

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Optimización de la ganancia en una instalación industrial mediante inversiones que incrementen su disponibilidad operativa.

Autor: Claudia Beatriz Hernández Rodríguez.

Tutores: Dr. Ing. Ronaldo Santos.
MSc. Lester Alemán Hurtado.

Consultante: Lic. Yoelvis Fleitas Avila

Santa Clara , Junio, 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FQF
Facultad de
Química y Farmacia

DIPLOMA THESIS

Title: Optimization of the gain in an industrial installation by means of investments that increase their operative readiness

Author: Claudia Beatríz Hernández Rodríguez

Thesis Director: Dr. Ing. Ronaldo Santos.
MSc. Lester Alemán Hurtado.

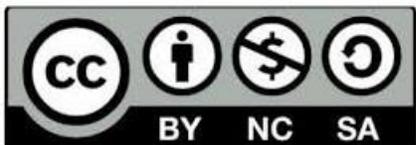
Consultant: Lic. Yoelvis Fleitas Avila

Santa Clara , June ,2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419.

Dedicatoria:

A mi mamá:

Por ser una de las personas más importantes en mi vida a la cual le debo todo, por apoyarme siempre en cada situación que se ha presentado, por su amor y sacrificio incondicional. Simplemente por ser la gran mamá que es.

A mi abuela Nereida:

Que me crío, que me hizo la mujer que soy hoy, por ser una de las cosas más especiales y lindas de mi vida, porque por ti también quiero ser una persona mejor.

A mi tía Nery y mi tío Abelito:

Por estar a mi lado en las buenas y malas, por darme su apoyo incondicional sin esperar nada a cambio, a ustedes, por todo el amor que han derrochado en mí, espero que estén muy orgullosos de la persona en que me he convertido.

Agradecimientos:

A Erenio González Suárez, por sus consejos los cuales me han permitido lograr este trabajo, por dedicarme su tiempo y dedicación, por todo eso y muchas más gracias.

A toda mi familia por apoyarme en mis decisiones, por cuidar cada paso que doy, cada sueño, porque me han enseñado que, con esfuerzo, el camino de la vida es más fácil de transitar, siempre con una sonrisa, un consejo y palabras de aliento para poder superar las adversidades que se presentaron en el camino y darme fuerzas para llegar a la meta propuesta porque lo que soy hoy se resume en cada uno de ellos. Gracias por hacerme tan feliz porque sin ustedes no hubiera podido lograrlo. Los amo.

A los compañeros de aula porque la oportunidad que tuve de conocerlos a todos y de compartir junto a ustedes gracias.

A mis amigas de siempre Lianet, Aliani Araujo , Leidy Laura, Jessica, Andrea, Alianys Brito, Alejandra a todas y a cada una quiero agradecerles por ser parte de mi vida, porque fueron como una familia para mí, por todas las cosas compartidas, por los buenos momentos que serán inigualables, por todas las noches de desvelos que compartimos juntas, por la amistad que creció entre todas y por regalarme tantos momentos lindos e inolvidables.

A aquellas personas que me ayudaron a terminar con éxito mi tesis y he molestado en este tiempo, a los trabajadores de la refinería por brindarme su apoyo en todo momento.

A todas aquellas personas que de una manera u otra no escatimaron esfuerzos, contribuyeron a la realización de este trabajo y participaron o estuvieron presentes en mi vida... a los que no mencioné... a todos, GRACIAS.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis de la importancia de minimizar la incertidumbre de las disponibilidades de los equipos en plantas en operación en relación a los fallos de operación de la planta, lo cual es solucionado por la inclusión de la fiabilidad en el procedimiento para evaluar alternativas de inversión para ampliar la ganancia de la planta en operación, aspecto que no ha sido suficientemente tratado, en la industria del petróleo cubana, con anterioridad y que permite la elaboración de la metodología desarrollada en este trabajo donde se conjugan los aspectos relacionados con la concepción tecnológica, explotación técnica y eficiencia económica de la planta que se proyecta.

La metodología propuesta se apoya en un procedimiento matemático que posibilitó la utilización de un software que permite determinar la función de distribución a la que se ajustan los fallos, la confección y optimización del modelo matemático para obtener el número de equipos en cada una de las etapas y por último comparar las ganancias obtenidas actualmente con las que se obtendrán al realizar las redundancias necesarias. La validación de esta metodología se logra a través de un ejemplo, lo que oportunamente demuestra la importancia de estas nuevas concepciones en el análisis de inversiones. La planta propuesta fue la Refinería de petróleo "Sergio Soto" de Cabaiguán. La disponibilidad anual del sistema tecnológico se incrementa con las inversiones recomendadas en 0,58 a 0,79 y esto implica subir de una ganancia anual factible de \$ 4 237 206,8 a \$ 6 460 933,94.

SUMMARY

In the present work an analysis is made of the importance of minimizing the uncertainty of the availability of the equipment in plants in operation in relation to the operational failures of the plant, which is solved by the inclusion of the reliability in the procedure for evaluate investment alternatives to increase the profit of the plant in operation, an aspect that has not been sufficiently dealt with, in the Cuban oil industry, previously and that allows the elaboration of the methodology developed in this work where the aspects related to the technological conception, technical exploitation and economic efficiency of the projected plant. The proposed methodology is based on a mathematical procedure that allowed the use of software that allows to determine the distribution function to which failures are adjusted, the preparation and optimization of the mathematical model to obtain the number of equipment in each of the stages and finally compare the gains obtained today with those obtained by making the necessary redundancies. The validation of this methodology is achieved through an example, which appropriately demonstrates the importance of these new conceptions in the analysis of investments. The proposed plant was the "Sergio Soto" oil refinery in Cabaiguán. The annual availability of the technological system increases with the recommended investments of 0.58 to 0.79 and this implies increasing from a feasible annual profit of \$ 4 237 206.8 to \$ 6 460 933.94.

Índice:

Introducción	1
CAPITULO I: Análisis de la literatura	3
1.1. La ingeniería y áreas que la integran (Nava, 1960).....	3
1.2. Análisis económico del proyecto.....	7
1.3. La Inversión en la Industria Química	8
1.4. Estimación de los nuevos costos de producción en la industria química.	15
1.5. Influencia del análisis de fiabilidad del sistema en la etapa de diseño de un proyecto tecnológico.	22
Conclusiones Parciales:.....	23
CAPITULO II: Metodología para el análisis de inversiones considerando la fiabilidad de los equipos.....	25
2.1-Introducción.....	25
2.2-Metodologia de Análisis Técnico Económico de Inversiones.	25
2.2.1- Desarrollo de herramientas matemáticas.	39
2.2.2 Método de Programación lineal y programación no lineal en enteros. .	41
Conclusiones Parciales	43
Capítulo III: Análisis de alternativas de inversión en la Empresa Refinería de Petróleo “Sergio Soto “de Cabaiguán para incrementar su disponibilidad operativa.	44
3.1-Panoramica actual de la industria	44
3.1.1- Descripción del proceso tecnológico de refinación de crudo en la refinería “Sergio Soto Valdés”.	45
3.2.1-Solución del problema de optimización.	53
Conclusiones parciales:.....	56
Conclusiones generales:	57
Recomendaciones.....	58
Bibliografía:.....	59
Anexos	62

Introducción

La Industria Química Cubana es la encargada entre otras cosas de rectorar la explotación de los minerales en nuestro país y por supuesto del petróleo. La refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán tiene como misión productiva la refinación del crudo nacional, que se extrae de la cuenca central siendo la misión fundamental de esta industria.

La Refinería “Sergio Soto” de Cabaiguán surgió en el año 1947 utilizando solamente crudo extraído de Jarahueca con una producción de 400 barriles/día. Al triunfo de la Revolución empezó a refinar el crudo traído de Colombia y en 1960 empieza a recibir crudo soviético, aumentando y mejorando su calidad de 60 a 800 toneladas/día. Actualmente se refina el crudo nacional originario de la cuenca central (Jatibonico, Pina-Cristales, y Majagua), además del crudo de Varadero, y costa norte de las provincias de Matanzas, Mayabeque y La Habana.

Esta empresa al presentar tantos años de explotación, y la falta de repuestos conllevó al deterioro de los equipos, los cuales presentan fallos y problemas en su mantenimiento y reparación. Lo que trae consigo que la producción se vea afectada al detener la planta debido a las rupturas de algunos equipos, y la economía de la empresa no cumple con los planes establecidos.

Por lo que la empresa ha decidido realizar una inversión, para adquirir nuevos equipos y poder remplazar los que se encuentran en peores estados de trabajo, y mejorar el mantenimiento de aquellos que puedan continuar funcionando.

Problema científico:

Existen fallos en los equipos en el área de producción en la refinería” Sergio Soto Valdés”, debido al tiempo de explotación que presentan y al indebido mantenimiento y reparación que se les realiza.

Hipótesis:

Si se realiza un análisis de fiabilidad sobre los equipos fundamentales de la planta se lograría incrementar la disponibilidad de operación de la Refinería de Petróleo” Sergio Soto Valdés “de Cabaiguán.

Objetivo**General:**

Analizar la fiabilidad de los equipos en la refinería " Sergio Soto" de Cabaiguán, para proponer las redundancias necesarias, lo que permite ampliar la ganancia en la planta en operación.

Objetivos específicos:

1. Realizar un estudio del estado del arte acerca de la influencia de la fiabilidad en la disponibilidad de las instalaciones industriales y en los costos de inversión y de instalación.
2. Establecer mediante el estudio estadístico de los fallos de los equipos las funciones de distribución de trabajo sin fallo de los principales equipamientos.
3. Determinar la fiabilidad del sistema desarrollando métodos para la optimización de las redundancias en cada una de las etapas.
4. Aplicar algoritmos y software para la optimizar la disponibilidad de nuevas inversiones que permitan obtener el número óptimo de equipos, y así proponer los necesarios para la inversión final en la Refinería de petróleo "Sergio Soto".
5. Realizar análisis técnico-económico de la propuesta inversionista aplicando métodos dinámicos en el análisis de rentabilidad.

CAPITULO I: Análisis de la literatura

1.1. La ingeniería y áreas que la integran (Nava, 1960)

La integración de proyectos definida como la serie de actividades de coordinación, control y dirección de las disciplinas técnicas y administrativas necesarias para la ejecución de un proyecto industrial se constituye en el proceso mediante el cual una idea se transforma en un bien.

Por el tipo de proyecto y de metodología de ejecución, los proyectos industriales pueden ser de dos tipos:

- De investigación y desarrollo
- De diseño (ingeniería básica e ingeniería de detalles).

Por su aplicación, los proyectos industriales se pueden agrupar en cuatro tipos:

- De investigación y desarrollo.
- De diseño
- De bienes capitales.
- De construcción

En la ejecución de proyectos industriales se hace uso de dos herramientas muy útiles: la evaluación y la optimización de procesos.

Proyecto de investigación y desarrollo.

Estos proyectos son de dos tipos fundamentales:

Los que tiene como objetivo la creación de un nuevo proceso y los que tienen como propósito la implementación de la tecnología existente a campos pre-determinados. Las fases que normalmente cubren este tipo de proyecto son:

- Recopilación de información
- Definición preliminar del proceso
- Evaluación preliminar
- Experimentación en el laboratorio
- Evaluación del proceso
- Experimentación en planta piloto
- Evaluación del proceso
- Determinación de información final para el diseño

El problema original del proyecto (González, 1987)

La nueva necesidad social o el incremento de una ya existente que da origen a una nueva planta industrial es llamada por algunos autores " problema primitivo " o problema original.

Como hemos dicho, una característica del problema original es su identificación cualitativa y cuantitativa lo que lo hace ambiguo, por ello el primer paso en la estrategia general " para su solución es establecer las características y cantidades del producto que se desea para satisfacer la necesidad social.

La estrategia general en la solución del problema original incluye entonces los siguientes aspectos:

- Definición cualitativa y cuantitativa del problema original.
- Análisis de las diferentes alternativas a través de las cuales la necesidad original puede resolverse.
- Selección de la mejor alternativa para la solución del problema planteado.

Definición cuantitativa del problema original

La definición cuantitativa del problema original implica estimar la cuantía de los bienes o servicios provenientes de una nueva unidad de producción que la sociedad requiere para el cumplimiento de los planes económicos y socio-globales del país. Esta cuantía representa la demanda desde el punto de vista del proyecto y se especifica para un periodo convencional (un año o un mes).

Para la determinación de la demanda futura de un producto se emplea las series cronológicas que permiten una extrapolación de la tendencia histórica sobre la base de una función $y=F(t)$ que permite conocer las posibilidades de incrementar el consumo de un producto.

Para la determinación a largo plazo de la demanda se utilizan diferentes métodos, los más importantes según la literatura son (ONU, 1967):

- El método de los promedios móviles
- El método de los semipromedios
- El método de los mínimos cuadrados.

En esta parte del trabajo es útil referirnos al trabajo realizado por MANNE (Manne, 1972) referente al cálculo de un área de producción simple, concretamente se plantea lo siguiente:

Durante cierto tiempo hay una cierta demanda de un producto. Dos alternativas van a ser consideradas para encontrar esta demanda manufactura interna (M) y adquisición externa (P). El costo de adquisición externa es mostrado como estrictamente proporcional a la cantidad tomada como una línea recta que parte del origen. La manufactura interna es supuestamente sujeta a la economía de escala y entonces se muestra como una función de costo cóncava.

Por la forma de las funciones M y P la decisión de costo mínimo es una decisión de escoger todo o nada. Si la demanda es estimada en un signo a la izquierda del punto (x), entonces la obtención externa es mejor. Para una demanda a la derecha de X la manufactura interna es menos costosa.

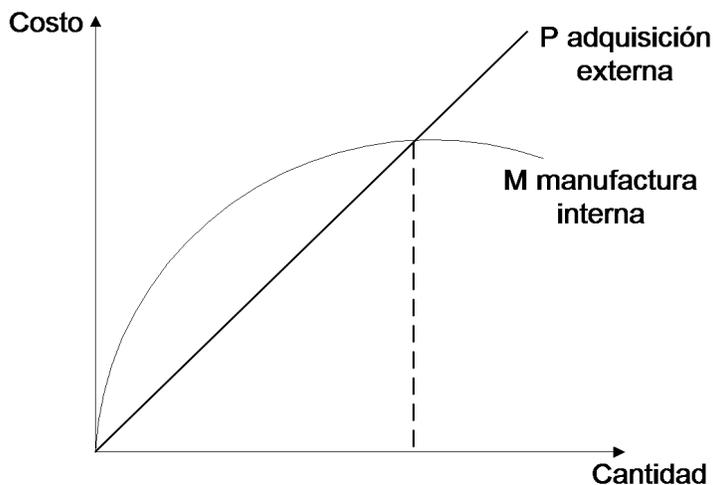


Figura1.1: Relación costo producción.

Creación de alternativas en la solución del problema original.

En la solución del problema original tiene una importancia fundamental la búsqueda de diferentes alternativas. En general la solución de un surgimiento o crecimiento en la demanda puede lograrse por tres vías:

- Mediante la importancia del producto requerido
- Mediante la ampliación de las instalaciones industriales ya existentes para la fabricación del producto.
- Mediante la inversión en nuevas instalaciones de producciones.

El desarrollo de cualquiera de estas vías implica la asignación de recursos por parte del estado para la satisfacción de la demanda, por ello el análisis de alternativas descansa en seleccionar la variante que implica un menor gasto para la sociedad, pues uno de los problemas económicos más importantes en el socialismo es la cuestión de la medición de los gastos y su efectividad en la producción.

Fases técnicas y económicas de un proyecto (ONU, 1967).

Una vez terminados todos los estudios que componen un proyecto, se podría en forma convencional, hablar de la "ingeniería del proyecto", para referirse a la fase técnica del problema y de la "economía del proyecto" para referirse a la fase económica propiamente tal del proyecto de inversión dejando implícitas en estas definiciones las influencias recíprocas antes mencionadas. Esta distinción se adopta solo para fines de exposición, pues de hecho habrá un solo proyecto, que refundirá en todo armónico los aspectos técnicos y económicos.

Pero el paso de la fase técnica a la económica no es tan sencillo como pudiera parecer por la explicación anterior.

Desde luego, no tendrá mucho sentido hablar del proyecto técnico, independientemente del problema de la asignación de los recursos para la atención de ciertas demandas, carece así mismo de sentido asignar recursos para producir determinado bien sin tener presente la existencia de ciertas exigencias técnicas de tal producción. La estrecha independencia de los aspectos técnicos y económicos va más allá de los planteamientos generales del problema, pues en los aspectos parciales de lo estudio cada alternativa técnica implica una alternativa económica

Es evidente que la precisión alcanzada en el estudio de la fase económica deberá guardar relación con el grado de precisión de la fase técnica. Para adoptar una decisión no se requiere contar con todos los detalles técnicos de la etapa física de montaje del proyecto; lo que se necesita es que los estudios de ingeniería contengan suficiente información para poder basar en ella un juicio económico que permita decidir relaciones. Es evidente que las cifras variarían cuando se afinen los estudios y después al realizar el proyecto, pero esto no importaría, siempre que las

variaciones no sean de tal naturaleza que la situación económica del proyecto se modifique.

Materia básica del proyecto

Las materias de las que trata un proyecto se pueden agrupar en aspectos, según un esquema común válido en todos los casos, advirtiendo que la importancia que se asigne a uno u otro punto del esquema general variara según la naturaleza del proyecto o según las circunstancias locales. Estos aspectos son:

- Estudio del mercado.
- Determinación del tamaño y localización.
- Ingeniería del proyecto.
- Cálculo de las inversiones.
- Presupuesto de gastos e ingresos anuales y organización de los datos para la evaluación
- Financiamiento.
- Organización y ejecución.

Es obvio señalar que la cuantía de la demanda que ha de atenderse tendrá una influencia muy importante, y a veces determinante en la decisión respecto a la capacidad de la nueva unidad productora; pero la magnitud del mercado dependerá, entre otras cosas, de la localización de la empresa, resultando aquí una clara relación entre tamaño, localización y mercado. Por otra parte, los precios de venta tendrán a veces gran influencia sobre la cuantía de la demanda y como los precios están casi siempre relacionados con los costos de producción que a su vez son por lo general función de la escala de producción y de la localización, se obtiene con eso una nueva relación entre lo concerniente a mercado, tamaño, localización, presupuesto de gasto e ingresos del proyecto.

1.2. Análisis económico del proyecto

En el proceso inversionista el análisis técnico-económico permite determinar si la inversión proyectada es capaz de satisfacer los requerimientos que la han originado y si es factible económicamente, valorando objetivamente los resultados esperados y manifestando las diferentes posibilidades.

Al hacer un análisis económico puede compararse los resultados con otras industrias u operaciones similares cuya información es conocida y determinar cuáles son los factores que más afectan su eficiencia económica.

Criterios económicos y estimación de formación de costos.

Los métodos para estimar costos son muy importantes porque son utilizados en el cálculo de la factibilidad económica de un proyecto y la toma de decisiones cuando hay varias alternativas. La predicción está basada en porcentajes o factores que generalmente son aplicables.

Para explicar los criterios económicos en la selección de alternativas se hace necesaria una estimación de los costos de producción y de inversión que posteriormente serán analizados.

Evaluación de proyectos de inversión

La evaluación de proyectos de inversión está orientada directamente a la asignación de recursos hacia un fin determinado de forma que se maximicen los beneficios y disponer de un patrón de medida o norma que permite demostrar que el uso o destino dado a los recursos empleados sea el óptimo.

La evaluación de proyectos consiste en seleccionar y aplicar dichos patrones y normas de evaluación a diversas alternativas de inversión.

1.3. La Inversión en la Industria Química

Características Generales del Proceso Inversionista Industrial.

Por proceso inversionista se entiende en general el proceso interrelacionado de un conjunto de factores y medios técnicos, económicos, organizativos, etc., que interactúan en un periodo de tiempo determinado en el análisis, la fundamentación técnico económica, la proyección la construcción de las nuevas instalaciones industriales, así como en la fase final de prueba conocida generalmente como periodo de prueba en marcha o de explotación de las nuevas capacidades.

Es decir, el proceso inversionista en la industria comienza cuando surge la necesidad de iniciar los estudios técnicos económicos para crear nuevas capacidades de producción que posibilitan satisfacer la demanda actual y futura de uno o varios productos y culmina cuando se concluyen todas las tareas planeadas de pruebas y ajustes de la nueva instalación industrial, tanto técnicos

como organizativas ,que caractericen el volumen ,la producción de los artículos pre establecidos en la calidad y cantidad requerida (Castro, 1987).

Como se plantea en el Programa del Partido Comunista de Cuba (PCC, 1986): "El proceso inversionista constituye un elemento esencial en la creación de la base técnico material del socialismo primera prioridad corresponderá al aseguramiento de las inversiones que generan exportaciones y sustituyen importaciones.

La evaluación de las posibilidades reales de la inversión abarca distintos problemas en cada nivel (autores, 1967).

1-Análisis cuantitativo de la eficiencia económica de tales inversiones. Se recomienda enérgicamente esta evaluación al elegir la rama de producción que atenderá una necesidad concreta de la economía nacional.

2-En la fase de preparación de un programa general para una rama industrial los esfuerzos se centran en la selección de la combinación óptima de unidades productivas existentes y previstas.

3-La evaluación del programa de una Planta abarca:

a) Elección óptima del tamaño, clase, surtido y calidad de los productos, prestando atención a la especialización y a la colaboración que ya existe o se prevé entre las fábricas.

b) Elección de la ubicación y de la clase de colaboración geográfica.

4-Cuando las soluciones han sido evaluadas suficientemente en la fase técnica del proyecto, el análisis se centra en la elección de las soluciones siguientes sugeridas por los ingenieros del proyecto:

a) Elección definitiva del grado de tecnología y de la disposición de la planta;

b) Elección de una ubicación determinada y evaluación de sus consecuencias territoriales;

La experiencia en el análisis de las inversiones en diversos planos que ha demostrado que la elección del alcance del análisis de determinados problemas es importantísima.

Etapas fundamentales de evaluación del proceso inversionista.

La necesidad económica de programar los estudios de apoyo de diferentes cuestiones en tiempo ,es ineludible en nuestro país, si se desea minimizar el gasto

de recursos ,humanos ,materiales y financieros por proyectos .Este hecho unido a la necesidad de reducir al máximo el tiempo de maduración y a su vez optimizar la eficiencia técnica y económica de las inversiones que se ejecutan en el país, determinan básicamente que se fije una estrategia a seguir por cada nuevo proyecto que se comience a estudiar para su posible ejecución.

Determinada la necesidad de la futura inversión por cualquiera de las fuentes mencionadas, se hace necesario plantear una estrategia general que contemple en el tiempo los principales aspectos que pueden incidir en la eficiencia económica de la inversión .Para ello es preciso que se realicen evaluaciones técnicas y económica parciales, de forma tal que permita al personal dirigente conocer las conclusiones generales por etapas y por lo tanto puedan tomar las decisiones adecuadas en cada fase del proceso inversionista .Así se evita la necesidad de estudiar con profundidad todos los proyectos, lo cual requiere de un tiempo no menor de dos años y decenas de miles de horas de técnicos de alta calificación ,especialmente cuando se conoce a priori que de todos los proyectos de inversión que se estudian ,solo una pequeña porción se lleva a cabo.

Sin embargo, para poder alcanzar este objetivo a cabalidad en Cuba, un prerrequisito indispensable es que todo proyecto que se acometa basado en una programación general, que contemple las principales etapas de decisión en todo proceso inversionista, y la creación de un grupo de desarrollo para evaluar y dirigir los principales estudios técnicos y económicos de apoyo que son necesario realizar en cada etapa (Castro, 1973).

Las etapas fundamentales de decisión para el desarrollo de un proyecto de inversión son:

Etapa 1: Evaluación económica general de la propuesta inicial de inversión.

Su objetivo central es fundamentar económica, política y socialmente, toda iniciativa de inversión sobre la base de los factores principales que influyen en la eficiencia de la inversión.

Etapa 2: Evaluación técnico económica de la tarea de inversión.

Su objetivo básico es verificar y analizar en profundidad, con el máximo de detalles todos los aspectos y factores económicos, teóricos, políticos, etc., que permitan definir y fundamentar con precisión a largo plazo la versión.

Etapa 3: Evaluación Técnico Económico del Proyecto Técnico.

Su objetivo fundamental es verificar si económicamente, la solución técnico económica y arquitectónica planteada cumple o no con los objetivos y los indicadores de eficiencia económica aprobados en la etapa anterior

Etapa 4: Evaluación económica previa de la contratación.

Su objetiva fundamental es garantizar que los efectos económicos, políticos y sociales por lo cual se aprobó el proyecto no disminuyan como resultado de variaciones o cambios que se presenten en los índices técnicos y económicos durante las negociaciones de compra de la nueva fábrica, maquinaria, equipos, etc.

Etapa 5: Evaluación económica final.

Su objetivo es poder incorporar a la práctica las mejores experiencias y los resultados obtenidos, especialmente los índices técnico económicos, financieros, etc.

Determinación de los costos de inversión.

Uno de los aspectos fundamentales en todo proyecto de desarrollo industrial es la determinación de los costos de inversión de los equipos principales y auxiliares, construcción civil, montaje, puesta en marcha, ajuste y otros.

La determinación del costo de inversión tendrá un gran paso en el análisis económico por lo que cualquier error que tienda a sobrevaluar dicho costo puede ser causa de cancelación o postergación del proyecto, así mismo, la tendencia a subvalorar el monto de la inversión podría determinar la aceptación de un proyecto que posteriormente mostrará una pobre ventaja económica (Fernández de Bulnes, 1972).

Método de estimación de la inversión fija.

Para todo proceso industrial se requiere la inversión de capital de ahí que se haga necesario el cálculo de la inversión total, que consiste en la inversión de capital fijo para equipos fijos y facilidades de plantas, así como el fondo de capital de trabajo

para el pago de mano de obra, salarios, reservar materias primas, etc. En él se incluyen todos los servicios que son necesarios para poner dicha planta en marcha.

La determinación de la inversión fija por estimación está basada en el costo de adquisición de los equipos que representan un cien por ciento y a partir de aquí los demás valores representan un por ciento promedio de ese valor, para ello nos apoyamos en la Tabla 24 del PETERS-TIMMMERHAUS (Peters and K, 1971).

Costo de adquisición de los equipos.

Existen diferentes métodos de predicción para el estimado del costo de adquisición de los equipos, los cuales están referidos a diferentes grupos, estos generalmente son expresados en función de la capacidad, (áreas de transferencia de calor, diámetro de tubería, etc.). Entre ellas tenemos: catálogos, ofertas, gráficos y tablas. Estos últimos son recopilaciones estadísticas de varios años realizados por empresas de pronósticos y aparecen en la literatura. De su utilización práctica CHILTON (Chilton, 1960), ha hecho una buena divulgación.

Como los precios de los equipos están en constante evolución, se hace necesario utilizar el método de los índices de costo (Peters and K, 1971).

Valor actual=Valor conocido*(Índice actual/Índice del año del valor conocido)

Se sugiere que no se utilice por un periodo mayor de 10 años.

La fuente fundamental para adquirir equipos y plantas es la importación, debe considerarse y cada vez con mayor peso, la producción nacional de estos equipos y su participación dentro de la planificación de las inversiones.

Los organismos inversionistas, al presentar la demanda de equipos deberán tomar en cuenta la participación gradual y el ahorro que representa esta participación por concepto de sustitución de importaciones.

Sustitución de importaciones y preparación de inversiones en la importación de instalaciones.

Rodríguez (González, 1987) plantea que: " Los gastos de las inversiones y de operación por unidad de producto tienden a disminuir en la medida en que sea incrementado el tamaño de las empresas mediante la concentración ya que los

costos de inversión crecen en una forma menos proporcional al incremento de la capacidad, esto ocurre de forma similar para todos los costos.

En la práctica el problema de la importación de instalaciones para la realización de inversiones propuestas; se resuelve a menudo de tal forma que el vendedor se responsabiliza con la instalación completa en funcionamiento, de acuerdo con los parámetros técnicos y económicos establecidos; con lo que el riesgo de pérdidas del comprador es menor.

El comprador que no sea capaz de definir sus intereses productivos y sus condiciones de producción, no puede esperar que la instalación pedida por él trabaje de forma óptima. Cada inversión exige por parte del comprador una preparación técnica e ingeniería que asegure una rápida puesta en marcha y una efectiva dirección en la etapa productiva.

En la importación de instalaciones es necesario extremar esta preparación ya que hay que lograra básicamente un entendimiento entre el comprador y el vendedor de manera que se asegure el interés del país (González et al., 1988).

Importancia de la maduración de las inversiones para la economía.

“ Especial importancia tiene la planificación de inversiones, la correcta evaluación de suficiencia económica y el acontecimiento de los plazos de construcción y puestas en marchas acompañadas del más estricto control y análisis de su ejecución y de los resultados reales ” (PCC).

Son notables las ventajas de los plazos cortos en la maduración de las inversiones, además de la acelerada materialización del futuro que aquí se alcance, son también muchos los prejuicios económicos que se evitan a través de una rápida terminación y puesta en servicio.

La paralización de recursos invertidos en obras inconclusas, no utilizados en la satisfacción de necesidades más inmediatas, también implican movilización en lo que potencialmente pudieran contribuir al desarrollo perspectivo de la riqueza nacional. Cuando los plazos sobrepasan las fechas planificadas los daños económicos que de ellos se derivan son apreciables, se alteran los planes basados en la puesta en marcha en servicio de esa inversión y en la liberación de los recursos constructivos a ellos asignados, se invalidan parcialmente las

consideraciones que llevaron a seleccionar esas inversiones entre todas las inicialmente posibles, y pueden también alterarse la distribución de fondos destinados al comercio exterior (Ortega, 1977).

La inspección de los equipos: actividad necesaria en el proceso inversionista (Correa and De Armas, 1983).

Importancia de la actividad de inspección.

En todo proceso de contratación, montaje o puesta en marcha de nuevas plantas e instalaciones industriales siempre está latente el riesgo del surgimiento de dificultades de índole mecánica u operacional, provocadas generalmente por defectos evidentes u ocultos de fabricación, mala calidad de componentes y materiales, montaje incorrecto o el no cumplimiento de parámetros y especificaciones constructivas todo lo cual origina en el mejor de los casos, pérdidas de tiempo en los periodos de puesta en marcha , demoras en la concreción de la inversión y por supuesto la necesidad de remplazo total o parcial de algunos de los equipos u objetos de obra, si estas dificultades llegan a manifestarse o son detectadas dentro del periodo de garantía del comportamiento mecánico que haya sido acordado previamente entre el comprador y el vendedor. Consecuentemente se hace necesario minimizar riesgos y dificultades que sean provocadas por las causas antes mencionadas. Una actividad que ayuda a prevenirlos es la inspección de equipos la cual ha ido cobrando cada vez más importancia.

Un aspecto que debe tenerse en cuenta desde este momento, es la historia de falla de los equipos de plantas semejantes a la que se propone instalar pues esto permite tener una predicción de las posibles interrupciones y tener presente las medidas encaminadas a disminuir el riesgo, por la importancia de este aspecto le dedicamos un gran parte de este trabajo a la inclusión del estudio de la fiabilidad de las plantas en la etapa de proyecto.

Modernización y reemplazo (Portuondo, 1983).

La modernización y el reemplazo de fondos básicos, así como la ampliación y la creación de nuevas capacidades constituyen inversiones. " Aquellos trabajos que

implican cambios tecnológicos o ampliación de capacidades de producción no se consideran reparaciones capitalizables (generales) sino inversiones " (C.E.F)

Las inversiones de modernización son las que conducen a la instalación de medios técnicamente desarrollados, suelen implicar ampliación de la capacidad, evitando desproporciones en las secuencias de los procesos tecnológicos, tienden a la diversificación del sentido de diversificación del surtido de producción o elevación de la calidad, tratándose de tecnología más modernas es de esperar que las inversiones de modernización presenten el mejoramiento de los indicadores técnicos económicos de la producción en relación con los del equipamiento existente.

No es discutible que se debe procurar prolongar, lo más posible la vida útil del equipamiento existente. Esto responde al principio de mantener los fondos básicos y a la necesidad objetiva de la economía nacional, de dedicar los recursos disponibles para inversiones con arreglo a un determinado orden de prioridades. En Cuba que heredó del capitalismo una estructura económica deformada, que enfrenta un arduo y costoso proceso de industrialización para crear la base técnica material del socialismo, es lógico que las ampliaciones de capacidad y la creación de nuevas capacidades, en muchas ocasiones procedan, en el orden de prioridades, a numerosas inversiones de modernización o reemplazo de equipos.

1.4. Estimación de los nuevos costos de producción en la industria química.

El costo de producción es la parte del valor de las mercancías que expresa el conjunto de gastos relacionados con la utilización de los medios básicos, los materiales fundamentales y auxiliares, el combustible, la energía y la retribución de la fuerza de trabajo en el proceso de producción, así como otros gastos relacionados con la producción, expresado en términos monetarios.

Se define el costo de producción como la suma de los gastos incurridos en el proceso de fabricación y realización de la producción que se expresa en términos monetarios.

Importancia económica del costo de producción.

El costo de producción es una categoría económica, su importancia está determinada por:

- a) Es la base para determinar otras categorías económicas tan importantes como la ganancia y la rentabilidad.
- b) Es el punto de partida para determinar los precios.
- c) Constituye él mismo un indicador determinante del nivel de eficiencia de la gestión económica de la empresa.
- d) Expresa, en gran medida el nivel técnico de la producción.

En el costo de producción se incluyen los siguientes gastos:

- Gastos que se relacionan directamente con la producción.
- Gastos de preparación y asimilación de la producción de nuevos productos.
- Gastos relacionados con el mejoramiento de las condiciones de trabajo.
- Gastos de completamientos de producción.
- Gastos relacionados con el perfeccionamiento de la tecnología.
- Gastos de la dirección de la empresa.
- Perdidas por producción defectuosa.
- Perdidas por deterioros de bienes materiales.

Factores que afectan los costos de producción.

Cuando un ingeniero químico determina los costos para cualquier tipo de proceso comercial, necesita que estos tengan suficiente para dar una decisión segura.

Existen diferentes factores que afectan el costo de producción, lo que de acuerdo a los componentes fundamentales serían los siguientes:

- Los rendimientos en las reacciones químicas y los procesos de transferencia de masas determinan las proporciones de utilización de las materias primas para obtener una misma cantidad de producto.
- El aprovechamiento integral de las materias primas, productos químicos y subproductos del proceso tecnológico incluso en corrientes de poca concentración posibilitan un mayor rendimiento global.
- La contribución del equipamiento a los costos de producción están directamente vinculados a los factores de diseño de cada equipo y a su grado de explotación, por ello deben emplearse equipos de un costo tan bajo como ser posible y que aseguren una alta eficiencia industrial, una satisfactoria disponibilidad operacional

e incluso alternativas para alargar su vida remanente sin excesivos gastos de mantenimiento (Kocherov, 1981).

En resumen el costo de producción es la expresión monetaria de los gastos materiales, laborales y financieros que son requeridos para la producción de un producto (García, 1981).

Los costos pueden agruparse de la manera siguiente:

a) Materias Primas (García, 1983).

Dado que la característica fundamental de la producción de bienes es transformar materias primas para acercarlas al consumidor final, es de importancia primordial que en el proyecto se consideren las condiciones de acceso a las mismas.

Debe distinguirse primeramente en:

- a) Materias primas locales.
- b) Materias primas importadas.

b) Recursos energéticos.

Aquí se agrupan el agua, los combustibles y la energía eléctrica.

Debe realizarse fundamentalmente la disponibilidad de estos bienes. De aquí surgirán consideraciones que influirán en la decisión en forma diversa según la naturaleza del bien o servicio a producir.

En cada producto debe destacarse el o los recursos de mayor significación económica y decidir si se asegura la provisión del mismo en cantidad, calidad y precios convenientes.

c) Mano de obra (Brizuelas, 1987).

Este costo comprende desde el personal superior hasta la mano de obra no calificada. Las necesidades de personal se pueden resumir en un presupuesto de mano de obra ordenado conforme a las exigencias técnica-administrativas del proyecto, indicando cuales son las calificaciones y condiciones de preparación requeridas en el personal, cuales los jornales y sueldos que se estima que se habrán de pagar, los turnos y horas de trabajo y otros antecedentes similares. Con mucha frecuencia es necesario contratar personal extranjero y conservarlo durante algún tiempo hasta que se capacita el personal nacional.

ANIER (C.E.F) propone la estimación del costo de la fuerza de trabajo directa a partir de un indicador global disponible para diferentes industrias, que expresan las horas-hombre necesarias por toneladas de producción, multiplica entonces el indicador por la capacidad de la planta en toneladas x año y se obtiene la necesidad de la fuerza de trabajo de la planta en horas-hombre/año.

La cifra obtenida se multiplica por el 1.25 y por la tarifa salarial promedio con lo que se dispone del costo de trabajo directa.

d) Costo de mantenimiento.

En todo proceso industrial es imprescindible cada cierto tiempo efectuar trabajos de reparaciones, tanto en la planta en su conjunto, durante el mantenimiento general, como en los equipos que componen las mismas, individualmente, para lo cual no necesariamente debe pararse todo el proceso productivo.

La reparación causa un consumo de recursos materiales y produce así mismo un consumo de fuerzas laboral. Estos gastos en recursos materiales y humanos originan un costo que recibe el nombre de costo de mantenimiento. Este está formado por dos componentes: el valor económico de los materiales y piezas de repuesto y los salarios devengados por el personal de mantenimiento.

La magnitud de este costo varía ampliamente de un proceso a otro en concordancia con sus características tecnológicas, las cuales influyen directamente en el desgaste y rotura de equipos y consecuentemente en la naturaleza y, magnitud de las reparaciones.

Existen ecuaciones empíricas que permiten estimar el costo de mantenimiento en función de la severidad de la operación que se miden indirectamente por el consumo de electricidad. Así por ejemplo, PIERCE (Brizuelas, 1987) propone la siguiente expresión:

$$k=x(a+by) \quad \text{donde}$$

k: costo de mantenimiento anual (\$/año)

x: consumo anual de electricidad (KW-Hora/año).

a: índice material, costo de materiales de reparación por KW/hora.

b: índice de trabajo, hombre-hora en trabajos de reparación por Kw-hora.

y: costo de hombre-hora. (\$/hombre-hora)

En la actualidad la disminución de los costos de mantenimiento es muy importante para ello la planificación del intervalo óptimo de mantenimiento es imprescindible y los métodos modernos de planificación apoyados en análisis de fiabilidad tienen cada vez un carácter más universal.

e) Depreciación

La depreciación es un elemento del costo de producción cuyas causas fundamentales son la obsolescencia física y moral de los equipos que componen la planta, así como la de la planta en su conjunto.

En la medida que el tiempo transcurre el equipo de la planta envejece, se produce en general un desgaste que redundará normalmente en la pérdida de eficiencia, llegando un momento en que resulta necesario efectuar sustituciones, este proceso recibe el nombre de obsolescencias físicas.

e) Costo del suministro de operación

Durante la operación de las plantas se emplean normalmente distintos materiales que se requieren para su funcionamiento normal y que por sus características no pueden ser consideradas como materias directas de la producción, ni tampoco como materiales para el mantenimiento, por ejemplo, reactivos químicos, lubricantes para bombas, etc. Este costo constituye aproximadamente el 15 % del costo total del mantenimiento.

f) Costo de laboratorio.

Los costos de laboratorio están constituidos por los gastos económicos en que hay que incurrir para pagar los salarios del personal que asegura la realización de los análisis de laboratorio para el control de la calidad y el proceso en general.

g) Costos generales.

Los costos generales están constituidos por los gastos económicos en que se incurre para asegurar el funcionamiento de ciertos servicios que se requieren indirectamente para el proceso productivo (servicios médicos, comedores, transportación de personal, etc.).

Los costos generales se correlacionan normalmente con el gasto total de la fuerza de trabajo y el mantenimiento, oscilando entre un 50-70% de la suma de ambos.

h) Costos administrativos.

Están constituidos por los gastos económicos relacionados con las actividades de carácter administrativo y de dirección de la fábrica (contadores, costo de materiales de oficina, etc.).

De forma general es posible plantear que estos dependen del tamaño de la planta y de sus características. En ausencia de otros criterios es posible hacer un estimado entre un 15-20% de la fuerza de trabajo.

Estimación de los costos.

Las informaciones de detalles para estimar cada valor del presupuesto pueden también resumirse y organizarse como presupuestos parciales de mano de obra, materias primas y otros materiales, energía y demás costos, lo que facilitara el cotejo de las necesidades del proyecto en cada uno de estos insumos con las fuentes en que pueden obtenerse. En forma similar se puede hacer también una estimación separada de aquellos que tienen independencia directa en el balance de pagos, y calcular el presupuesto parcial de ingresos y gastos del proyecto en divisas.

Los métodos para estimar los costos son muy importantes, porque son utilizados en el cálculo de la factibilidad económica de un proyecto y la toma de decisiones cuando hay varias alternativas. La predicción está basada en porcentajes que son aplicables generalmente y que se reportan en la literatura (González, 1987), (Peters and K, 1971).

No obstante, la utilizada practica que indudablemente tienen los por cientos de estimación por tipo de componentes del costo, es necesario que en la propia concepción tecnológica del proceso el ingeniero químico vincule sus decisiones ingenieriles con sus decisiones técnicas, de manera que se pueda no solo cuantificar o estimar los costos de producción, sino que es realmente decisivo actuar sobre su valor. Para lo anterior la ingeniería de procesos químicos ha desarrollado un concepto de amplia aplicación que es el balance económico que relaciona los parámetros tecnológicos con los costos de producción: ejemplo de utilísimo valor práctico han sido reflejados por CHILTON (Chilton, 1960), SHUEYER (Schweyer, 1966) y PETERS-TIMMERHAUS (Peters and K, 1971).

La esencia de este método consiste en valerse de herramientas tradicionales e importantes de la ingeniería química para estimar con precisión técnica el valor que en diferentes alternativas se puede lograr, de consumos de materiales, portadores energéticos y costos de equipamiento a utilizar. En Cuba, para solo citar dos ejemplos: uno en la esfera de la estimación de alternativas óptimas de operación empleado por GONZALEZ (González, 1976) y para el análisis de alternativas inversionistas .

Costos fijos y variables.

Para el análisis del comportamiento de los gastos, los mismos se clasifican en fijos y variables. Por los fijos se entienden aquellos que permanecen constantes para cualquier volumen de producción. Ejemplo depreciación, seguridad, impuesto, administrativos. Los costos variables son aquellos que varían en forma proporcional al volumen de producción. Ejemplo materias primas, electricidad, agua tratada, vapor, mantenimiento.

La ecuación de los costos (Peters and K, 1971).

Se estableció ante la necesidad de analizar las modificaciones que sufrirán el presupuesto al variar algunos de sus componentes significativos, durante ciertos periodos de vida útil del proyecto. Este análisis permitirá apreciar los márgenes de seguridad que tendrán el empresario frente a esas variaciones y pueden facilitarse mediante la representación gráfica de los presupuestos y la determinación de los llamados puntos de nivelación de ingresos y gastos.

Para hacer este tipo de análisis conviene separa los costos solamente en dos grupos: los que son proporcionales a la cantidad producida y los que son independientes del nivel de producción. Los costos fijos y variables se pueden representar gráficamente en forma sencilla. Se lleva a las abscisas los porcentajes de la capacidad instalada que realmente se utiliza y a las ordenadas los costos fijos y los costos variables. Como los costos fijos serán iguales cualquiera que sea la capacidad productiva utilizada quedara representado por una línea paralela al eje de las abscisas. Si los costos variables anuales se suponen directamente proporcionales, los representará una línea recta que pasa por el origen y cuya inclinación dependerá del costo unitario.

1.5. Influencia del análisis de fiabilidad del sistema en la etapa de diseño de un proyecto tecnológico.

Aspectos generales.

En esta parte nos referimos a la influencia que tiene la fiabilidad en el diseño de sistemas de tecnología química, la definición más ampliamente aceptada de fiabilidad es la probabilidad que tiene un dispositivo de funcionar adecuadamente durante el tiempo requerido bajo las condiciones de operación estipuladas (Franke et al., 1980).

Existen varios métodos para determinar la función de distribución de fallo y después utilizarla en el cálculo de la probabilidad de trabajo sin fallo. Uno de los métodos más usados es buscar desde el punto de vista estadístico la distribución a la que más se ajustan los tiempos de trabajo sin fallos.

Las distribuciones que más se utilizan en este tipo de trabajo son la weibull, exponencial, normal, poisson y Log-Normal, aunque se han encontrado otros casos muy específicos como La Pareto y Erlang.

Las formulaciones matemáticas y las expresiones de cálculo se encuentran en (Gaal and Kovacs, 1985, Barlow and Rosciian, 1979, Sotskow, 1973, Gruhng et al., 1978), así como los límites de confianza unilaterales y bilaterales.

Una vez determinado el grado de concordancia (Shooman, 1987, Martínez, 1985) se procede al cálculo de los índices de fiabilidad, que no son más que las características cuantitativas que dependen de una o varias propiedades y expresan la fiabilidad del artículo o equipo. Las clasificaciones y las expresiones de cálculo aparecen en (calidad, 1982, Martínez, 1985, Gnyegyenko and Beljajev, 1970).

Debemos destacar antes de discutir su uso algunos indicadores complejos de fiabilidad.

-Fiabilidad

$$R(t) = e^{-\int_0^t Z(\tau) d\tau}$$

donde: R (t)= fiabilidad del sistema

$Z(\tau)$ = función de razón de fallos.

Estimación de la fiabilidad del sistema

La fiabilidad de un sistema compuesto por n elementos depende fundamentalmente, aunque no tan solo de eso, de la fiabilidad de sus elementos; una vez conocidos los datos de la fiabilidad, se necesita establecer la estructura de la fiabilidad del sistema, lo que significa determinar como el fallo de un componente influye en la fiabilidad del sistema completo.

Varios trabajos se han realizado en el cálculo de la fiabilidad de los sistemas conectados en serie o en paralelo, para ello la formula usada es:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n r_i(t)$$

En el desarrollo de este trabajo se empleó fundamentalmente el sistema serie-paralelo, aunque se resolvió un ejemplo usando técnicas complejas como un primer paso en la utilización de estas.

Conclusiones Parciales:

1-El conocimiento del proceso tecnológico obtenidos a través de información en la literatura o datos recopilados de instalaciones y las metodologías de la ingeniería de procesos químicas se integran para obtener una estimación adecuada de los costos de producción y valores de inversión en la etapa preliminar del proyecto lo que permite tomar decisiones técnica y económica para el diseño o reconstrucción de una instalación.

2-Al realizar estimaciones en el análisis de los valores de una inversión es necesario considerar alternativas en lo referente a esquemas tecnológicos, capacidades de instalaciones, y esquema de fiabilidad de los equipos, las que pueden evaluarse a través de criterios económicos reflejados en la literatura especializada y de un método de cálculo relativamente fácil a partir de los valores de la inversión y los costos de producción.

3-La fiabilidad garantiza la calidad a lo largo del tiempo, siendo necesario garantizar la calidad en productos o servicios para que cumpla con las

especificaciones y tengan un alto grado de fiabilidad. La expresión de calidad que ofrece el producto al cliente y su compromiso es la garantía.

4-La introducción de la fiabilidad de los equipos y con ello la de los sistemas tecnológicos en los análisis técnicos económicos a través del efecto que tienen en la disponibilidad de la instalación enriquece la perspectiva multilateral de la estimación de la eficiencia de una inversión ofreciendo nuevos elementos que en muchas ocasiones modifican decisiones realizadas sin estas consideraciones.

CAPITULO II: Metodología para el análisis de inversiones considerando la fiabilidad de los equipos.

2.1-Introducción

El diseño de planta como materia prima de ingeniería química está relacionado con el objetivo de crear y establecer nuevos procesos industriales que permitan satisfacer de una forma racional desde el punto de vista técnico y económico las necesidades del hombre en un determinado medio socioeconómico, los cuales se manifiestan entre otras formas como incrementos en las demandas de productos que son normalmente consumidos en dicho medio o como derivados de nuevos productos que aparecen en el mismo.

El proceso para la construcción de nuevas instalaciones es complejo y se puede resumir en las siguientes etapas:

- 1-Definición cualitativa y cuantitativa de las necesidades que se desean satisfacer.
- 2-Plantear las alternativas o variantes de solución al problema original.
- 3-Selección de la mejor alternativa desde el punto de vista técnico y económico.
- 4-Preparación de la documentación necesaria.
- 5-Preparación de la información para el diseño de las nuevas capacidades.
- 6-Diseño de las nuevas capacidades industriales.

Como se puede apreciar en este procedimiento general no está establecido el análisis de fiabilidad y disponibilidad de las instalaciones que se proyectan, lo cual indiscutiblemente provoca problemas en la puesta en marcha o excesos en el capital invertido, lo que significa que en algunos casos por problemas de seguridad en la planta se redundan equipos que no son tan necesarios y otras veces se carece de redundancias muy necesarias.

2.2-Metodología de Análisis Técnico Económico de Inversiones.

La estimación de las capacidades necesarias en el diseño de una instalación de la industria química, están desde luego vinculadas en primer término a las demandas de los productos, de ahí los balances de materiales y energía y las ecuaciones propias de diseño nos permiten estimar las capacidades de que debemos disponer para lograr una producción determinada de un producto deseado, sin embargo no debemos olvidar que la instalación en operación

desafortunadamente no siempre estará disponible para la operación, dificultades tecnológicas y muchas veces en el estado técnico de los equipos impedirán que la instalación garantice con los requerimientos del proceso productivo su operación continua, por ello toda instalación diseñada debe tener un margen entre la capacidad que se requiere anualmente del producto y sus capacidades de diseño, debiendo ser esta última lo suficiente mayor para que se garantice la primera aun con las pérdidas de tiempo de que hemos hablado antes.

La disponibilidad anual de una instalación para ser empleada eficientemente desde el punto de vista tecnológico depende de la fiabilidad del sistema que la compone, visto esto no en la estrecha óptima de equipos que se rompen mecánicamente, sino en la de los equipos que no garantizan la operación tecnológica para la cual han sido instaladas de aquí que debe ser un interés de los diseñadores de instalaciones de la industria de procesos químicos garantizar altos niveles de disponibilidad anual. Las características de fallo en muchos casos es el principal factor que gobierna la economía de un proceso. Por esto para reducir el efecto adverso de las fallas, pueden diseñarse ciertas redundancias, las cuales deben aportar beneficios medibles económicamente al proceso, el costo de diseño y operación de tales redundancias debe ser menor que la ganancia obtenida por este concepto.

La teoría de la fiabilidad hasta el momento ha sido solamente aplicable en el diseño de ciertas clases de sistemas de procesos químicos, siendo la última etapa y en muchos casos solo se ha considerado antes de la construcción de la planta. En muchos casos no se tiene en cuenta como criterio de diseño y se asume que todas las etapas del proceso son perfectamente fiables, tomando este criterio como suficiente. Es mucho mejor considerar estimaciones de la fiabilidad de la instalación que se diseña para ello en muchos casos se puede emplear la información disponible de procesos ya existentes, por lo que, las modificaciones del diseño simple aportaran un diseño más cercano a la capacidad necesaria; aunque en realidad los verdaderos fallos del sistema no se detectan hasta que el sistema no está en operación, por lo que será necesario un rediseño.

Aquí estamos en la alternativa de estimar a priori la fiabilidad del sistema tecnológico, lo cual no es errado pues ocurre, como en otras etapas del proyecto donde los valores no son exactos, sino que se estiman, por ejemplo, el cálculo económico preliminar.

Como se ha sabido hay dos formas fundamentales de incrementar el nivel de fiabilidad de una planta química y por tanto su disponibilidad:

- a) Asignando redundancias al sistema.
- b) Planificando adecuadamente el mantenimiento.

Es por ello que hay tres problemas típicos de operación de la fiabilidad:

1-Asignación óptima de redundancias.

El problema es encontrar la redundancia óptima para cada módulo, así como maximizar la fiabilidad del sistema sujeto a restricciones lineales o no lineales de costos.

Por ejemplo:

Maximizar:

$R(n, r)$ donde: r : fiabilidad de cada módulo.

n : número de redundancias.

Sujeto a restricciones d costo como:

$$\sum_{i=1}^n G_{i,j}(x_i, r_i) \leq G_j \quad j = 1, 2, \dots, M$$

y restricciones no negativas y enteras.

$N_i \geq K_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad N_i = \text{entero.}$

donde K_i es el número mínimo de unidades del módulo i que deben funcionar para que el modulo funcione adecuadamente.

G_{ij} = Contribución del módulo i a la restricción j .

G_j = Límite superior de la restricción j .

Esto constituye un problema no lineal de programación de enteros.

2- Asignación óptima de fiabilidad a las unidades o intervalo óptimo de mantenimiento a unidades.

3- Problema de optimización multiobjetivo.

Maximizar la fiabilidad del sistema $R(n, r)$ con respecto al número de unidades redundantes y la fiabilidad unitarias (r) sujeto a restricciones de costo lineales o no lineales.

Nos ocuparemos fundamentalmente del primer caso por tener más relación con las etapas de diseño del proyecto.

Uno de los métodos más usados de aumentar la fiabilidad es la redundancia en paralelo, es decir donde solo debe operar una unidad colocar varias que reduzcan el fallo (Shooman, 1967).

Por ejemplo, consideremos que un proceso está formado por varias etapas para obtener un producto.

En este caso la fiabilidad del sistema se incrementa pero esto incluye un gasto elevado y la fiabilidad en la industria química no es el criterio de diseño más importante, por eso la asignación de redundancias en paralelo tiene que ir acompañada de su optimización; la programación dinámica es propuesta en la literatura para resolver este problema (Brown, 1971).

A menudo en la industria química los diseños de redundancias en paralelo son remplazados por los procesos stand-by, estos operan cuando el proceso primario falla, este diseño es generalmente más deseable y económico, la fiabilidad es la misma pero el costo es menor (Shooman, 1967).

En el estado actual de conocimientos de fiabilidad de equipos por separado de la industria química el comportamiento de la fiabilidad del sistema se puede realizar solo a través de una comparación correspondiente de variantes.

El alto número de variantes teóricas posibles será reducible a una medida controlable a través de restricciones. El procedimiento general de este tipo de comparaciones de variantes puede contener los siguientes pasos principales.

1- Diseño de una variante base de la instalación funcional y mayoritariamente libre de redundancias.

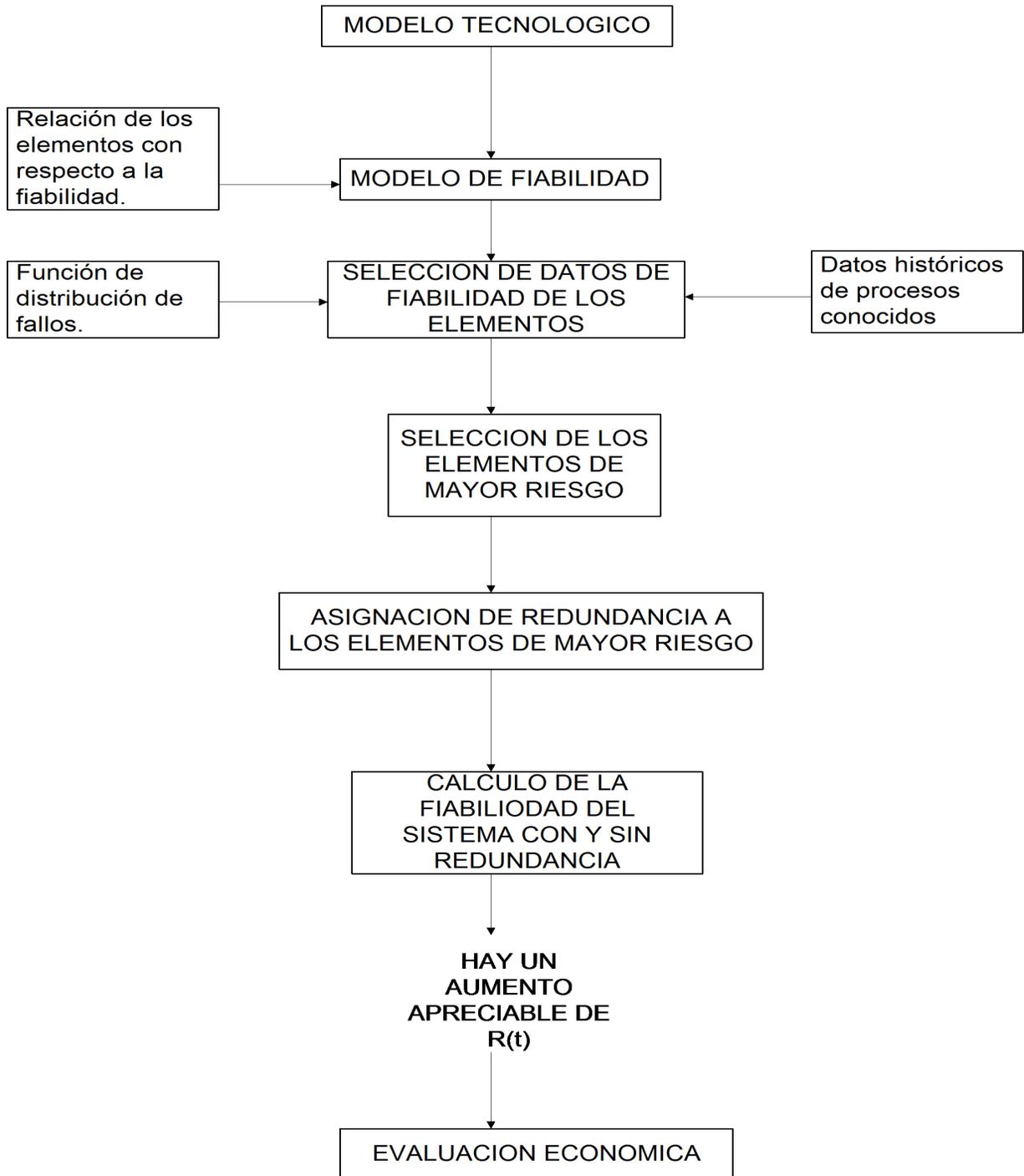
2- Agrupación de todas las restricciones presentes para las modificaciones de la variante base.

- 3- Selección de una magnitud de evaluación característica (por ejemplo, costos totales) y elaboración de una función objetivo correspondiente con inclusión de magnitud de fiabilidad adecuada (por ejemplo, disponibilidad).
- 4- Agrupación de todas las variantes de realización a valorar para lograr la elevación de la fiabilidad por ejemplo por consideración de elementos individuales redundantes, consideración de elementos pasivos (almacén, etc.), variación de la conexión de distintos elementos de subsistema, elevación de las capacidades internas de la instalación por sobredimensionamiento, inclusión de elementos de una mayor fiabilidad. Estas medidas pueden combinarse entre sí de manera razonable.
- 5- Fijación de determinados ordenes jerárquicos de distintas variantes de realización de la instalación.
- 6- Determinar valores para parámetros característicos de fiabilidad y para magnitudes de valoración para cada variante de realización.
7. Selección de variantes óptimas o de un número muy restringido de variantes concurrentes que se someterán a una valoración aún más específica con la ayuda de otros criterios (Jurgen and Neuman, 1967).

En el diagrama heurística para el análisis de inversiones en la industria se incluye el análisis de fiabilidad, como ya se ha explicado se trata de maximizar la fiabilidad y por tanto la disponibilidad con un costo mínimo, a pesar de estar seguros que estas técnicas de optimización deben profundizarse quisimos valorar con algunos ejemplos la influencia que tenía la asignación de redundancia en el costo de producción y de inversión de la planta, para esto utilizamos plantas en procesos de diseño como el caso de una planta refinería de petróleo utilizando la tecnología de diafragma.

El diagrama de trabajo para el análisis de la fiabilidad que se utilizó en el ejemplo de la planta analizada (Tabla 2.1)

ANALISIS DE FIABILIDAD



Análisis de Procesos en el diseño y la determinación de reconstrucciones de instalaciones de la industria química.

El desarrollo incesante de la ciencia y la técnica crea nuevas posibilidades tecnológicas a los procesos productivos, a la par que se establecen mayores requerimientos en la calidad de los productos, lo que es, además, una necesidad impostergable en la formación de fondos exportables que contribuyen a la adquisición de divisas para el país. Por otro lado, la explotación sistemática de una instalación de la industria de procesos químicos, origina un deterioro progresivo que, no obstante, la prioridad que recibe el mantenimiento en la actividad humana, hace que con el tiempo una instalación se encuentre ante la doble situación de enfrentar deterioro, tanto desde el punto de vista de su actualidad tecnológica, como su estado técnico.

La situación más apropiada para la restauración de las posibilidades de una instalación, en la situación antes citada, es efectuar un proceso de reconstrucción, sin embargo, esto implica siempre un gasto de recursos inversionistas y una eventual afectación al tiempo de operación de la instalación para poder realizar las tareas de reconstrucción. Por lo anterior debe lograrse que las tareas de reconstrucción tengan el alcance deseado y un efecto prolongado en el tiempo de explotación de la instalación.

Existen varios métodos de evaluación de proyectos de inversión que se mostrarán a continuación:

Retorno de la inversión

En los estudios económicos de ingeniería, la razón de retorno de una inversión es ordinariamente expresado en un % anual base. La ganancia anual dividida por la inversión inicial necesaria, representa la fracción de retorno y esta fracción por cien representa el por ciento de retorno.

La ganancia ya ha sido definida como la diferencia venta – costo, y en la determinación de la inversión total debe considerarse la inversión fija y la inversión de trabajo (Peters and K, 1971).

El tiempo de recuperación de la inversión, conceptualmente no coincide con el retorno de la inversión, pero en los estudios económicos puede dar una medida de ellos.

En la evaluación técnico-económica de las inversiones en Cuba se usan generalmente diversos criterios para evaluar los proyectos en la esfera productiva, entre los cuales se encuentra el Tiempo de Recuperación de la inversión, que no es más que el tiempo que demora una inversión en pagar los gastos incurridos en ella.

Este criterio ha adquirido gran uso a nivel mundial, lo que se debe en gran medida a que uno de los factores que más influye en adoptar una decisión en la elección de los proyectos de inversión en el sector industrial, es la incertidumbre que existe en cuanto a la eficiencia económica de la inversión durante el periodo de vida útil.

A pesar de la gran aplicación que tiene en nuestro país este criterio de evaluación, su determinación no siempre es la más rigurosa debido a la poca divulgación que existen sobre los factores que intervienen en la cuantificación del mismo, tales como: parámetros de ingreso, costo de producción e inversión.

Para determinar el Tiempo de Recuperación de una inversión, uno de los primeros problemas es como determinar la inversión y su aporte neto en un periodo de tiempo. Para resolver este problema es necesario analizar con rigurosidad los siguientes factores (Castro, 1974):

- 1-Volumen de producción;
- 2-Precios internos y externos;
- 3-Ingresos anuales en el proceso de vida útil;
- 4-Costos de Producción;
- 5-Costos de Inversión.

Efecto Económico de la Inversión.

Se considera Efecto Económico anual de la inversión, el ahorro total de todos los recursos de producción (humano, material y financiero) o el incremento de las ganancias como resultado de la introducción de una inversión, innovación o nacionalización.

Para el cálculo del Efecto Económico la Academia de Ciencias de Cuba, ha establecido cuatro casos (C, 1984). Estos son:

- a) Como resultado del uso de nuevos procesos tecnológicos, mecanización y automatización de la producción y el trabajo.
- b) Obtenido por la introducción de la nueva producción (nuevos productos o de mejor calidad).
- c) Por la producción y utilización de nuevos medios de trabajo con aplicación a largo plazo con características perfeccionadas o con mejores indicadores de calidad.
- d) Por la producción o utilización de objetos de trabajo nuevos o perfeccionados.

Período de pago.

Este método puede ser suficiente para algunas empresas con un número de oportunidades de inversión y con capacidad económica limitada, pero en general es rudimentario.

Método del valor presente neto.

Consiste en la diferencia numérica entre el valor actualizado de los beneficios y el valor actualizado de los costos a una tasa de actualización determinada.

Este método considera el valor que el dinero tiene en el tiempo, poniendo interés en el dinero que se obtendrá en el futuro, trasladándose al momento presente.

La fórmula para expresar el valor presente del dinero es la siguiente:

$$V_p = V_f / (1+i)^n \text{ siendo:}$$

V_p = Valor presente;

V_f = Valor futuro;

i = Tasa de descuento;

n = número de años.

Tasa interna de rentabilidad (Perez, 1987).

Este método de evaluación de inversiones, como el resto de los utilizados generalmente, consiste básicamente en comparar los desembolsos originados por el proyecto con los ingresos que genera, estando integrados estos por el beneficio y la amortización de cada periodo, además por otras entradas excepcionales como pueden ser el valor residual de la inversión al final de su vida útil.

El procedimiento de cálculo consiste en determinar el tipo de descuento que iguala los desembolsos actualizados con los ingresos actualizados, es decir, la tasa interna de rentabilidad (TIR) de una inversión se calcula en general resolviendo la ecuación en la que la incógnita " r ", es la TIR expresada en tanto por uno, pues el calendario de ingresos y desembolsos en cada periodo habrá sido calculado previamente.

$$\sum_{i=1}^n i - (i / (1+r)^i = \theta$$

La regla de decisión para seleccionar un proyecto de inversión cuando se evalúa por medio de este criterio, consiste en comparar su TIR con una tasa de costo que expresa la rentabilidad mínima exigida por la empresa a sus proyectos. Cuando el TIR es superior a la tasa de corte la inversión correspondiente deberá aceptarse desde el punto de vista económico. El valor de esta tasa de corte es fundamentalmente función del costo de capital de la empresa y del grado de riesgo de la inversión.

Cuando se compara dos proyectos alternativos se considerará más atractivo el que ofrezca un TIR mayor.

Posibilidades del Análisis de Procesos.

El Análisis de procesos consiste en un amplio estudio científico-técnico y técnico-económico de un proceso existente o concebido en lo referente a las posibilidades de realización óptima de los objetivos previstos.

El análisis de Procesos es, además, el desarrollo de procedimientos para encontrar una solución mediante el descubrimiento de las partes débiles en el proceso de producción y la creación para su eliminación parcial o completa (Franke et al., 1980), por lo que es un método idóneo de evaluación integral del diseño y reconstrucción de instalaciones industriales.

El Análisis de procesos, incluye el análisis detallado de los procesos para obtener los modelos matemáticos que lo representen, y el estudio de varias alternativas con ayuda de estos modelos.

En la determinación de las tareas de reconstrucción de una instalación de la industria química como en su diseño se requiere un dominio completo del objeto

estudiado, lo que solo se logra mediante un análisis integral del proceso cuya esencia es (González, 1989):

- la inclusión del estudio de varios elementos y etapa del proceso;
- el descubrimiento y aprovechamiento de reservas del proceso;
- aspiraciones de objetivos en relativamente un gran número de direcciones de trabajo;
- la inclusión en el análisis de comparaciones (con niveles óptimos mundiales) y la derivación de planes de medidas para lograr los resultados.

Lo anterior permite que se elaboren estudios multilaterales de una instalación de la industria químicas en los que se incluyan de forma convergente a través del Análisis de Procesos los resultados de varias direcciones del trabajo científico (González et al., 1991).

Lógicamente, la aplicación de esta metodología requiere la sanción de la práctica y de ella derivar las adecuadas conclusiones, lo que será desarrollado en el capítulo posterior. Diagrama heurístico para el análisis económico integral de un proyecto en fase preliminar (Anexo 1).

2.3-Metodología para el análisis de la fiabilidad.

Para el estudio de la fiabilidad de los componentes se utilizaron las funciones continuas de probabilidad, en el caso de la planta estudiada la distribución más usada fue la exponencial. La distribución exponencial ha sido ampliamente usada como modelo para describir el ciclo de vida de un proyecto, puede también utilizarse para describir la función a que responden los tiempos de trabajo sin fallo. Como el tratamiento matemático es sencillo se prefiere su ajuste cuando las distribuciones de mejor ajuste son muy complejas.

Matemáticamente se expresa por:

$$f(\lambda, t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad \lambda \geq 0 \quad t \geq 0 \quad 2.1$$

El parámetro λ se le llama comúnmente razón de fallo

Para la obtención de la función de fiabilidad se debe confeccionar previamente el diagrama correspondiente.

Como el objetivo final es la obtención del número óptimo de equipos en cada etapa del diagrama, estos valores serán las variables respuesta del problema que se plantea y por lo tanto la ecuación de fiabilidad debe quedarse en función de las mismas. El tipo de diagrama más recomendado es el siguiente:

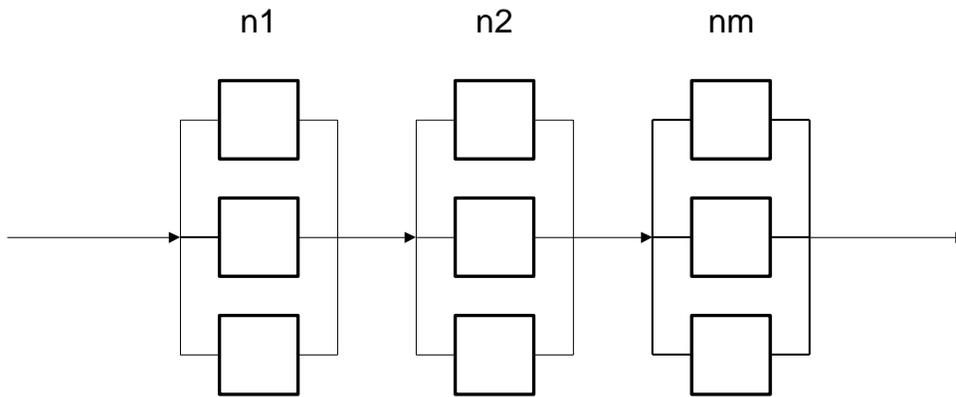


Figura2.1 Diagrama de fiabilidad.

Y la función de fiabilidad es la siguiente:

$$P_s = \prod_{i=1}^m [1 - (1 - r_i)^{n_i}] \quad 2.2$$

n_i - Número de equipos que deben colocarse en cada módulo

r_i - Fiabilidad de cada tipo de equipo.

Veremos ahora la realización entre los distintos factores que afectan la fiabilidad.

FIABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE LA INDUSTRIA QUIMICA.

Libertad de fallo	Reparabilidad	Longevidad	Almacenabilidad
<ul style="list-style-type: none"> -Razón de fallo. -Tiempo promedio de operación. -Probabilidad de fallo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Tiempo promedio de reparación. -Intensidad de reparación. -Probabilidad de reparación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Operación promedio de la planta. -Promedio de curso de vida. -% de tiempo de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> -% de almacenamiento en el tiempo.

Indicadores complejos de fiabilidad.

Factor de disponibilidad.

Factor de utilización técnica.

Las mayores aplicaciones de la fiabilidad en la industria química son planteadas por GAAL Y KOVACS (Gaal and Kovacs, 1985).

- Organización de las actividades relacionadas con el análisis de fiabilidad.
- Detección de roturas y su eliminación.
- Análisis cuantitativo y cualitativo de la fiabilidad de los sistemas más importantes.
- Medición, modelación y optimización de los sistemas tecnológicos.
- Análisis de fiabilidad y mantenimiento.
- Análisis de seguridad.

El análisis de fiabilidad significa tener en cuenta tres aspectos fundamentales:

- 1-Pruebas cualitativas usadas para juzgar el estado operacional de los elementos.
- 2-Pruebas cuantitativas usadas para estimar las características numéricas de fiabilidad.

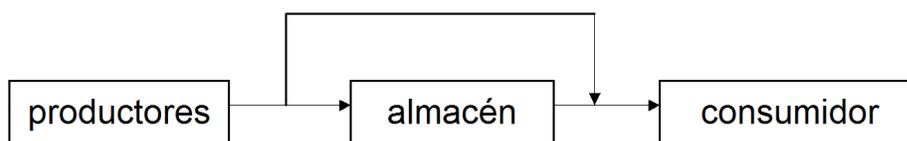
- 3-El nivel de carga es determinado por todos los elementos del sistema.

Un programa computarizado fue desarrollado por Fothergill que analiza todos los elementos conocidos anteriormente.

La fiabilidad del sistema puede ser determinada por el modelo de fiabilidad y la fiabilidad de los elementos del sistema.

Análisis de la fiabilidad considerando esquemas con almacenamiento intermedio.

En este caso el flujo tecnológico debe dividirse en dos subsistemas, productores y consumidores divididos por el almacén.



El almacén sirve de redundancia para la compensación de fallos de productores y consumidores.

La elevación de fiabilidad del almacén se determina por su capacidad.

Muchos son los autores que en los últimos tiempos se han dedicado al estudio de este tema, trabajos como los de Liittschwager (Liittschwager, 1974); Messenger (Messinger and Scooman, 1967) y otros utilizan las técnicas de programación dinámica para dar solución a problemas de fiabilidad en la industria química.

En nuestro país es poca la referencia que se posee sobre el uso de la fiabilidad en la etapa de diseño, aunque si se ha tratado este aspecto en sistemas operando para mejorar la disponibilidad de los mismos y optimizar los trabajos de mantenimiento, pueden enumerarse los trabajos de Gallardo , Granela (Granela, 1992) y Rosa (Lopez, 1990).

La obtención de datos de costo y fiabilidad permiten la formulación del modelo matemático que se basa en las combinaciones de costo y fiabilidad según lo planteado, en este modelo se deben incorporar los resultados que aportan la cota mínima de cada uno de los elementos del sistema.

Si observamos el diagrama del Anexo 1, después de obtener una variante atractiva desde el punto de vista económico (utilizando el % de retorno simple) el proceso propone otras variantes en función de un incremento o disminución de la fiabilidad, lo cual sin duda carece de rigor científico.

Los posibles modelos matemáticos que pueden plantearse y los métodos usados para la solución son discutidos en epígrafe posterior de este capítulo.

Una vez realizada la optimización se obtiene el número óptimo de equipos en cada una de las etapas y la fiabilidad del sistema, lo cual se logra sustituyendo los valores óptimos obtenidos en la ecuación de fiabilidad del sistema que está en función de los mismos; posteriormente se calcula el tiempo medio entre fallos y la disponibilidad del sistema, sin la cual no es posible calcular el verdadero valor de ingresos anuales.

Los resultados que hasta este momento se logran no permiten sin embargo obtener una información global sobre la rentabilidad de la futura instalación pues solo ha sido optimizada la planta desde el punto de vista de su repuesta ante los fallos de operación, pero no se han contabilizado el efecto de los ingresos que se obtendrán y los costos de operación, razón que conduce a la selección del método de evaluación más conveniente.

Teniendo en cuenta las dificultades de los métodos convencionales y en particular el % de retorno simple se decidió el uso de los métodos dinámicos por las ventajas que ofrecen en la toma de decisiones de inversión.

2.2.1- Desarrollo de herramientas matemáticas.

Los cálculos necesarios para analizar cada una de las alternativas propuestas no podrían ser realizados de forma satisfactoria si no se dispone de métodos matemáticos que posibiliten la rapidez en la obtención de resultados.

Primeramente, es necesario realizar el análisis de disponibilidad a través del estudio de fiabilidad, que comienza por obtener a partir del diagrama de flujo del proceso y del estudio de la interrelación de cada uno de los módulos, el diagrama de fiabilidad del sistema, esto es indispensable pues a partir del mismo se establecerá la función de fiabilidad del sistema necesaria en la formulación del modelo matemático.

En lo referente a la obtención de la probabilidad de trabajo sin fallos de cada uno de los elementos del sistema se puede recorrer hasta el momento dos caminos mediante la utilización del módulo de fiabilidad del programa computacional.

- 1- Evaluar los datos de fiabilidad a partir de conocer las funciones de distribución para cada tipo de equipo en condiciones determinadas.
- 2- Tomar datos de fallos directamente de la industria y evaluar los mismos según la metodología propuesta.

En la construcción del diagrama de fiabilidad se deben seguir los siguientes pasos:

- 1- Estudiar el diagrama de flujo del proceso.
- 2- Estudiar las interacciones entre los equipos y secciones del proceso para determinar si responden a una estructura en serie o en paralelo o una combinación de ambas.
- 3- Construir el diagrama de fiabilidad.
- 4- Establecer la función de fiabilidad.

Como puede verse en la estructura de la metodología general, el objetivo es optimizar la cantidad de equipos que deben colocarse en cada módulo para que este opere correctamente, limitado esto por el costo de cada equipo y condicionado por la fiabilidad del mismo. Por este motivo es importante definir las

condiciones límites de redundancias y costos una vez que se ha establecido el objetivo de la optimización.

Para lograr este objetivo se realiza el siguiente análisis:

Se parte de una planta química que está compuesta por m módulos: (Fig. 2.2)



Figura 2.2 Diagrama de bloques de una planta química compuesta por m módulos
 Las variables del sistema son $n_1, n_2, n_3, \dots, n_m$ que se corresponden con la cantidad de unidades en cada módulo desde $i=1$ hasta m , si se conoce las fiabilidades de cada módulo (Escobar et al.) desde $i=1$ hasta m , el costo de adquisición (C_i) y operación (O_i) de cada unidad i ; se puede entonces proponer dos problemas, maximizar la fiabilidad del sistema sujeto a restricciones de costo o minimizar el costo sujeto a restricciones de fiabilidad.

Si el objetivo es maximizar la fiabilidad el planteamiento del problema es el siguiente:

Maximizar

$$\prod_{i=1}^m [1-(1-p_i)^{n_i}] \quad 2.3 \quad \text{que es la función de fiabilidad del sistema.}$$

Sujeto a las restricciones de costo que se expresarán por:

$$\sum_{i=1}^m (C_i+O_i) n_i \leq CF \quad 2.4$$

Donde C_i es el costo de Adquisición

O_i es el costo de Operación

CF es la cantidad de capital disponible para la inversión

Y a las restricciones

$$n_i \geq K_i \quad 2.5$$

en este caso K_i es el número de unidades que deben funcionar en cada módulo.

Si el objetivo es minimizar el costo entonces el modelo que se obtiene es el siguiente:

Minimizar el costo que viene expresado por:

$$\sum_{i=1}^m (C_i + O_i) n_i \quad 2.6$$

Sujeto a restricciones de Fiabilidad

$$\prod_{i=1}^m [1 - (1 - p_i)^{n_i}] \geq RS \quad 2.7$$

Y restricciones de número de equipos en cada módulo.

$$n_i \geq K_i \quad 2.8$$

El planteamiento de uno u otro modelo depende de las condiciones específicas del problema a tratar. Para la solución del problema se necesita seleccionar un método de optimización, para lo que se estudió la forma que tienen la función objetivo y las restricciones del problema además de la solución que se desea obtener.

En el primer caso se tiene una función objetivo no lineal con restricciones lineales y en el segundo caso se tiene una función objetivo lineal con restricciones lineales y no lineales, la solución en los dos casos tiene que ser entera.

Estos problemas con estas características, se pueden solucionar usando la Programación No Lineal en Enteros.

2.2.2 Método de Programación lineal y programación no lineal en enteros.

En el caso de los problemas de fiabilidad es necesario destacar la solución de números de equipos debe ser un entero. Por lo que nos enfrentamos a un problema de Programación No Lineal en Enteros. (PLNE), en estos casos a veces el óptimo puede encontrarse analíticamente, pero es preciso que se conozca en primer lugar la expresión analítica de la función objetivo, esta y sus derivadas deben ser continuas y además deben hallarse los puntos donde esas derivadas se anulan.

Surgen dificultades cuando la función objetivo no lineal es compleja o depende de un alto número de variables independientes. Si por otro lado se imponen restricciones en forma de expresiones complejas de varias variables independientes, la solución del problema de optimización se hace más difícil y es necesario utilizar técnicas de cálculo especiales.

Además, si el problema práctico requiere soluciones enteras y no negativas hay que recurrir a algún algoritmo matemático que resuelva esta situación.

Estos problemas, donde la función objetivo es compleja con restricciones lineales o no lineales y que requieren solución entera se denominan Problemas De Programación No Lineales En Enteros y se resuelven a través de métodos numéricos El método de PNLE se basa en la optimización de una función objetivo no lineal.

MAX o MIN [f(x)] 2.9

Sujeto a varias restricciones lineales o no lineales:

$Ax \leq b$ x entero

$A M(m, n)=[a_{ij}]_{i=1,n}$

$b E^m= (b_1, b_2, \dots b_m)$

$x E^n= (x_1, x_2, \dots x_n).$

El método de las combinaciones lineales es un procedimiento útil para resolver este problema. Sin embargo, generalmente la PLNE es tratada directamente utilizando la técnica de ramas y cotas basadas en un árbol de enumeración de trayectorias, que involucran el cálculo de cotas superiores e inferiores sobre la función objetivo para acelerar el proceso de eliminación de las soluciones no enteras y de esta forma reducir la enumeración. Para observar el procedimiento general del método de ramas y cotas puede consultarse la referencia (Garfinkel and Nemhauses, 1972). Por la complejidad que representa el procedimiento matemático para buscar la solución óptima se necesita un software que garantice la obtención de resultados en el más breve plazo.

El procedimiento es el siguiente:

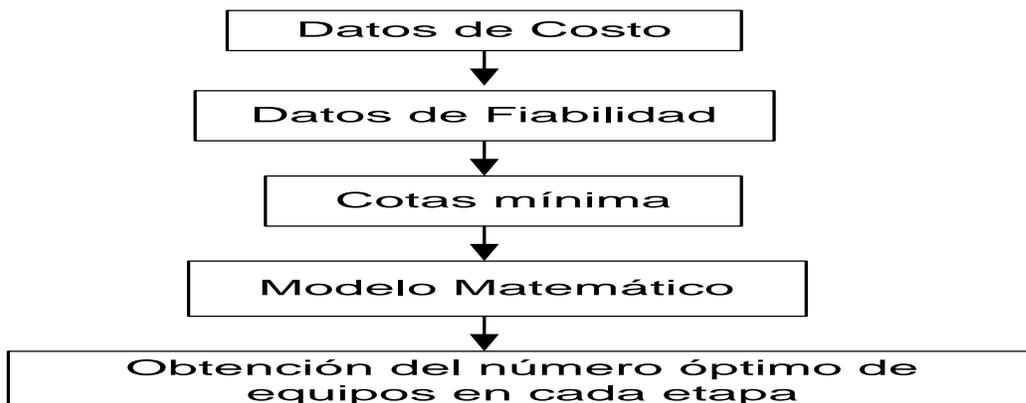


Figura 2.3 Procedimiento para la obtención del número óptimo de equipos en cada etapa usando el método de PNLE.

Una vez realizada la optimización por el método planteado se calcula el valor de la fiabilidad del sistema de acuerdo a la ecuación 2.2, sustituyendo los valores de cada una de las variables por el valor de redundancia óptimo.

También permite el cálculo de la disponibilidad de la planta utilizando la siguiente expresión:

$$D = \frac{\int_0^t R(T) dt}{[\int_0^t R(t) dt + T_{mto}]}$$
 2.11

Por último para el análisis de alternativas se calcula el valor de la inversión y el costo de producción, y el valor de los ingresos a partir del valor de disponibilidad, para luego obtenerse el valor de la ganancia.

Conclusiones Parciales

1-El estudio de disponibilidad de los sistemas de procesos, a través de la fiabilidad incluido convenientemente en el análisis de alternativas de inversión enriquece el enfoque multilateral de la estimación de la eficiencia de las inversiones.

2-Las funciones de distribución de los tiempos de trabajo sin fallo de los equipos empleados en este trabajo responden a la distribución exponencial y los mismos pueden ser utilizados en equipos de otros tipos de industrias similares a las tratadas.

3-La Programación No Lineal de Enteros permite la optimización de los modelos matemáticos planteados para el perfeccionamiento del análisis inversionista.

4-El análisis de alternativas de inversión que incluye la optimización del número de equipos de un proyecto de inversión y el análisis de rentabilidad, proporciona una metodología que minimiza la incertidumbre en lo que respecta a los fallos de operación de la planta y a la vez permite valorar el efecto que sobre la eficiencia económica de la planta tiene los futuros ingresos y los costos de producción.

Capítulo III: Análisis de alternativas de inversión en la Empresa Refinería de Petróleo “Sergio Soto “de Cabaiguán para incrementar su disponibilidad operativa.

El objetivo de este capítulo es validar la metodología planteada en el capítulo II a través de ejemplos concretos y que permiten la comprensión de la importancia de la introducción de los aspectos relacionados con la fiabilidad en el análisis de alternativas de inversión.

Mediante los ejemplos se analiza el método de optimización más conveniente de acuerdo a las características del problema planteado.

El ejemplo propuesto es la Empresa Refinería de Petróleo “Sergio Soto “de Cabaiguán que tiene como característica en su diseño una estructura que responde a un sistema serie paralelo con varias opciones de trabajo, y como se conoce responde a una estrategia inversionista para renovar los equipos que se encuentran en peor estado de trabajo, así como satisfacer las demandas de asfalto del país, y en la que se pretenden obtener valores mayores de disponibilidad anual.

3.1-Panoramica actual de la industria

La planta de este ejemplo es una empresa refinadora de petróleo, actualmente se dedica a la producción y comercialización de combustibles, base para lubricantes y aceite transformador, con variados surtidos, referidos a nafta, queroseno, diésel, fuel-oíl, asfalto, aceite transformador y componente sigatoca; para ello utiliza como materia prima el petróleo crudo y como productos auxiliares el demulsificante, el carbonato de sodio, hidróxido de sodio, hidrato de cal y el inhibidor de corrosión. Los productos que se obtienen en la sección de Destilación Atmosférica son nafta, keroseno, diesel y fuel oíl, que no solo se utilizan para comercializarlos como productos terminados, sino que algunos pueden emplearse como materia prima en la producción de otros combustibles con mayor valor económico. Todos ellos tienen garantizado sus mercados, siendo empleados por la población y por importantes esferas de la economía con una gran demanda, que siempre es superior a la producción en la empresa. La Refinería está integrada a la economía

nacional a través de la Unión CUPET (Cuba Petróleos), quien es la comercializadora de los productos obtenidos de la producción de la fábrica:

- Nafta, se vende a las Fuerzas Armadas Revolucionarias (FAR) para el lavado de piezas, motores, etc. Este producto se conoce como el destilado medio solvente reductor de viscosidad.
- Diésel y gasolina, para abastecer los Servicentros de las provincias centrales.
- Fuel oíl, para los grupos electrógenos y calderas de otras empresas.
- Asfalto, se vende a la construcción para la pavimentación de carreteras.
- Mezclas Diesel - Fuel, se vende a otras empresas para el consumo de calderas que llevan este combustible.
- El queroseno se utiliza como combustible doméstico.

Como problemática se tiene que en esta planta existe una serie de equipos que presentan roturas sistemáticamente debido al tiempo de trabajo que presentan y a la falta de repuesto, por lo la empresa ha decidido realizar una nueva inversión, se necesita realizar un análisis de fiabilidad de los equipos existentes en el área de producción, para determinar aquellos que puedan continuar trabajando mejorándole el mantenimiento y aquellos que serán propuestos para dicha inversión.

3.1.1- Descripción del proceso tecnológico de refinación de crudo en la refinería “Sergio Soto Valdés”.

Tratamiento previo del crudo pesado

El crudo procedente de Matanzas viene con un alto contenido de sales (alrededor de 300 ppm), cuando la norma refleja que los inyectos a la planta deben estar por debajo de 50 ppm, este crudo al descargarse se le adiciona un 10% de agua, más demulsificante para romper la emulsión de agua y lograr que con esta que se marchen las sales; la solución se debe calentar por 15 minutos hasta tener 50°C, el crudo procedente de la base de supertanqueros de Matanzas después de tener el agua y el demulsificante Solquiza 8301 pasa por un tanque de lavado el cual tiene agua hasta un nivel, a una temperatura entre 50 y 60°C , el calentamiento del agua es en forma de vapor directo, el petróleo extraído de la tierra al salir de este

tanque de lavado (tk-31) pasa por reboso para los tanques de almacenamiento (tk-24 y 32) en los cuales cumplen con tres días de reposo para que a continuación se le comience a realizar purgas de agua por espacios de tiempo prolongados hasta que por el conducto salga crudo.

Destilación atmosférica.

El petróleo crudo procedente de los tanques de almacenamiento es bombeado por la bomba P-105 A o B a través de los intercambiadores de calor E-203 A, B, C, D, E, F, G y H que corresponden a reflujo tope vacío, queroseno, diésel, corte lateral ligero (R3), reflujo intermedio o diésel, fondo de vacío, corte lateral pesado (R2) o Fuel y fondo de vacío (también puede ser extracción de plato 5). En estos intercambiadores el crudo se calienta por el calor cedido por las corrientes anteriores hasta una temperatura alrededor de 190°C.

El petróleo crudo se divide en dos ramas y entra al horno F-101 donde se eleva la temperatura hasta 320–340°C. El crudo parcialmente vaporizado entra en la zona de alimentación de la torre de destilación atmosférica (T-101). La parte vaporizada asciende y el líquido cae en la zona de despojamiento la que posee tres platos de copas en el fondo de la torre.

Los vapores despojados en el fondo más la parte vaporizada del crudo y el vapor de agua ascienden en la zona de rectificación, compuesta por 15 platos de copas y un plato de malla.

Por los platos 7 y 9 se extrae el corte de diésel por cajas de extracción parcial. Este producto entra a la torre despojadora T-103 que posee 3 platos de copas donde se despoja de los productos más ligeros ajustando el punto de inflamación mediante la inyección de vapor de agua al fondo de esta torre. El corte despojado es bombeado por la bomba P- 102 B a través del intercambiador de calor E-203 C y siempre que presente la acidez por encima del valor establecido (0,6) se envía al tratamiento con sosa cáustica y posteriormente es enviado al tanque de producción #43. El queroseno se extrae de los platos 13, 14, 15 y 16, este producto entra a la torre despojadora T-102 que posee tres platos de copas donde se despoja de los productos más ligeros ajustando el punto de inflamación mediante la inyección de vapor de agua al fondo de esta torre. El corte despojado

es bombeado por la bomba P- 102 A, a través del intercambiador de calor E-203 B y el enfriador E-105 B y posteriormente es enviado a los tanques de almacenamiento. El solvente se extrae por los platos 16, 17 y 19 por cajas de extracción parcial, pasando a enfriarse en uno de los bancos de condensadores de tope y de ahí se envían por gravedad a sus respectivos tanques de almacenamiento.

Por el tope de la torre T-101 salen los gases, el vapor de agua, vapores de nafta y reflujo tope pasando a los condensadores E-103 A y B, E-103 C y D donde se enfrían y condensan estos vapores, de aquí pasan al tambor separador de tope D-103. En este tambor ocurre la separación de los gases no condensables, nafta y agua. Parte de la nafta se retorna a la torre T-101 mediante la bomba P-101 A o B como reflujo al tope y el resto de la nafta se envía al enfriador E-105 A y al tanque (<http://pedroreina.net/trabalu/19981999/webitos6.htm>.) de tratamiento con sosa, pasando por reboso a su tanque de almacenamiento (64), siempre que su destino sea para la producción de gasolina, de lo contrario se enviaría para el tanque de producción (18) como reductor de viscosidad sin pasarla por dicho tratamiento. El agua es drenada a la zanja y los gases no condensables se envían junto a la nafta al tanque de producción. El crudo reducido que sale del fondo de la T-101 es bombeado con la bomba P-109 A, B o C, gobernada por un control de nivel ubicado en el fondo, y se muestra el flujo por un indicador de flujo FI12, llegando al horno F-102 donde se calienta hasta 370-409°C, en dependencia de la operación, vaporizándose parcialmente. En la zona de radiación del horno se puede introducir vapor de agua recalentado con vistas a evitar la formación de coque en los tubos del mismo.

Destilación al vacío: El producto pasa a la zona de alimentación de la torre T-201, entre los platos 3 y 4, que se encuentra a una presión por debajo de la presión atmosférica ocurriendo el flasheo del producto. La torre T-201 está diseñada con 27 platos distribuidos de la siguiente manera:

Fondo	3 platos (plato perforado)
Zona de lavado	5 platos (4 copas y 1 malla)
Zona rectificación	19 platos (17 válvulas y 2 colectores)

En esta separación inicial los vapores ascienden en la torre y el líquido cae al fondo. El fondo de la torre mantiene su nivel con un lazo en el autómatas (LIC-01), accionando la neumática existente en las bombas P-201 (A o B) y es bombeado a través de los intercambiadores E-203 H siempre que no se utilice para el plato 5 y E-203 F donde le ceden calor al crudo inyectado a la parte atmosférica; posteriormente pasa al enfriador E-204 A de donde una parte va al fondo de la torre T-201 como reflujo frío, con vistas a que la temperatura del fondo esté por debajo de 343°C, la otra parte se envía a asfalto o puede pasar por un mezclador donde se le adiciona queroseno, diésel o ambos para producir petróleo combustible, en dependencia de la operación. El líquido que abandona el plato 5 es tomado por la bomba P-205 A o B quien lo bombea, gobernado por el control de nivel (LIC-05) situado en el plato, a través del intercambiador E-203 H, de donde una parte (de ser necesaria) es enviada a la succión de la bomba P-109, para ser reprocesado y el resto pasa al enfriador E-204 E y posteriormente a tanque de petróleo combustible. Existe la posibilidad de que el producto del plato 5 vaya directamente al enfriador sin necesidad de entrar al intercambiador, esto se logra sacando de línea el intercambiador por la parte de plato 5, dando la posibilidad de alinear el mismo para utilizarlo con el fondo de vacío. La primera extracción de producto es por el plato 9 que pasa al despojador T-203 donde es despojado de las fracciones ligeras con vapor de agua. El flujo de producto de la T-201 al despojador es gobernado por un lazo de control de nivel (LIC-03). De ahí lo toma la bomba P-203 B o C en cuya descarga está montado el lazo de control de nivel del despojador (FIC-02) que gobierna la salida de producto. Entre la descarga de la bomba y el control de nivel existe una línea que se utiliza para mantener un reflujo al plato maya, operándose manualmente y el resto es bombeado al intercambiador E-203 G donde le cede calor al crudo, de ahí circula al enfriador E-204 C pasando al manifold de donde puede ser enviado a los diferentes tanques de cortes de aceites, gasóleo de vacío. La siguiente salida es por el plato 13, es tomado por la bomba P-204 A y B bombeado al intercambiador E-203 E y devuelto a la torre en el plato 14. Existe la posibilidad de no utilizar el reflujo intermedio siempre que en la torre se trabaje con baja carga, dando la

posibilidad de usar el intercambiador E-203E para el enfriamiento del diésel atmosférico. La segunda extracción de producto es por el plato 20, que pasa al despojador T-202, donde es despojado de las fracciones ligeras con vapor de agua. El flujo de producto de la T-201 al despojador es gobernado por un lazo de control de nivel (LIC-03). De ahí lo toma la bomba P-203 A o B en cuya descarga está montado al lazo de control de nivel del despojador (FIC-01) que gobierna la salida de producto, y es bombeado al intercambiador E-203 D donde le cede calor al crudo, luego al enfriador E-204 E pasando al manifold donde puede ser enviado a los diferentes tanques de cortes de aceites, gasóleo de vacío o como PCP. Existe la posibilidad de usar como reflujo intermedio la salida del despojador T-202, retornándolo al plato 14, gobernándolo por el sistema de control del reflujo intermedio (TIC-04). La próxima salida es el reflujo al tope, el cual es un reflujo de intervalo. Se toma por el plato 24 a través de la bomba P-202 (A o B) en cuya descarga tiene el control de cascada de temperatura (TIC-01) dejando pasar más o menos flujo por la línea del intercambiador E-203 A, enfriador E-204 B y tope (plato 27) y el producto que pasa por el control de nivel del plato 24 (LIC-02)(exceso) pasa a través del enfriador E-204 F hacia una línea del manifold pudiendo enviarse a los distintos tanques de corte de aceite así como al diésel y al crudo en caso que no cumpla especificaciones. Todos los productos son extraídos por cajas de extracciones parciales. Además, existen conexiones a la descarga de las bombas P-202 A y B que permiten reflujar producto al plato inferior al 24 y la otra posibilidad es reflujar el producto del plato 24 al fondo de la torre a través de la línea de reflujo frío. Los vapores no condensados, el aire y el vapor de agua suministrado durante el proceso, pasan a los condensadores de tope E-201 A, donde se condensan parcialmente. El líquido formado pasa al tambor D-201 donde se separan los hidrocarburos del agua, el agua va al drenaje y los hidrocarburos son tomados por la bomba P-205 B o C y enviados a la línea del exceso de reflujo, al diésel, al crudo o al tanque 37. Los vapores no condensados pasan al eyector primario donde son arrastrados por el vapor de agua mezclándose con él y pasan al segundo condensador E-202 A, donde se condensa parte de ellos, de aquí los residuos son arrastrados por el eyector

secundario para el condensador E-202 B, los líquidos condensados en los condensadores E-202 A y B pasan igualmente al tambor D-201, quedando el aire y un residuo de vapor los cuales antes de ser expulsados a la atmósfera reciben un tratamiento previo para eliminar el sulfuro de hidrógeno presente en estos gases. El tratamiento consiste en pasar los gases de vacío a través del eyector 1 inferior o el eyector 2 superior, ambos de acción hidráulica, hasta el reactor TB 1 inferior o TB 2 superior, cada uno de ellos diseñado para contener sosa líquida con una concentración establecida en un rango de 20 a 30 %, ambos cuentan con conexión de agua y vapor, y ambos se cargan de la solución, pero solo se utiliza un sistema, cuando se agota la sosa en un reactor, se utiliza el otro, con su sistema correspondiente. La sosa es bombeada por la bomba P-204 A o P-204 B hasta el reactor TB1 o TB2, una vez cargados los reactores se comienza a recircular la sosa para lograr el funcionamiento de los eyectores (el inferior o el superior), estos extraen los gases hasta el reactor. Aquí reacciona el sulfuro de hidrógeno y los demás gases se expulsan a la atmósfera a través de una chimenea que sale de los reactores. Al reaccionar el sulfuro de hidrógeno con la sosa cáustica se forma una solución de hidrosulfuro de sodio la cual posteriormente se bombea a través de la bomba P-204 A o P-204 B hasta el tanque de almacenamiento. Una vez terminado el tratamiento se procede a la limpieza del equipamiento y las tuberías a través del suministro de agua y vapor, para eliminar las tupiciones. (Diagrama de flujo del proceso Anexo 2)(Diagrama de bloques del proceso Anexo 3)(Valdés).

3.2-Análisis de Fiabilidad. (Fallos)

En este caso nos propusimos recopilar información de la refinería “Sergio Soto Valdés”, para obtener la historia de fallos en los equipos esta se obtuvo a través de un programa presente en la industria denominado SAGERMAN , en el cual se tomaron datos de 3 años consecutivos de trabajo de la planta (2017-2019).En cada uno de los equipos se obtuvo los tiempo de fallos y los de trabajo sin fallo con el objetivo de determinar la funciones de distribución a que responden los

mismos y la probabilidad de trabajo sin fallo la cual se obtuvo utilizando el programa Statgraphics (Tabla 3.1).

La información obtenida a su vez se incorporó a un fichero que contiene los parámetros de cada una de las funciones de distribución de los tiempos de trabajo sin fallo por unidad de estos resultados en futuros análisis de plantas con características similares (Anexo4).

Tabla 3.1 Resultado del análisis de fallos

Equipos	Distribución	Probabilidad de trabajo sin fallo
Bomba de inyecta P-105A	Exponencial	0,66372
F-101 Horno de Atmosférica	Exponencial	0,57023
F-102 Horno de Vacío	Exponencial	0,664168
T-101 Torre destilación Atmosférica	Exponencial	0,884338
T-201 Torre Destilación al Vacío	Exponencial	0,606869
E-203A Intercambiador de calor	Exponencial	0,544506
E-203B Intercambiador de calor	Exponencial	0,775129
E-203C Intercambiador de calor	Exponencial	0,700466
E-203D Intercambiador de calor	Exponencial	0,609649
E-203E Intercambiador de calor	Exponencial	0,638854
E-203F Intercambiador de calor	Exponencial	0,813353
E-203G Intercambiador de calor	Exponencial	0,835476
E-203 H Intercambiador de calor	Exponencial	0,81415
P-101A Bomba de reflujo al tope	Exponencial	0,635577
E-103A Condensador de nafta	Exponencial	0,747293
T-102 Despojador de queroseno	Exponencial	0,67272
T-103 Despojador de diésel	Exponencial	0,557305
T-203 Despojador de R2	Exponencial	0,561548
D-103 Separador de tope	Exponencial	0,713581
D-201 Separador de vacío	Exponencial	0,587193
P-201 Bomba fondo vacío	Exponencial	0,548738
P-202 Bomba reflujo al tope de T-201	Exponencial	0,501584
P-203 Bomba	Exponencial	0,681829
P-205 Bomba de D-201	Exponencial	0,514789
E-201 Enfriador	Exponencial	0,715896
E-204 A Enfriador	Exponencial	0,803114
E-204 B Enfriador	Exponencial	0,875963

Fuente: Elaboración propia

Como puede apreciarse, en la tabla 3.1 aparecen todos los equipos de la planta, menos el tanque de almacenamiento de asfalto el cual se obtuvo su fiabilidad a través de la ecuación:

$$R = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MDT}) = 0,62$$

Diagrama de Fiabilidad.

Después de realizado el análisis cualitativo sobre la respuesta del sistema ante el fallo de uno de sus elementos se obtiene el diagrama de fiabilidad, que tiene como característica una estructura serie paralelo bien definida con varias variantes de operación.

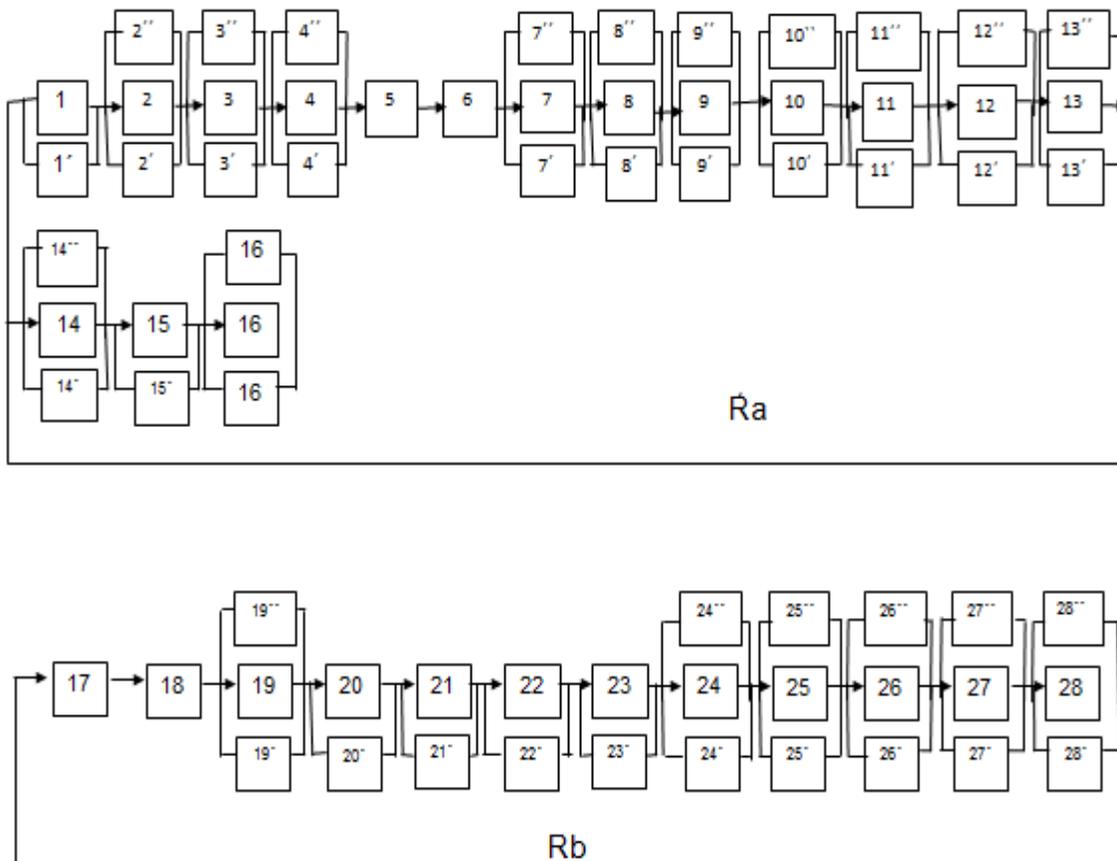


Diagrama 1: Diagrama de fiabilidad.

Los datos de fallos de la tabla 3.1 y la configuración del sistema con respecto a la fiabilidad permiten, utilizando la ecuación 2.2 del epígrafe 2.2 del capítulo 2, obtener la función de fiabilidad del sistema.

Posteriormente para más facilidad se dividió el esquema en partes A y B como se muestra en el diagrama de fiabilidad obteniéndose la siguiente función resultante

$$R_{total} = R_a * R_b \quad 3.1$$

$$R_{total} = 0,032$$

$$R_a = (1 - (1 - R_1)^2) * (1 - (1 - R_2)^3) * (1 - (1 - R_3)^3) * (1 - (1 - R_4)^3) * R_5 * R_6 * (1 - (1 - R_7)^3) * (1 - (1 - R_8)^3) * (1 - (1 - R_9)^3) * (1 - (1 - R_{10})^3) * (1 - (1 - R_{11})^3) * (1 - (1 - R_{12})^3) * (1 - (1 - R_{13})^2) * (1 - (1 - R_{14})^3) * (1 - (1 - R_{15})^2) * (1 - (1 - R_{16})^3) * (1 - (1 - R_{17})^3) *$$

$$R_b = R_{17} * R_{18} * (1 - (1 - R_{19})^3) * (1 - (1 - R_{20})^2) * (1 - (1 - R_{21})^2) * (1 - (1 - R_{22})^2) * (1 - (1 - R_{23})^2) * (1 - (1 - R_{24})^3) * (1 - (1 - R_{25})^3) * (1 - (1 - R_{26})^3) * (1 - (1 - R_{27})^3) * (1 - (1 - R_{28})^3)$$

Una vez calculada la fiabilidad del sistema se procedió al cálculo de la disponibilidad de acuerdo con la expresión siguiente:

$$D = R_{total} * T_{trab} / [(R_{total} * T_{trab}) + T_{mto}] \quad 3.2$$

$$D = 0,58$$

Luego se determina el valor de la inversión (\$1 265 848,22) y el costo de producción (\$31 059 547,996), así también como los ingresos (\$31 580 869,43) los cuales son para un año de trabajo en la planta.

Para luego proceder y calcular la ganancia a partir de la ecuación siguiente

$$\text{Ganancia} = (\text{Ingresos} - \text{CO}) * \text{Disponibilidad} - \text{VI} - \text{Incremento VI} \quad 3.3$$

$$\text{Ganancia} = 4\,237\,206,8 \$/\text{año}$$

3.2.1-Solución del problema de optimización.

En este paso de aplicación se plantea construir el modelo del problema y utilizar un método de optimización. El seleccionado fue el Método de Programación No Lineal en Enteros el cual es entendida como la optimización de una función lineal sujeta a restricciones también lineales, es simple en su estructura matemática, pero poderosa en su adaptabilidad a una amplia gama de aplicaciones. La Programación Lineal es una técnica que puede usarse en la solución de problemas de interés para la industria química tales como:

- a) Minimizar los costos de transportación entre varias plantas de la industria química,
- b) Optimizar el mezclado de los flujos de una refinería para producir grados específicos de gasolina con una máxima utilidad

- c) Formular un esquema de producción que considere el pronóstico de ventas, mientras que minimiza el costo de producción y ventas (Mayo, 2005, González, 2018).

Aplicación del Método de Programación No Lineal en Enteros

Planteamiento del modelo.

Para la aplicación del método P.N.L.E., se necesita el planteamiento de la función objetivo, estas y sus derivados deben ser continuas además deben hallarse los puntos donde esas derivadas se anulan y también el de sus restricciones que son en forma de expresiones complejas de varias variables independientes. En este caso nos proponemos maximizar la ganancia con restricciones de fiabilidad y de cota mínima de equipos.

Modelo Matemático

Función Objetivo

Ganancia= [Ingreso – CO]*Disponibilidad- Valor Inicial – Incremento del VI

Restricciones:

Fiabilidad

$R_{total} = R_a * R_b \geq 0,032$

Restricciones de cota mínima

$n_i \geq 1 \quad i=1, \dots, 28$

Los resultados de la optimización se muestran en la tabla 3.2, donde se obtuvo los números de equipos óptimos que se necesitan instalar en la planta.

Luego de obtenida la optimización a través del modelo seleccionado este nos arrojó los valores de la fiabilidad óptima del sistema y su disponibilidad, así como el valor de la ganancia que presentara la empresa en él.

Fiabilidad del sistema óptima:

$R_{total} = 0,080$

Disponibilidad:

$D = 0,79$

La ganancia óptima que arrojó el programa es:

Ganancia =6 460 933,94\$/año mientras que la actual es de: 4 237 206,8\$/año por lo tanto el incremento de la ganancia es de 2 223 727,94 y los indicadores son de: VAN=\$16 925 585,95, TIR= 40%, PRD= 3 años.

Tabla 3.2 Número de equipos óptimo en cada etapa.

Equipos	Diseño óptimo
1-Bomba de inyectos P-105A	4
2-F-101 Horno de Atmosférica	1
3-F-102 Horno de Vacío	1
4-T-101 Torre destilación Atmosférica	1
5-T-201 Torre Destilación al Vacío	1
6-E-203A Intercambiador de calor	3
7-E-203B Intercambiador de calor	3
8-E-203C Intercambiador de calor	3
9-E-203D Intercambiador de calor	3
10-E-203E Intercambiador de calor	3
11-E-203F Intercambiador de calor	3
12-E-203G Intercambiador de calor	3
13-E-203 H Intercambiador de calor	3
14-P-101A Bomba de reflujo al tope	4
15-E-103A Condensador de nafta	3
16-T-102 Despojador de queroseno	3
17-T-103 Despojador de diésel	3
18-T-203 Despojador de R2	3
19-D-103 Separador de tope	3
20-D-201 Separador de vacío	3
21-P-201 Bomba fondo vacío	4
22-P-202 Bomba reflujo al tope de T-201	4
23-P-203 Bomba	4
24-P-205 Bomba de D-201	4
25-E-201 Enfriador	3
26-E-204 A Enfriador	3
27-E-204 B Enfriador	3
28-Tanque de asfalto	4

Fuente: Elaboración propia.

Plan de Mantenimiento

Se requiere la programación de un plan de mantenimiento para los equipos que se analizó su probabilidad de fallo, el cual consiste en realizar una reparación un mes antes de la fecha de probabilidad de fallo, y una reparación general una semana antes de dicha fecha, para garantizar su óptimo funcionamiento.

Los equipos analizados fueron:

Tabla 3.3: Equipos seleccionados.

Bomba de inyectos	Condensador de nafta
Horno Atmosférica	Despojador de queroseno
Horno Vacío	Despojador de diésel
Torre de Atmosférica	Despojador de R2
Torre de Vacío	Separador del tope
Intercambiador de calor E-203 A	Separador de vacío
Intercambiador de calor E-203 B	Bomba fondo vacío
Intercambiador de calor E-203 C	Bomba reflujo al tope
Intercambiador de calor E-203 D	Bomba P-203
Intercambiador de calor E-203 E	Bomba de D-201
Intercambiador de calor E-203 F	Enfriador E-201
Intercambiador de calor E-203 G	Enfriador E-204 A
Intercambiador de calor E-203 H	Enfriador E-204 B
Bomba de reflujo al tope	

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones parciales:

1-Como resultado de la aplicación del método de optimización formulado se pudo comprobar que el método de P.L.N.E ofrece buenos resultados pues permite una formulación más exacta del problema ya que permite considerar todas las restricciones del problema.

2-El análisis de alternativas de inversión realizado con la metodología propuesta permite comprobar las ventajas que ofrece la consideración de los aspectos relacionados con la disponibilidad de la instalación, a través de la comparación de la variante óptima con la variante de diseño actual.

3-En el análisis de la fiabilidad se pudo comprobar que, al realizarle las redundancias óptimas al sistema, el valor de la disponibilidad aumentó desde 0,58 a 0,79 dándole a la planta una mayor rentabilidad, así como el valor de la ganancia también sufrió un gran incremento desde 4 237 206,8 hasta 6 460 933,94.

4-En la refinería de petróleo "Sergio Soto" el valor de VAN da positivo, lo que implica que la variable de diseño óptimo es rentable, la tasa de interés de retorno es de un 40% y el período de retorno al descontado es de 3 años.

Conclusiones generales:

1. Los métodos de la ingeniería de procesos químicos y el conocimiento de las características de los procesos tecnológicos obtenidos de las investigaciones o de información de la literatura deben complementarse para lograr una estimación adecuada de los valores de la inversión y el costo de producción.
2. La inclusión de la fiabilidad de los equipos y con ello la de los sistemas tecnológicos en los análisis técnico económicos a través del efecto que tienen en la disponibilidad de la instalación, enriquece el enfoque multilateral de la estimación de la eficiencia de una inversión brindando nuevos elementos que en muchos casos modifican decisiones realizadas sin estas consideraciones.
3. En la búsqueda del número óptimo de equipos en cada etapa puede ser utilizado el método de programación no lineal en enteros. La de este depende de las características del problema a analizar con respecto al número de equipos mínimos que deben operar en cada una de las etapas del proceso.
4. Es importante considerar en la evaluación económica de alternativas métodos dinámicos de evaluación de inversiones, pues la utilización simultánea de los mismo proporciona claridad en la rentabilidad de la planta.
5. La metodología propuesta puede ser usada en cualquier industria de procesos químicos, también sucede lo mismo con el programa de computación, pues el mismo está diseñado con flexibilidad e independencia en cada uno de los módulos.

Recomendaciones

1-Por la importancia que tiene el análisis de fiabilidad en las decisiones para el aumento de la rentabilidad de las industrias químicas ,que se continúe utilizando esta metodología para futuras inversiones.

2- Que en la estimación de la fiabilidad de nuevas instalaciones que se proyecten se utilicen los datos existentes de instalaciones similares, por lo que debe continuarse trabajando en la recopilación de información sobre este aspecto.

3-Que se continúe estudiando los métodos de Programación No Lineal en Enteros y se obtengan procedimientos computacionales que permitan la optimización con un número mayor de variables enteras, con el objetivo de utilizarlos en sistema complejos.

4-Que se lleven a cabo las redundancias recomendadas en este trabajo por la Refinería de petróleo “Sergio Soto” ya que esto traerá consigo un aumento de la disponibilidad y de la ganancia para la planta.

Bibliografía:

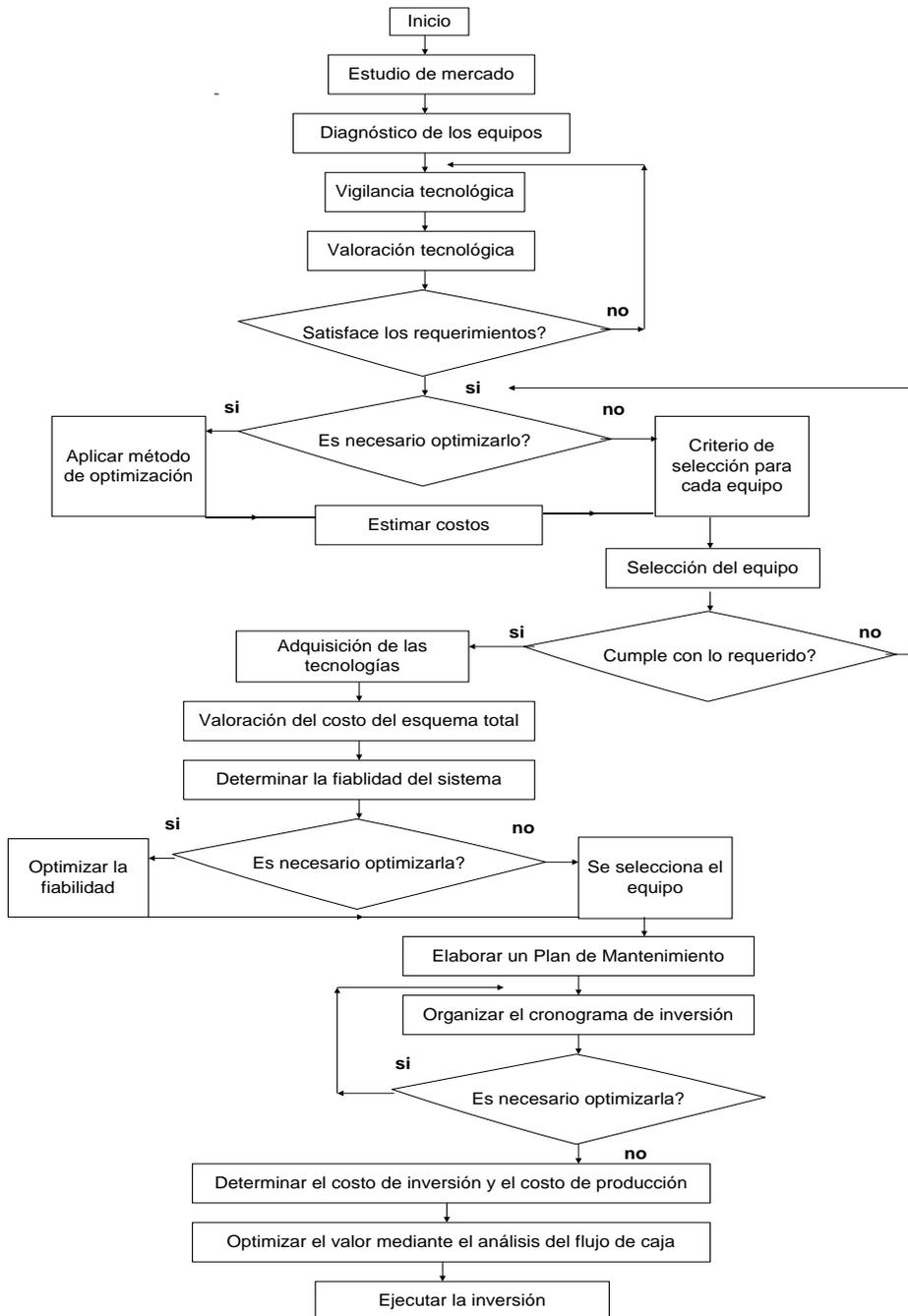
- 1-([HTTP://PEDROREINA.NET/TRABALU/19981999/WEBITOS6.HTM](http://pedroreina.net/trabalu/19981999/webitos6.htm)). Petroleo.
- 2-ARGUIMBAU, F. 1950. Combustibles y combustión. Combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.
- 3-AUTORES, C. D. 1967. Artículos sobre evaluación de inversiones. *U. H.*
- 4-BARLOW, R. & ROSCIAN, F. 1979. Matematische Theorie der Zuverlässigkeit. *In: VERLAG, A.* (ed.). Berlín.
- 5-BRIZUELAS, E. 1987. Aspectos fundamentales del diseño de Plantas Industriales. *In: ISPJAE, E.* (ed.). La Habana.
- 6-BROWN, D. 1971. A computerized Algorithm for determining the Reliability of Redundant configurations. *IEEE Trans*
- 7-C, A. C. 1984. Metodología y ejemplo ilustrativos para el cálculo del efecto económico de la introducción de una nueva técnica.
- 8-CALIDAD, C. D. L. 1982. Reglas de comprobación de concordancia de la distribución experimental con la teoría. *In: CEN* (ed.).
- 9-CASTRO, M. 1973. Análisis general de las etapas fundamentales de decisiones en los proyectos de inversión. *Economía y Desarrollo.*
- 10-CASTRO, M. 1974. Sobre el tiempo de recuperación de la inversión. *Economía y desarrollo.*
- 11-CASTRO, M. 1987. Evaluación de inversiones en el sector industrial cubano.
- 12-CEINPET. 1999. Características del petróleo Varadero.
- 13-CORREA, J. & DE ARMAS, C. 1983. La inspección de los equipos: Actividad necesaria en el proceso inversionista. *Economía y Desarrollo.*
- 14-CUBA-PETRÓLEO, U. Manual de la producción. Reglamento Tecnológico para las unidades de Destilación Atmosférica y al Vacío.
- 15-CHILTON, C. 1960. Cost engineering in the process industries. New York.
- 16-DÍAZ, R. J. 1994. Desagregación del crudo Pina-Cristales según sus densidades.
- 17-ESCOBAR, J. J., MARTÍ, X., REOL, N., LARRUY, Y., CASTELLS, C. & CHIVA, P., 2002. *El Petróleo. El recorrido de la energía.*
- 18-ESCOBAR, J. J., MARTÍ, X., REOL, N., LARRUY, Y., CASTELL, C. & CHIPA, P. 2002. *El Petróleo. El recorrido de la energía.*
- 19-FERNÁNDEZ DE BULNES, C. 1972. Determinación de los costos de inversión. *Economía y Desarrollo.*
- 20-FRANKE, M., HARMANT, K. & HAUTHAL, H. 1980. Erfahrungen und Probleme bei der ,Erarbeitung von Komplexen Prozessanalysen und der unsetzung der Ergebnisse fur die Erholung des wis sen schaflichtechnischen und okonomischen niveraus. *In: RDA* (ed.). Merseburg.
- 21-GAAL, Z. & KOVACS, Z. 1985. The reliability of the systems of chemical Technologies II Hungarian Journal of Industry Chemistry. Budapest.
- 22-GARCÍA, A. 1983. Economía de la Empresa Agrícola Cañera. *In: TÉCNICA, E. C.* (ed.). La Habana.
- 23-GARCÍA, J. 1981. Manual de Economía Industrial. *In: SOCIALES, E. D. C.* (ed.).
- 24-GARFINKEL, R. & NEMHAUSES, G. 1972. Integer Programming. *In: WILEY, J.* (ed.). New York.
- 25-GNYEGYENKO, B. & BELJAJEV, J. 1970. The mathematical methods of reliability. *Analysis.* Budapest.
- 26-GONZÁLEZ, E. 1976. Estudio de la influencia de la temperatura en los tiempos de cura y la velocidad de reacción de vulcanización durante el recape. *Empresa Nacional de la Goma.*
- 27-GONZÁLEZ, E. 1987. Aspectos técnico-económicos en la proyección de plantas químicas. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.

- 28-GONZÁLEZ, E. 1989. Análisis Complejo de Procesos en la Industria Química. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- 29-GONZÁLEZ, E. 2018. Gestión del conocimiento para la industria química y fermentación con apoyo de la optimización.
- 30-GONZÁLEZ, E., SCHUART, L. & GONZÁLEZ, V. 1988. Preparación de inversiones en la importación de instalaciones desde el punto de vista del inversionista. *Centro Azúcar*.
- 31-GONZÁLEZ, E., SCHUART, L. & REGALADO, N. 1991. El papel del análisis de procesos en la determinación de las tareas de reconstrucción en plantas químicas. *Tecnología Química*.
- 32-GRANELA, H. 1992. *Análisis Complejos de Procesos para la intensificación de la producción de la planta de recape de neumáticos Davis Díaz Guardarrama*.
- 33-GRUHNG, N., HEINIG, H. & KAMPFER, G. 1978. Zverlassigkcits analysc Vcrfahrentechnischer Anlagen Modellierung und optimierung verfahrens technischer system. Berlin.
- 34-[HTTP://PROFESORES.FI-B.UNAM.MX/](http://profesores.fi-b.unam.mx/). *Petróleo y Derivados*. [Online]. [Accessed].
- 35-[HTTPS://ALOJAMIENTOS.UVA.ES/GUIA_DOCENTE/UPLOADS/](https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/). *Combustibles*. [Online]. [Accessed].
- 36-JURGEN, F. & NEUMAN, W. 1967. Análisis cuantitativo de fiabilidad de sistemas técnicos con instalaciones de almacenamiento interno *Chemische Technik*.
- 37-KOCHEROV, N. 1981. Economía de la Industria Química *In: EDUCACIÓN, E. (ed.)*.
- 38-LIITTSCHWAGER, J. 1974. Dynamic Programing in the solutions of a Multi-stage Reliability Problem. *Industrial Journal*
- 39-LOPEZ, F. 1990. *Perfeccionamiento de la Planta de Cloro Sosa a partir de criterios de fiabilidad*. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- 40-MANNE, A. 1972. Investments for capacity expansion La Habana: Pueblo y Educación.
- 41-MARTÍNEZ, L. 1985. Metodología para la determinación y el calculo de los índices de fiabilidad. *Revista Ingeniería Industrial*. La Habana.
- 42-MAYO, O. 2005. Técnicas Básicas de Optimización.
- 43-MESSINGER, M. & SCOOMAN, L. 1967. Reliability Approximations for Complex Structures. *IEEE Ann Symp*.
- 44-NAVA, E. Year. La ingeniería en el desarrollo de proyectos industriales. *In: I Congreso Mundial de Ingeniería Química, 1960 México*.
- 45-ONU 1967. Manual de proyectos de desarrollo económico. *Organización de Naciones Unidas La Habana: Edición Revolucionaria*.
- 46-ORTEGA, M. 1977. Importancia de la maduración de las inversiones para la economía. *Economía y Desarrollo*.
- 47-PCC 1986. Programa del Partido Comunista de Cuba *Partido Comunista de Cuba*. Editora Política.
- 48-PEREZ, J. 1987. Revisión crítica de la tarea interna de rentabilidad como método de evaluación de inversiones. *Alta Dirección*.
- 49-PETERS, M. & K, T. 1971. Plant design and economics for chemical engineers. La Habana: Edición Revolucionaria.
- 50-PORTUONDO, F. 1983. Necesidad y posibilidad de comparar la modernización o el reemplazo con la reparación general de equipos. *Economía y Desarrollo*.
- 51-SCHWEYER, H. 1966. Process engineering economics. *In: R., E. (ed.)*. Habana.
- 52-SHOOMAN, M. 1967. Probabilistic Reliability and engineering approach. *In: R., E. (ed.)*. La Habana.
- 53-SHOOMAN, M. 1987. Probabilistic Reliability and engineering approach. *In: E.R (ed.)*. La Habana.
- 54-SOTSKOW, B. 1973. Fundamentos de la teoría de la fiabilidad. *In: MIR, E. (ed.)*. Moscú.

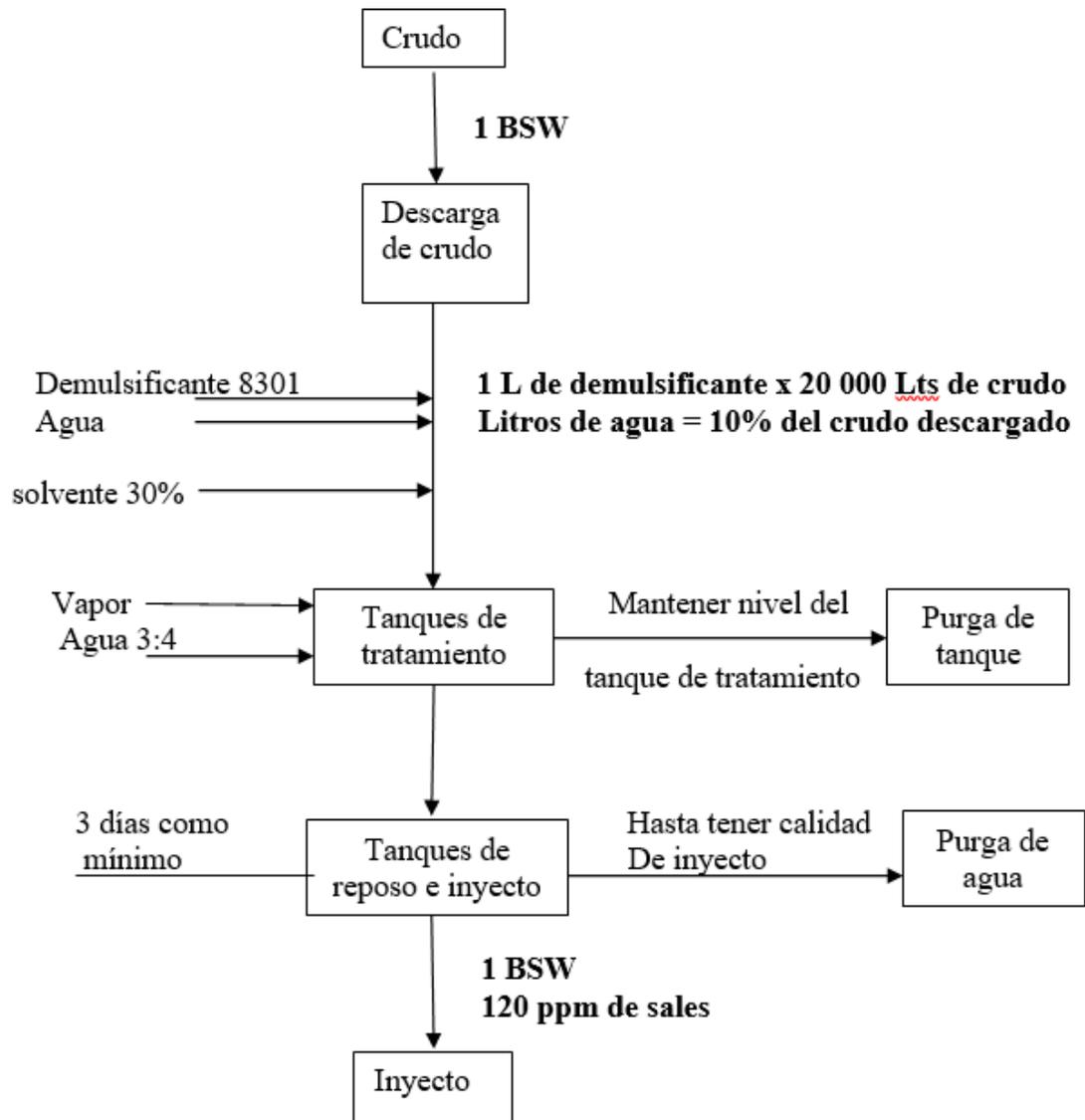
- 55-VALDÉS, R. Documento interno: Manual de la producción. Reglamento tecnológico.
- 56-VERDE, R. P. 1961. Tecnología Moderna del Petróleo en Cuba.
- 57-WWW.ALIPSO.COM/MONOGRAFIAS. *Petróleo, comercio mundial [Online]* [Online]. [Accessed].
- 58-WWW.ENERGIA.GOB.MX/RES/85/REFINACION_WEB.PDF Refinación.

Anexos

Anexo # 1: Diagrama heurístico para el análisis económico integral de un proyecto en fase preliminar



Anexo # 3: Diagrama de bloques del proceso



Anexo # 4: Parámetros de funciones de distribución de los equipos de la planta

Equipos	Función de distribución
Bomba de inyectos P-105A	0,000112309
F-101 Horno de Atmosférica	0,000112309
F-102 Horno de Vacío	0,000112309
T-101 Torre destilación Atmosférica	0,000112309
T-201 Torre Destilación al Vacío	0,000112309
E-203A Intercambiador de calor	0,000112309
E-203B Intercambiador de calor	0,000112309
E-203C Intercambiador de calor	0,000112309
E-203D Intercambiador de calor	0,000112309
E-203E Intercambiador de calor	0,000112309
E-203F Intercambiador de calor	0,000112309
E-203G Intercambiador de calor	0,000112309
E-203 H Intercambiador de calor	0,000112309
P-101A Bomba de reflujo al tope	0,000112309
E-103A Condensador de nafta	0,000112309
T-102 Despojador de queroseno	0,000112309
T-103 Despojador de diésel	0,000112309
T-203 Despojador de R2	0,000112309
D-103 Separador de tope	0,000112309
D-201 Separador de vacío	0,000112309
P-201 Bomba fondo vacío	0,000112309
P-202 Bomba reflujo al tope de T-201	0,000112309
P-203 Bomba	0,000112309
P-205 Bomba de D-201	0,000112309
E-201 Enfriador	0,000112309
E-204 A Enfriador	0,000112309
E-204 B Enfriador	0,000112309