<u>COMPONENTES</u>	<u>TIEMPO</u>
<u>CAMINO</u>			<u>OPTIMO</u>
I	0, A, G, Ñ1, O1, P1, Q1		14
II	0, A, F, G, Ñ1, O1, P1, Q1		18
III	0, C, L, N, Ñ, O, P, H1, I1, J1, M1, Ñ1, O1, P1, Q1		39
IV	0, C, M, T, Z, B1, O1, P1, Q1		47
V	0, C, M, T, Z, A1, C1, G1, H1, I1, L1, Ñ1, O1, P1, Q1		52

VI	O, B, H, I, K, Q, U, Y, C1, G1, H1, I1, L1, N1, O1, P1, Q1	73
VII	O, B, H, I, K, S, W, X, Y, C1, G1, H1, I1, K1, N1, N1, O1, P1, Q1	75
VIII	O, B, H, I, K, R, V, W, X, Y, C1, G1, H1, I1, L1, N1, O1, P1, Q1	75
IX	O, B, H, I, K, T, Z, A1, C1, G1, H1, I1, L1, N1, O1, P1, Q1	83
X	O, O, D1, E1, F1, G1, H1, I1, J1, M1, N1, O1, P1, Q1	38
XI	O, E, E1, F1, G1, H1, I1, J1, M1, N1, O1, P1, Q1	17

De el análisis anterior observamos que la ruta crítica a tiempo óptimo es el camino IX con 83 días de ejecución, que además es la ruta crítica establecida desde el capítulo de construcción de la "red de tiempos esperados", siendo esto casual, ya que normalmente la ruta crítica (eje del diagrama) resulta diferente al existente debiendo continuar con la compresión de la nueva ruta crítica resultante (en este caso es la misma).

Antes de empezar la compresión haremos la siguiente aclaración: llamaremos "puentes" a las actividades que tengan interrelación directa o indirecta con la terminación o reencuentro. Estos "puentes" nos permitirán hacer un análisis seccionado para la compresión de la red.

El tercer paso consiste en marcar la ruta crítica a tiempo óptimo que de la tabla anterior resultó (la marcada como IX) y que comprende las actividades O, B, H, I, K, T, Z, A1, C1, G1, H1, I1, L1, N1, O1, P1, Q1 (ver diagrama de la ruta crítica comprimida).

Es necesario recordar que todas estas actividades se ejecutarán en tiempo óptimo.

En la red en tiempo óptimo se indicarán la clave de la actividad correspondiente a la lista, el incremento total sufrido por el costo de compresión y el tiempo programado de ejecución; este tiempo será el esperado para las

actividades que no es necesario comprimir, excepto para las actividades de la ruta crítica (eje de la red).

Como cuarto y último paso, tenemos el de la compresión de cada puente o sección lateral de la red. Lo haremos auxiliándonos con la red de información y análisis para la compresión. Una vez establecida la ruta crítica de nuestra red comprimida en el paso anterior, haremos el siguiente análisis:

a) Determinamos el intervalo disponible para ejecutar el proceso por analizar (ver el proceso A-G comprendido entre los días 0 y 77).

b) Se examina la posibilidad de realizar este proceso a tiempo normal o sea tener los tiempos acumulados de las actividades A,G que nos dá un total de 13 días menor a los 77 días disponibles del intervalo de 0 a 77, por lo tanto, este proceso no necesita compresión y se realizará a tiempo normal quedando una holgura de 64 días.

El proceso A-F comprendido entre los días 0-76 con tiempo normal de ejecución igual a 18 y menor al tiempo disponible de 76, se realizará a tiempo normal quedando una holgura de 58 días.

El proceso C-L-N-N-O-P, se realizará a tiempo normal ya que su tiempo normal de ejecución será de 42 días contra 74 disponibles arrojando una holgura de 32 días.

El proceso C-M tiene tiempo de ejecución de 30 días contra 51 disponibles, que nos dá una holgura de 21 días tampoco se comprime.

La actividad B1 tiene tiempo normal de ejecución de 6 días contra 9 disponibles, no se comprime, tiene una holgura de 3 días.

El proceso S-W-X-Y tiene un tiempo de ejecución normal de 22 días contra 21 disponibles por lo tanto se comprimirá este proceso en 1 día, para lo cual se establecen las siguientes condiciones: la serie debe comprimirse en forma sucesiva tomando primero las actividades con menor pendiente M hasta llegar a la menor, únicamente deben comprimirse las actividades que sean necesarias, no todas. Las actividades con pendiente igual a cero no

se comprimen.

Tomando en cuenta lo anterior se comprime la actividad W en 1 día con lo cual tenemos los días necesarios para satisfacer el tiempo disponible de 21 días comprendido entre 51 y 72.

Las actividades J1 y K1 no se comprimen por tener pendiente igual a cero.

La actividad Q tiene tiempo normal de ejecución de 12 días contra 15 disponibles, por lo cual no se comprime ya que tiene una holgura de 3 días.

La actividad R es idéntica y simultánea a S y no le afecta la compresión del proceso en el que se encuentra S, por lo cual no se comprime y se efectúa en su tiempo normal de ejecución de 6 días.

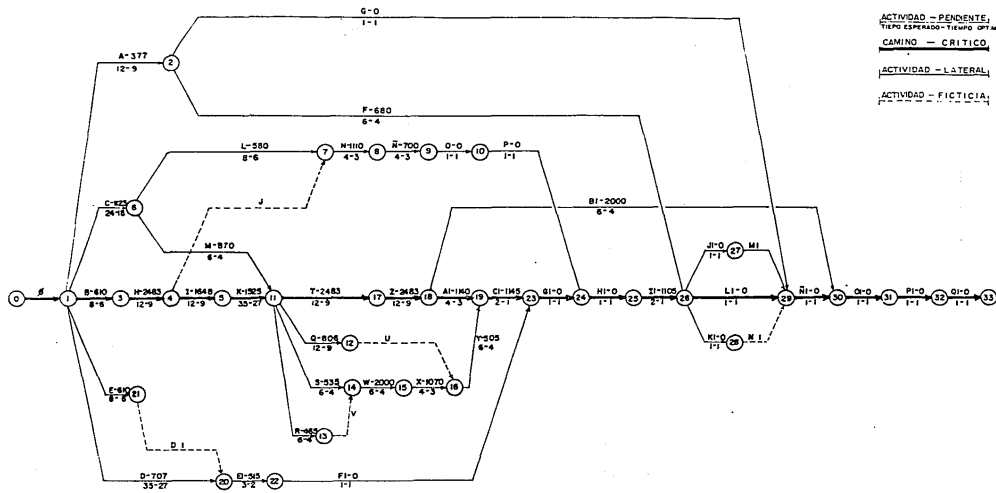
La actividad E tiene tiempo normal de 8 días contra 35 disponibles, no se comprime, tiene holgura de 27 días.

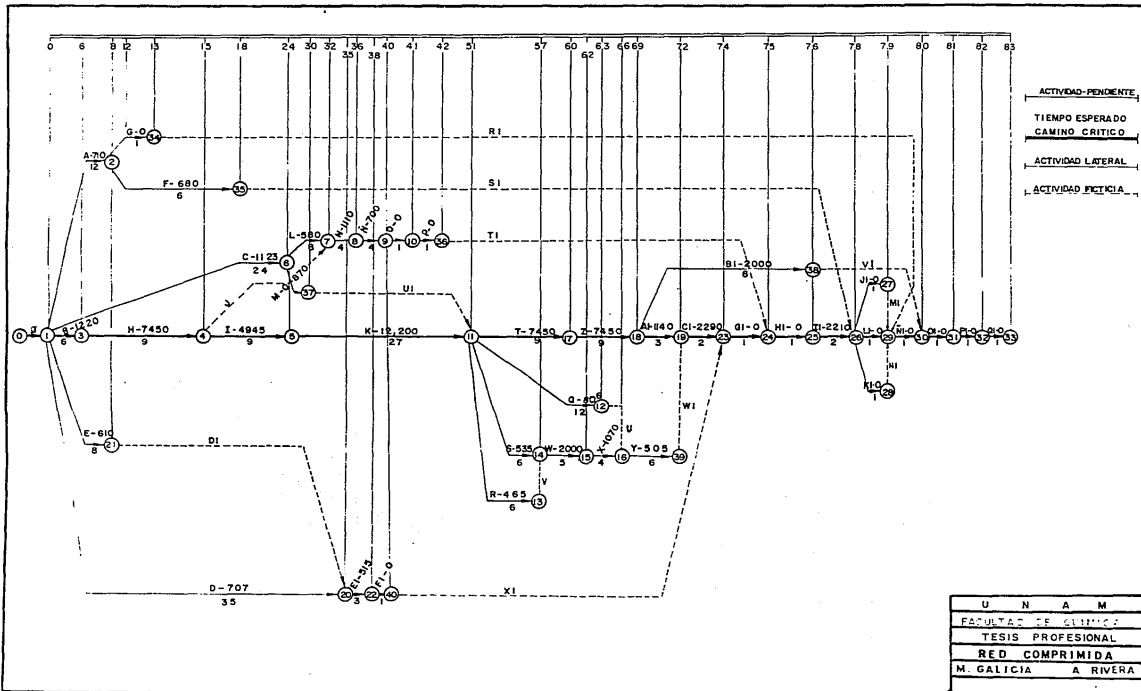
El proceso D-EI-FI tiene tiempo normal de 38 días contra 73 disponibles, que nos da una holgura de 35 días.

De esta manera se obtiene la red comprimida (ver dibujo).

NOTA: debido a la desproporción de tiempos de ejecución entre algunas actividades, la red se construye como red de vencimientos sucesivos pero medida para facilitar la distribución y hacerla más homogénea.

Asimismo se hace uso de actividades ficticias para una mejor visualización del intervalo de tiempo en el cual deben ejecutarse las actividades laterales.





CAPITULO SIETE

ETAPA DE ANALISIS Y EVALUACION

ORDENES DE TRABAJO.

Es necesario efectuar cada una de las actividades en forma ordenada para poder llevar a cabo la ejecución del proyecto, por lo cual se hace necesario el uso de las llamadas ordenes de trabajo. En dichas ordenes se dan las indicaciones precisas para que la actividad se realice por la persona o grupo de personas responsables, de acuerdo con los planos generales, en el tiempo, en la cantidad y con la calidad requeridas.

Para el caso particular del presente proyecto, se usan un tipo de ordenes de trabajo que incluyen un análisis de los requisitos para efectuarlo así como una sección que deberá ser llenada en caso de que el trabajo sea considerado como peligroso y por último (y muy importante) el tiempo y costo aproximado (Fig. A).

Esta hoja de la orden de trabajo se maneja a manera de solicitud de trabajo y deberá entregarse una copia a cada uno de los integrantes del grupo técnico para ser analizada y programada, en ella se indica el mes y el día en que se solicita el trabajo. Queda a consideración del grupo técnico si se debe realizar el trabajo de manera ordinaria o urgente. El personal encargado del arranque de la planta, analizará los requisitos indispensables para efectuar el trabajo, incluyendo las medidas de seguridad necesarias para realizarlo. Si se considera que en el desarrollo del trabajo, se debe llenar la sección de "permisos para trabajos difíciles y peligrosos" y el personal autorizado del departamento de inspección y seguridad de la planta determinará el tipo de protección necesaria encargándose también de suministrarla.

Cuando llegue el día de la ejecución del trabajo, el personal de operación verificará el cumplimiento de las indicaciones hechas en el análisis y comprobará que se lleven a cabo las recomendaciones hechas al personal ejecutor.

GERENCIA DE REFINACION		NUM. SOLICITUD	
ACTIVIDAD:		PLANTA O LUGAR DE TRABAJO	
DESCRIPCION:		FECHA:	
		EJECUTARA:	
		O ORDIN. O URG.	
		RAZON DE URGENCIA:	
ANALISIS DE REQUISITOS PARA EFECTUAR EL TRABAJO		SI	NO
ESTARA EN OPERACION EL EQUIPO?			
ESTA PURGADO ?			
CON VALVULAS ?			
ESTA NEUTRALIZADO ?			
ESTA VAPORIZADO ?			
DUCTO INFLAMABLE ?			
DESENERGIZADO ?			
ALTA TENSION ?			
EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL ?			
LEGAL ?			
VERIFICO CONDICIONES		NOMBRE	
PERMISO PARA TRABAJO PELIGROSO			
FECHA:			
EQUIPO CONTRAINCENDIO:			
RESPONDERSE EN CASO DE FUGAS O EMERGENCIAS			
POR INSPECCION Y SEGURIDAD			
NOMBRE:		TALLER:	
RECOMENDACIONES:			
INICIA:	TERMINA:	COSTO	NS

FIG. A

REPORTE DE AVANCES.

Es necesario tener el control del proyecto, por lo que se debe determinar con precisión el avance logrado en cada una de las actividades para obtener con ello el avance total del proyecto. En el presente trabajo nos valemos de un formato que contiene una programación de barras que nos permite apreciar el avance real con respecto al avance programado para cada una de las actividades, así como su porcentaje relativo y en base a esto se determina el avance total del proyecto (fig. B).

Es muy importante llevar esta gráfica de control desde el inicio del proyecto, ya que nos permite vigilar que actividades han sufrido retraso con respecto al tiempo programado y determinar la forma en que nos afectará a la terminación del proyecto.

Es de mencionar que existen otras formas efectivas de control como son la gráfica de avance y la gráfica de rendimiento y aunque no se hace uso de ellas en el presente trabajo, sí es muy común su uso.

En el caso de la gráfica de avance, ésta contiene además de la red, una franja en la parte inferior donde se indica el avance logrado en cada unidad de tiempo. La gráfica de rendimiento nos sirve para observar el ritmo o velocidad del trabajo así como las metas parciales que se van logrando con el transcurso del tiempo.

PLAN PROGRAMA DE CONSTRUCCION Y PORCENTAJE DE AVANCE

OBRA: _____												EASE: _____ DESCRIP: _____		PARTE CONST: _____ DESCRIP: _____													
NO. PROYECTO _____																											
CONTRATO: _____ CIA: _____																											
NIV	CONCEPTO	% REL.	% AV.													OBSERVACIONES											
				P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R		P	R	P	R	P	R					

FIG. B

ANALISIS

Ahora, haremos un análisis de los costos para establecer un modelo de la matriz de aumentos que nos permitirá establecer el costo total del proyecto a tiempo normal y a tiempo óptimo para las respectivas redes. Al igual que en la matriz de pendientes, utilizaremos datos ficticios ya que los reales se consideran información confidencial, pero guarda cierta proporción con éstos.

Estos costos establecidos en la matriz de aumentos, serán los costos directos para realizar las actividades de arranque, así como los gastos fijos de la planta y el costo de maquinaria y herramienta adquirida.

De esta forma tenemos en la matriz de aumentos el costo de las actividades a tiempo normal, el incremento por la optimización del tiempo y el costo total de cada actividad, para obtener la suma de los costos normal y óptimo del proyecto, quedando la matriz de aumentos de la siguiente forma:

MATRIZ DE AUMENTOS

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>COSTO NORMAL</u> (N \$)	<u>INCREMENTO</u>	<u>COSTO TOTAL</u> (N \$)
Cero	-	-	-
A	20,460	0	20,460
B	13,640	1,220	14,860
C	41,280	0	41,280
D	62,650	0	62,650
E	13,640	0	13,640
F	9,560	0	9,560
G	1,665	0	1,665
H	19,980	7,450	27,430
I	21,060	4,945	26,005
J	-	-	-
K	60,200	12,200	72,400
L	13,880	0	13,880
M	9,640	0	9,640

N	6,820	0	6,820
Ñ	6,300	0	6,300
O	1,655	0	1,655
P	1,670	0	1,670
Q	20,100	0	20,100
R	9,000	0	9,000
S	8,980	0	8,980
T	19,980	7,450	27,430
U	-	-	-
V	-	-	-
W	9,260	2,000	11,260
X	7,470	0	7,470
Y	9,980	0	9,980
Z	19,980	7,450	27,430
A1	6,700	1,140	7,840
B1	9,260	0	9,260
C1	2,315	2,290	4,605
D1	-	-	-
E1	4,695	0	4,695
F1	1,675	0	1,675
G1	1,675	0	1,675
H1	1,675	0	1,675
I1	2,315	2,210	4,525
J1	1,720	0	1,720
K1	1,720	0	1,720
L1	1,720	0	1,720
M1	-	-	-
N1	-	-	-
Ñ1	1,720	0	1,720
O1	1,720	0	1,720
P1	1,675	0	1,675
Q1	<u>1,675</u>	<u>0</u>	<u>1,675</u>
TOTALES	451,110	48,355	499,465

Realizando un resumen de la tabla anterior, observamos lo siguiente:

Costo de las actividades del proyecto a tiempo normal	N\$ 451,110
Gastos fijos de la planta	N\$ 172,000
Costo de equipo (máquinas y herramientas)	N\$ 50,000
Costo total del proyecto a tiempo normal (106 días)	N\$ 673,110
Costo de las actividades del proyecto a tiempo óptimo	N\$ 499,465
Gastos fijos de la planta	N\$ 102,000
Costo de equipo (máquinas y herramientas)	N\$ 50,000
Costo total del proyecto a tiempo óptimo (83 días)	N\$ 651,465
Incremento del costo del proyecto	N\$ 48,355
Reducción del costo total del proyecto	N\$ 21,645

Como podemos observar en los dos puntos finales, se incrementó el costo de las actividades del proyecto debido a la reducción del tiempo de ejecución (83 días) siendo ésta la máxima compresión posible de la red del proyecto, pero también se logra reducir el rubro de los gastos fijos de la planta, de tal manera que la diferencia arroja un saldo positivo. Este costo óptimo no es el determinante en el proyecto, pues el costo real dependerá de las decisiones tomadas por el responsable del arranque inicial.

Al reducir al máximo el tiempo de arranque de la planta, la selección del costo óptimo no se hizo analíticamente, pero sí se puede determinar de la siguiente manera:

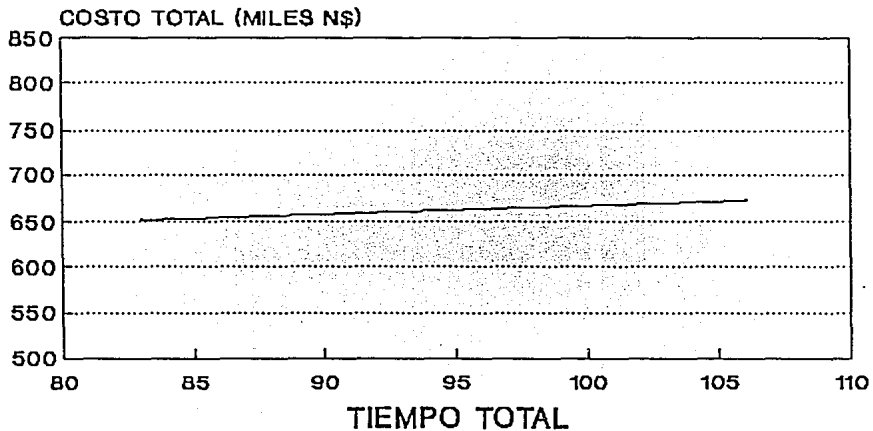
Primero se determina aleatoriamente un tiempo de ejecución intermedio a los valores de 83 y 106 días, posteriormente se realiza una red que se ajuste a ese valor elegido, tomando como base la red de tiempos normales ya elaborada.

Repitiendo el mismo procedimiento para la compresión máxima de la red y siguiendo el análisis económico de esta nueva red para comparar los costos con los dos anteriores, si resulta este nuevo valor mayor o igual que los antecedentes, nos indicará que ya no es posible reducir el costo del proyecto y por lo tanto resultará vano hacer más tanteos.

En caso de que el costo total de la red intermedia analizada sea menor a cualquiera de los dos costos anteriormente establecidos, debe investigarse minuciosamente, con el número de tanteos que sea necesario, a diferentes tiempos de ejecución hasta encontrar el costo óptimo que se obtendrá después de varias estimaciones.

La siguiente página muestra una gráfica del costo del proyecto para sus condiciones extremas de ejecución (a tiempo normal y a su máxima compresión) para analizar más objetivamente el comportamiento económico durante el arranque. No se presentan redes intermedias por las condiciones ya mencionadas de ejecutar el proyecto al menor tiempo posible; esto es posible cuando las utilidades del costo de venta de los productos son considerablemente mayores que el incremento en el costo del proyecto.

COSTO TOTAL DEL PROYECTO



CONCLUSIONES.

Como se mencionó en la introducción, el objetivo del presente trabajo fué establecer un programa para la puesta en operación de la planta petroquímica de acrilonitrilo de San Martín Texmelucan, usando el método de la ruta crítica. El desarrollo del método arrojó como resultado final un tiempo óptimo de 83 días (máxima compresión), el cual estuvo ligeramente por debajo del tiempo real de ejecución reportado por el personal de arranque de la planta (14 semanas ~ 98 días); sin embargo tomando en consideración los contratiempos normales en el arranque de una planta de tal magnitud, se concluye que el arranque fué programado y ejecutado satisfactoriamente, demostrando con ello que el método de la ruta crítica es muy funcional cuando se complementa su metodología con la experiencia adquirida, ya que aunque el arranque fué bueno, éste se puede mejorar aún más.

Por otra parte es necesario remarcar que la planeación es de vital importancia en el desarrollo profesional no sólo del ingeniero químico sino de todas las profesiones actuales y siempre será indispensable para resolver cualquier problema que se presente en forma óptima (mínimo costo y tiempo), pues visualiza la relación costo-tiempo en cualquier proyecto.

Es importante mencionar que el desarrollo del método de la ruta crítica en el trabajo presente se efectuó totalmente a mano sin recurrir al uso de algún programa de computación (aunque sí los hay) ya que se intentó mostrar a detalle cada paso del método tratándo de ser lo más explícito posible.

Por último concluimos que en el presente trabajo se muestra la importancia que tienen las materias administrativas como complemento recíproco de la información técnica que adquiere el ingeniero químico durante su desarrollo, ya que en todo arranque de plantas siempre debe existir una retroalimentación de la parte operativa hacia la parte de arranque, de construcción, de compras y de ingeniería. Sin dicha retroalimentación no es posible mejorar futuros arranques, ni optimizar costo y tiempo, por lo que se deben siempre registrar las experiencias adquiridas para su futura aplicación.

APENDICE

LISTA DE EQUIPO

TORRES

ADA-101	Torre de apagado
ADA-103	Torre absorbedora
ADA-104	Torre de recuperación
ADA-105	Torre fraccionadora de acetonitrilo
ADA-106	Torre de despunte
ADA-107	Torre de producto

REACTOR

ADC-101	Reactor
---------	---------

RECIPIENTES Y TANQUES

AHA-102	Tolva de catalizador
AFA-104	Tambor de vapor
AFA-106	Dearcador
AFA-107	Acumulador de purga de propileno
AFA-108	Acumulador de purga de amoniaco
AFA-110	Tanque antiespumante
AFA-111	Decantador de la torre de recuperación
AFA-112	Acumulador de reflujo de la torre fraccionadora
AFA-113	Tanque de carbonato de sodio
AFA-114	Tanque de ácido acético
AFA-115	Separador de arrastre de la torre de apagado
AFA-116	Decantador de la torre de despunte
AFA-117	Acumulador de reflujo de la torre de producto
AFA-119	Tanque de hidroquinona
AFA-120	Tanque de metil-éter de hidroquinona
AFA-121	Tanque colector sumergido
AFA-122	Tanque de agua contaminada
AFA-123	Tanque de salmuera
AFA-124	Separador de arrastre de propileno
AFA-125	Separador de arrastre de amoniaco

AFA-129 Tanque de solución de amoniaco
AFA-132A Tanque de medición de agua pulida
AFA-132B Tanque de medición de solución de amoniaco
AFA-132C Tanque de medición de metil-éter de hidroquinona
AFA-133 Tanque de sosa cáustica
AFA-137 Tanque de alimentación de agua al reactor
AFA-139 Acumulador de purga de AFA-104
AFA-140 Acumulador de balance de fondos de ADA-104
AFA-141 Acumulador de agua de sellos
AFA-142AB Acumulador de aire
AFA-143 Acumulador de aire de respiración
AFA-145 Acumulador de purga de la torre de producto
AFA-144 Separador de purga de la torre de producto
AFA-146AB Tanques de ácido sulfúrico
AFA-151AB Filtros de los fondos de la torre de despunte
AFA-152AB Filtros de los fondos de la torre de producto
AFA-913 Tanque de precapa
AFA-914 Tanque de admisión
AFA-915AB Filtros de catalizador
AFA-927 Acumulador separador del incinerador
AFA-929 Acumulador separador del quemador elevado
AFA-931 Separador del condensado de vapor al GB-101
AFA-932 Separador de líquido
AFA-933AB Separador de purgas del gas combustible
AFA-934AB Recipientes de drene de agua a calderas
AFA-935AB Recipientes de desagüe
ATK-126AD Tanque de producto diario
ATK-902 Tanque de acrilonitrilo producto
ATK-903 Tanque de acrilonitrilo fuera de especificaciones
ATK-904 Tanque de orgánicos de deshecho
ATK-905 Tanque de agua de desechos
ATK-940 Tanque de almacenamiento de ácido acético

INTERCAMBIADORES DE CALOR

AEA-102 Enfriador del efluente del reactor
AEA-104AB Vaporizadores de propileno

AEA-105AB Vaporizadores de amoniaco
AEA-107AB Enfriadores de la corriente lateral del absorbedor
AEA-108AB Intercambiadores de agua rica--agua pobre
AEA-109 Enfriador de agua solvente
AEA-110 Enfriador del agua del absorbedor
AEA-112 Precalentador de carga a la torre de despunte
AEA-113 Condensador de la torre de recuperación
AEA-114AB Rehervidores de la torre de recuperación
AEA-115 Condensador del fraccionador de acrilonitrilo
AEA-116AB Rehervidores de la torre de despunte
AEA-117 Enfriador de la corriente lateral de la torre de despunte
AEA-118 Condensador de la torre de despunte
AEA-119AB Rehervidores de la torre de producto
AEA-120 Condensador de la torre de producto
AEA-121 Condensador de desfogue de la torre de producto
AEA-122 Enfriador de producto
AEA-128 Sobrecalentador de amoniaco
AEA-129 Sobrecalentador de propileno
AEA-132 Enfriador de la solución de amoniaco
AEA-139 Post-enfriador de la torre de apagado
AEA-140 Condensador de vapor
AEA-141 Enfriador de condensado de los rehervidores
AEA-142 Condensador del eyector EE-126
AEA-144 Chiller de producto
AEA-145 Enfriador de aire de respiración

BOMBAS

AGA-102AC Bombas para enfriamiento al reactor
AGA-103AC Bombas de alimentación de agua de repuesto al reactor
AGA-105AC Bombas de ácido sulfúrico
AGA-106AH Bombas de antiespumante
AGA-107AC Bombas de circulación de líquido de la sección superior de ADA-
.101 (torre de apagado)
AGA-108AB Bombas de circulación de fondos de la torre de apagado
AGA-109AB Bombas de fondos de la torre absorbidora

AGA-110AB Bombas de circulación de la torre absorbidora
AGA-111AB Bombas de agua a la torre de recuperación
AGA-112AB Bombas de alimentación a la torre de despunte
AGA-113AB Bombas de carbonato de sodio
AGA-114AB Bombas de fondos de la fraccionadora de acetonitrilo
AGA-115AB Bombas de fondos de la torre de recuperación
AGA-116AB Bombas de la corriente lateral de ADA-104
AGA-117AB Bombas de reflujo de la torre fraccionadora
AGA-118AB Bombas de fondos de la torre de despunte
AGA-119AB Bombas de la corriente lateral de la torre de despunte
AGA-120AB Bombas de recirculación de agua
AGA-121AB Bombas de ácido acético
AGA-124AB Bombas de reflujo de la torre de producto
AGA-127AB Bombas de hidroquinona
AGA-129AD Bombas de metil-éter de hidroquinona
AGA-133 Bomba de sosa cáustica
AGA-135 Bomba tanque sumergido AFA-121
AGA-137 Bomba de agua contaminada
AGA-139AB Bombas de solución de amoniaco
AGA-141AB Bombas de salmuera
AGA-142AD Bombas de trasvase de acrilonitrilo producto
AGA-149AB Bomba circulación del post-enfriador
AGA-151AB Bombas de fondos de la torre de producto
AGA-152AC Bombas de agua de alimentación al reactor
AGA-161AC Bombas de condensado de los rehervidores de ADA-104
AGA-162AS Bombas de condensado de los rehervidores de ADA-106
AGA-163 Bomba de condensado de los rehervidores de ADA-107
AGA-164 Bomba de trasvase de ácido acético
AGA-902 Bomba de trasvase de acrilonitrilo crudo
AGA-903 Bomba de acrilonitrilo fuera de especificación
AGA-904AB Bombas de desechos orgánicos
AGA-905AB Bombas de agua de desechos
AGA-912AB Bombas de fondos de la torre de apagado
AGA-913AC Bombas de recirculación y precapa
AGA-914AB Bombas de aditivo
AGA-926AB Bombas de agua de sellos
AGA-929 Bomba del tambor separador del quemador elevado

AGA-930 Bomba de fosa abierta del drenaje químico
AGA-931 Bomba de analizador de ácido cianhídrico

COMPRESORES Y TURBINAS

AGB-101 Compresor de aire
AGB-130 Compresor de aire de instrumentos
AGB-131 Compresor de aire de plantas
AGB-140 Compresor de refrigeración
AGB-150 Compresor de aire de respiración
AGT-101 Turbina principal del AGB-101
AGT-140 Turbina principal del AGB-140

CALENTADOR Y QUEMADOR ELEVADO

ABA-101 Calentador de aire para arranque
ADA-901 Incinerador
ABA-902 Quemador

EYECTORES

AEE-106 Eyector del condensador vertical AEA-121
AEE-108 Eyector de rehervidores de la torre de despunte

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Harris, Robert B. "Técnicas de redes de flechas y precedencias para la construcción". Editorial Limusa, México, 1983.
- 2.- San Francisco. "Critical path method ideal tool for plant construcción" Mec. Eng. 1962.
- 3.- Trujillo, Juan José. "Elementos de ingeniería industrial". Editorial Limusa, 1er. Edición, 1970.
- 4.- Montaña, Agustín G. "Iniciación al método del camino crítico". Editorial Trillas 3a. Edición, 1972.
- 5.- Corzo, Miguel Angel. "Introducción a la ingeniería de proyectos". Editorial Limusa. 1er. Edición, 1972.
- 6.- Lowell, James K. "Programación de ruta crítica aplicado a la industria de la construcción". Editorial Limusa, 1er. Edición, 1975.
- 7.- Rodríguez, Caballero M. "Aplicación en ingeniería de métodos modernos modernos de planeación, programación y control de procesos productivos". Editorial Limusa-Wiley, Mex. 1969.
- 8.- Ilpes. "Guía para la presentación de proyectos". Editorial Siglo XXI. 2a. Edición. 1974.
- 9.- Ford, L.R. y Fulcerson, D.R. "Flows in networks". Princeton Press. New Jersey, 1962.
- 10.- Hu, T.C. "Integer programing and network flows". Adisson-Wiley Publishing Company, 1969.
- 11.- Kauffman, A. y Desbelle, G. "Método dle camino crítico". Editorial Sagitario S.A. Barcelona, 1964.
- 12.- Jauffred, M.F. y Moreno Bonnett, A. "Métodos de optimización, representación y servicios de ingeniería S.A. México, 1971.

- 13.- Talavera Rodarte V.A. "Métodos de programación aplicados a ingeniería civil" Tesis ESIA, IPN. Mex. 1975.
- 14.- Archibald, R.D. y Vilorio, L.R. "Network based management systems (PERT-CPM)" John Wiley & Sons. New York, 1966.
- 15.- Martino, R.L. "Determinación de la ruta Crítica" Editora técnica S.A. 1a. Edición, Mex. 1965.
- 15.- Martino, R.L. "Planeación de operaciones aplicada". Editora técnica S.A. 1a. Edición, Mex. 1965.
- 16.- Lazzaro, Victor. "Sistemas y procedimientos: un manual para los negocios y la industria" Editorial Diana, 1er Edición. Mex. 1985.