

Universidad Nacional de Ingenieria

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“ Optimización del Planeamiento y Ejecución de las
Inspecciones Generales del Complejo
de Fertilizantes de Talara ”**

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

FERNANDO SATURNINO PACHECO PALOMARES

PROMOCION: 1973 - I

LIMA PERU • 1989

EXTRACTO

Título: "OPTIMIZACION DEL PLANEAMIENTO Y EJECUCION DE LAS INSPECCIONES GENERALES DEL COMPLEJO DE FERTILIZANTES DE TALARA.

Autor: Fernando S. Pacheco Paomares

Grado a Optar: Ingeniero Mecánico y Eléctrico

Programa académico de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Universidad Nacional de Ingeniería

Lima - 1989

Por el presente trabajo se establece la metodología apropiada para minimizar los Costos Globales de las Inspecciones Generales del Complejo de Fertilizantes de Talara. Esto implica por un lado **optimizar** el Planeamiento de modo que se planifique para obtener el mínimo costo y por otro lado establecer los controles adecuados para que la ejecución de los trabajos se cumpla dentro del plazo programado.

Para este efecto se utilizan las ventajas actuales de la informática, básicamente relacionadas a programas para Microcomputadoras compatibles con "IBM", tal es el caso del "Harvard Total Project Management-HTPM", el "Harvard Graphics-HG", y el "Lotus 1-2-3", que hacen mas accesibles las técnicas de optimización aplicadas a la industria.

El procedimiento de optimización aquí presentado es aplicable a cualquier Planta Industrial, sin embargo hemos elegido para su aplicación concreta, al Complejo de Fertilizantes por ser de gran magnitud y por que su Inspección General conlleva una de las mayores movilizaciones de recursos de mantenimiento en el país.

Por tanto, se describe someramente el proceso de producción de la Urea y de los subproductos Amoniaco y CO₂. Aquí resaltamos las características de altas presiones y temperaturas a las cuales están sometidos los equipos de este Complejo, que hacen de su mantenimiento una constante labor de tecnificación y perfeccionamiento.

También describimos con un poco mas de detalle el proceso de Planificación de la Inspección General. Podemos establecer los siguientes pasos, no necesariamente secuenciales como los básicos para elaborar el PLaneamiento; pasos definidos por la experiencia de PETROPERU en el desarrollo y ejecución de estos Proyectos:

- 1.- Definición de los trabajos a realizar, en base a los resultados de la Inspección anterior.
- 2.- Gestión de los Materiales y Repuestos.
- 3.- Determinación de Trabajos Previos.
- 4.- Planificación de los trabajos y determinación de la Ruta Crítica óptima, utilizando el concepto de Mantenibilidad.
- 5.- Determinación de los recursos de Personal necesarios.
- 6.- Determinación de facilidades y herramientas a utilizar.
- 7.- Servicios a Terceros.
- 8.- Elaboración de Curvas de Control.

Establecemos un Capítulo para la Mantenibilidad por la importancia del concepto para su aplicación en este tipo de trabajos, dándonos en forma estadística un grado de certeza de cumplir con los plazos fijados.

El "HTPM" es un programa que nos dá una gran facilidad para establecer los Diagramas de Redes en una forma similar al "PERT-CPM", solo que en forma casi automática

con la ayuda del computador. Tambien nos determina las Rutas Criticas que, como todo Proyecto tiene la Inspección General.

El "HTPN" nos permite tambien asignar recursos a las diversas actividades que conforman las redes de cada subproyecto "Zona de Trabajo" y de este modo nos calcula el Costo por Mantenimiento de la Inspección General, sin incluir el correspondiente a Materiales y Repuestos; que por ser constante, lo consideramos separadamente.

Se efectúan iteraciones de estas rutas criticas calculándose el Costo por Mantenimiento para varias duraciones. Por otro lado se establece una Curva de Costos por Lucro cesante haciendo un análisis previo de este concepto y su aplicación específica al Complejo de Fertilizantes. Sumando los valores de Costos de Mantenimiento, Costos de Materiales y Repuestos que se estiman constantes y Costos por Lucro Cesante, se obtienen los valores del Costo Global, los cuales mediante el "HG" se grafican determinando de este modo el óptimo o el de menor costo.

Este punto de menor costo nos determina una duración o plazo máximo para la Inspección General, al que nuevamente se le aplica el concepto de Mantenibilidad para obtener el plazo medio o plazo al cual deben

programarse los trabajos. Ambos plazos, el máximo o restrictivo y el programado medio, sirven para establecer las Curvas de Control del Proyecto y cuya utilización nos permite garantizar que la ejecución de los trabajos se cumplirán dentro del plazo máximo señalado para el mínimo Costo Global.

TABLA DE CONTENIDO

1.- INTRODUCCION

2.- CAPITULO II: EL COMPLEJO DE FERTILIZANTES
NITROGENADOS

2.1.- RESEÑA HISTORICA

2.2.- DESCRIPCION OPERATIVA

2.3.- ANTECEDENTES DE INSPECCIONES GENERALES

3.- CAPITULO III: PLANAMIENTO TIPICO DE UNA
INSPECCION GENERAL

3.1.- DEFINICION DE TRABAJOS A REALIZAR

3.2.- LOGISTICA DE LOS MATERIALES Y REPUESTOS

3.3.- DETERMINACION DE TRABAJOS PREVIOS

3.4.- PLANIFICACION DE LOS TRABAJOS Y DETERMI-
NACION DE LA RUTA CRITICA

3.5.- DETERMINACION DE LOS RECURSOS DE PERSONAL
NECESARIOS

3.6.- FACILIDADES Y HERRAMIENTAS PARA LA EJECU-
CION DE LOS TRABAJOS

3.7.- SERVICIOS A TERCEROS

3.8.- ELABORACION DE CURVAS DE CONTROL

4.- CAPITULO IV; EL CONCEPTO DE MANTENIBILIDAD	63
4.1.- DEFINICION	63
4.2.- APLICACION EN EL PLANEAMIENTO DE INSPECCIONES GENERALES	67
5.- CAPITULO V: COSTOS DE LAS INSPECCIONES GENERALES	71
5.1.- COSTOS DE LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO	71
5.2.- COSTOS POR LUCRO CESANTE	78
5.3.- COSTOS GLOBALES DE LA INSPECCION GENERAL	82
6.- CAPITULO VI: EL USO DE "HARVARD TOTAL PROJECT MANAGEMENT"	86
6.1.- DESCRIPCION DEL PAQUETE "HTPM"	86
6.2.- APLICACION DEL "HTPM" A LAS INSPECCIONES GENERALES DE MANTENIMIENTO DEL COMPLEJO DE FERTILIZANTES	90
7.- CAPITULO VII: METODOLOGIA DE OPTIMIZACION DEL PLANEAMIENTO	107
7.1.- DETERMINACION DE VARIABLES	107
7.2.- ITERACIONES DE LA RUTA CRITICA	112
7.3.- CURVA DE COSTOS	117

8.- CAPITULO VIII: ANALISIS DE RESULTADOS	123
8.1.- TIEMPO OPTIMO DE EJECUCION DE LAS INSPEC- CIONES GENERALES DEL COMPLEJO DE FERTILIZANTES	123
8.2.- CUANTIFICACION DEL AHORRO OBTENIDO	126
9.- CONCLUSIONES	129
10.- BIBILIOGRAFIA	133
11.- ANEXOS	

ANEXOS

- 1.-- ANEXO I: RELACION DE EQUIPOS PLANTA DE AMONIACO
- 2.-- ANEXO II: RELACION DE EQUIPOS PLANTA DE UREA
- 3.-- ANEXO III: RELACION DE EQUIPOS SERVICIOS AUXILIARES
- 4.-- ANEXO IV: INSPECCION GENERAL DEL COMPLEJO DE
FERTILIZANTES:
 - IV-1.- ORGANIGRAMA
 - IV-2.- DISTRIBUCION DE ZONAS
 - IV-3.- CUADROS DE PERSONAL
 - IV-4.- CURVAS DE CONTROL
- 5.-- ANEXO V: ESTRUCTURA DEL "HTPM"
- 6.-- ANEXO VI: CALENDARIO "HTPM"
- 7.-- ANEXO VII: REPORTE DE LA INSPECCION GENERAL ANTES
DE LA OPTIMIZACION
- 8.-- ANEXO VIII: REPORTE DE LA INSPECCION GENERAL DESPUES
DE LA OPTIMIZACION

INTRODUCCION

El presente trabajo el cual me honro en presentar, considero que persigue dos objetivos fundamentales: El primero, permitirme optar el título profesional que por diversas razones fui postergando en forma tal vez innecesaria, y el segundo colaborar en forma pequeña pero efectiva, con la formación de una conciencia de elevación de la productividad, que estoy convencido es uno de los principales elementos dentro de un esquema de desarrollo de la Nación. El uso de Teorías de optimización de costos de mantenimiento como el aquí presentado, si bien es cierto se ha aplicado inicialmente a la industria petrolera con una adecuada difusión puede ser utilizado para elevar la productividad de cualquier **Planta Industrial**.

Entiendo que entre otros aspectos, el Perú y otros países subdesarrollados, lograrán entrar al tan ansiado camino del desarrollo, en la medida que su gente, sus técnicos, sus profesionales, en fin toda su población económicamente activa, adopten una actitud de real desafío a las bajas productividades. Debemos imprimir en todas las actividades del quehacer cotidiano de la Nación, un freno al derroche y tratar de emplear técnicas analíticas

para trabajar al mínimo costo. Esto no implicará disminución de la demanda de mano de obra, sino racionalizará su uso y así podremos dedicar los excedentes a otras actividades productivas, ya que trabajando al mínimo costo seremos cada vez mas competitivos en los mercados internacionales. En nuestra situación de crisis permanente no podemos darnos el lujo de trabajar con niveles de productividad bajos y con costos de producción mayores a los que se pueden lograr en base a estudios y análisis que en la actualidad están mas a la mano.

Como se ha mencionado, el presente estudio puede aplicarse cualquier Planta Industrial, pero hemos seleccionado en particular al Complejo de Fertilizantes por la magnitud del mismo y por que la Inspección General de este Complejo constituye una de las mayores movilizaciones de recursos de Mantenimiento a nivel nacional. El mantenimiento de los equipos involucrados siguen determinadas pautas de programación tal que cada 18 meses debe efectuarse una Inspección General o Parada por Mantenimiento del Complejo.

Esta actividad viene desarrollándose como un Proyecto y hasta el momento sus parámetros de duración son determinados por razones operativas o de producción. Es a partir del presente trabajo que podrán fijarse ahora

estos parámetros en base a consideraciones eminentemente técnico-económicas.

Se inicia el trabajo con una breve descripción del Complejo de Fertilizantes, su reseña histórica, su ubicación geográfica, los procesos de producción que siguen y se muestran las relaciones de los principales equipos que componen el Complejo.

En el Capítulo III se expone la forma como se elabora el Planeamiento típico de una Inspección General, tal como actualmente se realiza en Petroperú S.A. Operaciones Noroeste. Aquí también se persigue el objetivo de difundir esta técnica que ha sido implementada en Talara al amparo de su diversidad de Plantas Industriales y de Equipos que requieren ser intervenidos en Inspecciones Generales periódicamente. Estos han sido campo propicio para sucesivas mejoras del sistema.

El Capítulo IV por su lado pretende difundir el concepto de Mantenibilidad, concepto estadístico que permite tomar debidas precauciones sustentadas técnica analíticamente para cumplir con los plazos establecidos de ejecución de las Inspecciones Generales. De ahí la gran importancia que debemos darle a este concepto para su aplicación generalizada al mantenimiento.

Luego en el Capítulo V se realiza una descripción de los costos que intervienen en una Inspección General, diferenciándolos claramente y analizando las tendencias de cada uno de los componentes del Costo Global, el cual será el rubro a minimizar.

Por tratarse de un programa que ha facilitado en gran medida la elaboración de este trabajo, se dedica el Capítulo VI al "Harvard Total Project Management" o "HTPM", dando a conocer sus principales virtudes **tambien** limitaciones que pueda tener su aplicación. Siendo un paquete elaborado para el planeamiento y control de Proyectos, se analiza su aplicación a las Inspecciones Generales de Plantas, a las cuales se adapta perfectamenete. Su fácil acceso a través de **de** Microcomputadoras compatibles con IBM lo hacen mas **de** versátil que otros programas similares que dependen de computadoras de mayor capacidad. Sin embargo por esta misma facilidad, su aplicación se ve limitada por la capacidad de 640 Kbytes que utiliza como memoria. Para el manejo de gran cantidad de recursos y de acuerdo al número de actividades involucradas, deberá dividirse la **Inspección** General en grandes Proyectos que puedan manejarse independientemente en un directorio cada uno.

A medida que avanzamos en los Capítulos, vamos aplicando los conceptos dados a nuestro caso particular; de modo

que al llegar al Capítulo VII de "Metodología de Optimización del Planeamiento", con el esquema básico establecido; determinamos las variables sujetas a optimización. Seguidamente optamos por el método de iteraciones de la Ruta Crítica a fin de calcular Costos Globales de la Inspección General correspondientes a diversas duraciones. Todo esto nos permite trazar las Curvas de Costos utilizando el programa "Harvard Graphics" o "HG", llegando a la Curva de Costo Global que efectivamente presenta un punto mínimo al cual le corresponde la duración óptima.

En el Capítulo VIII analizamos en detalle los resultados de la aplicación de la metodología, evaluando los plazos óptimos, tanto el máximo como el programado o medio; los cuales determinan los límites de control que se usarán en la ejecución de los trabajos. También se cuantifica el ahorro que se estima obtener aplicando la presente metodología, comparándola con la metodología actual y con aquella que se empleaba al inicio de la operación del Complejo.

Al final se incluyen las Conclusiones a las cuales se arriba luego del análisis y aplicación de la técnica propuesta. Estas Conclusiones estamos seguros tomarán su verdadera dimensión al aplicarse a otras Plantas Industriales y se efectivice la difusión de la metodología propuesta.

En la Bibliografía se incluyen todos aquellos libros, informes y/o artículos, que han servido de consulta no solo sobre el fundamento teórico de la metodología, sino también sobre su concepción como fruto de la filosofía de la productividad y eficiencia de las actividades en general.

Finalmente quiero agradecer a todas aquellas personas del Departamento de Planificación de Mantenimiento perteneciente a la Superintendencia de **Ingeniería** Noroeste de Petroperú S.A., que muy abiertos al diálogo han sabido soportar y aportar en los debates que, sobre aquellos puntos que **consideré** debían discutirse, realizamos en conjunto. De este modo debo agradecer a los Srs. Alejandro Maguiña, Alfredo Lastra y Roger Babilonia por el apoyo recibido de cada uno de ellos en sus especialidades: Planeamiento, Informática y Costos, respectivamente. Con esta mención no es mi deseo omitir a los compañeros, que de una u **otra forma** han colaborado para que este trabajo se concrete; sea con el apoyo secretarial o el suministro de datos del Complejo de Fertilizantes, sino por el **contrario** agradezco profundamente todo el apoyo recibido y por el cual me enorgullezco en pertenecer esa excelente familia de trabajo que es el Departamento de Planificación de Mantenimiento

ausencias, que considero han rendido sus frutos. Así mismo un agradecimiento al constante aliento que recibí de mis hermanos, los que estoy seguro consideran también, con la presentación de este trabajo, el objetivo cumplido.

No podría concluir este recuento sin un recuerdo para mi madre que siempre iluminó mis días con el ideal del progreso y unas palabras, que al momento de escribirlas emocionan y pesan, por no haber sido emitidas tal vez en forma más oportuna, cuando mi padre aún estaba en vida, y que ahora desde el reino del altísimo, él **sabr**á comprender: MISION CUMPLIDA PAPA!.

II EL COMPLEJO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS DE TALARA

2.1 Reseña Histórica.

Desde mediados del presente siglo el desarrollo de la agricultura a nivel mundial ha estado ligado al uso de fertilizantes sintéticos, los que en razón de su alta capacidad de producción han cubierto con creces la limitada producción de fertilizantes naturales. Entre los fertilizantes sintéticos de mayor demanda en la actualidad se encuentra la Urea, que por su gran contenido de nitrógeno está considerada como elemento fundamental para el desarrollo de la agricultura.

La síntesis de Urea a partir del Amoníaco y Dióxido de Carbono se conoce en realidad desde el siglo pasado, sin embargo no alcanzó importancia comercial sino hasta el año 1920 cuando **I.G. Farbenindustrie** instaló su fábrica en Opau en Alemania. Posteriormente **otras fábricas** desarrollaron sus propias patentes como las de Dupont, Montecatini, Toyo Koatsu, etc. Aún cuando todas basaron su producción en las mismas materias primas,

relativamente baratas, las mismas no incrementaron sus capacidades debido al reducido mercado de la Urea que se circunscribía en aquella época principalmente a la industria de resinas y adhesivos.

A partir de 1950, el mercado agrícola tomó auge incrementándose la demanda de los fertilizantes nitrogenados y, teniendo la Urea muchas ventajas agro-económicas respecto a los otros fertilizantes, ocupó la preferencia de un importante sector de agricultores, motivando la innovación y aumento de capacidad de producción de las Plantas, apareciendo procesos nuevos y mejorados.

La agricultura en el Perú no ajena a esta evolución, incrementó también su demanda de fertilizantes sintéticos en especial Urea. Esta situación aunada a la existencia de gas natural en exceso en los campos petroleros del Nor Oeste, crearon las condiciones adecuadas para la erección en Talara de un Complejo de Fertilizantes que a partir del gas natural produciría Amoniaco y Dióxido de Carbono y a partir de estos, Urea sintética.

Es así que el gobierno peruano por Decreto Supremo Nº 123-72 EF del 26 de Junio de 1972, aprobó el crédito intergubernamental otorgado por el gobierno

Japonés al Perú a través del Eximbank y de un grupo de bancos Japoneses, para la construcción del Complejo de Fertilizantes Nitrogenados de Talara.

El diseño y construcción del Complejo fue contratado a la firma Japonesa TOYO ENGINEERING CORP. la cual subcontrató a su vez el diseño y construcción de la Planta de Amoniaco y de la Central Eléctrica, a la firma también Japonesa MITSUBISHI HEAVY IND.

El Complejo fue localizado en la zona denominada Malacas, 5 Km. al Norte de la ciudad de Talara y consta básicamente de 5 plantas:

1. Planta de Amoniaco con una producción de 300 Tn/día de Amoniaco y de 7600 Nm³/hr de CO₂.
2. Planta de Servicios Auxiliares con una producción de 104.Ton/Hr. de agua destilada a partir de agua de mar y 1200.Nm³/hr de CO₂. Además suministra vapor y agua de enfriamiento que requiere el Complejo.
3. Planta de Urea con una producción de 510 Tn/día de Urea.
4. Movimiento de productos con una capacidad de almacenaje total de 15000.Tn. de Urea.
5. Central Eléctrica con 3 turbogeneradores a gas de 18 Mw. de capacidad nominal c/u.

La construcción del Complejo se inició en 1973. siendo inaugurado el 19 de Febrero de 1975. El 26 de

Febrero de 1975 se obtuvo la primera producción de Urea.

La Urea producida, con un 46% de contenido de Nitrógeno, coloca a PETROPERU como primer productor de este elemento a nivel nacional. En el Cuadro No. 1 se puede apreciar la actual distribución de la capacidad instalada de Producción de Fertilizantes nitrogenados en el Perú:

=====

**CAPACIDAD NACIONAL DE PRODUCCION DE
NITRUGENO FERTILIZANTE.**

PRODUCTOR	PRODUCTO	CAP. ANUAL (Ton)	% N2	CAP. ANUAL N2 (Ton)	% DEL TOTAL
PETROPERU	UREA	170850	46	78591	72.5
FERTISA	SULFATO DE AMONIO	12000	21	2520	2.3
FERTISA	NITRATO DE AMONIO	43800	33	14454	13.4
INDUSTRIAL CACHIMAYO	NITRATO DE AMONIO	28000	33	9270	8.5
PESCAPERU	GUANO DE LAS ISLAS	40000	9	3600	3.3
TOTAL				108405 Ton	

Cuadro No 1

=====

La puesta en marcha de este Complejo significó un reto tanto para el personal operador como para el de mantenimiento, por la complejidad de los procesos químicos que se veían involucrados en su funcionamiento.

En estos procesos intervienen variables de presión y temperatura de gran magnitud que involucran el uso de equipos y materiales especiales, los que además deben estar en capacidad de soportar el ataque de diversos tipos de corrosión, fenómeno que en este Complejo adquiere caracteres de gran significación. Es así que los trabajos de mantenimiento se tornan especializados lo que ha implicado una capacitación intensiva de este personal en técnicas modernas y sofisticadas de mantenimiento.

2.2. Descripción Operativa.

A continuación proporcionaremos una descripción relativamente breve de los procesos desarrollados en la producción de Amoníaco y Urea; así como una relación de los principales equipos que intervienen y forman parte del Complejo de Fertilizantes. Como referencia inicial puede apreciarse en la Figura No 1 un esquema simplificado de este Complejo.

COMPLEJO DE FERTILIZANTES TALARA
ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL PROCESO

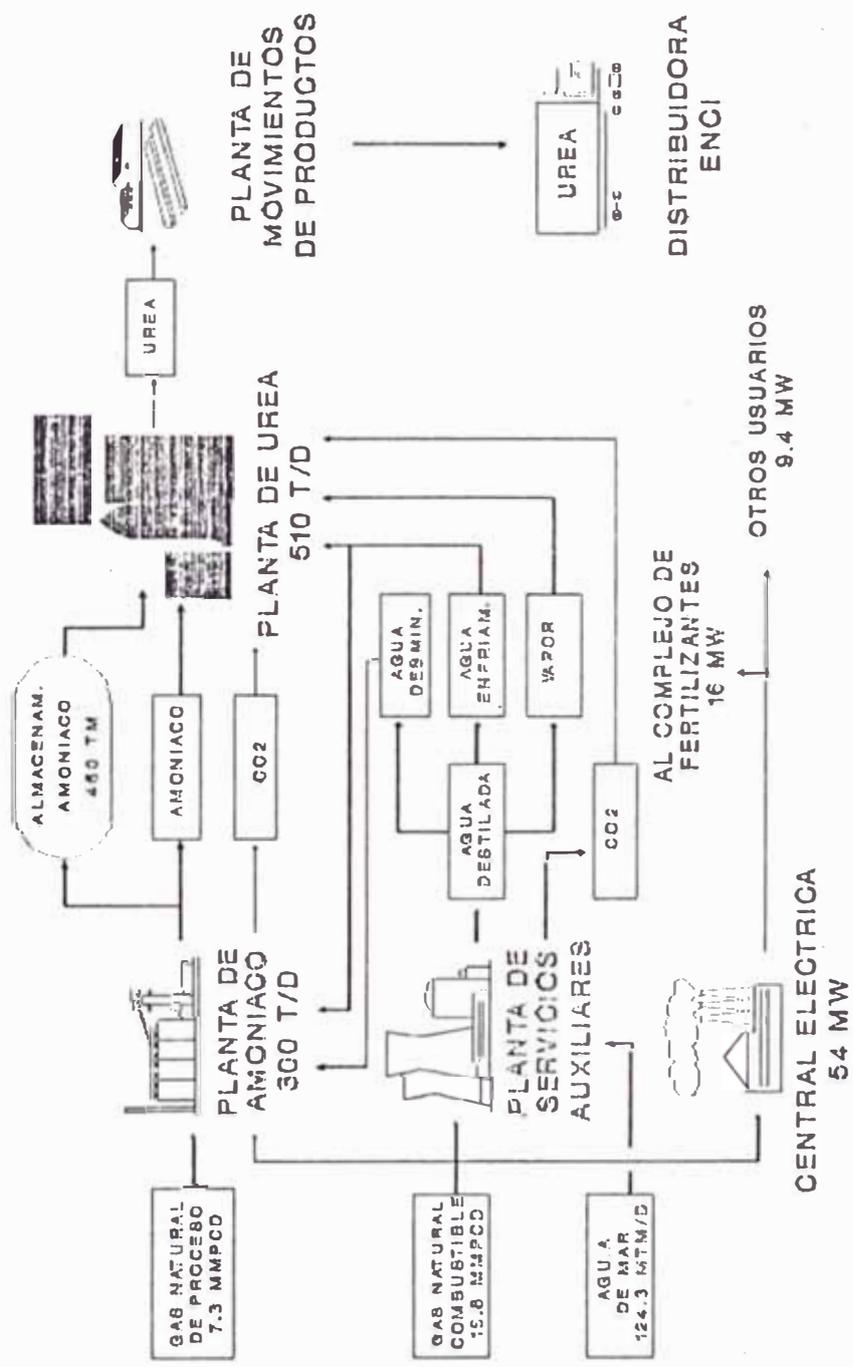


FIGURA No 1

2.2.1. Proceso de Fabricación de Amoníaco.

La Planta de Amoníaco produce a partir del Gas Natural, 300 TN/día de este derivado y como producto secundario 7,600 Nm³/hr de Dióxido de Carbono.

El proceso utilizado para esta fabricación es el denominado CHEMICOL de la Chemical Corporation. En una primera etapa el Gas Natural que viene del campo a una presión de 38 Kg/cm² y en un volumen de 7.1 MMm³ por día, es precalentado y luego desulfurizado por acción de un catalizador de óxido de zinc que absorbe los compuestos de azufre que contiene el gas hasta llegar a una proporción de 0.01% o menos de contenido de azufre.

Seguidamente el gas pasa a una etapa de reformación en el que se le agrega vapor y la mezcla es precalentada, luego de lo cual pasa a través de tubos rellenos de catalizador que forman parte de un horno de reformación. En este horno el gas reacciona con el vapor para formar hidrógeno y óxido de carbono de acuerdo a las siguientes reacciones:



El calor necesario para mantener esta reacción exotérmica la proporciona la combustión del gas natural combustible y purgas del gas de proceso. El gas parcialmente reformado caliente es mezclado con aire comprimido caliente en la relación: H/N = 3 y así pasa a una segunda etapa de reformación donde una pequeña porción del gas de proceso combustiona para lograr el calor de reacción necesario.

De esta etapa de reformación se recupera el calor remanente del mismo en sendas calderetas produciendo vapor que luego es utilizado en el proceso de la planta. El gas pasa a continuación a una etapa de conversión donde mediante reacciones catalíticas el CO y el vapor producen hidrógeno y dióxido de carbono. El gas convertido pasa a una torre de absorción donde una solución de un producto llamado catarcarb, realiza esta función reteniendo el CO₂ del gas. Este CO₂ luego es recuperado y enviado a la Planta de Urea.

El gas libre de CO₂ pasa a una etapa de purificación en la cual los óxidos de carbono

residuales reaccionan con parte del hidrógeno contenido en el gas formando Metano. El gas así conformado es comprimido, de una presión de 23.5 Kgs/cm² a 358 Kgs/cm² en compresores reciprocantes de gas de síntesis. Esta presión es la necesaria para iniciar la reacción de síntesis. Esta reacción se realiza en el denominado Convertidor de Amoniaco en el cual el nitrógeno y el hidrógeno reaccionan en un medio catalítico formando el Amoniaco. A la salida de este el Amoniaco es condensado y procesado para ser enviado a la Planta de Urea y los gases que no han reaccionado recirculan hacia el Convertidor.

En la Figura No 2 se puede apreciar el esquema simplificado de esta Planta. Asimismo en el Anexo I se listan los principales equipos que intervienen en el proceso arriba descrito para la fabricación de Amoniaco.

2.2.2. Proceso de Fabricación de Urea

La Urea se produce mediante la reacción del Amoniaco con el CO₂ siguiendo el proceso MITSUBISHI TOTAL RECYCLE C-IMPROVED PROCESS. Esta reacción es altamente isotérmica dándose lugar en un Reactor de Síntesis de Urea el cual

COMPLEJO DE FERTILIZANTES TALARA
 ESQUEMA DE LA PLANTA DE AMONIACO

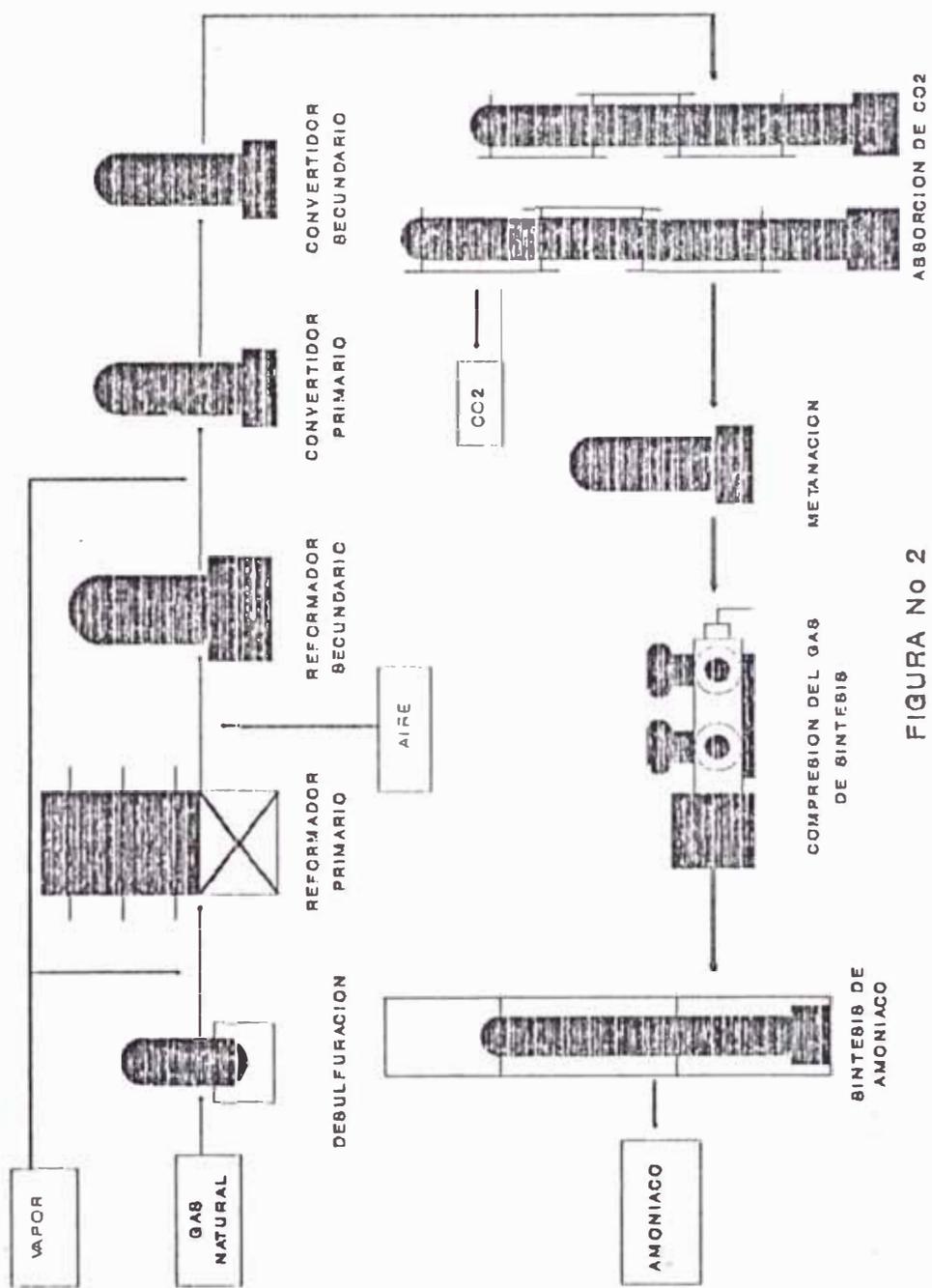


FIGURA No 2

trabaja a 200°C de temp. y 250 kg/cm² de presión. A este Reactor llega tanto el Amoníaco, previamente presurizado por bombas reciprocantes de alta presión, como el CO₂ el cual es comprimido en un compresor recíprocante de 5 etapas. La reacción entre estos 2 elementos forman inicialmente el carbamato de amonio y este a su vez reacciona isotérmicamente formando Urea en las siguientes reacciones:



Estas reacciones son reversibles y se controlan por sus parámetros de temperatura, presión, contenidos de agua, amoníaco y tiempo de residencia en el reactor. Este tiempo se mantiene en un promedio de 25 minutos.

Los productos involucrados en las reacciones de síntesis de Urea son altamente corrosivos, por lo que el Reactor requiere de un revestimiento especial de láminas de titanio, las cuales protegen íntegramente el material del casco que es un acero al carbono de alta resistencia a la tracción.

Los productos finales de las reacciones de síntesis son: Urea, biuret, carbamato de amonio, agua y excesos de Amoníaco. Esta mezcla pasa a tres etapas de descomposición. en los que a la vez se va reduciendo las presiones de la mezcla:

- Primera etapa a 17 kgm cm²
- Segunda etapa a 2.5 kgm cm²
- Tercera etapa a presión atmosférica

En estas etapas se separa el carbamato de amonio y los excesos de Amoníaco, de la solución de Urea mediante aplicación de calor. El carbamato de amonio es previamente descompuesto de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta mezcla de gases de Amoníaco y bióxido de carbono que sale de los descomponedores es enviada al reactor de síntesis como reciclo.

La solución de Urea que sale de los descomponedores con una concentración del 75% pasa a un proceso de cristalización al vacío y los cristales son separados luego por medio de

centrífugas y secados con aire caliente hasta lograr un contenido de menos de 0.2% de humedad.

La solución remanente llamado licor madre contiene un gran porcentaje de Biuret el cual es un ligamento indeseable de la Urea por lo que parte de esta solución es reciclada al Reactor, previa absorción de CO₂ y Amoniaco de la solución resultante de las etapas de descomposición. En el Reactor el Biuret es convertido a Urea según la siguiente reacción:



Por otro lado los cristales secos de Urea son transportados neumáticamente a la parte superior de una torre de 50.mts. de altura donde son fundidos y luego pasados a través de rociadores que sueltan la Urea líquida desde esa altura y al caer en contra corriente con aire suministrado para ese fin, se enfría y forma los gramos de Urea sólida. La Urea es recibida y tamizada en el fondo de la torre y luego enviada a través de un transportador de faja a la zona de almacenamiento.

En esta zona la Urea es almacenada inicialmente a granel y a continuación llevada mediante un

sistema de transporte mecánico a tolvas donde luego se envasa y pesa en sacos de polietileno de 50 kgs. de capacidad cada uno.

En la Figura No.3 se puede apreciar el esquema simplificado del proceso de fabricación de la Urea. En el Anexo II se listan los equipos más importantes de este proceso.

2.2.3. Servicios Auxiliares:

Como complemento y facilidades requeridas por las dos Plantas arriba mencionadas existen otras mas pequeñas que operan con este fin. Así tenemos:

a). Planta de Captación de agua de mar:

Con una capacidad de bombeo de 5,713 m³/hr de agua de mar debidamente clorada, consta básicamente de una tubería de captación de agua de mar de 42 pulgadas de diámetro y 200 mts. de longitud mar adentro, una poza sumidero con sistema de filtrado, 3 bombas rotativas verticales, una unidad de clorinación y un acueducto de 91 cmts de diámetro aproximadamente 3 kms. de longitud.

COMPLEJO DE FERTILIZANTES ESQUEMA DE LA PLANTA DE UREA

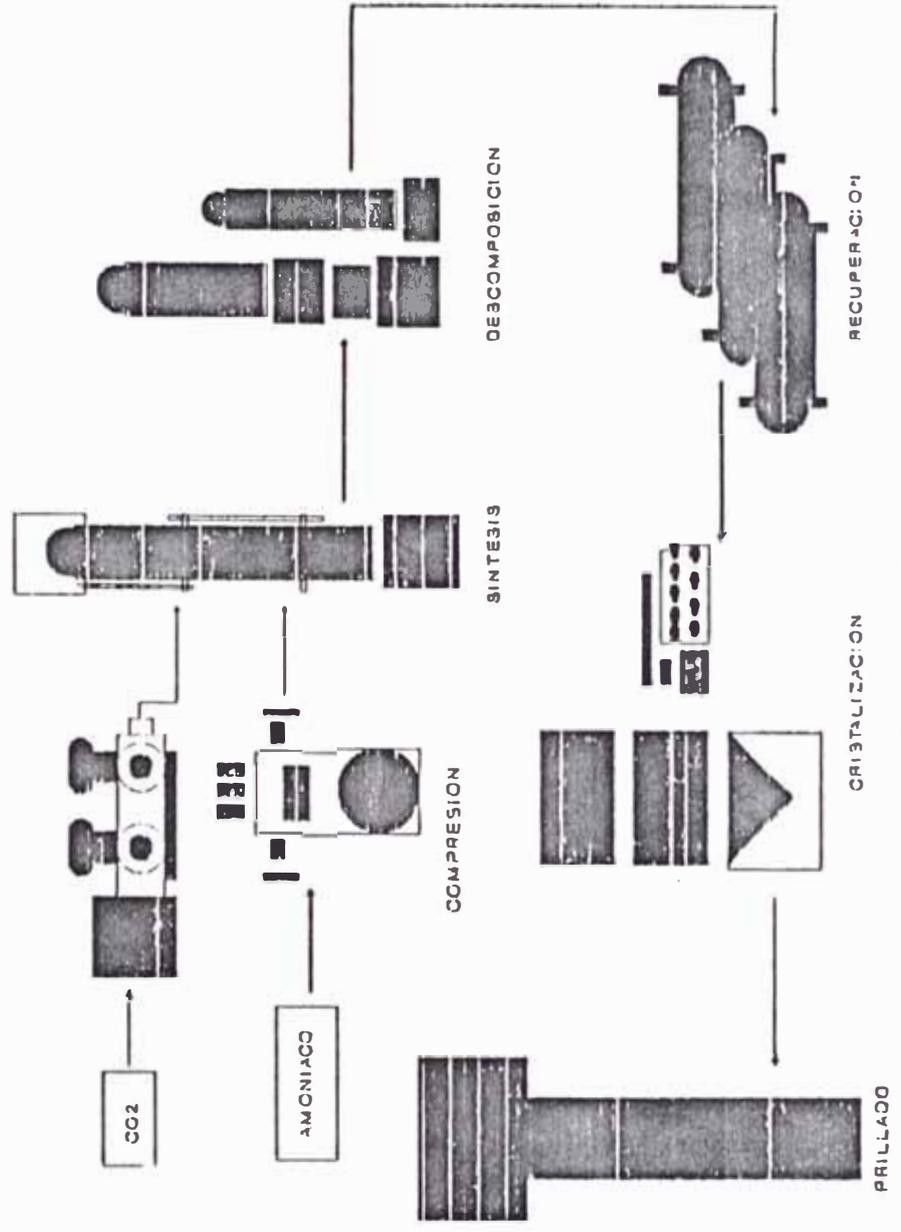


FIGURA No 3

El agua de mar bombeada se utiliza en un 80 % para refrigerar equipos del Complejo y el 20 % restante para alimentar a la Planta de Destilación de agua de mar.

b). Planta de Destilación de Agua de Mar:

En esta Planta mediante un proceso de evaporación al vacío y en varias etapas, el agua de mar es destilada desde una concentración de 37,000 ppm hasta 5 ppm de sólidos disueltos. La capacidad de la Planta es 130 Ton/hr de agua destilada de alta pureza la cual satisface los requerimientos del Complejo de Fertilizantes y el remanente se utiliza además para la generación de vapor en la Refinería de Talara como complemento del sistema normal de abastecimiento que utiliza esta Planta. Debe remarcarse que la baja confiabilidad que presenta el sistema de suministro de agua a la Refinería de Talara, hace que en muchas ocasiones deba ser suplido por el agua proveniente del Complejo de Fertilizantes. Es así que esta agua desilada puede considerarse como un producto más que proporciona el Complejo.

c). Planta de Desmineralización:

Aquí se obtiene a partir del agua destilada, agua desmineralizada químicamente pura (99.9% de agua y 0.05 ppm de sólidos disueltos) para lo cual se utiliza un sistema de intercambio iónico los que **atrapan** las pocas sales que quedaron después del proceso de destilación. Aquí se produce 42 Ton/hr de agua desmineralizada que sirven para la producción de vapor.

d). Sistema de Agua de Enfriamiento:

Parte del agua destilada va al sistema de enfriamiento el cual tiene una capacidad para recircular y enfriar 1,650 Ton/hr de agua utilizada en la refrigeración de equipos. Para ello cuenta con una torre de enfriamiento, unidades de **tratamiento** químico y un sistema de bombas para recirculación.

e). Planta de Generación de Vapor:

Consta de 3 calderos que producen en conjunto 60 Ton/hr de vapor de 15 Kg/cm² a partir de una alimentación de agua desmineralizada que utiliza gas natural combustible como fuente de calor para

evaporarse. Uno de los calderos ha sido diseñado para producir alternativamente vapor de 40 Kg/cm² que necesita la Planta de Amoniaco durante el arranque. Las aplicaciones del vapor son las siguientes:

- Medio de calefacción.
- Obtención de bajas presiones (vacío).

f.- Planta de Generación de CO₂:

Súministra el 12 % del CO₂ requerido para la elaboración de Urea (el 88 % restante se obtiene como subproducto de la fabricación de Amoniaco). La capacidad de producción de esta Planta es de 1200 Nm³/hr de CO₂. La materia prima para esta Planta es la mezcla gaseosa que sale de las chimeneas de los calderos con un contenido de CO₂ de 10% y desde la cual se extrae selectivamente este gas por absorción con monoetanolamina (MEA)

En el Anexo III se lista la relación de los principales equipos de estas Plantas que en su conjunto se denominan Servicios Auxiliares.

2.3.- Antecedentes de Inspecciones Generales.-

La gran cantidad de equipos mayores con los que cuenta el Complejo, no hacen posible tener equipos de reemplazo, que permitan llevar a cabo un sistema de mantenimiento, sin tener que poner fuera de servicio todo el Complejo. Por tal razón los fabricantes especificaron que debía efectuarse una Parada anual por mantenimiento o Inspección General. Es así que en Junio de 1976 se realiza la Primera Inspección General del Complejo, con el objetivo adicional de evaluar el estado de los equipos, antes de cumplir el primer año de operación y antes de que se cumpla el plazo de garantía. Uno de los trabajos más importantes ejecutados fue el reemplazo de tubos y placas portatubos de Titanio al **Evaporador Instantáneo D-EC-201** debido que el material inicialmente empleado, de Bronce al Aluminio, no resistió la severidad de las condiciones de operación de este equipo.

Luego, en Septiembre de 1977 se efectuó la Segunda Inspección General al Complejo, pero de características restringidas en razón del relativamente corto tiempo **transcurrido desde** la Primera Inspección General. En esta oportunidad se encontraron fallas en algunos de sus principales equipos, como el Evaporador Instantáneo y el Condensador Primario AE-

705. Así mismo se encuentra ligeramente afectado el "lining" de Titanio del Reactor de Urea.

En Mayo de 1978 se efectúa la Tercera Inspección General, encontrándose un incremento en el deterioro por corrosión superficial, de los tubos del Condensador Primario AE-705. Además se encuentran severamente corroidas las Cajas de agua del Evaporador Instantáneo, por fallas del recubrimiento protector en forma prematura.

En Octubre de 1980 se realiza la Cuarta Inspección General, encontrándose en esta oportunidad en estado crítico el tanque de recuperación de Amoniaco de la Planta de Urea U-FA-401, al haber sufrido un ataque acelerado por "Stress Corrosion Cracking". Se reemplazó posteriormente. Además se encontró fallada la barra de la 3a etapa del Compresor de Gases de Síntesis de Amoniaco AK-601-B, y se encontraron "pits" de aproximadamente 1 mm en el "lining" del Reactor de Urea. Por otro lado, en vista de las dificultades encontradas en la reparación y prueba del Compresor de Recirculación AK-603, y por el limitado tiempo de vida de sus rodamientos (4,000 hrs.), se recomendó adquirir un subconjunto Motor - Compresor como reemplazo.

Posteriormente durante casi todo el año 1983, el Complejo estuvo fuera de servicio afectado por inundaciones, provocadas por las torrenciales lluvias que en ese año azotaron a la zona norte del país.

Así, reiniciada la operación a fines de 1983, se debió efectuar una Parada Corta del Complejo en Abril de 1984, por la falla prematura del Compresor de Recirculación AK-603. En esta Parada se efectuó además una inspección exhaustiva del **Evaporador Instantáneo** encontrándose en estado crítico. Así mismo se reparó el Desulfurador que falló días antes de la Parada.

En Diciembre del mismo año se efectuó una Parada Corta con el propósito principal de reemplazar rodajes al Compresor AK-603.

La siguiente Inspección General, quinta desde que arrancó el Complejo, se llevó a cabo en Junio de 1985, reparándose la Caldereta AE-101 como uno de los trabajos mas importantes. Posteriormente en Agosto de 1986, se tuvo una Parada no programada por fuga a través de un agujero de lloro del "lining" de Titanio del Reactor de Urea, que presentó un poro que debió repararse por soldadura.

La Sexta Inspección General se llevó a cabo en Junio de 1987 efectuándose en esta oportunidad el cambio del Cesto Portacatalizador del Reactor de Amoníaco. También se reemplazó el catalizador del interior de los tubos del Reformador Primario y se limpiaron totalmente las Torres de Absorción y Regeneración AF-451 y AF-452.

La última Inspección calificada como parcial, se efectuó en Febrero de 1989, habiéndose en esta oportunidad reforzado algunos cordones de soldadura del "lining" de Titanio del Reactor de Urea, reemplazado las líneas de transferencia del Reformador Primario y extraído un tubo de muestra de este Reformador para ensayos destructivos, a fin de determinar la vida remanente del conjunto.

En resumen las duraciones de las Inspecciones Generales, incluyendo el tiempo de arranque, han sido las siguientes:

I	Inspección General	44	días	calendarios
II	" "	25	" "	" "
III	" "	44	" "	" "
IV	" "	39	" "	" "
V	" "	39	" "	" "
VI	" "	27	" "	" "

III

PLANEAMIENTO TIPO DE UNA INSPECCION GENERAL.-

El Planeamiento de la Inspección General de una Planta Industrial en PETROPERU sigue todo un proceso de coordinación con una serie de reuniones en las cuales intervienen todas las funciones de cuya participación directa depende el éxito de la Inspección General. Estas funciones son: Operaciones, Mantenimiento, Logística, Transportes, Proyectos, Seguridad y Médico.

Si bien para las plantas de mayor envergadura como es el caso de Fertilizantes, estas reuniones se realizan con un año u ocho meses de anticipación a la fecha programada de la Inspección General; para la mayoría de Plantas el Planeamiento se da inicio con 6 meses de anticipación, tiempo suficiente para poder emitir en condiciones normales, el **compendio** del Planeamiento en forma oportuna. Este compendio distribuido previamente a todas las Unidades involucradas permite a todas ellas estar enteradas de los detalles de los trabajos que ejecutarán y estar debidamente preparadas para lograr la **intervención en forma exitosa.**

El Planeamiento se puede dividir en etapas las que no necesariamente deben ejecutarse una a continuación de

otra, sino que se pueden realizar algunas de ellas simultaneamente. Estas etapas son:

- 1.- Definición de trabajos a realizar.
- 2.- Suministro de materiales y repuestos.
- 3.- Determinación de trabajos previos.
- 4.- Planificación de los trabajos y determinación de la ruta crítica.
- 5.- Determinación de Recursos de personal necesarios.
- 6.- Facilidades y herramientas para la ejecución de los trabajos.
- 7.- Servicios a Terceros.
- 8.- Elaboración de curvas de control.

A continuación pasamos a describir brevemente cada una de estas etapas:

3.1.- Definición d Trab jos R liz r.-

El Planeamiento de una Inspección General de determinada Planta se inicia practicamente con la conclusión de la anterior Inspección **General**, pues en base a ésta, el Departamento de Planificación de Mantenimiento elabora un informe de resultados. Este **informe** nos indica el estado en que se encontraron los equipos intervenidos y recomienda los trabajos a realizarse en la siguiente Inspección General, indicando a la vez el plazo recomendado

para su ejecución. También incluye las experiencias más saltantes del desarrollo de los trabajos realizados, de modo que se puedan tomar las previsiones correspondientes en las futuras intervenciones.

De acuerdo a estos resultados y en coordinación con el operativo, se determinan los equipos a intervenir y el tipo de trabajo que se les realizará en la próxima Inspección General. En estas relaciones no se consideran aquellos que tienen reemplazos o "stand-by". Esto en razón de que, debido a esa característica, dichos equipos pueden ser intervenidos en cualquier época del año y de ese modo se descongestionan las áreas de trabajo permitiendo que los recursos se dediquen a aquellos que requieren que la Planta esté parada o baje significativamente su carga, para ser intervenidos. Otra relación de trabajos que normalmente se presenta a lo largo de la etapa del Planeamiento es la de Proyectos o mejoras cuyos diseños se encuentran desarrollados y para los cuales, la implementación o ejecución requiere que la Planta esté fuera de servicio. Esta relación de trabajos es presentada por la función Operaciones quienes solicitan su inclusión dentro del Planeamiento de la Inspección General.

Otro rubro de gran envergadura es el de los

accesorios o elementos de control de los equipos. Entre estos tenemos: válvulas mecánicas, válvulas de seguridad, válvulas automáticas e instrumentos en general. A excepción de las válvulas de seguridad cuya calibración y prueba se realiza obligatoriamente, los otros accesorios son intervenidos de acuerdo a su comportamiento a lo largo del periodo. Es en la elaboración de estos listados que el operativo debe tener gran cuidado, pues debe indicar que válvulas o instrumentos requieren de solo una revisión o calibración en sitio, o cuáles han estado dando problemas con pases, fugas o descontrol que ameriten su reparación en Taller, o en el peor de los casos cuáles, a priori, deben ser reemplazados. Debe aclararse que el tipo de trabajo requerido para las válvulas mecánicas es referencial pues de acuerdo a la disponibilidad de material y a fin de facilitar los trabajos, con anticipación se preparan la mayor cantidad posible de válvulas reparadas y durante la Inspección General simplemente se reemplazan estas válvulas, las cuales posteriormente se reparan y sirven para cualquier otra intervención.

La experiencia indica que los listados de Proyectos desarrollados y de accesorios a intervenir se deben presentar a más tardar con 3 meses de anticipación al inicio de la Inspección General para

una correcta coordinación de los trabajos.

3.2.- Logística de los Materiales y Repuestos.-

Es también en base al informe de la Parada anterior, que se efectúan con anticipación los Pedidos de Material específicos que se requerirán para la próxima Inspección General. Se denominan específicos por cuanto no se trata de repuestos de uso periódico sino de aquellos que como resultado de la Inspección realizada se prevé el futuro cambio.

En esta etapa de los Pedidos de Material, debemos resaltar el procedimiento utilizado por PETROPERU para proveerse de los materiales y repuestos de reemplazo obligatorio en cada Inspección General. Dado el Sistema de Ordenes de Trabajo que se utiliza para la gestión, ejecución y control de los trabajos de mantenimiento en todas las operaciones; y además como facilidad para la coordinación de estas Ordenes de Trabajo, para cada equipo se han establecido relaciones típicas de material y repuestos que para cada tipo de intervención requerirán los mismos. De este modo al coordinar la Orden de Trabajo se hace un estimado de la labor por oficios necesarios para satisfacer esa solicitud, un estimado de los apoyos mayores de transporte que se utilizarán y como repuestos necesarios se solicita la "Lista Típica de

Materiales". La Orden de Trabajo con todos estos estimados incluye también un estimado del Costo Total de ejecución.

Lo que queremos resaltar de este sistema es la función de la "Lista Típica de Material" y su importancia actual dentro del Sistema Logístico de aprovisionamiento de materiales para las Inspecciones Generales. En principio, se cuenta en el computador con una Maestra de Listas Típicas de Materiales de tal modo que con la relación de equipos a intervenir y el tipo de trabajo ejecutar en cada uno de ellos, se pueden listar todas las Listas Típicas que se requerirán y con ellas formar un paquete de materiales necesarios para la Inspección General. Esta es una primera aproximación a las necesidades reales y cubre en un 90 % estas necesidades.

Dada las actuales dificultades para la obtención de repuestos, sea por que son de importación, o por los trámites mismos que PETROPERU como Empresa Pública debe seguir; se han establecido los denominados "Planes Maestro de Mantenimiento Mayor" en los que año a año se bosquejan con anticipación las Inspecciones Generales de Equipos **Plantas** y trabajos mayores de Mantenimiento realizarse dentro de cada período anual pa a cada Operación. Es

como parte de estos Planes Maestros que se consolidan mediante el Computador todas las Listas Típicas correspondientes a cada Plan Maestro hasta con 4 años de anticipación y cada paquete se tramita como un pedido independiente, pero conjugándose previamente y en la medida de lo posible con el stock de los Almacenes. De este modo se anticipa la gestión de los materiales hasta en un 90 % de las necesidades reales para la ejecución de los Planes Maestros de Mantenimiento Mayor.

La etapa complementaria al suministro de materiales y repuestos es la separación de aquellos que por su uso común podrían ser utilizados en otras plantas y por lo tanto crear un problema de falta de los mismos durante la Inspección General programada. Esta separación de materiales se realiza en una bodega especialmente implementada para tal fin; sin embargo, se están haciendo los arreglos en el sistema computarizado de control de stock para que esta separación no se efectuó en forma física sino solo en documentos, para evitar de este modo el doble manipuleo de materiales.

.3.- D terminación d T ab jos Pr vios.-

Como trabajos previos a una Inspección General se consideran aquellos cuy ejecución facilitarán los

de la Inspección propiamente dicha, haciendo posible de este modo descongestionar la carga de trabajo de las Paradas y a su vez disminuir los tiempos de ejecución de las mismas. Así tenemos entre las más importantes:

3.3.1. Confección de líneas prefabricadas para reemplazarse en las Paradas:

De acuerdo al fluido con el cual trabajan y a la severidad de sus condiciones, las líneas sufren deterioro mayormente por corrosión. Por tal razón se llevan registros y controles de espesores de pared de estas líneas y de acuerdo a su estado se prevé el reemplazo de diversos tramos. Para todos estos tramos a cambiarse se adquiere el respectivo material y se preparan los prefabricados, los cuales una vez parada la Planta son simplemente reemplazados ahorrándose el tiempo que tomaría su confección en plena parada.

3.3.2. Confección de prefabricados de Proyectos a implementarse:

Así mismo antes de la Parada deben confeccionarse los prefabricados y efectuarse los montajes correspondientes a los nuevos

proyectos a implementarse. De este modo se trata que durante el tiempo que la Planta esté fuera de servicio, se realicen en lo posible solo interconexiones, empalmes y otros trabajos que no pueden realizarse con la planta operando.

3.3.3. Reparación de válvulas de reemplazo:

En previsión a la magnitud de trabajos que se presentan para reparar válvulas, se preparan con la debida anticipación aquellas retiradas de otras Inspecciones Generales, quedando habilitadas luego de trabajos de reacondicionamiento y pruebas. Es así que durante la Parada estas válvulas son simplemente reemplazadas, descongestionando los talleres y ahorrando tiempo de ejecución.

3.3.4. Inspección de Sub-Plantas o Sistemas que durante la Inspección General deben operar sin limitaciones ni paradas intempestivas:

Por otro lado, durante el lapso que una Planta se encuentra fuera de servicio por Inspección General, hay ciertos conjuntos o sistemas que sea por razones de operatividad, seguridad u otros, deben operar ininterrumpidamente. Estas

sub-Plantas deben inspeccionarse en forma previa a la Parada asegurando de este modo su operación continua y confiable.

3.3.5. Instalación de facilidades de iluminación, energía eléctrica, aire comprimido, et .:

Estas facilidades instaladas en forma temporal son de gran importancia para la agilización de los trabajos y se determinan de acuerdo a la cantidad y ubicación de los equipos que serán intervenidos, el tipo de inspección/reparación que se estima realizar y el número de cuadrillas que intervendrán. De esta manera se trata de acercar estas facilidades lo más próximo posible a cada grupo de trabajo.

3.3.6. Habilidadación de sub-conjuntos reemplazables tales como bujías de intercambiadores, cascotes de intercambiadores, elementos rotativos, etc.

Esto implica reparación, rehabilitación o fabricación de elementos considerados para reemplazarse por su grado de deterioro o por facilitar su intervención. Teniendo estos elementos listos, en la Parada solo se programa su cambio o reemplazo.

3.3.7. Otros de acuerdo a necesidades específicas de cada Planta.:

Todos estos con la finalidad de descongestionar los trabajos propios de la Parada • facilitar la ejecución de los mismos para minimizar los tiempos de intervención.

3.4.- Planificación de los Trabajos y Determinación de la Ruta Crítica.-

Con la relación de equipos a intervenir y definidos los trabajos a realizarse, como se mencionó anteriormente se coordinan las Ordenes de Trabajo correspondientes estimándose para cada actividad, de acuerdo a la experiencia y datos anteriores, el tiempo de ejecución, el personal a intervenir y los materiales que se requerirán.

Seguidamente se configuran las Zonas de trabajo considerando la afinidad de equipos y ubicación geográfica dentro de la Planta. Así mismo se considera la cantidad de personal o cuadrillas que debe manejar cada zona. De este modo cada zona de trabajo a cargo de un Supervisor, trabaja con un promedio de 30 hombres conformando de 4 a 6 cuadrillas de trabajo. Según la magnitud del trabajo, el tamaño de la cuadrilla puede variar.

Dentro de la cantidad de personal de cada zona, están incluidos 1 o 2 capataces que sirven de nexo en la dirección de los trabajos.

Una vez determinado el número de cuadrillas, se elaboran los respectivos diagramas de flechas bajo el método del PERT-CPM, para todas las Zonas de trabajo. En la preparación de estos diagramas se consideran las actividades hasta un nivel que permita fácilmente el control durante la ejecución, siendo así que para equipos pequeños pueden considerarse un máximo de 3 secuencias tales como:

- a). Desarmado e inspección.
- b). Reparación.
- c). Reinstalación y prueba.

Incluso cuando existen más de 2 equipos similares, se pueden juntar estas secuencias considerando una sola actividad para estos equipos variando únicamente el tiempo de ejecución.

En el mantenimiento de Plantas Industriales muchas veces no existen realmente una condición de procedencia entre la terminación de la inspección de un equipo y el inicio de otro, por lo que para elaborar el diagrama de flechas se le da preferencia en el inicio a aquellos equipos de sistemas que

durante el arranque de la Planta son los primeros en entrar en servicio.

Para la determinación de la ruta crítica se han venido utilizando sistemas computerizados como el "Project Control System", el "PROJACT" ambos de IBM y últimamente el "Harvard Total Project Management" (HTPM), el cual por su característica de trabajo en microcomputadoras compatibles, hace más fácil y flexible su uso. Es con este último sistema con el cual se concretará el presente estudio.-

El resultado de una corrida se compara con el tiempo máximo programable y con sucesivas corridas se ajusta la duración de la ruta crítica a dicho plazo. Para este efecto se programan más secuencias en paralelo si la ruta crítica ha resultado mayor, o se programan más secuencias en serie si sucede lo contrario.

3.5.- Determinación de los Recursos de Personal

Necesarios.-

Habiéndose determinado en el paso anterior los diagramas de flechas con la correspondiente ruta crítica encuadrada dentro del tiempo máximo programable, se procede a calcular, con ayuda del "HTPM" los recursos de personal que en los

diferentes oficios, se requieren día a día para cumplir con el programa.

Estos cálculos se realizan para cada Zona de trabajo y normalmente resulta un número de operarios que varia día a día. En la asignación de recursos se consideran estas variaciones tratando de que el movimiento de personal sea por cuadrillas y por oficios. Esto permite la continuidad del trabajo y asegura poder absorber pequeñas variaciones en la magnitud del trabajo real que se ejecuta respecto a lo programado.

De este modo las labores de apoyo principalmente, se programan de modo que al concluir en una zona, la cuadrilla por ejemplo de carpinteros o de albañiles, se traslada a otra zona a realizar su trabajo programado. Esto debe entenderse en el sentido que el movimiento de personal sin formar una cuadrilla completa de trabajo no es conveniente por razones de facilidad para la labor y los consiguientes tiempos de ejecución que se hacen mayores al **trabajar** la cuadrilla incompleta. Sin embargo en ciertos casos, sobre todo cuando se trata de **reforzar** una cuadrilla, puede trasladarse una o más personas del oficio requerido, sin que se traslade toda la cuadrilla.

3.6.- Facilidades y Herramientas para la Ejecución de los Trabajos.-

Definidos los trabajos a ejecutar y la cantidad de personal que intervendrá en la Inspección General, se analiza las necesidades de facilidades y cantidad de herramientas de cada tipo que deben asignarse para la ejecución. Entre las principales facilidades que se consideran tenemos:

3.6.1. Suministro de aire comprimido para herramientas neumáticas, enfriamiento de equipos calientes, ventilación, pruebas neumáticas, etc.

3.6.2. Suministro de equipos de arenado, los que incluyen compresor de aire, tolva de arenado mangueras equipo protector, etc. Por lo general para realizar esta labor se destina un área determinada alrededor a la planta y en posición tal, que se evite la contaminación con arena que puede afectar la ejecución de otros trabajos. Esta arena en el medio ambiente podría afectar también a los equipos rotativos, a la instrumentación y a otros equipos por su calidad abrasiva.

3.6.3. Suministro de máquinas de soldar y equipos de corte que se requieran en forma adicional a

los **propios** de PETROPERU para afrontar la carga de trabajos programados.

3.6.4. Equipos de izaje, tales como grúas móviles, montacargas, grúas telescópicas, winches, etc. que son de vital importancia para una eficiente ejecución de los trabajos.

3.6.5. Equipos de transporte para aquellos componentes que deben ser movilizadas hacia y de los talleres, de modo tal que se eviten tiempos muertos por espera de transporte.

3.6.6. Alimentación de personal en aquellos casos en que la distancia de la Planta a la ciudad lo justifique, tal es el caso del Complejo de Fertilizantes en el que se habilitan comedores especialmente para tal fin.

3.6.7. Posta médica para la atención primaria de posibles accidentes en el desarrollo de los trabajos. Esta posta se encarga de brindar los primeros auxilios en forma oportuna, derivando al hospital los casos de emergencia mayor.

En cuanto a las herramientas, la necesidad de estas se determina en coordinación con los encargados de la ejecución de los trabajos. De este modo de

acuerdo a los equipos a intervenir en cada Zona, se preparan **relaciones** de herramientas necesarias y se agrupan en cajas especialmente acondicionadas.

3.7.- Servicios a Terceros.-

Esta etapa del Planeamiento se ha tornado cada vez más importante para el logro del objetivo de culminar en forma exitosa la ejecución de una Inspección General dentro del plazo fijado. La tendencia de la Empresa moderna es especializarse en las labores y actividades que le permitan un proceso de producción óptimo. Dentro de este esquema las actividades complementarias de mantenimiento y algunas otras especializadas, son susceptibles de contratarse.

Tratándose PETROPERU de una Empresa Pública, la contratación de Servicios No Personales debe ceñirse a la legislación vigente y a sus propias normas de control interno, por lo que dicha contratación se constituye en el resultado de un proceso de evaluación de **alternativas** presentadas en los respectivos Concursos de Precios entre varias Cías. calificadas para proporcionar el Servicio.

Dentro de este proceso constituye una significativa carga de trabajo la elaboración de las Bases

Administrativas y expedientes técnicos para cada servicio a contratar. En mucho depende de la claridad, amplitud y congruencia de los mismos, para lograr la ejecución de los servicios sin contratiempos técnicos ni administrativos. En la elaboración de las bases debe considerarse además el grado actual de la tecnología nacional e incluir elementos que la motiven a desarrollarse. Entre los principales servicios a contratar, tenemos:

3.7.1. Desmontaje, reparación, montaje y pruebas de equipos estacionarios.

3.7.2. Desmontaje, reparación, montaje y pruebas de equipos motrices.

3.7.3. Soldadura autógena y eléctrica.

3.7.4. Confección de prefabricados de líneas e instalación de los mismos.

3.7.5. Limpieza de recipientes y ductos.

3.7.6. Reparación y/o reemplazo de válvulas.

3.7.7. Servicios de maquinado.

3.7.8. Reparaciones de estructuras de concreto.

3.7.9. Inspección y reparación de líneas Submarinas.

3.7.10. Pruebas hidrostáticas con equipos de alta presión.

3.7.11. Arenado y pintura industrial.

3.7.12. Aislamiento térmico.

3.7.13. Suministro de aire comprimido.

3.7.14. Servicios de alimentación.

En vista de la situación geográfica de la ciudad de Talara, muy alejada de la Capital y su limitada oferta en cuanto a capacidad de Servicios de Mantenimiento Industrial, las contrataciones deben efectuarse considerando que PETROPERU proporciona en caso necesario, los equipos de izaje mayores (p.ej. grúas) y las herramientas especiales que puedan requerir algunos equipos a intervenirse. Esto permite también disminuir costos de los servicios contratados

8.- Elaboración de Curvas de Control.-

Finalmente para el control diario de avances y reportes a la Gerencia, se establecen las "Curvas de Control de Avances" por cada zona de trabajo y las de avance general referida a toda la Inspección. Estas curvas se trazan a partir de los cronogramas programados, asignándosele un peso a cada actividad de acuerdo a los recursos involucrados y calculándose para cada día, los avances tanto programados como restrictivos, dentro de cuyos límites debe caer la curva de avance real. Cualquier desviación de la curva de dichos límites llama la atención para tomar medidas que servirán para corregirla. En las reuniones diarias de coordinación entre los encargados de la ejecución y los encargados del control, se acuerdan estas medidas. Es así que estas Curvas de Control de Avances se convierten en una especie de "Tablero de Control" de los avances de Parada, permitiendo concretar la atención de la dirección, en aquellas zonas que realmente tienen problemas y facilitando la toma de decisiones para ayudar a corregirlas en el momento oportuno.

En el Anexo IV se pueden apreciar el Organigrama, el Cuadro Resumen del personal de mantenimiento asignado y las Curvas de Control correspondientes a

la Inspección General del Complejo de Fertilizantes. Con respecto a estas últimas, por razones de espacio se incluyen como referencia, únicamente las Curvas de Control de Avances de las primeras cinco Zonas. Las Curvas correspondientes a las otras diez Zonas son de similares tendencias. Los Diagramas de Redes, Rutas Críticas y Diagramas de Gantt también de estas cinco Zonas, se mostrarán posteriormente como resultado de la aplicación del "Harvard Total Project Management".

IV EL CONCEPTO DE MANTENIBILIDAD

4.1.- Definición.-

Existen varias definiciones sobre la Mantenibilidad, definiciones muchas de ellas abundantes en generalidades o concepciones técnicas que para el caso podrían resultar vagas e imprecisas. La definición más adecuada a la Ingeniería y que puede luego expresarse en términos matemáticos es la señalada por R.S. Calabro (1) que a la letra dice:

"Mantenibilidad M es la probabilidad con la que un equipo será vuelto a condiciones operativas dentro de un período dado de tiempo " t " cuando las acciones de mantenimiento son desarrolladas de acuerdo a los procedimientos prescritos". Tal como la confiabilidad o la disponibilidad de equipos y plantas, la Mantenibilidad es una probabilidad estadística. De acuerdo a la definición arriba señalada es la probabilidad de volver a condición operativa en determinado tiempo un equipo que, sea por falla o por intervención programada este fuera de servicio. Esto implica que las acciones de mantenimiento que se mencionan se refieren tanto al

mantenimiento programado como a las reparaciones por fallas o mantenimiento correctivo.

La importancia de este concepto está yendo en aumento, toda vez que los costos de mantenimiento son cada vez mayores y representan porcentajes cada vez más altos de los presupuestos operativos. Por tal razón el cálculo matemático de este concepto ayuda en gran forma a la toma de decisiones sobre el mantenimiento y sobre la confiabilidad a la cual esta ligada.

Tanto en el Mantenimiento Preventivo como en el Correctivo, se puede calcular el tiempo medio de las acciones de mantenimiento " ϕ " y la tasa "u" de las mismas:

$$\phi = \frac{\text{Tiempo Total de las acciones de Mantenimiento}}{\text{No de Acciones de Mantenimiento}}$$

$$u = 1/\phi = \text{No de Acciones de Mantenimiento por unidad de tiempo}$$

Asumiendo una tasa de acciones de mantenimiento constante, la probabilidad de no culminar acción alguna en el tiempo restrictivo "t", resulta:

$$p(t) = e^{-ut} \quad (4.1)$$

Esto por cuanto consideramos la probabilidad de ocurrencia de eventos con respecto a períodos de tiempo independientemente del tamaño de la población cual es el caso de las distribuciones estadísticas tipo Poisson y por la característica de "cero ocurrencias en el intervalo t" tomamos únicamente el primer término de dicho polinomio, llegando a la distribución exponencial expresada en (4.1).

Esto nos lleva a la probabilidad complementaria o de culminar la acción de mantenimiento en el tiempo "t", dada por la ecuación de la Mantenibilidad:

$$M = 1 - e^{-ut} \quad (4.2)$$

expresada también como:

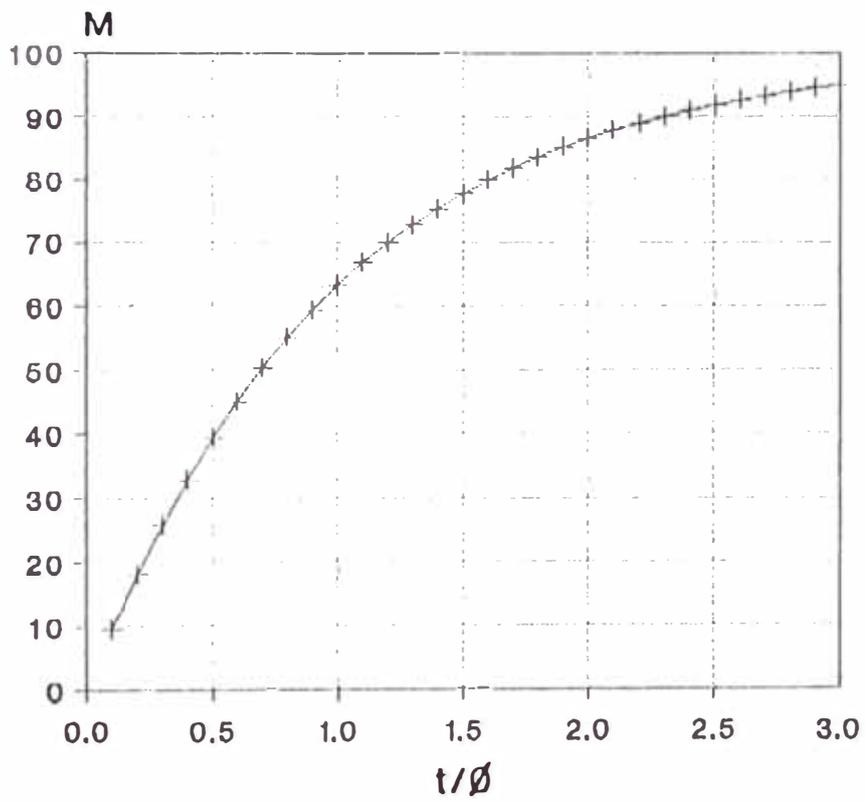
$$M = 1 - e^{-t/\theta} \quad (4.3)$$

Efectuando un rápido análisis de esta ecuación, se puede observar que cuanto mayor sea el período de tiempo "t" considerado mayor será la Mantenibilidad y así mismo, cuanto menor sea el tiempo medio " θ " de las intervenciones mayor será la Mantenibilidad. Así si graficamos la ecuación (4-3) tendremos el gráfico mostrado en la Figura No 4: Mantenibilidad VS relación de tiempos.

CURVA DE MANTENIBILIDAD

t: TIEMPO RESTRICTIVO

\emptyset : TIEMPO MEDIO



—+— MANTENIBILIDAD

FIGURA No 4

4.2.-Aplicación en el Planeamiento de Inspecciones

Generales.-

La Inspección General de una Planta está compuesta por una serie de actividades cada una de las cuales tiene un tiempo de ejecución. La Inspección en sí también tiene un tiempo medio de ejecución el cual depende básicamente de la forma en que se encadenen cada una de sus actividades. Se puede decir con cierta aproximación que cuanto más actividades se realicen en paralelo, menor será el tiempo medio \bar{t} de ejecución de la Inspección General. Así mismo este tiempo \bar{t} disminuirá con el incremento de facilidades para la ejecución de los trabajos, con el incremento de turnos de trabajo, con mejoras de procedimientos, etc.

Por otro lado a estas Inspecciones Generales se les fija actualmente un tiempo restrictivo t de duración en base a la demanda, pronóstico de producción, capacidad de almacenamiento y otras consideraciones operativas. Aún no se realizan estudios como el presente que trata justamente de fijar este valor de "t" en base a consideraciones económicas que pueden implicar estudios y análisis estadísticos así como de investigación de operaciones.

Puede verse claramente entonces que para el caso de una Inspección **General**, es factible optar por diversos valores tanto del tiempo medio de ejecución " \emptyset " como del tiempo restrictivo "t". Es aquí donde interviene el criterio de la Mantenibilidad que nos ayudará a definir cuales son los tiempos más convenientes. Visto el problema de otra forma, se trata de decidir cuál es el nivel de Mantenibilidad más apropiado para su aplicación en las Inspecciones Generales. Por ejemplo, analizando la curva de la Figura No 4. podemos ver lo siguiente:

Si tenemos:

$$\emptyset = t \quad \text{ó}$$

$$t/\emptyset = 1$$

entonces,

$$M = 0.60$$

el nivel de Mantenibilidad así obtenido es bajo, por cuanto la probabilidad de concluir la Inspección General en el tiempo "t", será solo de un 60 %. En el otro extremo, tendríamos:

Con

$$M = 0.90$$

entonces

$$t/\emptyset = 2.3 \quad \text{ó}$$

$$t = 2.3 \emptyset$$

lo que evidentemente, si bien es cierto nos da un 90% de probabilidades de cumplir, en cambio resulta en una programación mas congestionada y en una ejecución que requerirá de mayores facilidades para poder hacer que el tiempo medio " \emptyset " se reduzca a

menos de la mitad del tiempo restrictivo "t". Todo incremento de facilidades implica mayores gastos, por ende esta alternativa representa un mayor costo. La experiencia en Operaciones Noroeste nos indica que un nivel adecuado de Mantenibilidad es: $M=0.8$. Es así que tomando este valor se ha logrado culminar con éxito y dentro del tiempo restrictivo "t" fijado para cada caso, una serie de Inspecciones Generales de Planta desde el año 1982. Entonces, recurriendo nuevamente a la Figura No 4, se deduce:

Si:	M	$=$	0.8
entonces	t/\emptyset	$=$	1.6
ó	t	$=$	$1.6 \emptyset$
ó	\emptyset	$=$	$t/1.6$

Para efectos de optimización del Planeamiento de la Inspección General del Complejo de Fertilizantes, materia del presente trabajo, utilizaremos el nivel de Mantenibilidad de $M = 0.8$ que nos da un 80% de probabilidad de culminarla en el tiempo "t" óptimo que mas adelante se determinará.

v

COSTOS DE LAS INSP CCIONES GENERALES

5.1.- Costos de los Trabajos de Mant nimiento.-

En la industria moderna es fundamental un adecuado control de costos. Sea para obtener precios competitivos en el mercado, ó para maximizar las utilidades, se cuenta con mas frecuencia de medios cada vez más sofisticados para el control de los costos con miras básicamente a su reducción. Aunque esto ha venido siendo así desde mucho tiempo atrás, en los rubros de inversiones, gastos de operación e insumos, mas recientemente se le ha dado una gran importancia a los costos de mantenimiento, esto por cuanto venían aumentando aceleradamente en razón de que los costos de reposición de los bienes de capital eran cada vez mayores. Se exigía día a día más mantenimiento y de esta manera los costos del mismo se fueron tornando en parte importantísima de los Presupuestos Operativos y por ende ejerciendo gran influencia en el precio del producto final.

En la industria del petróleo esto se pudo notar con gran dramatismo luego que pasó la llamada "Crisis

del Petróleo". En los años 74 al 81 cuando el precio del crudo pasó de U.S.\$.8/barril a U.S.\$.35/barril, se justificaba cualquier inversión petrolera, prácticamente a cualquier costo. Pasada esta época y por la disminución del precio hasta niveles de U.S.\$.12/barril, muchas Cías. de exploración, perforación y producción fueron cerrando por **tornarse sus** operaciones en antieconómicas. Esto dio lugar incluso a que se incrementara la oferta de equipos usados para esta industria. Sobrevivieron por supuesto las que pudieron operar al mas bajo costo y esto exigía también un mantenimiento menos oneroso.

Es así que a nivel mundial la industria petrolera fue dejando poco a poco la política del Mantenimiento Preventivo reemplazándola por la del Mantenimiento Predictivo. Esta última apoyada por instrumentos más sofisticados de acuerdo con la evolución tecnológica permite optimizar los costos de mantenimiento, maximizando el período de utilización de los repuestos.

En nuestra realidad no se ha sido ajeno a dichos cambios y se han establecido sistemas adecuados para ejercer el control sobre los costos de mantenimiento de modo de identificarlos plenamente dentro de toda

la gama de costos de las operaciones que, con toda su complejidad se desarrollan en PETROPERU S.A.

La estructura de los costos de mantenimiento está dada básicamente por los siguientes rubros:

- a. Mano de Obra.
- b. Materiales y Repuestos.
- c. Equipos de apoyo.

La asimilación de todos los costos involucrados, a estos 3 grandes rubros permite una mayor facilidad de control y por ende de optimización.

5.1.1. Mano de Obra.-

Medida básicamente en US\$/Hora-hombre, se determina en base a la ejecución del Presupuesto Operativo del Depto. de Mantenimiento. Como se puede apreciar en el Cuadro No 2, este Presupuesto está dividido en Gastos Directos y Gastos Indirectos. Los Gastos Directos a su vez se dividen en Controlables, tales como: remuneraciones y beneficios básicamente en sobre-tiempo; materiales, servicios a Terceros, y otras cargas de uso propio del Depto. de Mantenimiento; y No Controlables tales como: remuneraciones y beneficios básicos, tributos,

=====

COSTO HORA-HOMBR MANTENIMIENTO

	DPTO. OPER.MANT. (MI/.)	DPTO. PLANIF.MANT. (MI/.)	TOTAL (MI/.)
--	----------------------------	------------------------------	-----------------

A.- PRESUPUESTO OPERATIVO EJECUTADO MES DE MAYO 1989

A.1.- GASTOS DIRECTOS

A.1.1.-CONTROLABLES

1.-Remun.y Benef.	190,446	6,616	197,062
2.-Mat. y Sumin.	57,293	9,765	67,058
3.-Serv.Terceros	24,941	3,268	28,209
4.-Cargas Diver.	2,743	4,098	6,841
Sub-tot.Control.	275,423	23,747	299,170

A.1.2.-NO CONTROLABLES

5.-Remun. y Benef.	1'064,252	211,002	1'275,254
6.-Provis.Ejerc.	4,278	848	5,126
7.-Tributos	1,081	213	1,294

Sub-tot.No contr.	1'069,611	212,063	1'281,674
-------------------	-----------	---------	-----------

TOTAL GAST.DIRECTOS	1'345,034	235,810	1'580,844
---------------------	-----------	---------	-----------

A.2.-GASTOS INDIRECTOS	556,805	11,045	567,850
------------------------	---------	--------	---------

A.3.- TOTAL GENERAL	1'901,839	246,855	2'148,694
---------------------	-----------	---------	-----------

B.- HORAS HOMBRE EFECTIVAS

	131,127	131,127
--	---------	---------

C.- COSTO DE LA HORA-HOMBRE

C.1 EN INTIS		1/. 16,386
--------------	--	------------

C.2 EN DOLARES		U.S.\$ 8.38
----------------	--	-------------

Tasa de Cambio: 1/.1,956/U.S.\$

CUADRO No 2

=====

depreciación y otros que corresponden directamente a este Departamento.

En cuanto a los Gastos Indirectos estos agrupan a los costos de todas las funciones de servicio, apoyo y administración que en forma porcentual le corresponde asumir al Depto. de Mantenimiento.

Dentro de estas funciones tenemos: Relaciones Industriales, Servicio Social, Depto. Médico, Capacitación, Clubs, Comunicaciones, Seguridad, Energía, Agua, Transporte, Auditoría, Asesorías, etc. De esta manera se totaliza el Monto ejecutado del Presupuesto Operativo.

Por otro lado el Sistema de Ordenes de Trabajo utilizado en la Gestión del Mantenimiento, permite determinar el No. de horas totales efectivas trabajadas por el personal de Mantenimiento en determinado período. Dividiendo el Monto ejecutado del Presupuesto Operativo entre este número de H-h, resulta el Costo de la H-h que según nuestro cuadro es de US\$ 8.4/H-h a Dic.88.

Para el caso de las Inspecciones Generales y

por facilidad de cálculo utilizaremos el costo por jornada. Es en este punto que debemos efectuar un ligero análisis del significado del sobretiempo en los costos de Mantenimiento, por cuanto para estos casos al tratarse de jornadas de 12 horas, siempre involucrará 4 hrs. de sobretiempo respecto a la jornada normal de 8 horas.

Contablemente el costo por H-h calculado anteriormente se aplica tanto a Horas regulares como a las de sobretiempo. Es decir, contablemente el costo es el mismo para un trabajo que se realice en 2 jornadas de 8 horas o si se realiza en una jornada de 16 hrs., 8 de las cuales es en sobretiempo. Sin embargo los desembolsos en dinero no son los mismos por cuanto las horas de sobretiempo se pagan a una tasa mayor. Es más, de acuerdo al turno el personal recibe otros beneficios que incrementan el costo de H-h

En el Cuadro No 3 se muestra este incremento y su efecto en el costo total por jornada para nuestro caso en que tratamos con 2 tipos de jornada de trabajo: 1 turno de 7 am. a 7 pm. y otro turno de 7 pm. a 7 am.

=====

COSTO JORNADAS DE TRABAJO

	JORNADA DE DIA		JORNADA DE NOCHE	
	HORAS	COSTO (US\$)	HORAS	COSTO (US\$)
REGULARES	8	8.4/H-h	8	8.4/H-h
SOBRET.	4	10.4/H-h	4	12.2/H-h
BENEF.			(8)	2.1/H-h
TOTAL	12	108.8/Jorn.	12	132.8/Jorn.

=====

CUADRO No3

=====

5.1.2. Material y Repuestos:

Los materiales y repuestos que se usan en una Inspección General están dados básicamente por los componentes que al momento de intervenir los equipos, requieren ser reemplazados.

Además se consideran todos aquellos materiales que sin ser considerados como repuestos específicos para equipos, se usan sin embargo en forma común y por lo tanto significan un costo para la Parada. Los más voluminosos son los costos de los repuestos que hacen que para la Inspección General del Complejo de Fertilizantes este rubro ascienda a US\$ 2'050,000.00.

5.1.3. Equipos de Apoyo

También representan un rubro importante respecto a costos, los equipos de apoyo que se usan en la Parada. Estos están dados por Grúas, equipos de Transporte y otros que facilitan la labor, el manipuleo y las maniobras que se ejecutan con los diversos equipos que se intervienen.

5.2.- Costos por Lucro Cesante.-

Es indudable que en toda parada o puesta fuera de servicio de una Planta se presenta el efecto de dejar de recibir los beneficios y/o utilidades económicas que la producción de la Planta nos brinda. Este efecto negativo se cuantifica económicamente por medio del uso del concepto del "Lucro Cesante".

El caso de la Planta de Fertilizantes es un caso especial por cuanto el Gobierno fija el precio de venta de la Urea, con criterios de subvención a la agricultura nacional. Entonces puede ser que aparentemente no exista un beneficio económico inmediato para la Empresa por la venta de Urea, sin embargo se debe analizar los beneficios posteriores para determinar el real lucro cesante de esta Planta.

Es así que los costos totales de producción para un año típico de operación ascienden a: US\$.285.39/T.M. de Urea de los cuales US\$ 102.68 corresponden a gastos en moneda extranjera y US\$.182.71 a gastos en moneda nacional (Ver Cuadro No 4).

Este costo también se puede descomponer en fijos y variables, resultando:

=====

ESTRUCTURA COSTOS DE PRODUCCION DE UREA

	GASTOS EN MON.EXTRANJ. (US\$/Ton)	GASTOS EN MON.NACIONAL (US\$/Ton)	GASTO TOTAL (US\$/Ton)
=====			
A.- COSTOS FIJOS			
A.1.Energ.Elect.	3.21	3.21	6.42
A.2.Benef.Pers.	0	57.14	57.14
A.3.Gast.Indirec.	10.71	25.01	35.71
A.4.Gast.Financ.	0	14.29	14.29
A.5.Remunerac.	0	8.57	8.57
A.6.Deprec.y Reval.	2.14	2.14	4.29
A.7.Seguros	1.93	0.21	2.14
A.8.Otros Gastos	0	1.82	1.82
TOTAL COSTOS FIJOS	17.99	112.39	130.38
B.- COSTOS VARIABLES			
B.1.Energ.Elect.	28.93	28.93	57.96
B.2.Mat.y Sumin.	22.20	5.71	27.81
B.3.Gas Combust.	10.71	10.71	21.42
B.4.Gas Mat.Prima	7.14	7.14	14.28
B.5.Serv.Terceros	0.71	2.83	3.54
B.6.Envases	15.00	15.00	30.00
TOTAL COSTOS VAR.	84.69	70.32	155.01
COSTO TOTAL PROD. POR TON. UREA	102.68	182.71	285.39

=====

CUADRO No 4

=====

- Costos fijos : US\$.130.38/Ton.Urea.
- Costos variables : US\$.155.01/Ton.Urea.

Por otro lado el precio de venta a ENCI es en promedio: US\$.175.- siendo el precio en el mercado internacional de US\$.150/Ton.Urea FOB a granel. Si a esto se agrega el flete y el costo de envasado resulta un neto de US\$.250.00/Ton de Urea importada.

El menor precio de la Urea importada con respecto a la nacional se justifica por los menores costos de producción en razón de las mayores capacidades de las Plantas instaladas en países desarrollados y además por tratarse de excedentes de producción que son colocados en el mercado luego de satisfacer sus propias demandas internas.

Entonces se tiene que por cada día que se deja de producir 510 Ton.de Urea, PETROPERU deja de recibir US\$ 89,250.00 de ENCI, pero a su vez deja de gastar US\$.79,055.10 de costos variables. El efecto siguiente es que para cubrir la demanda de Urea el Gobierno debe importar la cantidad dejada de producir.

Entonces haciendo un análisis de los flujos de caja a nivel Gobierno y siendo:

Cf: Costos fijos.

Cv: Costos variables.

Vv: Valor de venta.

Ci: Costos de importación.

se tiene que:

- Con la Planta operando:

Egresos - Cf + Cv
Ingresos Vv.

- Con la Planta fuera de servicio:

Egresos - Cf + Ci
Ingresos Vv

Por lo que el lucro cesante será:

$$Lc = [Vv - (Cf + Cv)] - [Vv - (Cf + Ci)]$$

$$Lc = Vv - Cf - Cv - Vv + Cf + Ci$$

$$Lc = Ci - Cv$$

$$Lc = 250 - 155.01$$

$$Lc = \text{US\$ } 94.99/\text{Ton.}$$

Aplicado a 510 Ton/día:

$$Lc = \text{US\$ } 48,444.90/\text{día.}$$

Esto representa el gasto adicional que el Gobierno debe efectuar diariamente para suplir el suministro de Urea durante los períodos que nuestra Planta queda fuera de servicio por cualquier motivo. Por lo tanto este es el monto por lucro cesante que debe considerarse durante las Paradas de Mantenimiento o Inspecciones Generales a efectos de calcular la duración óptima que deben tener para minimizar el costo total de su ejecución.

5.3.- Costos Globales de la Inspección General.-

De los puntos anteriores puede inferirse que los Costos Globales de una Inspección General están dados por la suma de los siguientes costos:

- a.- Costos por concepto de los trabajos de Mantenimiento (Cm)
- b.- Costos por Materiales y Repuestos (Cr), y
- c.- Costos por concepto de Lucro Cesante. (Lc).

$$CIG = Cm + Cr + Lc$$

El análisis de esta última expresión nos indica lo siguiente:

$$C_m = f(R, t)$$

$$C_r = \text{Constante con respecto a } R \text{ y } t$$

$$L_c = f(t)$$

donde R: recursos

t: tiempo de ejecución

Por lo tanto:

$$CIG = f(R, t)$$

Siendo el Costo Global de la Inspección General una función de los recursos y del tiempo empleados, es factible de optimizar y minimizar su valor.

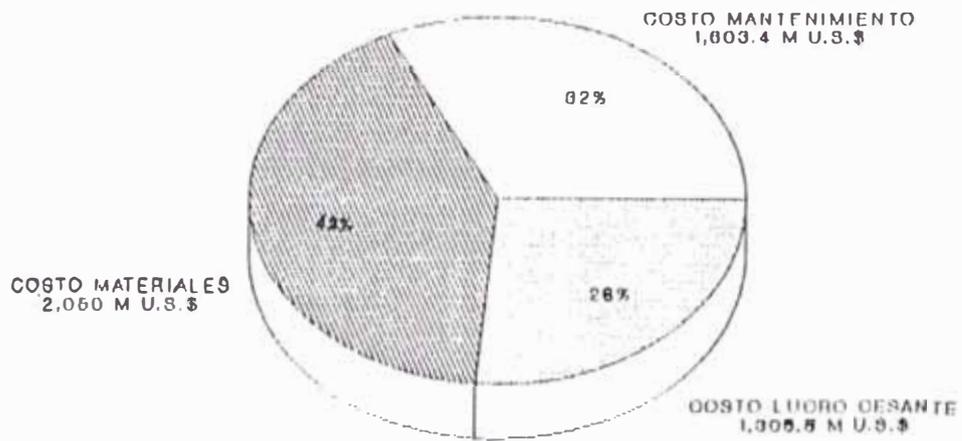
Debemos remarcar con respecto a los Costos por materiales y repuestos utilizados en la Inspección General, que estos son de gran magnitud y para el caso del Complejo de Fertilizantes ascienden a U.S.\$ 2'050,000.- Sin embargo estos costos no varían en función del tiempo total de ejecución por lo que pueden suponerse constantes y no influyen en el **proceso** de optimización del Planeamiento de la Inspección General. Entonces se tiene que los recursos con los cuales varía el Costo Global, son los de Mano de Obra y Equipos de apoyo. Esto es comprensible por cuanto con mayor cantidad de estos

recursos, el costo será mayor y a su vez el tiempo total de ejecución puede ser menor.

En la Figura No 5 se puede apreciar la Distribución de Costos de la Inspección General del Complejo de Fertilizantes, calculada luego de concluir la Optimización.

INSPECCION GENERAL PLANTA FERTILIZANTES

COSTOS EN TIEMPO OPTIMO DE PARADA



DISTRIBUCION DE COSTOS

FIGURA No 5

VI

EL USO DEL "HARVARD TOTAL PROJECT MANAGEMENT"

6.1.- Descripción del Paquete "HTPM".-

El "Harvard Total Project Management" es un software desarrollado para trabajar con Microcomputadoras compatibles con IBM, que nos sirve como herramienta de apoyo en el planeamiento y control de Proyectos. El éxito de un Proyecto depende en gran medida de la calidad del Planeamiento, del grado de previsión de los recursos necesarios y de un efectivo control de la ejecución. Con este fin el "HTPM" nos provee de herramientas que facilitan el empleo del sistema del "Pert-CPM" para la programación optimizada de eventos, así como la elaboración automática de diagramas de Gantt de estos eventos, gráficos de distribución de recursos, gráficos de distribución de costos, etc, todos ellos facilitando la programación y el control de Proyectos, que a su vez permiten aprovechar el tiempo y el dinero del Proyecto eficientemente.

De este modo el "HTPM" nos brinda ayuda para diseñar y controlar proyectos y trabajos de gran magnitud

como las Inspecciones Generales de Plantas. Con el "HTPM" se pueden predecir sus costos y las necesidades de recursos con la debida anticipación.

El "HTPM" presenta un proyecto en la pantalla del monitor en forma de diagrama de red, de tal manera que se puede ver claramente como las diversas actividades que conforman el proyecto se relacionan entre sí. Se puede ejecutar cambios en la red en forma ágil y sencilla reflejando cualquier información o cambio tanto en la programación como en la ejecución del Proyecto.

Un completo diagrama de redes nos muestra la ruta crítica, es decir el grupo de actividades que afectan la duración del Proyecto y de esta manera podemos centrar nuestra atención a las partes donde el análisis es más efectivo. También el "HTPM" traduce toda la información sobre duraciones y costos de las actividades del Proyecto en un Diagrama de barras o Diagrama de Gantt y en gráficos de costos del Proyecto.

Introduciendo en el "HTPM" la lista de recursos a utilizar, por ejemplo mano de obra, maquinarias y/o equipos e indicando las cantidades que intervienen en cada actividad, el HTPM muestra gráficos de

asignación de recurso, mostrándonos la forma como han sido asignados cada recurso y cuanto de cada recurso se utiliza en cualquier momento de la ejecución. Así, este gráfico nos permite vislumbrar los resultados de cualquier cambio en la asignación de recursos y/o en la reprogramación de las actividades. Esta característica permite el uso más eficiente de los recursos con una asignación más adecuada.

Otra característica del HTPM es que permite planificar las actividades siguiendo el calendario que en cualquier momento se decida utilizar. Así se puede fijar el número de días útiles de la semana, así como los días feriados que hubieren.

En el caso de las Inspecciones Generales de Plantas de gran magnitud como la de Fertilizantes, podemos desdoblar lo que viene a ser el Proyecto principal en Sub-proyectos o zonas de trabajo de modo de facilitar la programación. Luego de trabajados los Sub-proyectos estos se encadenan en un proyecto mayor, aceptando el "HTPM" hasta 200 tareas o actividades por cada Proyecto y sub-proyecto. El "HTPM" maneja todos los cálculos, actualizaciones y gráficos en forma automática.

El "HTPM" permite además, imprimir una serie de reportes, ya sean gráficos o textuales sobre la programación de los Proyectos, su estado de ejecución, el uso de los recursos y costos involucrados.

En el Anexo V se puede apreciar la estructura del "HTPM" compuesta por el Cuadro de Comandos, el Vocabulario y las llaves de funciones especiales.

Basicamente el diseño de un Proyecto utilizando el "HTPM" se inicia por la confección del Calendario con el cual se trabajará durante el período en que se ejecutará el Proyecto a desarrollar. Luego se confecciona la lista de recursos que intervendrán con los correspondientes costos unitarios. Posteriormente se pueden agregar o suprimir recursos de este listado. A continuación se llena la hoja de datos del proyecto y se inicia la construcción del Diagrama de redes. Se van creando las tareas y los nodos, asignándole las duraciones correspondientes a cada tarea. En una siguiente etapa se asignan los recursos a cada tarea, lo cual se puede hacer también en forma simultánea con la asignación de duraciones. Luego se programan los inicios de las tareas y se analizan los resultados iniciales en la pantalla. Se verifican duraciones totales, recursos

utilizados y a nuestra conveniencia se puede reprogramar tareas y reasignar recursos. Una vez finalizada la programación se emiten los reportes de acuerdo a la necesidad de la Gerencia y de los ejecutores

Durante la ejecución del Proyecto se pueden ingresar los avances reales y emitir muy fácilmente reportes de control de avances y reestudiar las nuevas rutas críticas que puedan presentarse en esta etapa. Finalmente al concluir el Proyecto se puede calcular el costo total real ejecutado y la cantidad de recursos realmente utilizados.

Debe anotarse que el HTPM maneja hasta 640 kbites de memoria RAM y esta capacidad no puede ser ampliada. Por tal razón Proyectos de gran envergadura deben dividirse en 2 o más corridas, cada una en un determinado Directorio del Computador a fin de no copar la capacidad de procesamiento de este software.

6.2.- Aplicación del "HTPM" a las Inspecciones Generales de Mantenimiento del Complejo de fertilizantes.

Para el caso específico de la aplicación del HTPM para planificar la Inspección General del Complejo

de Fertilizantes se ha tomado en consideración ciertas pautas dadas por la experiencia de Inspecciones anteriores y que se espera que al quedar plasmadas en el pte. trabajo sirvan como guía a la elaboración de futuros planeamientos de estas **Inspecciones.**

6.2.1.- Calendario a E plearse:

En forma inicial debemos definir el calendario. Se tomó como fecha de inicio para esta Inspección General el día 24 de Enero de 1989. Aquí se tiene un punto muy importante: el inicio en día Martes. Esto en razón que la experiencia nos ha indicado fehacientemente que el primer día de una Parada es crucial para el éxito de la misma y cuando este inicio se fija en día Lunes los resultados obtenidos no son óptimos. El hecho de ingresar a trabajar después de un fin de semana afecta el rendimiento del personal y más aún, recién ese día los supervisores y capataces toman posesión de los equipos, del personal que tendrán a cargo y de las herramientas; con la consecuente congestión de actividades para el primer día y avances casi nulos al término de la jornada. En cambio, iniciando los trabajos el día Martes,

el día previo todo el personal ha podido efectuar un reconocimiento del lugar, se han repartido las herramientas y los avances logrados el primer día son realmente efectivos.

Otro aspecto muy importante está relacionado al número de días de trabajo en la semana. Múltiples experiencias nos indican que debe planificarse el trabajo solo para 6 días a la semana. A este respecto podemos mencionar que siempre se ha tratado de programar trabajos para los días Domingos con el afán de disminuir el tiempo de Parada de las Plantas, sin embargo los avances logrados no han sido significativos por cuanto en estos días se manifiesta un gran ausentismo y el poco personal que labora se retira entre la 1:00 y 3:00 pm. sin completar la jornada programada de 12 horas. El rendimiento decae notablemente en este día, y es mejor dejar los Domingos para el descanso del personal de modo que reinicie sus labores el día Lunes con mayor ímpetu. Debe considerarse muy seriamente el efecto de saturación que sufre el personal tanto de los niveles administrativos como técnicos luego de 3 semanas continuas en una Parada de Planta, lo cual se agudiza por las presiones que suelen

surgir cuando se acerca el término del plazo programado de ejecución.

Por todas estas razones es muy conveniente no programar trabajos los días Domingos. Como ventaja adicional esto permite, dado algún retraso importante, recuperar avances en zonas muy críticas utilizando este día solo para dichos casos.

Con todas las consideraciones arriba mencionadas, se elabora y se fija el calendario que usará el "HTPM" en sus transacciones programación. Copia de este Calendario puede verse en el Anexo VI.

6.2.2.- Elaboración de la Red:

De acuerdo a lo tratado en el Capítulo III "Planeamiento típico de una Inspección General", y según el número de equipos a intervenir, se fijan las zonas de trabajo y se toma cada zona como un sub-proyecto en el "HTPM", los que a su vez forman parte del Proyecto principal denominado en nuestro caso "INSPGNRL".

Entonces abrimos en el computador un file para la Zona 1, suministrando el código: "ZON1", anotamos también la descripción, el calendario a utilizar y el supervisor responsable. Acto seguido entramos al Diagrama de redes ("ROAD MAP") y creamos las actividades asignándoles código, descripción y duración. En esta etapa, por facilidad no asignamos aún recursos. De acuerdo a las características de los equipos y de los trabajos a desarrollar se encadenan los eventos colocándolos en serie o en paralelo. Para este último caso debemos crear nodos o "Milestones" que permiten en el "HTPM" derivar secuencias y también reunirlos.

La cantidad de secuencias que se pueden iniciar paralelamente en la Planta está determinado prácticamente por el espacio físico que permiten los equipos para trabajar. No podemos exceder de un número determinado de cuadrillas porque la congestión entorpecería al normal desarrollo de los trabajos. Desde este punto de vista, cuanto más descongestionado esté el ambiente los trabajos tendrán menos contratiempos y todas las actividades podrán desarrollarse con más claridad y mejorará el control. Por esta razón debemos tener en

cuenta al elaborar la red, de no exagerar las actividades en paralelo y que una vez que hayamos incluido todas las secuencias de la Zona y que el "HTPM" nos indique cual es la ruta crítica, podemos colocar en serie algunas actividades hasta donde lo permita la duración de la ruta crítica.

Respecto a las duraciones debemos remarcar la aplicación del Concepto de Mantenibilidad en los mismos. Como ya se ha mencionado en el Capítulo IV, para nuestro caso utilizaremos el nivel de 80 % de Mantenibilidad con lo que la relación entre el tiempo restrictivo y el programado es de 1.6. Entonces, fijando las duraciones promedio de cada actividad en "d" jornadas, el correspondiente plazo máximo o restrictivo será de 1.6 d y nos dará una probabilidad de 80 % de cumplirlo en ese tiempo o menos. Por otro lado como la mayor probabilidad de concluir los trabajos es en 1.6 d jornadas o plazo máximo; los costos estimados totales se calculan tomando como referencia este tiempo restrictivo o plazo máximo. Es así que resulta mas conveniente para el trabajo de optimización del Planeamiento, armar los diagramas de red con las duraciones máximas y posteriormente

dividir los resultados entre 1.6 para obtener el plazo programado.

Entonces debe quedar claro que el "HTPM" lo trabajaremos con los plazos y tiempos restrictivos o máximos por lo que los costos calculados son también los montos máximos que se esperan gastar con un 80% de probabilidad de que así sea.

Luego de creada la Zona 1 y conformada su red, creamos la Zona 2 con su respectiva red, y así sucesivamente. La Inspección General del Complejo de Fertilizantes cuenta con quince Zonas de Trabajo. En este punto y conformadas las quince Zonas, podemos armar la red correspondiente a la Inspección General, compuesta por eventos que de acuerdo a nuestra indicación, serán las mismas Zonas ya creadas que el HTPM asimila al Proyecto Mayor con el resumen de duración, recursos y otros propios de cada sub-proyecto. Adicionalmente agregamos actividades que complementan la Inspección General, tales como pausas para iniciar los trabajos en la Zona 6 "Captación de Agua de Mar" cuyos equipos no pueden ser sacados fuera de servicio sino hasta 1 día después que todo

el Complejo es entregado. Asimismo tenemos actividades secuenciales de arranque de cada planta con los respectivos tiempos que toman. De este modo la pantalla nos indicará la ruta crítica de esta red que viene a ser la ruta crítica de todo el Proyecto. Es con esta ruta crítica que trabajaremos durante la Optimización.

Es importante anotar las facilidades que el HTPM brinda en esta etapa. Se puede insertar actividades en cualquier punto de la red y con solo indicar la duración, el HTPM calcula y nos indica la nueva ruta crítica. Pueden moverse actividades de un camino a otro de la red, con solo señalar los nuevos puntos de inicio y término de las mismas. Accionando el comando "ZOOM" puede verse la red en forma panorámica para visualizar mejor el proyecto. Además puede visualizarse como título de cada actividad en la red cualesquiera de un serie de parámetros como el código, la descripción, duración, fechas de inicio y fechas de término, tanto real como planeada, costos real y planeado, etc

6.2.3. Asignación de Recursos:

A continuación creamos una lista de los diferentes recursos que intervienen en la Parada exceptuando materiales. Así queda elaborada la lista del Cuadro No.5, en el que se observan los diversos oficios del personal que labora en la Parada así como los principales equipos que se utilizan. Para añadir un recurso a la lista, le asignamos un código, ingresamos como datos la descripción, la disponibilidad total que existe del recurso y su costo unitario. En nuestro caso por tener diferente costo unitario, se han dividido los recursos que intervienen de día de los que intervienen de noche. Así el recurso "CLD" correspondiente al "Calderero turno diurno" tiene un costo de US\$ 108.80 por jornada y el "CLN" correspondiente al "Calderero Turno Noche" US\$ 132.80 por jornada nocturna, tal como se calculó en el Capítulo V "Costos de las Inspecciones Generales".

Luego de creada la relación de recursos con sus correspondientes códigos, pasamos a la asignación en sí e los mismos. Regresamos al "ROADMAP" y para cada actividad con el comando "RESOURCE" se indica el recurso que utiliza con

Resource list

LISTA DE RECURSOS "HTPM"

29-Oct-1989

Name	Responsible Description	Code	Quantity	TimeUnit	UnitCost
AGD	AYUDANTE GENERAL DIA		300.00	Days	109.00
AGN	AYUDANTE GENERAL NOCHE		80.00	Days	132.80
ALD	ALBANIL DIA		30.00	Days	109.00
ALN	ALBANIL NOCHE		15.00	Days	132.80
CAD	CARPINTERO DIA		30.00	Days	109.00
CAMD	CAMION DIA		6.00	Hours	25.00
CAMN	CAMION NOCHE		6.00	Hours	35.00
CAN	CARPINTERO NOCHE		10.00	Days	132.80
CLD	CALDERERO TURNO DIA		150.00	Days	109.00
CLN	CALDERERO NOCHE		50.00	Days	132.80
COD	CORTADOR DIA		20.00	Days	109.00
CON	CORTADOR NOCHE		15.00	Days	132.80
ELD	ELECTRICISTA DIA		40.00	Days	109.00
ELN	ELECTRICISTA NOCHE		8.00	Days	132.80
GRGD	GRUA GRANDE 100TON DIA		2.00	Hours	100.00
GRGN	GRUA GRANDE NOCHE		2.00	Hours	110.00
GRMD	GRUA MEDIANA 50 TON TURNO DIA		4.00	Hours	50.00

CUADRO No 5

Resource list

LISTA DE RECURSOS "HTPM"

27-Oct-1989

Name	Responsible Description	Code	Quantity	TimeUnit	UnitCost
GRMN	GRUA MEDIANA NOCHE		2.00	Hours	60.00
IND	INSTRUMENTISTA DIA		40.00	Days	109.00
INN	INSTRUMENTISTA NOCHE		10.00	Days	132.80
MAD	MAQUINISTA DIA		25.00	Days	109.00
MAN	MAQUINISTA NOCHE		10.00	Days	132.80
HGD	MECANICO DIA		60.00	Days	109.00
HGN	MECANICO NOCHE		20.00	Days	132.80
MONTD	MONTACARGAS DIA		4.00	Hours	20.00
MONTN	MONTACARGAS NOCHE		2.00	Hours	25.00
PID	PINTOR DIA		15.00	Days	109.00
PIN	PINTOR NOCHE		10.00	Days	132.80
SOD	SOLDADOR DIA		30.00	Days	109.00
SOM	SOLDADOR NOCHE		15.00	Days	132.80

que utiliza con la correspondiente cantidad. Pueden añadirse más recursos y las cantidades asignadas pueden ser incluso fracciones decimales, lo cual utilizamos en nuestro caso cuando el recurso, por ejm. una grúa mediana, no permanece con la cuadrilla el 100% del tiempo de duración de la actividad, y aun cuando su intervención es por un pequeño período, es necesario que se especifique por la importancia que tiene para hacer posible la ejecución de la actividad.

Así avanzamos Zona por Zona y cuando en algún momento nos excedemos en el uso de un recurso por sobrepasar la disponibilidad total de ello, el "HTPM" nos lo indica con una señal "R" al costado de la relación de Zonas. En este caso al analizar la carga del recurso con el comando "LOADING", nos señalará con una línea roja en el gráfico correspondiente, la cantidad en que se ha excedido la asignación del recurso. Esto nos da la opción de reasignar los recursos o reprogramar la red para cumplir con el máximo disponible de los mismos.

Es muy importante recalcar que durante la asignación de recursos, el "HTPM"

automaticamente va acumulando los costos por cada sub-proyecto. Asimismo al pasar al Proyecto mayor luego de haber grabado los sub-proyectos el "HTPM" nos indicará el costo total planeado para toda la Inspección General.

El "HTPM" mediante el comando "ALLOCATION" nos indica para cada recurso el cronograma de su asignación así como la actividad en la cual interviene y en que cantidad. Esto nos permite analizar la correcta asignación, sin recargar la misma.

6.2.4. Diagramas de Gantt:

Los Diagramas de Gantt o Cronogramas de actividades, tan útiles para la programación y el control del avance de los proyectos, son proporcionados automáticamente por el "HTPM" de modo que, accionando el comando "SCHEDULE" nos muestra en la pantalla estos Diagramas para cada Zona. Además estos cronogramas cuentan con la facilidad que, al igual que en los "ROADMAP", podemos continuar programando desde aquí. Así pueden modificarse datos de las actividades, duraciones, asignación de recursos y otros aspectos de la programación.

Por otro lado dentro de este comando con la instrucción "FORMAT" puede variarse la longitud de los gráficos y hacerlos de acuerdo a nuestra necesidad. Para esto se puede variar la escala y tomar como referencia minutos, horas, días, semanas, meses ó años. En nuestro caso usamos la escala en días.

En estos diagramas también están resaltadas las actividades de la ruta crítica visualizándose en rojo. Además las actividades no críticas presentan una línea como proyección de la holgura que poseen.

6.2.3. Costos:

Este es otro de los parámetros que automáticamente calcula el "HTPM". Como indicaremos líneas arriba, conforme se van asignando los recursos, el "HTPM" va acumulando los costos y mostrando el total para la Zona en el recuadro superior de la pantalla. Además para cada Zona podemos añadir costos de administración o costos por otros conceptos los cuales son sumados a los costos correspondientes a los recursos. En nuestro caso no hemos utilizado estos rubros por cuanto en el

costo de cada recurso están incluidos los gastos indirectos y otros de la administración.

En cualquier momento que ingresamos al Proyecto Mayor "INSPGNRL" su diagrama de red o su cronograma, mostrará también en el recuadro superior de la pantalla el costo total acumulado de todo el Proyecto, incluyendo automáticamente la de los sub-proyectos Zonas.

6.2.6. Reportes:

Toda esta información y la de las actualizaciones correspondientes durante la ejecución de los trabajos, puede ser reproducida en reportes cada uno de los cuales cumple una función de apoyo al planeamiento y control y por ende contribuyen al éxito de la ejecución.

En el Cuadro No.6 se muestra la relación de reportes y sus características sea de texto o de gráfico.

=====

LISTA DE REPORTES HTPM

TITULO	MODO	DESCRIPCION
Allocations Graph	Gráfico	Gráfico de Asignación de Recursos.
Calendar	Gráfico	Calendario HTPM.
Cost Graph,Cumulative	Gráfico	Gráfico de Costos Acumulados
Cost Graph,per time Unit	Gráfico	Gráfico de Costos por Unidad de Tiempo.
Loading Graph	Gráfico	Gráfico de demanda de Recursos.
Project List	Texto	Lista de Proyectos.
Project Resource List	Texto	Lista de Recursos de los Proyectos.
Project to do list	Texto	Lista de las tareas por hacer del Proyecto.
Resource List	Texto	Lista de Recursos.
Roadmap Zoom	Gráfico	Zoom de la Red.
Roadmap	Gráfico	Diagrama de Redes.
Schedule	Gráfico	Diagrama de Barras.
Task Detail	Gráfico	Detalle de las Tareas.
Task Progress Report Form	Texto	Reporte de Avance de las Tareas.

=====

CUADRO No 6

=====

Antes de imprimir los reportes, se puede editar o corregir cualquier título o anotación que expresamente indicamos. Además podemos guardar toda la información a imprimir en un "file" de modo que podamos efectuar la impresión posteriormente y en otro computador utilizando únicamente el "DISK OPERATING SYSTEM" (DOS).

En el Anexo VII se muestran copias de los reportes obtenidos en la presente aplicación pudiendo apreciarse el Diagrama de Redes de la Inspección General antes de proceder a la optimización en vista "ZOOM", el Cronograma, la Curva de Costos por Día de Mantenimiento y la Curva de Costos Acumulados de Mantenimiento de esta etapa del Planeamiento. En el Anexo VIII se adjuntan los reportes correspondientes a la etapa posterior, es decir luego de la optimización lograda. Por razones de espacio, se incluyen únicamente los reportes pertenecientes a la Inspección General y a la cinco primeras Zonas. Los reportes de las diez Zonas restantes son de similares características.

VII METODOLOGIA DE OPTIMIZACION DEL PLANEAMIENTO

Con todos los conceptos hasta aquí vertidos hemos procedido a elaborar los Diagramas de Redes según el "HTPM" y la asignación de recursos correspondientes, lo que nos lleva a un monto total de US\$ 1'514,653.- como Costo de Mantenimiento máximo esperado de la Inspección General del Complejo de Fertilizantes, con una duración total también máxima de 38 días útiles ó 44 días calendario, lo que se considerará como punto inicial de la optimización.

7.1. Determinación de Variables.-

A fin de determinar las variables que intervienen en el proceso de optimización a desarrollar, analizaremos los componentes del costo global que implica la Inspección General del Complejo de Fertilizantes.

7.1.1. Costo de Mantenimiento:

Como se aprecia en la asignación de recursos, luego de armado el Diagrama de Redes, este

costo varía en forma directa con la cantidad de recursos que se asignan al Proyecto. También se puede apreciar por este motivo, que los costos no varían al reprogramar actividades en serie a paralelo o viceversa, por cuanto puede variar la duración total en jornadas pero no cambia la cantidad de recursos que se utiliza en Jornadas-Hombre ó Horas Equipo.

Esta situación cambia sin embargo cuando se trabajan jornadas nocturnas, las cuales sí tienen un mayor costo unitario y un rendimiento menor. Las jornadas nocturnas resultan en promedio 22 % mas caras y sus rendimientos equivalen al 80 % de los rendimientos de las jornadas diurnas.

Otra forma en la que pueden variar los Costos de Mantenimiento es con la preparación de subconjuntos o equipos de reemplazo que con el afán de disminuir días de parada se pueden adquirir o pre-ensamblar en Planta en forma previa a la Inspección General. En este caso en lugar de retirar el equipo o desarmarlo para inspeccionarlo y repararlo, puede optarse por efectuar únicamente su reemplazo, disminuyendo como es evidente en forma dramática el plazo de

ejecución, pero con el consiguiente aumento en los costos que en el caso de los equipos es sumamente elevado. Sin embargo queda como alternativa de optimización que debe usarse si la evaluación económica así lo determina.

Respecto a los servicios contratados, en el presente estudio se unifican con el costo de la jornada-hombre del personal propio. Esto porque si bien es cierto los servicios de mantenimiento contratados resultan más baratos que los ejecutados con mano de obra propia; en una Inspección General se contratan además de estos servicios, equipos auxiliares como compresores, máquinas de soldar, etc. cuyos costos, al añadirse al de los servicios de mantenimiento lo acercan al costo de mano de obra propia, el que por supuesto ya incluye todas las facilidades con que se debe contar para realizar los trabajos. Incluso podemos afirmar que parte de los costos indirectos con que calculamos la jornada-hombre propia, por corresponder a la gestión y administración de los contratos, debe añadirse al costo de los servicios de mantenimiento contratados. Por esta razón con un margen de error razonable podemos calcular los Costos de Mantenimiento

solo con las referencias de jornada-hombre diurna y jornada-hombre nocturna, únicas para la labor sea ejecutada por personal propio contratado.

7.1.2. Costo de Materiales:

En cuanto a los materiales y repuestos que se utilizan en una Inspección General, la cantidad de las mismas y por ende este rubro, no dependen del plazo de ejecución por lo que podemos suponerlas constante. En la práctica y dentro de un análisis mucho más minucioso podría considerarse como variable día a día porque todos los materiales no se usan en un solo día. Sin embargo, al final, el costo total de lo utilizado será igual sea cual fuere el plazo de ejecución.

Así también si analizamos el costo adicional por despachos en jornada nocturna, podemos ver que se torna despreciable frente a la suma de US\$ 2'050,000 que es el costo correspondiente a materiales y repuestos en esta Inspección General. Podemos asumir entonces para nuestro proceso de optimización, como constante el costo total por este concepto.

7.1.3. Costo por Lucro Cesante:

Claramente se puede observar por lo indicado en el Capítulo V, que el costo por este concepto varía en forma directamente proporcional a los días de parada total de la planta y a un ritmo de U.S.\$ 48,430 por día.

Como resumen podemos señalar las siguientes relaciones entre las variables de costo:

$$CIG = C_m + C_r + L_c$$

Donde:

CIG = Costo global de la Inspección general

$C_m =$ Costo mantenimiento = $f(\text{duración, jorn-h}^{\text{IA}}$
horas-eq).

$C_r =$ Costo por materiales y repuestos

$C_r =$ 2.05 (MM US\$) Constante.

$L_c =$ Costo por Lucro Cesante $0.04843 \times d$
(MMUS\$).

$d =$ duración en días.

Siendo el costo por materiales y repuestos una constante y el costo por lucro cesante una función lineal, nos queda sólo el costo por

mantenimiento como una función no lineal de las variables: duración, No. de jornadas-hombre utilizadas y No. de Horas-Equipo utilizadas. Esto nos lleva a efectuar la optimización efectuando iteraciones que calculadas una a una con ayuda del Computador, nos permitirá trazar una curva de tendencia para el Costo de Mantenimiento y simultáneamente la correspondiente al Costo Global.

7.2. Iteraciones de la Ruta Crítica.-

Esto constituye la parte medular de la optimización. Y aquí nos es de vital ayuda el Computador. Esta facilidad aunada a la experiencia nos permite efectuar iteraciones en la ruta crítica del diagrama de redes, que llevan a una disminución de la duración total de la Parada. Remarcamos nuevamente porque lo consideramos necesario, que la duración está referida a la máxima ó restrictiva.

La experiencia nos indica que al comienzo, pequeñas variaciones en la ruta crítica llevan a grandes disminuciones de la duración total, y poco a poco la dificultad para disminuir este plazo será mayor. Entonces, en **primera** instancia analizaremos el Diagrama de Redes de la "INSPGNRL" el cual nos

indica que la Ruta Crítica pasa por: ZONA 7 ARRANQUE - SS:AA. - ARRANQUE - AMONIACO - ARRANQUE UREA. Para el pte. análisis consideramos fijos los tiempos dados para los arranques de las diferente plantas. Efectivamente por ser maniobras operativas que siguen procedimientos establecidos se puede considerar como no sujetos a variación aún cuando en la realidad pueden presentarse problemas que retardan los arranques.

Nos queda por lo tanto la Zona 7 para disminuir su duración. Nos dirigimos a su correspondiente Diagrama de redes y vemos que la Ruta Crítica la constituye la actividad 7-012: "Inspección del Evaporador Instantáneo" con 30 días útiles de duración.

Vista las condiciones en las cuales se da este plazo: jornada diurna, trabajando de Lunes a Sábado; optamos por asignar jornadas nocturnas adicionales lo cual se manifiesta en lo siguiente:

$$Dd = Dn \times 1.8$$

Donde:

Dd: Duración trabajando jornadas diurnas

Dn: Duración trabajando jornadas nocturnas

y el factor de 1.8 se da por el efecto del menor rendimiento nocturno respecto al diurno.

De este modo la asignación de recursos por jornada se hará igual a los recursos diurnos mas los recursos nocturnos. Esto permitirá reflejar el mayor costo de la actividad al agregar los recursos definidos como de jornada nocturna que tienen un mayor costo unitario.

Es así que la nueva duración de la actividad 7-012 resulta de 16.7 días que es el dato con que se reprograma la red. Esto trae como consecuencia que la duración de la ZONA 7 disminuya a 21 días útiles y la duración total de la "INSP.GNRL" a 33 días útiles.

Todos estos cálculos de reprogramación los efectúa el Computador el que inmediatamente nos muestra las nuevas rutas críticas. Con esta única variación en la duración de la actividad 7-012, se fija una nueva Ruta Crítica para la ZONA 7 y cuando accesamos a "INSPGNRL", el Computador también le señala a este Proyecto no solo una nueva duración y una nueva Ruta Crítica: ZONA 8 - ARRANQUE SS.AA. - ARRANQUE AMONIACO - ARRANQUE U A; sino también un nuevo costo : US\$ 1'536,474.

De este modo obtenemos un segundo punto para la curva de Costos de Mantenimiento y estamos listos para una nueva iteración. En el Cuadro No.7 podemos apreciar los resultados de las iteraciones sucesivas efectuadas reprogramando las Rutas Críticas y se indican las acciones de reprogramación, las duraciones y los costos resultantes para la Inspección General como resultado de cada iteración. Se indican además la Zona o Zonas que como producto de la reprogramación de la red devienen en nuevas Zonas Críticas. Estas a su vez contienen sus propias Rutas Críticas sobre las cuales se efectúa la reprogramación siempre con el criterio de hacer los cambios de menor costo.

En nuestro caso al cabo de la cuarta iteración, vemos que ya no es una sino dos las zonas críticas. Después de la quinta iteración son 3 y después de la séptima son 8 las Zonas Críticas. Esto nos da una idea de que cada vez es mas difícil y mas costoso reducir el número de días de duración total de la Inspección General.

=====

ITERACIONES D LA RUTA CRITICA

No	DIAS EJECU.	DIAS CALEND.	COSTO (US\$)	ZONAS CRITICAS	REPROGRAMACION EFECTUADA
1	38	44	1'514,653	7	Jorn:12h.Diurno Lunes a Sábado
2	33	38	1'536,474	8	2 Turnos: 2-7 Evap.Instantáneo.
3	32	37	1'541,559	8	2 Turnos: 2-8 Reentub.Caldereta
4	31	36	1'546,642	11	2 Turnos: 2-8 Insp Calderos.
5	30	35	1'550,240	8,13	Cuadrilla Adic.: 2-11 Soplad.Urea.
6	29	34	1'561,915	3, 7 12	2 turnos:2-8 Chi- mineas,Saturador. 2-13 Valvs.Manls.
7	28	32	1'588,160	8,12	2 Turnos:2-3 Limp Canalts.2-12 Valv Amon.Cuadrilla Ad Tks 2-7.
8	27	31	1'603,399	10,1,3 5,6,7 14,15	2 Turnos:2-8 Fact Regeneración.2-12 Modif.Amoniaco.

=====

CUADRO No 7

=====

7.3. CURVAS D COSTOS

Hasta aquí resulta claro que podemos trazar 4 curvas correspondientes a: Costos de Mantenimiento, Costo de Materiales, Costos por Lucro Cesante y Costo Global. Para ello con los datos del Capítulo anterior ingresamos a un programa de gráficos denominado "Harvard Graphics" o "HG" el cual nos facilita el trazado de las curvas. En él seleccionamos la opción 'BAR/LINE" y procedemos a colocar en las abscisas o eje de las "x", los días de duración de la Parada. En el eje de las "y" llamadas "Series" en el "HG", asignamos los diferentes tipos de costos en MMUS\$.

Así, en forma inicial y de acuerdo a las iteraciones efectuadas nos fijamos un rango para los días de duración, de 25 a 45 días calendarios con divisiones de un día. A continuación ingresamos los Costos de Mantenimiento, los cuales siguen una tendencia inversamente proporcional al número de días de duración y tiene una configuración hiperbólica. En el "HG" se ingresan estos costos como "Serie 1", debiendo tenerse presente por otro lado, que los días de duración que nos muestra el "HTPM" son días laborables, y que al pasar a la Curva de Costos debemos agregar a estos los Domingos. Si bien es

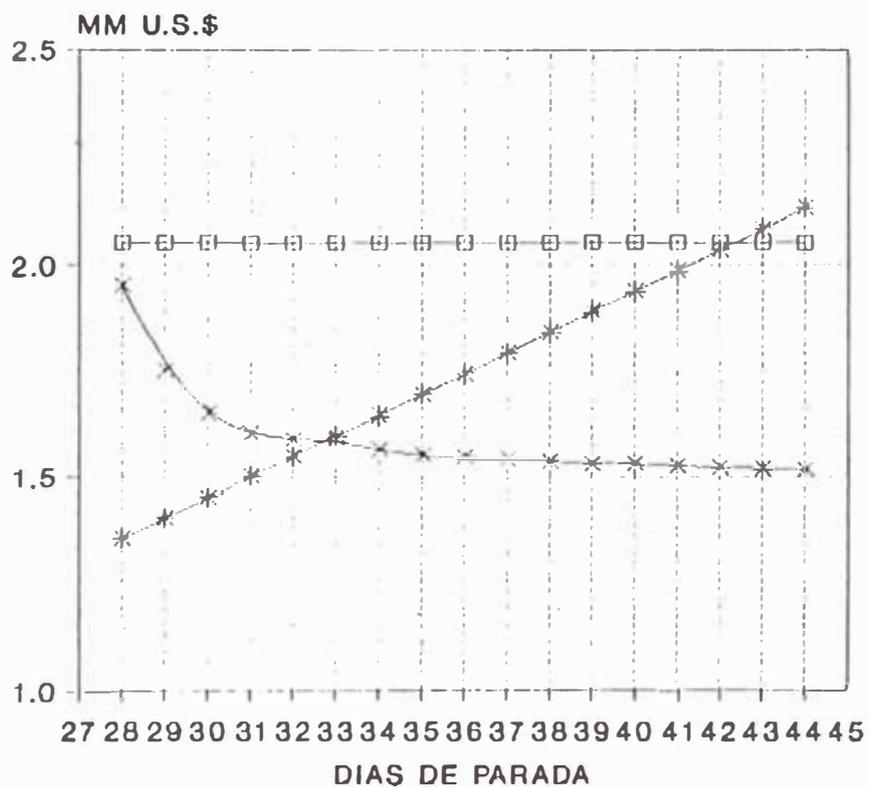
cierto que un Domingo tal como se ha estipulado para el programa, no involucra costos por mantenimiento, pues ese día no se trabaja, sin embargo como Lucro Cesante sí significa un día mas sin producción.

Luego ingresamos el dato de Costo de Materiales y Repuestos como una constante, configurando la "Serie 2". Seguidamente ingresamos la ecuación lineal de los Costos por Lucro Cesante bajo la "Serie 3" y finalmente damos instrucciones al Computador para que tome como dato para la Curva de Costos Globales, la suma de los datos de las tres curvas anteriores. De este modo la pantalla nos mostrará los resultados para cada punto.

En la Figura No 6 se muestran las Curvas así logradas de los Costos de Mantenimiento, Costos de Materiales y Repuestos y Costos por Lucro Cesante. En ella se aprecian las respectivas tendencias. En la Figura No 7 se encuentra el gráfico correspondiente a la Curva de Costos Globales en la que claramente se puede determinar el punto óptimo o de mínimo costo. Este punto corresponde a 30 días calendarios. Es aquí que llegamos al punto culminante de la optimización y así obtenemos el dato que se tomará como objetivo, con la plena confianza que de así hacerlo estaremos trabajando al

mínimo costo contando para ello con el respaldo analítico del presente estudio. Después de esto procedemos a efectuar las impresiones de los reportes del "HTPM" con las corridas correspondientes al plazo obtenido de 30 días calendarios o 26 días hábiles. Estos reportes son los que se muestran en el Anexo VIII y constan básicamente de los Diagramas de red, los Cronogramas o "Schedules" y las Curvas de Costos Acumulados para cada Zona y para la Inspección General.

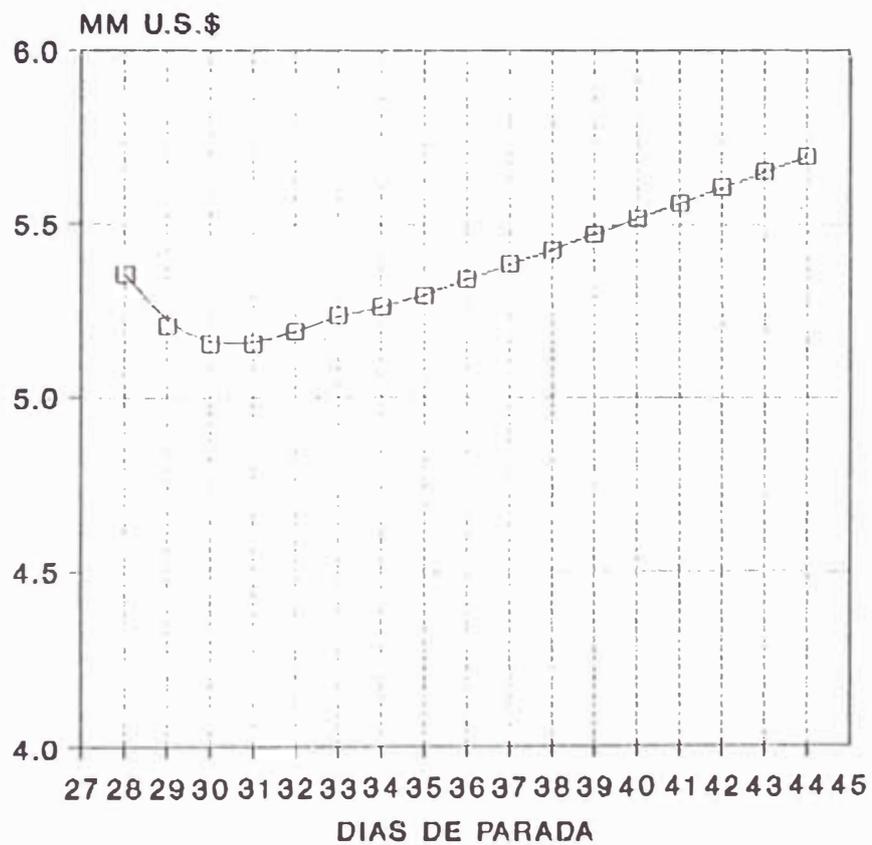
INSPECCION GENERAL PLANTA FERTILIZANTES CURVAS DE COSTOS



—*—	COSTO MANTEN.	-□-	COSTO MATERIALES
-x-	COSTO LUCRO CESANTE		

FIGURA No 6

INSPECCION GENERAL PLANTA FERTILIZANTES CURVAS DE COSTOS



—□— COSTO GLOBAL

FIGURA No 7

VIII ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este Capítulo trataremos sobre los resultados obtenidos de todo el proceso de Optimización seguido para lograr determinar el plazo de ejecución **mas** económico en que deben llevarse a cabo las Inspecciones Generales del Complejo de Fertilizantes.

Analizando la tendencia de la Curva de Costo Global se puede apreciar que efectivamente presenta un punto mínimo para un determinado plazo de ejecución. A la **derecha de** este punto el Costo Global aumenta por la influencia gravitante del Costo por Lucro Cesante, cuya tasa de crecimiento es en este sector mayor que la tasa de decrecimiento del Costo de Mantenimiento.

Por el contrario, avanzando hacia la izquierda del punto de mínimo costo, la tasa de **crecimiento** del Costo de Mantenimiento se hace mayor que la tasa de decrecimiento del Costo por Lucro Cesante. El Costo por Materiales y Repuestos **se** considera constante y no afecta la tendencia de la Curva de Costo Global.

8.1. Tiempo Optimo de Ejecución de las Inspecciones

Generales del Complejo de Fertilizantes

Así llegamos al tiempo óptimo obtenido para esta Inspección General luego de concluir el proceso de Optimización. Este tiempo o plazo óptimo es de 30 días calendarios ó 26 días laborables. Es decir iniciando la Inspección General el 24 de Enero de 1989, debemos esperar concluirla a mas tardar el 23 de Febrero de 1989.

Como este es el plazo máximo o restrictivo "t", a partir de este calculamos el plazo en el cual debe programarse la Parada o tiempo medio " \emptyset " considerando como ya hemos explicado anteriormente una Mantenibilidad de 80 %. Tenemos entonces que:

$$\begin{aligned}\emptyset &= t/1.6 \\ \emptyset &= 26/1.6 = 16.25\end{aligned}$$

redondeando:

$$\emptyset \approx 16 \text{ días}$$

Quiere decir que para lograr el mínimo costo de la Inspección General, debemos programar las actividades para ser ejecutadas en 16 días laborables, iniciando el 24 de Enero de 1989 y programando para concluirlas el 11 de Febrero de 1989. Si así lo

hacemos **habrá un 80 %** de probabilidades de concluir las no mas allá del 23 de Febrero.

Con estos datos y con los datos que nos proporciona la Curva de Costos Acumulados del "HTPM", podemos trazar las Curvas de Control de los trabajos de la Parada. Estas curvas se trazan para cada Zona y para el Proyecto Mayor que es la Inspección General.

Siendo la Curva de Costos Acumulados del "HTPM" la acumulación gráfica de los Costos de Mantenimiento, los cuales es evidente que son proporcionales a los recursos empleados, entonces podemos considerar que en esta curva se reúnen dos factores decisivos para el control: el avance de cada actividad y la ponderación o peso que tienen cada uno de ellas para el avance total de la Zona. En otras palabras cuando se concluye una actividad, también el costo que ella representa se ha gastado y además cuanto mayor es el monto que conlleva una actividad, **mayor** es la cantidad de recursos que emplea y podemos suponer con casi total exactitud, que su valor o peso específico dentro de la Zona también será mayor.

Entonces como tenemos graficada esta curva en M.U.S.\$, efectuamos la conversión a **porcentajes** utilizando otra facilidad del "HTPM". Para este

efecto almacenamos la información de "Costos Acumulados" en un file el cual luego es trasladado al programa "LOTUS". En este programa realizamos muy fácilmente las operaciones de conversión. Una vez convertidos los datos, con el "HARVARD GRAPHICS" graficamos de un modo bastante claro y de fácil interpretación las Curvas de Control correspondientes al lazo máximo o restrictivo "t". Posteriormente aplicamos el factor 1/1.6 a estas curvas obteniendo las Curvas de Control para el plazo programado o tiempo medio " \emptyset ". Ambas curvas se grafican juntas para cada Zona y para la Inspección General y sirven de límites entre los cuales deberá estar el avance real. Para lograr que así sea se deberá efectuar el control adecuado durante la ejecución de la Parada, lo que nos llevará a tomar las medidas correctivas que se requieran, en forma oportuna.

Las Curvas de Control son las herramientas de control más poderosas con que se cuentan en la actualidad y permiten llegar al objetivo trazado con una visión más clara y sencilla del Proyecto, proporcionándonos la facilidad de efectuar un control más oportuno y efectivo. Tal como se mencionó en el Capítulo III, en el Anexo IV se muestran las Curvas de Control para la Inspección

General optimizada. y para las cinco primeras Zonas de trabajo. Las Curvas de Control de las otras diez Zonas, siguen la misma tendencia.

8.2. Cuantificación del Ahorro Obtenido.-

Siguiendo el procedimiento expuesto en el presente trabajo, queda definido que la Inspección General del Complejo de Fertilizantes debe tener como plazo máximo de ejecución 30 días calendarios. Al 31vo día el Complejo debe iniciar la producción de Urea.

Anteriormente, en los años iniciales de funcionamiento del Complejo y de acuerdo a la recomendación del fabricante, el plazo de ejecución para los trabajos de mantenimiento era de 30 días y adicionalmente se consideraban 5 días para arranque con lo que el total de días ascendía a 35 días calendarios. Posteriormente con la creciente demanda de la Urea nacional, se redujo el plazo a 25 días para los trabajos de mantenimiento y se consideró el arranque en forma paralela por lo que únicamente se adicionaba 2 días por este concepto. Así el plazo total de parada del Complejo ascendía a 27 días calendarios.

Ahora vemos a la luz de este estudio que ninguna de

las dos programaciones era la mas económica. Esto en razón de los criterios que han primado para fijar los plazos de ejecución de las Paradas de Planta los cuales han sido en general y continúan siendo criterios netamente operativos y de maximización de la producción, aún cuando esto implique un costo alto

Sin embargo ya podemos sentir y comprender que hay alternativas que pueden ser mas económicas y rentables, tambien que el desarrollo de la informática nos ayuda a llegar a ellas con mas facilidad que antes y que por lo tanto debemos recurrir mas continuamente a ellas, mas aún en estos tiempos de crisis en que el país debe buscar denodadamente la productividad en todas sus actividades para remontar la curva descendente subdesarrollo.

¿Cuánto significa esta diferencia de programación en el sentido económico?. Vayamos al Cuadro No 8 y del análisis del mismo podemos apreciar que:

- 1.- Con respecto a la programación antigua el ahorro estimado es de U.S.\$ 150,000.
- 2.- Con respecto a la programación actual el ahorro estimado es de U.S.\$350,000.

=====

CUANTIFICACION DEL AHORRO OBTENIDO

	PROG. ANTIGUO	PROG. ACTUAL	PROG. PROPUESTO
PLAZO MANTEN. (d.cal.)	30	25	28
ARRANQUE ADIC. (d.cal.)	5	2	2
PLAZO MAXIMO (d.cal.)	35	27	30
COSTO GLOBAL (US\$)	5'300,000	5'500,000	5'150,000

CUADRO No 8

=====

En el caso 1, pese a que la diferencia de días es mayor, sin embargo el ahorro obtenido es menor que en el segundo caso, donde con una diferencia de solo 3 días el monto asciende a la cantidad arriba anotada. Esto se debe a que para continuar disminuyendo el plazo deberán emplearse recursos cada vez de mayor magnitud, logrando sin embargo efectos cada vez menores. En cambio un día adicional en el plazo significa poco aumento del Costo Global por lo que se puede considerar esto último como un colchón en el plazo.

CONCLUSIONES

Luego de completado el presente estudio con resultados de aplicación inmediata y sobre todo que cuentan con el debido sustento y soporte técnico - analítico, consideramos que este será una pequeña contribución a la formación de una conciencia de elevación **permanente** de la Productividad del empleo de otros métodos analíticos para la optimización de la Gestión, en todas las actividades del quehacer cotidiano de la Nación. Esta afirmación la hacemos en base a las siguientes Conclusiones que se derivan de todo lo desarrollado en este trabajo:

- 1.- Es factible y conveniente efectuar la Optimización económica de los Planeamientos de las Inspecciones Generales de Plantas Industriales.
- 2.- Esta Optimización puede realizarse combinando el uso de los programas informáticos: "Harvard Total Project Management - HTPM" y el "Harvard Graphics-HG".
- 3.- La metodología a emplearse en esta optimización deberá ser la siguiente:

- 3.1.- Determinar los trabajos a realizar en la Inspección General.
- 3.2.- Elaborar los Diagramas de Redes con ayuda del "HTPM", considerando el empleo del concepto de Mantenibilidad con un nivel, que por el momento puede considerarse en 80 %.
- 3.3.- Definir y asignar los recursos correspondientes a cada actividad. Cada recurso debe tener un costo unitario predeterminado.
- 3.4.- Iterar la ruta crítica para reducir la duración, empleando el criterio de efectuar primero las modificaciones de mínimo costo a la red. Esto significa emplear una secuencia en las modificaciones tal como la que se indica a continuación; debiendo agotar la posibilidad de efectuar cada una de ellas antes de pasar a la siguiente:
 - i.-Reubicar actividades en la Red, de secuencias en serie a secuencias en paralelo, cuidando de no saturar la capacidad física de las Zonas de trabajo.
 - ii.-Establecer doble jornada de trabajo por día

iii.-Asignar facilidades especiales que se pueden obtener fuera de la Empresa y que representen una disminución efectiva en los plazos de ejecución.

iv.-Adquirir equipos o subconjuntos completos para reemplazar en cada Inspección General.

3.5.-Graficar las curvas de Costos con ayuda del HG

3.6.-Determinar en base al análisis de estas curvas el plazo y el Costo Global óptimo.

3.7.-Considerando que el plazo determinado es el correspondiente al tiempo restrictivo, calcular el tiempo programado o medio.

3.8.-Elaborar las Curvas de Control de la ejecución de la Inspección General.

4.- Es compatible con la Optimización y le da mayor certeza a los plazos fijados, el uso del Concepto de Mantenibilidad que recalcamos, por el momento puede tomarse en un nivel de 80 % y mas adelante con la experiencia ganada podemos reajustar su valor para cada caso en particular.

- 5.- En el caso específico de la Inspección General del Complejo de Fertilizantes el plazo óptimo para su ejecución es de 30 días calendarios incluyendo el proceso de arranque. Esto conlleva un Costo Mínimo estimado en U.S.\$ 5'150,000 para esta Parada.

- 6.- El ahorro estimado utilizando la programación aquí propuesta, con respecto a la programación actual es de U.S.\$ 350,000.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- CALABRO, S.R. "Reliability Principles and Practices' Ed Mc Graw Hill Book Co. New York USA.
- 2.- CALABRO, S.R. "Gerencia de Mantenimiento y Reducción de Costos". Ed. PetroPerú. 1983.
- 3.- MAZURIER, André "Técnicas de Trabajo - ING.TIN.04. Inspección y Mantenimiento". IPEDELF. Ed. PetroPerú. Set. 1986.
- 4.- STILIAN N.,Gabriel "PERT - Un nuevo Instrumento de Planificación y Control" Ediciones Deusto.4ta. Ed. Bilbao.
- 5.- MARTIN R, William "Aplicaciones de las técnicas PERT/CPM a la Planificación y Control de la Construcción" Ed.Blume. Barcelona. 1972.
- 6.- SUPERINT. ING. N.O. "Planeamiento VI Inspección General del Complejo de Fertilizantes". Ed. PETROPERU. 1987.
- 7.- LOBATO OLLE, Manuel "Análisis del Concepto de Mantenibilidad". Separatas. Ed.Libre.1982. VIERA
- 8.- SERRAO VIERA, Ney.- "Present Trend in Planning and Scheduling Shutdowns in Petrobras Refineries". JCCP International Symposium. Tokyo. Nov. 1988.
- 9.- AUGUSTO T., Leurival "Planeamiento e Controle de Manutencao". Ed. Instituto Brasileiro de Petroleo. 1983.
- 10.-ALVAREZ L., Moisés "Aspectos teóricos en la fabricación de Urea". Seminario de Manufactura y Mantenimiento de Fertilizantes Nitrogenados. Ed. PetroPerú.Oct.1977.
- 11.-MONGELOS O.,José I. Significado de la Función Mantenimiento", V Convención Nacional de la Industria Química. Barcelona.1975.

- 12.-PINTO, José Manuel "Calidad Total en la Industria Petrolera, Petroquímica y Carbonífica de Venezuela. "Petróleos de Venezuela Boletín Técnico ARPEL.Vol.18 (1):1-62 Marzo 1989.
- 13.-AGUILAR F., Gildardo "La Empresa como Centro Educacional enfocada a incrementar la Productividad". Instituto Mexicano del Petróleo. Boletín Técnico ARPEL. Vol.18 (1): 1-62. Marzo 1989.
- 14.-SOFTWARE P. Corp.- "Harvard Total Project Manager - Workbook". Software Publishing Corporation. Mountain View.USA. 1986