

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA
CURSOS ESPECIALES DE GRADO: ÁREA DE GAS



**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
ESTIMACIÓN DE COSTOS DE EQUIPOS INVOLUCRADOS EN
EL PROCESO DE CAPTURA Y SECUESTRO DE DIÓXIDO DE
CARBONO (CO₂)**

Elaborado por:

Eileen Oelsa Figueredo Hernández
Cristian Alejandra Requena Delgadillo

Proyecto de Grado Presentado como Requisito Parcial para optar por el título de

INGENIERO QUIMICO

Puerto la cruz, febrero del 2010

RESOLUCION

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado: “Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien participará al Consejo Universitario”.

DEDICATORIAS

A *Diosito y a la Virgen María Auxiliadora* por todo lo que soy y por guiarme en todo momento, todas las duras pruebas puestas en este camino fueron para fortalecerme para enfrentar a la vida.

A mis *padres Ramón y Yoli*, pues este logro también es de ellos, siempre confiaron en mí y nunca dejaron de alentarme a pesar de las dificultades. Fueron ejemplo de constancia y superación, espero se sientan orgullosos de mí. Los amo.

A mi *hermanita Estéfani*, por todo su cariño y ternura, este trabajo va especialmente dedicado a ti, para que sepas que si se puede y que podrás lograr cosas mucho mayores de las que te imaginas. Te quiero.

Eileen Figueredo

AGRADECIMIENTOS

Ante todo a **Dios** y a la **Virgencita** por ayudarme en todo momento, por los momentos buenos y malos por los que he pasado y me han ayudado a crecer como persona y lograr finalmente alcanzar esta anhelada meta.

A mis **padres**, por todo su apoyo y amor, por ser no solo unos padres ejemplares sino mis mejores amigos. Siempre alentándome a superar los obstáculos y a no dejarme amilanar por nada ni nadie. Y a mi **hermanita** por su confianza en mí. Los amo mucho.

A la familia **Reyes Gutiérrez**, por todo su apoyo económico y emocional, en especial a mi tío **Rafael** y mi tía **Theresa** que fueron como unos padres, los quiero mucho y también a mi prima **Lizabeth** por ser como una hermana para mí, siempre aconsejándome, dando palabras de aliento en las dificultades y siendo modelos a seguir para mí, te quiero un mundo prima!

A mi **Tía Rosita y Ramón** por siempre estar pendientes de mí y apoyarme en todo. Un abrazote.

A la familia **Rivas** pues me trataron como una hija mas, siempre pendientes de mí y dándome ánimos. Los quiero mucho.

A mis amigos de toda la vida **Chefran y Cindy**, que a pesar de la distancia siempre he contado con ustedes, los quiero un mundo. Gracias por esa linda amistad.

A mis amigos de todos estos años de universidad: **Zulivis**, por ser la persona más linda que pude conocer, siempre cuidándome y

enseñándome lecciones para toda la vida, fuiste una hermana para mi, compartir largas horas de estudio y tramos contigo hicieron más agradable el camino hasta la meta final. ¡Te quiero mucho!.

Virginia la persona más dulce que he conocido, por su apoyo incondicional en todo, la persona con mas gustos en común conmigo y que por esa razón en momentos de estrés siempre me saca una sonrisa y me hizo olvidar de los problemas, TQM.

Freddy Jesús, por siempre prestar tu ayuda de forma incondicional y confiar en mí, siempre teniéndome paciencia cuando me explicabas y siendo siempre un fiel amigo. TQM.

Beker, un modelo a seguir en humildad y constancia, me siento orgullosa de ser tu amiga.

Mercedes, por ser la persona más “eficiente” que he conocido jajaja y una amiga muy especial con la que siempre puedo contar.

Zorimar, por compartir conmigo largas horas de estudio y su linda amistad, me recordó en momentos de angustia dejar todo en manos de Dios y siempre pensar en positivo, siempre te recordare.

Mendoza, ¡mi estimado amigo!, siempre haciéndome reír, literalmente secaste mis lagrimas en esos momentos de “dolor y sufrimiento” jajaja y me ayudaste en la carga de esa “cruz” jajaja. TQM

A **Laurita, Guille y José Ángel**, son seres súper especiales todo un ejemplo a seguir los quiero mucho, gracias por brindarme su amistad y ayuda.

A *Jesús, Asdrubal, Marisela, Floribel, Yaelis, Laura, Sra. Elsa, Yein, Quelin* por su apoyo y ánimos. Los quiero mucho!

A mis compañeros de áreas, *Daniel, Luz, Orlando, Tatiana, Johana, Mónica, Yessenia*, por ayudarme en este camino y hacer de estas áreas una experiencia única.

A todos los demás amigos que por razones de espacio y tiempo no pude nombrar, gracias por toda su ayuda.

A la *Dra. Zulay Espinoza*, por su colaboración en este trabajo, por tenerme paciencia al explicarme, por usted este trabajo logro concluirse, gracias por todo su apoyo, le estaré agradecida siempre.

Al *Profesor Arturo Rodulfo*, por ser un profesor, ingeniero y persona ejemplar, siempre informándose de cosas nuevas e impartiendo conocimiento, me ayudo cada vez que lo necesité y me dio palabras de apoyo en momentos difíciles.

A los profesores, **Rafael Barrueta, Alexis Cova y Luis Moreno** siempre fueron una mano amiga y buenos consejeros.

A *Rafa*, no hay palabras con que agradecerte todo lo que has hecho por mí, gracias por todo tu amor y paciencia, siempre me aconsejaste y diste ánimos, me demostraste que no hay límites cuando se quiere algo, me has enseñado a ser mejor persona, a siempre tener sed de conocimiento y a nunca ser conformista. TAD.

Eileen Figueredo

RESUMEN

El dióxido de carbono (CO₂) es un contaminante que afecta el funcionamiento y vida útil de los equipos y está presente en el gas natural, que es usado como materia prima en las industrias petroquímicas. Por ende es importante profundizar los esfuerzos para realizar procesos de captura y secuestro de dióxido de carbono en la mayoría de las industrias para aprovechar este recurso económicamente. El problema surge al momento de hacer el diseño preliminar del proyecto porque se dificulta determinar el capital a invertir en el mismo ya que no se cuentan con datos históricos que faciliten la tarea, además una vez realizados hay mucha incertidumbre para poder realizar operaciones a largo plazo por la falta de información. Es necesaria la creación de una metodología eficiente para realizar una estimación de costos que logre generar las opciones más factibles para la puesta en marcha del proceso. Para ello es necesario conocer el proceso y las características de los equipos a usarse, para obtener los costos de los equipos; luego se analizan índices de costos los cuales permiten observar la relación que tienen con la inflación, para posteriormente utilizar la metodología planteada en base a los índices de inflación; y la creación de un diagrama mostrando los pasos a seguir de esta metodología. Se constato que el método es de fácil aplicación y cumple con la exactitud requerida para la estimación de costos clase V en la fase de diseño preliminar.

INDICE GENERAL

RESOLUCION	ii
DEDICATORIAS.....	iii
DEDICATORIAS.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	vii
INDICE GENERAL	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS.....	xiii
CAPITULO I.....	14
1.1. Introduccion.....	14
1.2. Planteamiento Del Problema	15
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
CAPITULO II.....	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Definición del gas natural [13]	18
2.2. Componentes del gas natural [13]	18

2.2.1. Gases ácidos [13].....	19
2.3. Captura y secuestro de CO ₂ en pre-combustión [1]	20
2.3.1. Características principales de la pre-combustión [1].....	20
2.3.2. Equipos relacionados con el proceso de captura y secuestro de CO ₂ [1]	21
2.3.3. Usos del dióxido de carbono (CO ₂) [11]	25
2.4. Vapor de agua como servicio industrial [10].....	27
2.5. Proceso con aminas [1].....	28
2.6. Índices de costos [5]	30
2.7. Inflación [7]	31
2.8. Deflación [7].....	32
2.9. Costos [12].....	32
2.9.1. Costos directos [12].....	33
2.9.2. Costos indirectos[12].....	33
2.9.3. Costos fijos[12].....	33
2.9.4. Costos variables [12]	33
2.9.5. Costos de operación [12]	33
2.10. Capacidad instalada [5]	34
2.10.1. Capacidad ideal [5].....	34
2.10.2. Capacidad práctica [5].....	35
2.10.3. Capacidad normal [5]	35
2.11. Métodos para estimar la inversión de capital [12].....	35
2.12. Etapas de un proyecto de ingeniería [5]	39

2.13. Riesgo país [2]	41
CAPITULO III	42
DESARROLLO DEL PROYECTO	42
3.1. Descripción del proceso industrial de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO ₂)	42
3.1.1. Sección de reformación	42
3.1.2. Sección Compresión del Aire del Proceso	45
3.1.3. Sección de Conversión:	45
3.1.4. Sección de Remoción de Dióxido de Carbono	47
3.2. Establecer los equipos utilizados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO ₂).	49
3.3. Analizar los índices de costos de equipos de “marshall y swift” y “plantas de ingeniería química” para los equipos seleccionados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO ₂).	53
3.3.1. Método de estudio de la tendencia de los índices de costo.....	53
3.4. Metodología para la estimación de costos de los equipos involucrados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO ₂), basada en el método de estimación y ajuste por inflación.....	62
3.4.1. Estimación de costos históricos	64
3.4.2. Variables de la propuesta.....	64
3.5 diagrama de flujo sobre la metodología para la estimación de costos de equipos en un proceso general.	72
CAPITULO IV	76
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	76

4.1. Conclusiones.....	78
4.2. Recomendaciones	79
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	82
Porcentaje de inflación anualizada de países americanos y curva de inflación anualizada de estados unidos (1998-2010)	¡Error! Marcador no definido.
Índices de costos de “marshall & swift” y “plantas de ingeniería química” (2001-2008).....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Sección de Reformación	43
Figura 3.2. Sección de compresión de aire.....	45
Figura 3.3. Sección de Conversión.....	46
Figura 3.4. Sección de Remoción de CO ₂	49
Figura 3.5. Proceso de captura y secuestro de Dióxido de Carbono (CO ₂).....	50
Figura 3.6 Variación de los índices de costos entre años de “Marshall and Swift”	58
Figura 3.7 Variación de los índices de costos entre años de “Plantas de Ingeniería	

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.2. Denominación de las estimaciones de costos [12].	36
Tabla 3.1. Costos de los equipos usados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de Carbono (CO ₂) para el año 2007. (\$)	51
Tabla 3.2. Costos de los equipos usados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de Carbono (CO ₂) para el año 2007. (BsF).....	52
Tabla 3.3 Proceso de selección de índice de costos.....	56
Tabla 3.4. Índices de costos de “Marshall & Swift”	57
Tabla 3.5. Índice de costo de “Plantas de Ingeniería Química”	58
Tabla 3.6 Costos de los equipos del proceso en estudio para el año 2008. (BsF)	66
Tabla 3.7 Costos de los equipos del proceso en estudio para el año 2009. (BsF)	68
Tabla 3.8 Costos de los equipos del proceso en estudio para el año 2008. (\$).....	69
Tabla 3.9 Costos de los equipos del proceso en estudio para cierre de noviembre de 2009. (\$)	70

CAPITULO I

1.1. Introduccion

El desarrollo económico de los países desarrollados y especialmente de aquellos en vías de desarrollo está íntimamente ligado a un crecimiento de la demanda energética, por lo que las proyecciones indican que la necesidad de combustibles energéticos del tipo fósiles seguirá en aumento en cuanto no se desarrollen nuevas tecnologías medioambientalmente y económicamente eficientes. Es por esta razón que en una actualidad en donde los efectos de la polución comienzan a visualizarse (cambio climático) y proyectarse es necesario controlar las emisiones de estos gases, como el CO₂, regulándolo con el fin de proteger el medio ambiente.

El aumento del dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, que es el gas con efecto invernadero más importante, ha sido más fuerte en los últimos 10 años que en el periodo de 1960-2005 desde que se comenzaron a realizar mediciones directas de la atmósfera. La causa primaria del aumento de la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera desde el periodo preindustrial es el uso de combustibles fósiles. Debido a la exposición del ambiente al CO₂ existen efectos potenciales en la salud humana y fenómenos como el calentamiento global, lo cual es motivo de gran preocupación. La disminución de la capa de nieve, la elevación del nivel de los mares y los cambios meteorológicos son consecuencias del calentamiento global que pueden influir en las actividades cotidianas y en los ecosistemas. Algunas especies pueden ser forzadas a emigrar de sus hábitats para evitar su extinción debido a las condiciones cambiantes, mientras otras especies pueden extenderse. Pocas regiones terrestres pueden esperar no resultar afectadas.

Buscando comprometerse con el cuidado del medio ambiente y cumplir con las nuevas normativas ambientales acordadas (como el protocolo de Kioto) es que los países más desarrollados han llevado a cabo numerosas investigaciones invirtiendo importantes sumas de dinero con el objetivo de implementar tecnologías que puedan reducir las emisiones de CO₂ en los procesos de generación de energía, mediante tecnologías de captura, secuestro y almacenamiento de este gas, por lo que necesitan estimar lo más rápido y eficiente que se pueda los costos del proyecto para poner en marcha el proceso.

1.2. El Problema

Ha quedado demostrado que las concentraciones atmosféricas globales de los gases con efecto invernadero han aumentado notablemente como resultado de las actividades humanas y hoy por hoy se han incrementado de una manera considerable en comparación con el comienzo de la era industrial.

Las petroleras, que durante años negaron los efectos perjudiciales de sus emisiones de dióxido de carbono (CO₂), defienden de forma unánime la captación de CO₂, como argumento para enfrentar la lucha contra el calentamiento global. Parten con ventaja; desde hace décadas, los gigantes norteamericanos inyectan en varios yacimientos dióxido de carbono, transportado desde plantas de procesamiento de gas, para facilitar la extracción de crudo de sustratos poco accesibles.

Existe mucha incertidumbre a nivel científico y técnico, sobre la viabilidad del secuestro de CO₂ capturado en los gases de combustión; el capital requerido para la inversión de este proceso es sumamente alto, debido a que al consumo de energía de este es elevado y hay que adaptar las maquinarias existentes a las condiciones requeridas de operación.

La exploración preliminar de las alternativas económicas de un proceso como el descrito en el párrafo anterior se basa frecuentemente en un análisis estimado de costos de operación. No obstante, cuando se centra la atención en las alternativas más idóneas, se requiere precisión; los simples principios de la inspección previa resultan arrojan resultados demasiado cualitativos para su análisis. El ingeniero debe definir el contexto económico en que funcionará el proceso y establecer un criterio que, seguido del diseño adecuado, pueda conducir a un proceso económicamente óptimo.

Definir el capital requerido para poner en marcha un proyecto se presenta como un factor clave ante la decisión de su realización, para cuantificar criterios para su aceptación o rechazo. Sin embargo, en las fases de evaluación preliminar de un proyecto no se dispone como referencia, de bases de datos completas y actualizadas; los principales proveedores no están dispuestos a proporcionar sus costos, a menos que tengan alguna garantía de que finalmente serán seleccionados; los propios costos de llevar a cabo estimaciones precisas resultan elevados, porque entre otras circunstancias requieren un equipo de especialistas y un conocimiento de procesos y equipos involucrados.

Es necesaria la creación de una metodología eficiente para realizar una estimación de costos que logre generar las opciones más factibles para la puesta en marcha del proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂). Para realizar esta estimación de una forma más rápida y así con ello ahorrar tiempo y costos en estudios preliminares, para la decisión de la mejor inversión, nos basaremos en la inflación. Para ello es necesario conocer el proceso y las características de los equipos a usarse, para obtener los costos de los equipos; luego se analizan índices de costos los cuales permiten observar la relación que tienen con la inflación, para posteriormente utilizar la metodología planteada en base a los índices de inflación; y la creación de un diagrama mostrando los pasos a seguir de esta metodología.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer una metodología para la estimación de costos de equipos involucrados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂).

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir el proceso industrial de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂).
- Establecer los equipos utilizados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂).
- Analizar los índices de costos de equipos de “Marshall y Swift” y “Plantas de Ingeniería química” para los equipos seleccionados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂).
- Presentar la metodología para la estimación de costos de los equipos involucrados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂).
- Presentar un diagrama de flujo sobre la metodología para la estimación de costos de equipos en un proceso general.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición del gas natural [13]

El gas natural es un combustible que se obtiene de rocas porosas del interior de la corteza terrestre y se encuentra mezclado con el petróleo crudo cerca de los yacimientos. Como se trata de un gas, puede encontrarse sólo en yacimientos separados. La manera más común en que se encuentra este combustible es atrapado entre el petróleo y una capa rocosa impermeable. En condiciones de alta presión se mezcla o disuelve aceite crudo.

El gas natural arrastra desde los yacimientos componentes indeseables como son: el ácido sulfhídrico (H_2S), bióxido de carbono (CO_2) y agua en fase gaseosa, por lo que se dice que el gas que se recibe es un gas húmedo, amargo e hidratado; amargo por los componentes ácidos que contiene, húmedo por la presencia de hidrocarburos líquidos e hidratado por la presencia de agua que arrastra desde los yacimientos.

Existen diversas denominaciones que se le da al gas natural y por lo general se asocia a los compuestos que forman parte de su composición. Por ejemplo cuando en el gas natural hay H_2S a nivel por encima de 4 ppm por cada pie cúbico de gas se dice que es un gas “amargo” y cuando la composición desciende a menos de 4 ppm se dice que es un gas “dulce”.

2.2. Componentes del gas natural [13]

No existe una composición o mezcla que se pueda tomar para generalizar la composición del gas natural. Cada gas tiene su propia composición, de hecho dos

pozos de un mismo yacimiento puede tener una composición diferente entre si. También la composición del gas varia conforme el yacimiento va siendo explotado, es por eso que se deberá hacer un análisis periódico al gas que es extraído, para adecuar los equipos de explotación a la nueva composición y evitar problemas operacionales.

Cuando el gas natural es extraído de los yacimientos presenta impurezas las cuales hay que eliminar ya que pueden provocar daños al medio ambiente, corrosión en equipos o disminuir el valor comercial del gas. Normalmente se compone de hidrocarburos con muy bajo punto de ebullición. El Metano es el principal constituyente de este combustible, con un punto de ebullición de -154°C , el etano con un punto de ebullición de -89°C , puede estar presente en cantidades de hasta 10%; el propano cuyo punto de ebullición es de hasta -42°C , representa un 3%. El butano, pentano, hexano y octano también pueden estar presentes.

La composición de una mezcla de gas natural puede ser expresada tanto en fracción mol, fracción volumen o fracción peso de sus componentes, aunque también puede ser expresada en porciento mol, en porciento volumen o porciento peso.

2.2.1. Gases ácidos [13]

Al H_2S y al CO_2 se les denomina gases ácidos del gas natural. En muchos campos de donde es extraído el gas natural la presencia de estos compuestos es elevada los cuales le dan la denominación de “amargo” al gas natural. El ácido sulfhídrico, también conocido como sulfuro de hidrógeno, tiene la característica de tener un desagradable olor y ser muy tóxico. Cuando es separado del gas natural mediante el proceso de endulzamiento, es enviado a plantas recuperadoras de azufre en donde es vendido en forma líquida para sus diversos usos industriales (producción de pólvora o sus médicos) .

Por su parte el dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, que a concentraciones bajas no es tóxico pero en concentraciones elevadas incrementa la frecuencia respiratoria y puede llegar a producir sofocación. Se puede licuar fácilmente por compresión, sin embargo, cuando se enfría a presión atmosférica se condensa como sólido en lugar de hacerlo como líquido. El dióxido de carbono es soluble en agua y la solución resultante puede ser ácida como resultado de la formación de ácido carbonilo, he aquí la propiedad corrosiva que el CO₂ presenta en presencia de agua y la importancia del acondicionamiento del gas antes de su uso en la industria.

2.3. Captura y secuestro de co₂ en pre-combustión [1]

Existen tres tipos básicos de captura y secuestro de CO₂; en Pre-combustión, en Post-combustión y en Oxi-combustión. El uso de cada uno de estos métodos dependerá entre otras cosas de la concentración de CO₂, la presión del gas y el tipo de combustible que se utiliza. A continuación se analizan con mayor detalle la pre-combustión debido a que esta tecnología consigue menor cantidad de impurezas, es posible utilizarla en un amplio rango de combustibles fósiles, los gases de salida salen a mayor presión y mayor concentración de CO₂ que la post-combustión lo que reduce costos de captura y la separación esta comprobada en la industria.

2.3.1. Características principales de la pre-combustión [1]

Este sistema está muy relacionado con la producción de hidrógeno, el cual es un agente muy importante en distintos procesos, entre los cuales se incluyen:

- Generar energía eléctrica o calor (produciéndose únicamente vapor de agua).
- La síntesis de amoníaco.
- La producción de fertilizantes.
- Los hidroprocesamientos en las refinerías de petróleo.

Básicamente consiste en producir, a partir de gas natural o gas sintético (proveniente de la gasificación de carbón u otros hidrocarburos), una mezcla gaseosa compuesta principalmente de H₂ y CO₂ para posteriormente separar estos dos gases. La separación se basa en la descarbonización del combustible antes de la combustión mediante técnicas de gasificación del carbón o reformado del gas natural. Una vez separados los gases los métodos de captura del CO₂ son similares a los analizados en el sistema de captura en postcombustión; como por ejemplo la absorción química usando solución de aminas y es la tecnología para remover CO₂ más comúnmente utilizada en la actualidad.

2.3.2. Equipos relacionados con el proceso de captura y secuestro de CO₂ [1]

- Reformador Primario: está constituido por dos cámaras, que funcionan como una unidad. Las dos cámaras del horno tienen un conducto común para los gases de combustión y una sección común de recuperación de calor de los gases de escape. Cada cámara contiene tubos de acero con alto contenido de óxido de níquel, montados verticalmente y rellenos con el catalizador. Los tubos son calentados por medio de quemadores, alimentados con gas natural y distribuido sobre las paredes del horno, de tal manera que se asegure un

control óptimo de la temperatura del lecho catalítico en toda la longitud de los tubos.

- Reformador secundario: el reformador secundario consiste en un recipiente de acero especial, recubierto en su interior con material refractario. El reactor contiene en el tope del recipiente un mezclador en el cual se lleva a cabo la combustión y hacia abajo un lecho de catalizador de níquel, soportado por una grilla de material resistente a las altas temperaturas.
- Convertidores de CO: la conversión del CO tiene lugar en dos reactores adiabáticos. El reactor de alta temperatura que contiene un catalizador de alta actividad y alta resistencia mecánica. El convertidor de baja temperatura es cargado con un catalizador diferente, de baja temperatura, caracterizado por su alta actividad, resistencia mecánica y tolerancia al azufre; este catalizador se mezcla con otros mas, para que ayuden a retener el cloro y sulfuro que eventualmente podría ingresar con el gas de proceso y para evitar que sus iones puedan tomar contacto con el catalizador principal desactivándolo.
- Torre de lavado o absorbedor: en este equipo el CO_2 se absorberá a una fase líquida con condiciones de alta presión y baja temperatura. Esta torre consta de 20 platos reales, por donde la amina pobre entra por la parte superior de la torre y entra en contacto con el gas que entra por la parte inferior de la misma.
- Tanque de desorción o de flasheo: en el entra la corriente que sale por el fondo del absorbedor que contiene la amina y el CO_2 junto con otros contaminantes; con el fin de separar los hidrocarburos líquidos que se acumulan y parte de gases ácidos disueltos en la solución, los cuales se

mandan al mechero o se utilizan como gas combustible. De esta manera se evita la formación de espuma y se logra una mejor operación de la planta.

- Intercambiador de calor: es un dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico. En el proceso de captura y secuestro de CO₂ el propósito del intercambiador de calor es aprovechar una parte de la energía de la amina pobre o limpia que sale del regenerador .
- Torre regeneradora: trabaja a altas temperaturas y bajas presiones para así propiciar la separación del CO₂ de la amina y luego reutilizar esta en el absorbedor. La amina rica se alimenta en el plato N° 3 de la torre regeneradora la cual consta de 20 platos de los cuales los 18 de la parte inferior son para efectuar la regeneración de la solución absorbente y en los dos restantes, fluye agua a contracorriente con los gases ácidos con el fin de llevar a cabo el lavado de éstos y evitar pérdidas de DEA por arrastre. fluye agua a contracorriente con los gases ácidos con el fin de llevar a cabo el lavado de éstos y evitar pérdidas de DEA por arrastre.
- Condensador de la torre regeneradora: en el los gases ácidos que condensaron son separados y el agua y amina acumuladas en ese recipiente son retornados a la columna regeneradora. Es tipo enfriador de aire con un ventilador eléctrico, en el cual los vapores fluyen a través de los tubos.
- Rehervidor de la torre regeneradora: actúa como un plato más de la misma torre; la solución es enviada al rehervidor con la finalidad de elevarle la

temperatura produciéndose de esta manera los vapores necesarios para el agotamiento de los ácidos.

- Tanque de balance: el tanque de balance actúa como tanque de carga para las bombas de inyección de la solución de amina. En este tanque se tiene una alimentación de gas combustible para mantener una presión interna constante y proporcionar una carga neta positiva a las bombas.
- Bomba tipo reciprocante: son unidades de desplazamiento positivo descargan una cantidad definida de líquido durante el movimiento del pistón o émbolo a través de la distancia de carrera. Sin embargo, no todo el líquido llega necesariamente al tubo de descarga debido a escapes o arreglo de pasos de alivio que puedan evitarlo. Despreciando éstos, el volumen del líquido desplazado en una carrera del pistón o émbolo es igual al producto del área del pistón por la longitud de la carrera.
- Filtro tipo cartucho: se utiliza para la eliminación de sedimentos en la solución rica antes de que entre en la torre regeneradora.
- Filtro de aire: dispositivo que elimina las impurezas del aire antes con el fin de proteger al compresor y evitar el ingreso de contaminantes al sistema.
- Compresor: construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.

- Enfriadores: el objetivo de este accesorio es disminuir la temperatura del aire luego de la compresión, ya que el aire luego de ser comprimido quede 100% saturado, al tener lugar una disminución brusca de temperatura se presentaran condensados, por lo cual podemos decir que este equipo sirve también para disminuir la cantidad de agua contenida en el aire; esto implica que siempre que se utilice un enfriador es necesario instalar algún medio para retirar los condensados que este genera, tales como separadores centrífugos (separadores de mezcla). Los enfriadores también ayudan a enfriar el gas de proceso durante varias partes de su trayecto
- Separadores centrífugos: Siempre se instala después del enfriador, el objetivo del separador es retirar el agua que se ha condensado del proceso de enfriamiento del aire. Básicamente consiste en un recipiente cilíndrico que va colocado verticalmente, en su interior tiene un balde que defleca la corriente de aire, haciendo que este sufra un proceso de centrifugación, por lo cual las gotas de agua que son más pesadas que el aire se adhieren a las paredes del recipiente, para luego caer al fondo de este por efecto de la gravedad, dicha agua será finalmente retirada mediante una trampa de drenaje automático.

2.3.3. Usos del dióxido de carbono (CO₂) [11]

El dióxido de carbono (CO₂) que es capturado y secuestrado en un proceso se utiliza principalmente para la formación de urea la cual es la principal fuente de fertilizante más utilizada en la actualidad, la síntesis de la urea envuelve la combinación de amoníaco y dióxido de carbono a altas presiones para formar carbamato de amonio, el cual es subsecuentemente deshidratado mediante la aplicación de calor para formar urea y agua.

Dentro de las razones que explica la generalización de la utilización de la urea, se destaca su accesibilidad económica, su elevada concentración de nitrógeno (N) por unidad de producto (46% de N_2) y la gran solubilidad en la solución edáfica. La urea es utilizada como fertilizante agrícola y en la elaboración de plásticos. Actualmente se presenta al mercado de forma granulada y perlada, siendo esta última la más recomendada para uso animal por su soltura y facilidad para mezclarla con otros ingredientes.

Otros usos que tiene el dióxido de carbono (CO_2) son:

Se utiliza como agente extintor eliminando el oxígeno para el fuego.

- En Industria Alimenticia, se utiliza en bebidas carbonatadas para darles efervescencia.
- También se puede utilizar como ácido inocuo o poco contaminante. La acidez puede ayudar a cuajar lácteos de una forma más rápida y por tanto barata, sin añadir ningún sabor y en la industria se puede utilizar para neutralizar residuos alcalinos sin añadir otro ácido más contaminante como el sulfúrico.
- También en refrigeración como una clase líquido refrigerante en máquinas frigoríficas o congelado como hielo seco. Este mismo compuesto se usa para crear niebla artificial y sensación de hervor en agua en efectos especiales en el cine y los espectáculos.
- Otro uso que está incrementándose es su empleo como agente extractante cuando se encuentra en condiciones supercríticas dada su escasa o nula

presencia de residuos en los extractos. Este uso actualmente se reduce a la obtención de alcaloides como la cafeína y determinados pigmentos, pero una pequeña revisión por revistas científicas puede dar una visión del enorme potencial que este agente de extracción presenta, ya que permite realizar extracciones en medios anóxicos lo que permite obtener productos de alto potencial antioxidante.

- Es utilizado también como material activo para generar luz coherente. (Láser de CO₂)
- Junto con el agua es el disolvente más empleado en procesos con fluidos supercríticos.

2.4. Vapor de agua como servicio industrial [10]

El vapor de agua es considerado un servicio industrial y se proporciona normalmente en cuatro niveles de presión: muy alta (KS), alta (HS), media (MS) y baja (LS). En la tabla 2.1 se presentan los tipos de vapor utilizados comúnmente.

Tabla 2.1 Vapor de agua como servicio industrial [8]

Tipo de vapor	Presión (kg-f/cm ²)	Temperatura (°C)
Muy alta presión (KS)	(109 – 114)	(505 – 515)
Alta presión (HS)	(44 – 46)	(380 – 390)
Media presión (MS))	(21 – 27)	(214 – 370)
Baja presión(LS)	(4 – 5)	(150 – 240)

Estos tipos de vapor son utilizados tanto en transferencia de calor como en los procesos dentro de las plantas. Para una planta petroquímica el vapor es muy importante, pues es necesario para el funcionamiento de diversas turbinas que a su vez impulsan a los compresores y bombas. También se utiliza en la reformación primaria y secundaria para producir gas de síntesis y en la hidrodesulfuración, así como para otros usos diversos. Toda planta petroquímica posee un sistema de generación de vapor bien sea para utilizarlo como parte del proceso mismo o como servicio industrial. Dichos sistemas varían dependiendo del posterior uso del vapor generado.

2.5. Proceso con aminas [1]

El tratamiento de gas con aminas se refiere a un grupo de procesos que utilizan soluciones acuosas de varias aminas y en concentración variables entre 5 % y 50 % para eliminar el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2) de gases.

Las alconolaminas pueden ser primarias, secundarias o terciarias de acuerdo al número de grupos orgánicos unidos al átomo central de nitrógeno. Las aminas primarias son bases más fuertes que las secundarias y estas que las terciarias. Cuanto mayor es la basicidad de la amina más fuerte es la unión de reacción con CO_2 y H_2S . Casi el 70 % del costo operativo de una planta es la generación de la energía térmica necesaria para romper la unión de reacción. Las aminas que se ligan fuerte a los gases ácidos por ejemplo la MEA tendrán un alto costo de ruptura de unión (stripping). La mezcla optimizada de aminas puede producir un solvente con excelente absorción de CO_2 / H_2S y con superior calidad de stripping o sea menos calor necesario en el reboiler.

Es un proceso usado en refinerías de petróleo, plantas petroquímicas, plantas de procesamiento de gas natural y otras industrias. El proceso también se conoce como eliminación del gas ácido y endulzamiento. Los procesos dentro de las refinerías de petróleo o de las plantas de gas natural que eliminan el sulfuro del hidrógeno y/o los mercaptanos se refieren comúnmente como procesos de endulzamiento porque los productos que se obtienen no tienen dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno. Los procesos consisten en la absorción del gas por soluciones químicas acuosas de amina a presión y a temperatura ambiente y por lo general son los más usados por su buena capacidad de remoción, bajo costo y flexibilidad en el diseño y operación.

Los procesos con aminas son aplicables cuando los gases ácidos tienen baja presión parcial y se requieren bajas concentraciones del gas ácido en el gas de salida (gas residual).

Las alcanolaminas más usadas para tratar el gas son:

- Monoetanolamina (MEA)
- Dietanolamina (DEA)
- Trietanolamina (TEA)
- Metildietanolamina (MDEA)
- Diisopropilamina (DIPA)
- Diglicolamina - Econoamina(DGA)

Existen también combinaciones de aminas que se usan para mejorar la extracción de los gases ácidos y minimizar la corrosión en los equipos usados. Las aminas se emplean en soluciones acuosas que van del 20% al 70% en peso de amina en agua.

2.6. Índices de costos [5]

Un índice de costos es un número que muestra la relación entre el precio de un bien en un tiempo "t" y el precio del mismo bien en un tiempo "t base". Si se conoce el costo pasado en una fecha determinada, el costo presente puede determinarse por la siguiente fórmula:

$$\text{Costo Presente} = \text{Costo original} \times \frac{\text{Índice a tiempo presente}}{\text{Índice a tiempo del costo Original}} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Si no existen índices de costos, se recomienda considerar los valores e índices del país del cual serán importados los equipos.

La figura 4.1 nos muestra la variación de los índices de costo a través de varios años, en el podemos observar que los costos de los equipos e instalaciones químicas no permanecen constantes, sino que cambian con el tiempo. Como regla general puede afirmarse que los costos crecen a medida que el tiempo pasa. Podemos observar también que el índice de costo de Marshall and Swfit y el de Planta de Chemical Engineering son considerablemente distintos, ubicándonos en la gráfica en un mismo año para ambos índices podemos observar que es un poco más del doble en el caso de Marshall and Swift que en el de Plantas de Ingeniería Química, esto debido a los factores que toman en cuenta estas empresas al calcular sus índices de costos son distintos; por ejemplo Marshall and Swift toma en cuenta para su índice promedio del costo de los equipos en ocho diferentes industrias de procesos.

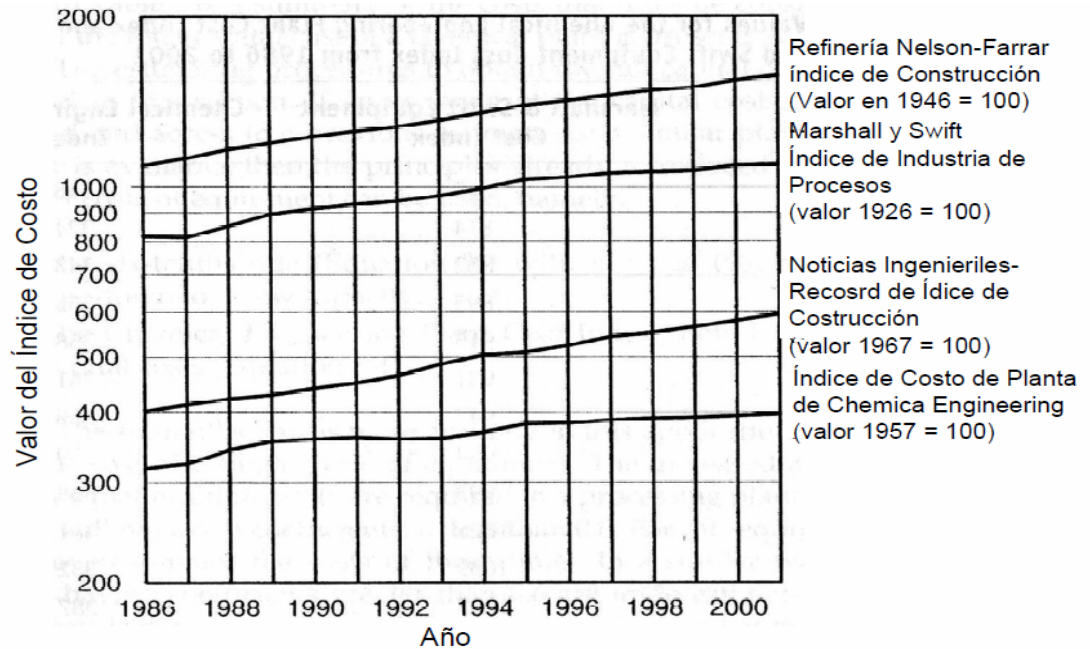


Figura 2.1 Variación de índices de costo más usados.[5]

También podemos observar en la figura 4.1 que los índices de construcción son mas altos, esto viene confirmado también por la experiencia práctica y es que los costos de plantas química están creciendo rápidamente debido primordialmente al rápido crecimiento en el costo de construcción (acero, hormigón, preparación del terreno e instalación de equipos) bastante mayor que el crecimiento en el costo de los equipos de procesos.

Hay que recordar que los índices de costo de los equipos, son solo costos de compra, estos no incluyen gastos de transporte, instalación y conexión y estos pueden ser varias veces superiores al costo de compra.

2.7. Inflación [7]

La inflación es un incremento en la cantidad de dinero necesaria para obtener la misma cantidad de producto o servicio antes de la presencia del precio inflado. La

inflación ocurre porque el valor del dinero ha cambiado, se ha reducido. El valor del dinero se ha reducido y, como resultado, se necesitan más dólares para menos bienes. Éste es un signo de inflación. Para comparar cantidades monetarias que ocurren en diferentes periodos de tiempo, los dólares valorados en forma diferente deben ser convertidos primero a dólares de valor constante con el fin de representar el mismo poder de compra en el tiempo, lo cual es especialmente importante cuando se consideran cantidades futuras de dinero.

2.8. Deflación [7]

La deflación es la caída generalizada del nivel de precios de bienes y servicios en una economía. Es el movimiento contrario a la inflación.

Esta situación económica en que los precios disminuyen es producida por una falta de demanda, y es mucho más peligrosa y temida por los Gobiernos que la inflación.

Se trata de un grave problema económico porque, al disminuir los precios y si se mantienen constantes los costes y los salarios, las empresas obtienen menos beneficios y se reducen entonces la inversión y el empleo. Se genera así un auténtico círculo vicioso pues con menos empleo hay menos rentas y menos compras que vuelven a hacer que se reduzcan los beneficios, la inversión y el empleo.

2.9. Costos [12]

El costo se define como el valor sacrificado para adquirir bienes o servicios mediante la reducción de activos o al incurrir en pasivos en el momento en que se obtienen los beneficios.

2.9.1. Costos directos [12]

Son aquellos cuya incidencia monetaria en un producto o en una orden de trabajo puede establecerse con precisión (materia prima, jornales, etc.) La gerencia es capaz de identificarlos con los artículos o áreas específicas (Materiales directos, Mano de obra directa).

2.9.2. Costos indirectos[12]

Son los que están involucrados en la elaboración de un producto, pero tienen una relevancia relativa frente a los directos.

2.9.3. Costos fijos[12]

Son aquellos ligados a las características del proyecto y no dependen del volumen de producción o unidades producidas, una vez determinada la decisión de producir un determinado bien o adquirir un activo, necesariamente debe de incurrirse en ellos.

2.9.4. Costos variables [12]

Son aquellos que dependen del volumen de producción, es decir que a mayor producción o unidades producidas entonces los Costos Variables serán también mayores.

2.9.5. Costos de operación [12]

Estos costos hacen referencia al dinero desembolsado por una empresa u organización en el desarrollo de sus actividades. Los gastos de operativos son los salarios, el alquiler de locales, la compra de suministros y otros.

Los costos de operación también son conocidos como costos indirectos, ya que suponen aquellos gastos relacionados con el funcionamiento del negocio pero no son inversiones (como la compra de una maquina).

Los costos de operación se destinan al funcionamiento del negocio y no se concretan a la espera de un beneficio futuro, sino que su función es permitir la subsistencia de la actividad comercial (que por supuesto se pretende sea rentable y otorgue ganancias).

2.10. Capacidad instalada [5]

Es la cantidad máxima de bienes o servicios que pueden obtenerse de las plantas y equipos de una empresa por unidad de tiempo, bajo condiciones tecnológicas dadas.

La capacidad instalada a corto plazo, desde un punto de vista activo, es la capacidad de producción del bien que es capaz de producir y vender. Desde un punto de vista pasivo, podría considerarse aquella capacidad de producción que la empresa cuenta en la combinación de factores, la cual no puede menos que soportar, sin entrar en costos de desocupación u ociosidad. Para la medición efectiva y práctica de la capacidad de producción y su grado de utilización, deben considerarse tres niveles:

2.10.1. Capacidad ideal [5]

Es aquella que puede obtenerse considerando que no hay interrupciones por ningún concepto y que la productividad total, medida con un factor patrón tipo, sería alcanzable. Para su análisis tendrían que combinarse el tiempo, la mano de obra y los medios de explotación.

2.10.2. Capacidad práctica [5]

Es aquella capacidad máxima que se puede obtener de forma real en las condiciones normales y considerando que durante todo el tiempo disponible no es posible estar en tiempo de transformación sino que inevitablemente hay tiempos de parada mínimos para preparar y reparar las máquinas e instalaciones. Este concepto en la industria se conoce con el nombre de rendimiento.

2.10.3. Capacidad normal [5]

Es aquella que le permite cubrir una demanda, teniendo en cuenta las variaciones estacionales y los problemas cíclicos que se puedan presentar.

2.11. Métodos para estimar la inversión de capital [12]

Existen varios métodos para estimar la inversión de capital. La elección del método depende de la cantidad de información disponible y la exactitud que se desea obtener.

- Estimación en función del orden de magnitud (Clase V)

Conocido también como **razón** o **viabilidad**:

Este tipo de estimativo cuenta con una información de costo para un proceso completo tomado de las plantas previamente construidas. Esta información de costo es ajustada usando los factores de escalamiento apropiados para capacidad e inflación, para proporcionar el costo de capital estimado.

- Basada en información sobre costes de capital de plantas ya construidas.
- Se utilizan factores de cambio de escala apropiados para cada caso.

Tabla 2.2. Denominación de las estimaciones de costos [12].

<i>Clasificación</i>	<i>Tipos de costos</i>	<i>Descripción</i>
Clase V	Estimación del orden de magnitud (estimación relativa)	Basada en datos previos sobre costos similares; esta estimación tiene una exactitud por encima del 30 %
Clase IV	Estimación de estudio	Basada en el conocimiento de los equipos más importantes; tiene una exactitud hasta un 30 %
Clase III	Estimación preliminar (de los márgenes)	Se basa en suficiente información como para que se pueda preparar un presupuesto; tiene una exactitud del 20 %
Clase II	Estimación definitiva (Para el control del proyecto)	Su información es casi completa pero es anterior a los diseños y especificaciones definitivas; su porcentaje de exactitud es del 10 %
Clase I	Estimación detallada (del contratista)	Basada en los planos definitivos, especificaciones y estados del terreno; tiene una exactitud dentro del 5 %

- Debe tenerse en cuenta la inflación
- Requiere simplemente de un diagrama de bloques de la planta
- +40% Coste estimado > Coste real > -20% Coste estimado

Estimación en función de los equipos o unidades principales de la planta (Clase IV)

Conocido también como de equipo principal o descompuesto:

Este tipo de estimativo utiliza una lista de los principales equipos que se encuentran en el proceso (compresores, bombas, intercambiadores, etc). Cada pieza de equipo se mide su tamaño y se determina el costo aproximado. El costo total del equipo es descompuesto para dar el costo capital estimado.

- Basada en una lista de los equipos o unidades principales del proceso (Bombas, compresores, turbinas, columnas, depósitos, reactores, hornos, quemadores e intercambiadores de calor).
- Cada equipo se dimensiona de forma somera y se estima su coste.
- La suma total de los costes de cada equipo se corrigen para determinar el coste total de la planta.
- Requiere del PFD de la instalación
- +30% Coste estimado > Coste real > -20% Coste estimado

Estimaciones preliminares (Clase III)

Conocido también como **de alcance**:

Este tipo de estimativo requiere una medida más exacta del equipo. Se hace un esquema aproximado de los equipos junto con estimativos de tuberías, instrumentación y requerimientos eléctricos. Los servicios están estimados. Incluye

esquemas para la mayoría de los equipos, un plano preliminar de la planta piloto y un diagrama de elevación.

- Basada en un dimensionamiento más detallado de cada uno de los equipos de la instalación.
- Debe realizarse una primera distribución en planta de los equipos para estimar los costes de tuberías, instrumentación y servicios eléctricos.
- Debe incluirse una estimación de los costes de los equipos empleados por los servicios auxiliares.
- Requiere del PFD de la instalación, junto con los diagramas auxiliares de tuberías (isométrico) y de disposición en planta.
- +25% Coste estimado > Coste real > -15% Coste estimado

Estimaciones definitivas (Clase II)

Conocido también como **de Control de Proyecto**:

Este tipo de estimativo requiere especificaciones preliminares para todos los equipos, servicios, instrumentación, eléctrico y sitios libres.

- Basadas en las especificaciones detalladas de cada equipo o unidad, servicios auxiliares, instrumentación, instalación eléctrica y servicios externos.
- Requiere del PFD de la instalación, esquemas de los recipientes, diagramas auxiliares de tuberías (isométrico) y de disposición en planta y los P&ID preliminares.
- +15% Coste estimado > Coste real > -7% Coste estimado

Estimaciones detalladas (Clase I)

Conocido también como **Firme o del Contratista:**

Este tipo de estimativo requiere la ingeniería del proceso y todo lo relacionado con los espacios libres y los servicios. Se obtendrá una cotización del vendedor para todos los ítems caros. Al final del estimativo detallado, la planta estará lista para entrar en la etapa de construcción.

- Es necesario disponer de la ingeniería de detalle completa del proceso y todos los servicios auxiliares y externos.
- Requiere de información de los suministradores sobre los costes definitivos de cada equipo principal.
- Tras esta fase de estimación de costes, se puede pasar a la fase de construcción de la planta.
- Son necesarios todos los diagramas realizados.
- +6% Coste estimado > Coste real > -4% Coste estimado

2.12. Etapas de un proyecto de ingeniería [5]

El ciclo de un proyecto de ingeniería está compuesto de las siguientes fases:

Fase conceptual: Es aquella que va desde la concepción del problema de investigación a la concreción de los objetivos del estudio que pretendemos llevar a cabo. Esta es una fase de fundamentación del problema en el que el investigador descubre la pertinencia y la viabilidad de su investigación, o por el contrario, encuentra el resultado de su pregunta en el análisis de lo que otros han investigado.

Prediseño o diseño preliminar: En esta fase se estudian en grandes líneas las posibles soluciones al problema que se quiere afrontar. Los diseños son aproximados,

se trabaja básicamente con información secundaria, y los costos se determinan con base en costos unitarios conocidos en el mercado local o internacional. En este nivel de estudio, pueden considerarse varias soluciones, uno de los aspectos relevantes que debe considerarse en esta fase es el potencial impacto ambiental de cada una de las soluciones.

Diseño básico: generalmente asociado a un estudio de factibilidad económico y financiero: Para una o dos soluciones que aparecen como más convenientes en la fase anterior se detalla el diseño, con estudios de campo, sobre todo de carácter topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos. Se detallan los costos unitarios de los materiales y de las diversas fases de la construcción. Todo este proceso permite disponer de un costo de la obra más cercano a la realidad. Tomando este costo como base se procede al estudio de carácter económico y se estudian las diversas posibilidades de financiamiento para la obra. Paralelamente se detalla también el estudio de los posibles impactos ambientales y se elaboran planes de mitigación, cuyo costo debe ser incluido en el costo general de la obra a ser financiada. La necesidad de desplazar poblaciones afectadas por la construcción de la obra es un factor sumamente importante y debe considerarse como un impacto de carácter social. Si en el curso de esta fase de los estudios, se detecta que por algún motivo la obra excede los costos considerados como razonables, o los impactos ambientales son inaceptables, se deberá volver a analizar otras alternativas en la fase anterior, de diseño preliminar.

Diseño ejecutivo o final: El énfasis de esta fase del diseño está en los detalles constructivos, tanto de las partes civiles de la obra como en las partes eléctricas y mecánicas si las hubiera.

2.13. Riesgo país [2]

El concepto de riesgo-país está asociado a la probabilidad de incumplimiento en el pago de la deuda pública de un país, expresado como una prima de riesgo.

En la determinación de esta prima de riesgo influyen factores económicos, financieros y políticos que pueden afectar la capacidad de pago de un país. Algunos de ellos son de difícil medición, y de allí que se empleen diferentes metodologías que intentan cuantificar dicha prima.

El análisis de riesgo-país requiere un amplio y comprensivo conocimiento de la economía internacional y de la macroeconomía, así como de las instituciones sociopolíticas y de la historia del país objeto de estudio.

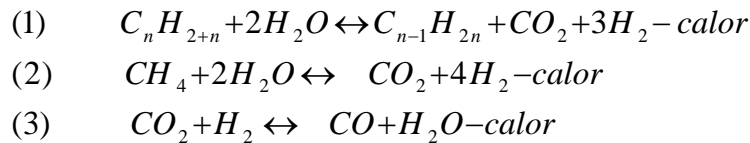
CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Descripción del proceso industrial de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂)

3.1.1. Sección de reformación

En la sección de reformación, el gas desulfurado se convierte en gas de síntesis mediante la reformación catalítica de los hidrocarburos con el vapor y la adición de aire. El proceso de reformación de vapor puede ser descrito por las reacciones siguientes:



La reacción (1) describe la reformación de los hidrocarburos más pesados, que se transforman en hidrocarburos livianos en varias etapas, resultando finalmente en metano, que se reforma según la reacción (2). El suministro de calor requerido para la reacción inversa de conversión (3) es muy pequeño comparado con el suministro de calor requerido para las reacciones (1) y (2). Las reacciones tienen lugar en dos pasos, en el reformador primario y en el reformador secundario. El sistema de reformación se ilustra en la Figura 4.1.

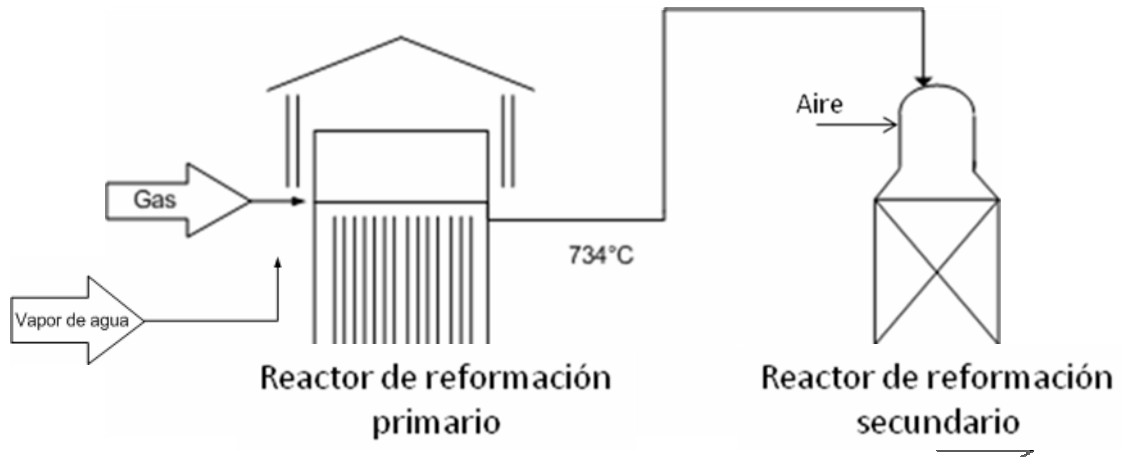


Figura 3.1. Sección de Reformación.

Fuente: Elaboración propia

- Reformador Primario:

El primer paso del proceso de reformación de vapor tiene lugar en el reformador primario, que es un horno de fuego donde el calor sensible y el calor de reacción son transferidos por radiación desde una serie de quemadores de pared a los tubos del catalizador, en el cual la mezcla de vapor e hidrocarburo que se precalienta pasa en forma descendente a través de los tubos verticales que contienen el catalizador de óxido de níquel.

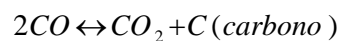
Los hidrocarburos en la alimentación al reformador primario se convierten en óxidos de carbono e hidrógeno. El gas de salida, que deja el reformador primario contiene aproximadamente 11.6 mol % de metano (en base seca).

El reformador primario tiene un total de 250 tubos de reformación, instalados en dos zonas radiantes. El tope de los tubos de reformación se carga con catalizador prereducido colocado encima de un lecho de catalizador con promotores alcalinos. La parte remanente de los tubos de reformación se carga con el catalizador. El gas sale a una temperatura de 734°C y se dirige al reformador secundario.

- Reformador Secundario:

En el reformador secundario el gas de proceso se mezcla con el aire, produciéndose en el tope una combustión parcial y desde la "cámara de combustión", el gas pasa hacia abajo a través del lecho del catalizador, donde la última parte del proceso de reformación tiene lugar con el enfriamiento simultáneo del gas.

El gas de salida desde el reformador secundario contiene aproximadamente 13.7 mol % de monóxido de carbono y aproximadamente 8.09 mol % de dióxido de carbono (en base seca); En consecuencia hay un riesgo teórico de formación de carbono según la reacción de Boudouard :



El reformador secundario ha sido cargado con el catalizador. El lecho del catalizador descansa sobre una capa de trozos de alúmina y sobre el tope del lecho del catalizador una capa de bolas y láminas de alúmina protegen al catalizador de la agitación y el contacto directo con la llama. El gas sale del reformador secundario a una temperatura de 960°C y antes de dirigirse a la sección de conversión entra a un enfriador y sale a 370°C.

3.1.2. Sección Compresión del Aire del Proceso

El aire requerido para la reacción del reformador secundario se comprime antes de entrar en el reformador secundario por medio del compresor de aire, que es una máquina de cuatro etapas equipada con enfriadores de agua entre las mismas. Los enfriadores realizan también la separación del condensado de agua. Antes de entrar en la primera etapa el aire pasa a través del filtro en la succión que también actúa como un silenciador.

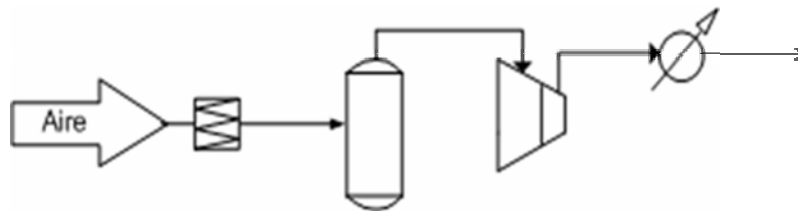


Figura 3.2. Sección de compresión de aire.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Sección de Conversión:

El gas de proceso que deja la sección de reformación contiene más de 13.7 mol % de monóxido de carbono (en base seca) que se convierte en hidrógeno y dióxido de carbono mediante la reacción de conversión:



El equilibrio de la reacción de conversión está favorecido por una temperatura baja y una alta relación vapor / gas seco, mientras que la velocidad de la reacción

aumenta con temperaturas más altas. La temperatura óptima para la reacción de conversión depende de la actividad del catalizador y de la composición del gas.

La reacción de conversión tiene lugar en los dos convertidores de CO con enfriamiento del gas de proceso después de cada convertidor. (Se muestra en la Figura 4.3. un esquema del proceso).

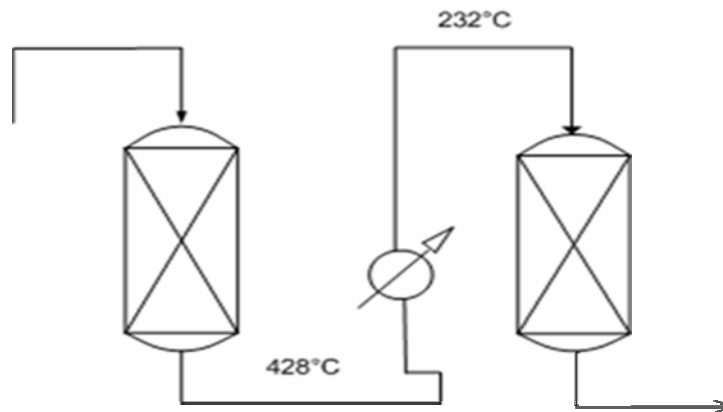


Figura 3.3. Sección de Conversión.

Fuente: Elaboración propia.

- Conversión de CO a Alta Temperatura:

El convertidor de CO a alta temperatura contiene el catalizador de óxido de hierro promovido con óxido de cromo instalado en un lecho. El contenido de CO desde el convertidor de CO de alta temperatura estará cerca de 3 % molar (en base seca). El gas se dirige al enfriador a 428°C y sale a 232°C y entra al siguiente convertidor.

- Conversión de CO a Baja Temperatura:

El convertidor de CO a baja temperatura contiene el catalizador en un lecho. Este catalizador está compuesto de óxidos de cobre, zinc, y cromo o aluminio. El contenido de CO desde el convertidor de CO de baja temperatura será aproximadamente de 0.22 % mol. (en base seca). Luego el gas al salir a 242°C entra al otro enfriador y sale a 50°C para entrar al absorbedor.

3.1.4. Sección de Remoción de Dióxido de Carbono

La sección de remoción de CO₂ en una planta comprende un absorbedor donde el contenido de CO₂ en el gas de proceso se absorberá en una fase líquida a alta presión. El líquido que contiene el CO₂ se transfiere a la columna de regeneración, donde la presión es baja y por lo tanto, debido al equilibrio, el CO₂ nuevamente se transferirá a la fase gas. (Figura 4.4). El dióxido de carbono es removido por absorción en una solución caliente de Dietanolamina (DEA), y también contiene óxido de vanadio como inhibidor de corrosión.

La solución de DEA rica proveniente del fondo de la torre absorbedora y el separador de gas combustible se alimenta al tanque de desorción (o de flasheo) con el fin de eliminar los hidrocarburos líquidos y parte de los gases ácidos retenidos por la DEA que por efecto de presión se encuentren disueltos en esta solución.

La DEA acumulada en el tanque de desorción, se envía por diferencia de presiones al intercambiador de calor DEA Rica/ DEA Pobre, donde se calienta por medio de contracorriente de DEA pobre procedente del rehervidor de la torre regeneradora.

Una vez precalentada, la solución pasa al filtro de DEA rica tipo cartucho, con la finalidad de eliminar los sólidos y partículas de sulfuro presentes en la solución,

formados por el ensuciamiento con el gas. Una vez filtrada la solución continúa hacia la torre regeneradora.

El gas ácido saturado con agua sale del domo de la torre regeneradora fluyendo hacia el enfriador tipo solo aire donde se disminuye la temperatura hasta unos 49°C aproximadamente condensándose de esta manera los vapores de agua. Una corriente de inhibidor de corrosión es suministrada a la línea de alimentación del enfriador, con la finalidad de minimizar la corrosión en este equipo.

La mezcla de ácidos-agua condensada, entran al acumulador de reflujo de la torre regeneradora donde se lleva a cabo la separación de esta mezcla, los gases ácidos son enviados al quemador a control de presión y el agua acumulada en este recipiente, se retorna al plato superior de la torre regeneradora en forma de reflujo siendo utilizado para determinar y eliminar el calor de la parte superior de la columna, para que se condensen los compuestos más pesados.

La solución regenerada que sale por el fondo de la torre, entra al tanque de balance y luego al rehervidor, aumentando su temperatura y retornándose a la torre regeneradora donde a contracorriente con la solución rica descendente la despojan de los gases ácidos.

La solución pobre es succionada del tanque de balance por las bombas tipo reciprocante de tres pistones, con el fin de mandar la solución al domo de la torre absorbadora, la presión de descarga de las bombas es de 400psig. , en la descarga de las bombas se cuenta con un cartucho que sirve para inyectar agente antiespumante, que controle la formación de espuma en la torre absorbadora.

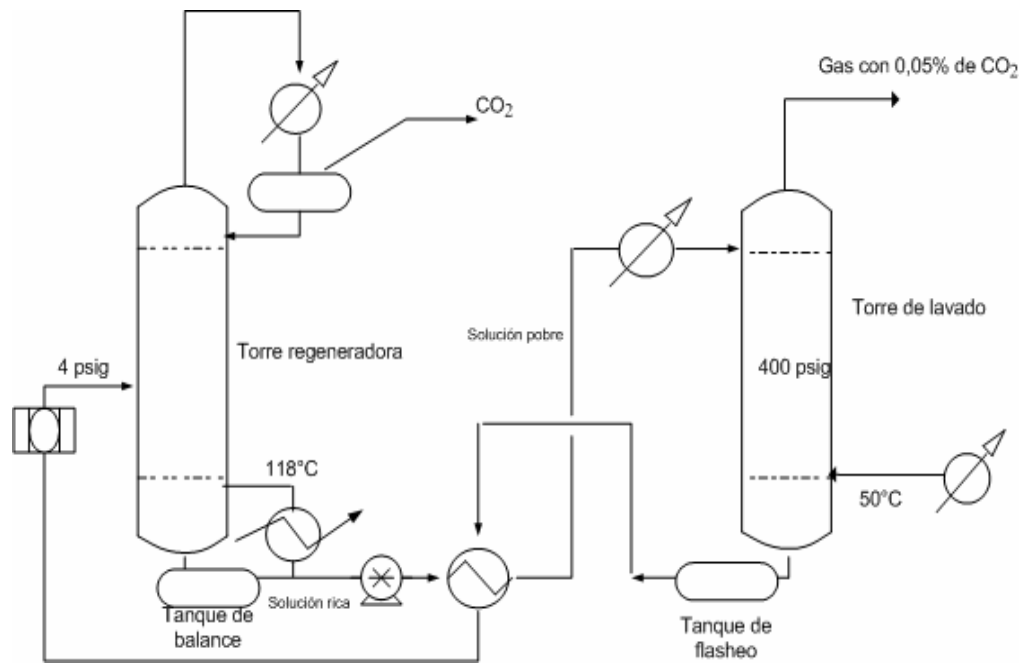


Figura 3.4. Sección de Remoción de CO₂.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Establecer los equipos utilizados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂).

Una vez descrito el proceso se procede a la selección de los equipos principales del proceso, en esta selección se obviaron los equipos de control del proceso; se puede observar los equipos principales en el proceso, en la figura 3.5 y la selección de estos equipos con sus respectivos costos unitarios y totales para el año 2007 se pueden observar en la Tabla 3.1, cuyos datos se obtuvieron de la empresa estadounidense Dyno Nobel.

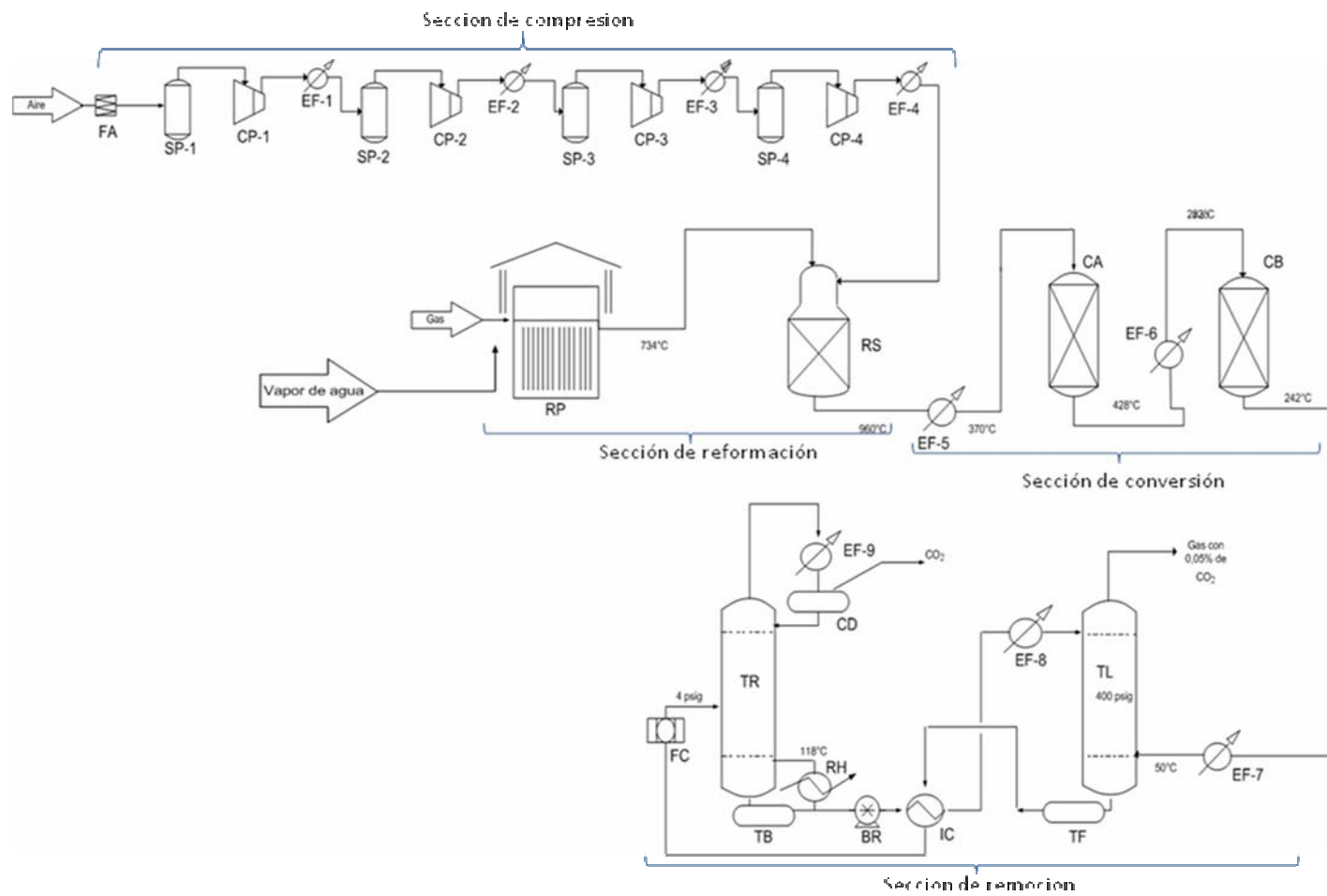


Figura 3.5. Proceso de captura y secuestro de Dióxido de Carbono (CO₂).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1. Costos de los equipos usados en el proceso de captura y secuestro de

EQUIPO	TAG	CANTIDAD	Costo unitario(\$)	Costo Unitario por
			Año 2007	cantidad de unidad (\$). Año 2007
Reformador primario	RP	1	98.000,00	98.000,00
Reformador Secundario	RS	1	120.000,00	120.000,00
Filtro de aire	FA	1	68.791,00	68.791,00
Separadores	SP-1/SP-2/ SP-3/SP-4	4	20.872,00	83.488,00
Compresores	CP-1/CP-2/ CP-3/CP-4	4	1.751.452,00	7.005.808,00
Enfriadores	EF-1/EF-2/ EF-3/EF-4	9	48.355,00	435.195,00
Convertidor de Alta	CA	1	145.000,00	145.000,00
Convertidor de Baja	CB	1	150.000,00	150.000,00
Torre de lavado	TL	1	1.137.364,00	1.137.364,00
Tanque de flasheo	TF	1	115.000,00	115.000,00
Intercambiador de Calor	IC	1	5.000.000,00	5.000.000,00
Filtro Tipo Cartucho	FC	1	89.678,00	89.678,00
Torre Regeneradora	TR	1	1.223.483,30	1.223.483,30
Condensador	CD	1	298.104,00	298.104,00
Rehervidor	RH	1	60.348,30	60.348,30
Bomba Reciprocante	BR	1	725.990,00	725.990,00
Tanque de Balance	TB	1	109.092,00	109.092,00
			Costo total (\$)	16.865.341,60
			Costo total BsF (\$*2,15BsF)	36.260.484,44

Fuente:Elaboración opia

Dióxido de Carbono (CO₂) para el año 2007. (\$)

Tabla 3.2. Costos de los equipos usados en el proceso de captura y secuestro de

EQUIPO	TAG	CANTIDAD	Costo unitario (BsF) Año 2007.	Costo Unitario por cantidad de unidad (BsF) Año 2007
Reformador primario	RP	1	210.700,00	210.700,00
Reformador Secundario	RS	1	258.000,00	258.000,00
Filtro de aire	FA	1	147.900,65	147.900,65
Separadores	SP-1/SP-2/ SP-3/SP-4	4	44.874,80	179.499,20
Compresores	CP-1/CP-2/ CP-3/CP-4	4	3.765.621,80	15.062.487,20
Enfriadores	EF-1/EF-2/ EF-3/EF-4	9	103.963,25	935.669,25
Convertidor de Alta	CA	1	311.750,00	311.750,00
Convertidor de Baja	CB	1	322.500,00	322.500,00
Torre de lavado	TL	1	2.445.332,60	2.445.332,60
Tanque de flasheo	TF	1	247.250,00	247.250,00
Intercambiador de Calor	IC	1	10.750.000,00	10.750.000,00
Filtro Tipo Cartucho	FC	1	192.807,70	192.807,70

Torre Regeneradora	TR	1	2.630.489,10	2.630.489,10
Condensador	CD	1	640.923,60	640.923,60
Rehervidor	RH	1	129.748,85	129.748,85
Bomba Reciprocante	BR	1	1.560.878,50	1.560.878,50
Tanque de Balance	TB	1	234.547,80	234.547,80
			Costo total (BsF)	36.260.484,44
			Costo total \$ (BsF/2,15\$)	16.865.341,60

Fuente: Elaboración propia

dióxido de Carbono (CO₂) para el año 2007. (BsF)

3.3. Analizar los índices de costos de equipos de “marshall y swift” y “plantas de ingeniería química” para los equipos seleccionados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂).

3.3.1. Método de estudio de la tendencia de los índices de costo.

Un problema que normalmente se le presenta al estimador es el hecho de que la información sobre el costo de los equipos o de plantas similares que ha logrado obtener, corresponde a períodos anteriores y deben hacerse modificaciones debido al cambio de las condiciones económicas a través del tiempo. Esta actualización puede realizarse mediante el uso de los índices de costos.

Un índice de costos es un número que muestra la relación entre el precio de un bien en un tiempo "t" y el precio del mismo bien en un tiempo "t base", conforme lo propuesto en la metodología aplicada por “Marshall & Siwft” y de “Plantas de Ingeniería Química” Si se conoce el costo pasado en una fecha determinada, el costo presente puede determinarse por la fórmula 2.1.

Los índices de costos pueden usarse en una estimación general, pero ningún índice toma en cuenta todos los factores, tales como avances tecnológicos específicos o condiciones locales. Los índices más comunes permiten una estimación aproximadamente correcta si el período de tiempo involucrado es menor de 10 años. Algunos de ellos pueden utilizarse para la estimación de los costos de los equipos; otros se aplican específicamente a mano de obra u otros campos específicos como construcción, materiales, etc.

Además, existen publicaciones extranjeras que incluyen índices para equipos como las publicadas periódicamente en la revista Chemical Engineering para equipos de Proceso como son los índices de “Marshall y Swift” y de “Plantas de ingeniería química”.

Otros índices son: los índices del Engineering News-Record para la construcción, el índice de Nelson para la construcción de refinerías, etc. En general, índices similares son encontrados en la mayoría de los países. Sin embargo, una de las dificultades más comunes en los países en vías de desarrollo es la escasez o la falta total de índices fidedignos.

Los índices de costos confiables son un indicador del grado de desarrollo de un país. En la mayoría de los países desarrollados, algunos índices son actualizados en forma permanente, sin embargo, en otros países, la actualización no se realiza nunca.

Si no existen índices de costos, se recomienda considerar los valores e índices del país del cual serán importados los equipos.

Para objeto de este estudio se analizaron 6 índices de costos diferentes tomando en cuenta tres factores: especialización de mismos, tiempo de actualización, y acoplamiento con los índices de inflación anualizada de USA. Solo 2 de los 6 índices

se dedican estudiar los costos de los equipos de un proceso. U.S Labor Statistics tiene una actualización mensual y se acopla a los índices de inflación anualizada de USA pero no se dedica al estudio de equipos de ingeniería. La comparación se muestra de manera más explícita en la Tabla 3.3.

	¿se dedica al análisis de costos de equipos?	¿tiene actualizaciones trimestrales en menor tiempo?	¿se acopla al comportamiento de índice de inflación anualizado de USA?
Planta de Ingeniería Química	✓	✓	✓
Engineering News Record (ENR)	✗	✗	✗
Marshall & Swift	✓	✓	✓
U.S. Department of Labor	✗	✓	✓
Nelson Farrar	✗	✗	✗

Tabla 3.3 Proceso de selección de índice de costos

Fuente: Elaboración propia

Una vez superado este filtro de requerimientos se procede a estudiar los índices seleccionados a profundidad.

Del análisis de los costos que se presentan en las tablas 3.4 y 3.5 referido al comportamiento histórico (1998- 2008) de los índices de costos anualizados “Marshall and Swift” y “Plantas de Ingeniería química”, y de donde se derivan las figuras 3.6 y 3.7 se deduce lo siguiente:

Tabla 3.4. Índices de costos de “Marshall & Swift”

Año	Índices de costo Marshall & Swift (Billones \$)	Índice Porcentual (%)
1997	1056,8	-
1998	1061,9	0,48
1999	1068,3	0,60
2000	1089	1,90
2001	1093,9	0,45
2002	1104,2	0,93
2003	1123,6	1,73
2004	1178,5	4,66
2005	1244,5	5,30
2006	1302,3	4,44
2007	1373,3	5,17
2008	1449,3	5,24
2009 (Primer trimestre)	1477,7	1,92

Fuente:

Página

web “Chemical Engineering”

- Se evidencia en los cuadros que las empresas “Marshall and Swift” y “Plantas de Ingeniería Química” aplica para el cálculo y actualización de los índices de costos para equipos de proceso la fórmula 2.1.
- Producto del análisis de los índices de costos de las empresas citadas se determina que el comportamiento de estos índices pueden ser verificados

desde su perspectiva de lo ajustado conforme al comportamiento de la inflación para esos años. El rango en estudio data desde 1998 hasta 2008, con la finalidad de establecer los límites de tiempo en 10 años. Para verificar los índices de inflación de los años mencionados véase el anexo A.1 y A.2

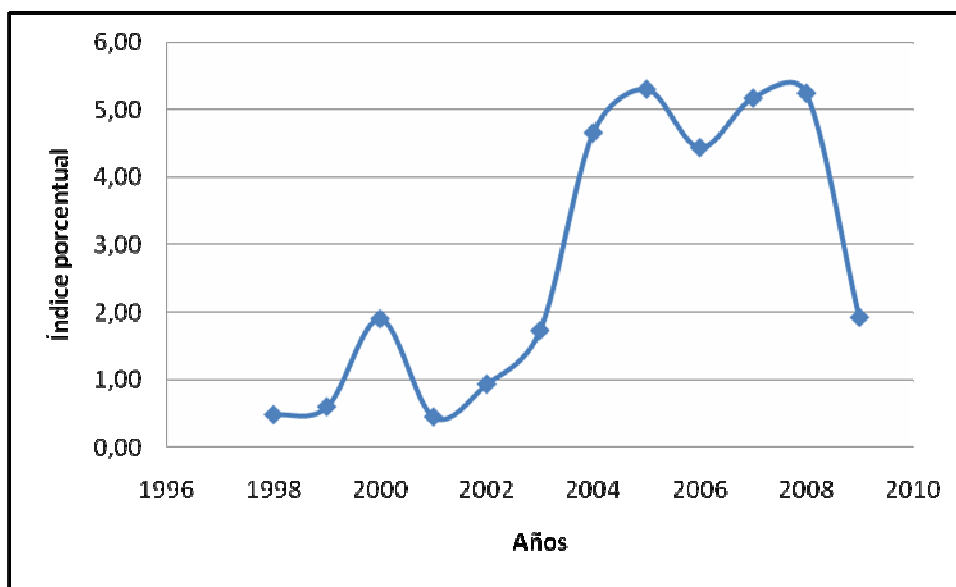


Figura 3.6 Variación de los índices de costos entre años de “Marshall and Swift”

Fuente: Página web “Chemical Engineering”

- Se evidencia de que el diferencial de costos anuales no es estándar, ni su comportamiento es progresivo aritméticamente, deduciéndose así que los costos varían afectados por variables microeconómicas y macroeconómicas, entre las cuales además de considerarse el desempleo o la inflación como causas de las variaciones, se deben considerar los aspectos que afectan la capacidad productiva de los países de origen de los equipos objetos de estudio.

Tabla 3.5. Índice de costo de “Plantas de Ingeniería Química”

Fuente: web "Chemical Engineering"	Índices de Costo de Plantas de Ingeniería Química (Billones \$)		Índice Porcentual (%)
	Año		
	1997	386,5	-
	1998	389,5	0,77
	1999	390,6	0,28
	2000	394,1	0,89
	2001	394,3	0,05
	2002	395,6	0,33
	2003	402	1,59
	2004	444,2	9,50
	2005	468,2	5,13
	2006	499,6	6,29
	2007	525,4	4,91
	2008	575,4	8,69
	2009 (Primer trimestre)	582,5	1,22

Página

- Podemos observar que en un país como los Estados Unidos cuya economía es considerada fuerte, la estimación de los índices de costos de estos equipos se encuentra generalmente por debajo del comportamiento del índice de inflación, evidenciándose de manera eventual una estimación por encima de la inflación anual, con seguridad afectada por variables de carácter microeconómico y por variables de carácter macroeconómicas. Esto queda

claramente demostrado en el comportamiento de los índices de precios 2007-2008 con respecto a la inflación de los mismos ejercicios económicos.

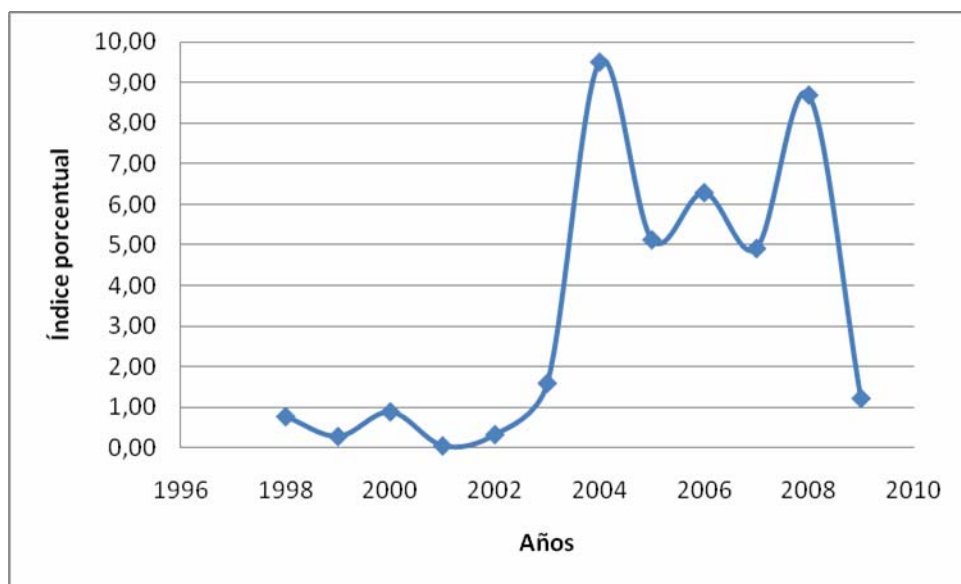


Figura 3.7 Variación de los índices de costos entre años de “Plantas de Ingeniería Química”

Fuente: Página web “Chemical Engineering”

2007 representó un año de presiones inflacionarias por el aumento del precio del petróleo y alimentos agrícolas, en el que la mayoría de los países tuvieron altos incrementos de los precios. Obsérvense los datos de USA y Chile que usualmente reportan inflaciones por debajo del 4%. México tuvo en 2007 una de las inflaciones más bajas de América Latina, incluso debajo de USA y Chile.

Para el 2008, las presiones inflacionarias fueron aún mayores, en el Mundo entero, y pudo observarse la tendencia a la alza en todos los países, motivadas por los mismos factores, pero especialmente por la crisis económica generada en los Estados Unidos. El rápido decremento de los precios del petróleo en los últimos meses de

2008, provocó deflación en los Estados Unidos y por lo mismo terminó el año con tasa cero de crecimiento inflacionario.

Entre los principales países de América Latina en 2008, la tasa más baja fue de El Salvador, 5.7% y la más alta Venezuela, 30.9%, viéndose necesariamente afectado nuestro país por el alto índice de incremento en los costos de los equipos de ingeniería química para esos años.

Es importante destacar que tal como se demuestra en los cuadros de índices de costos “Marshall and Swift” y “Plantas de Ingeniería Química”, el comportamiento de los costos de los equipos para plantas de ingeniería química comienzan a evidenciar una tendencia al alza a partir de 2003-2004 concretándose con mayor énfasis en 2007- 2008.

3.4. Metodología para la estimación de costos de los equipos involucrados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂), basada en el método de estimación y ajuste por inflación.

El fenómeno caracterizado por el aumento continuo y generalizado de los bienes y servicios que se comercializan en la economía se llama inflación y es atizada por tres fuentes: inflación de costos (trastorno de los costos de producción) como es el caso que nos ocupa, inflación de demanda y la inflación anticipada.

El problema más grave que padece la economía venezolana es precisamente la inflación, la mayor de América Latina, y una de las más altas del mundo.

Varios factores, tanto internos como externos, agudizan este flagelo que tanto afecta a la economía, el primero de esos factores es el excesivo gasto público, a través del cual se inyectan a la economía los ingresos petroleros, expandiendo la oferta monetaria y estimulando el consumo. Al crecer la demanda más intensamente que la oferta interna, se produce un fenómeno de alza de precios, a pesar del incremento de las importaciones. Esa dependencia creciente de lo importado se traduce en presiones adicionales sobre los precios, ya que la sobredemanda internacional de productos básicos e industriales ha incidido en su encarecimiento, en algunos casos desproporcionado.

La inflación acumulada desde la aparición del bolívar fuerte (año 2008) es del 62,2%; esto significa que un bolívar fuerte, actualmente, vale 0,6165 céntimos, reflejando que la moneda ha perdido capacidad de compra en el mercado interno y externo.

La inflación se concentra con mayor precisión en el núcleo inflacionario que son los productos que no están administrados y controlados por el gobierno, como es el caso que nos ocupa acerca de los costos de los equipos industriales, esto se refleja en forma más precisa el aumento del costo de vida y de producción, ya que es similar al índice de precios al consumidor, pero corregido de los factores estacionales y de controles.

En el caso de la propuesta metodológica para la estimación de costos de los equipos involucrados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂), basada en el método de estimación y ajuste por inflación, se toman en cuenta precisamente las variaciones y comportamiento anual de la inflación en Venezuela, atendiendo al comportamiento histórico igualmente del mencionado indicador en los Estados Unidos, país que hemos tomado como origen de los equipos objeto de estudio.

A tal fin se presenta una propuesta de estimación de costos que responde a la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \textit{Costo Actual}(\textit{Costo Estimado}) \\ & = \textit{Costo Original} \times \textit{Índice de inflación anual} + \textit{Costo Original} \end{aligned}$$

Esta propuesta metodológica permite estimar y ajustar el costo de los equipos que conforman una planta química para el secuestro y captura de Dióxido de Carbono CO₂, tanto en Bolívares Fuertes como en moneda internacional (\$), atendiendo ciertamente al comportamiento de los indicadores macroeconómicos y las particularidades que en cada país, ha creado la crisis que a partir del año 2007 ha afectado la economía mundial, con el consecuente reflejo en las Balanzas de Pagos de

los Países, aumento de la inflación, aparición de estanflación y deflación en algunos casos.

En esta metodología se propone la estimación de los costos actuales o proyectados, de los equipos de plantas químicas tomando como base el costo original del año a partir del cual pretendamos realizar la estimación, obteniendo el producto por la inflación acumulada anual del año base más la sumatoria del costo original.

Permite igualmente esta propuesta metodológica ajustar a costos reales los precios estimados, una vez que en la práctica y transcurso del ejercicio económico estos se consoliden.

3.4.1. Estimación de costos históricos

En el caso de la necesidad de determinar y estimar costos históricos, los cuales son difíciles de conocer debido a la eventual falta de datos en el mercado. Esta metodología opera en los mismos términos de la aplicada por Marshall & Swift y Plantas de Ingeniería Química, puesto que permite la estimación de costos históricos de equipos industriales con base en la inflación acumulada para el año en estudio, tomando como punto de partida el costo final del año inmediatamente anterior como el costo original, por el índice de inflación para ese mismo año, más la sumatoria del costo original.

3.4.2. Variables de la propuesta

Para la demostración de la metodología propuesta se tomaron como variables base, los costos de los equipos para el funcionamiento de una planta química para secuestro y captación de CO₂ que regían durante el año 2007, estos costos se expresan en moneda internacional y moneda nacional a los fines del análisis y de la

ejecución de la demostración. (Ver tablas 3.1 y 3.2) y se calculan y proyectan para el 2008 y para 2009 en Bs. F. y para los mismos años en moneda internacional. Evidenciándose claramente la diferencia en el incremento que sufren los costos de los equipos descritos según la inflación acumulada en Venezuela con respecto a la inflación acumulada en los EEUU, país principal exportador de estas tecnologías.

En esta demostración se evidencia la tendencia de costos expresada con base en la inflación acumulada para el 2008 en Venezuela de 30,90%, en contraposición a la inflación acumulada en EEUU para el mismo ejercicio económico de 0,09%. Si realizamos una comparación ciertamente la debilidad de nuestra economía en materia cambiaria, hace evidente un retroceso en la capacidad adquisitiva de nuestra moneda frente al dólar, causando entonces que cuando se realiza revisión del incremento estimado de los costos con base en la inflación acumulada para cada país, coloca a Venezuela en desventaja, pues al encontrarse el costo de estos equipos en el núcleo inflacionario, que son los productos que no están administrados y controlados por el gobierno, ciertamente entonces sus costos son afectados por variables como oferta y demanda de mercado industrial y precio paralelo de las divisas. Particularmente, en el caso venezolano se hace notable la diferencia en el costo estimado debido a la pérdida relativa de valor de la moneda, ejemplarizado esto en el caso del equipo denominado Reformador Primario el cual presentaba para 2007 un costo de Bs F. 210.700,00 afectado por una inflación del 22,50 %, incrementándose para 2008 en Bs.F. 65.106,30 debido a una inflación acumulada de 30,90% y para el 2009 en 25,1% representándose este incremento en Bs.F. 345.033,68 . Representándose estos cálculos de la siguiente manera:

Costo Actual= $210.700,00 \times 30,90\% + 210.700,00 = 275.806,30$ BsF. Costo estimado 2008

Costo Actual = $275.806,30 \times 25,1\% + 275.806,30 = 345.033,68$ BsF. Costo estimado 2009

En el caso del costo estimado en divisas para el mismo período, se especifica de la siguiente manera:

$$\text{Costo Actual} = 98.000,00 \times 0,09\% + 98.000,00 = 98.088,20 \text{ \$}$$

Costo estimado 2008

$$\text{Costo Actual} = 98.088,20 \times 2,72\% + 98.088,20 = 100.756,20 \text{ \$}$$

Costo Estimado al cierre de noviembre del 2009.

Estos cálculos son similares para el resto de los equipos seleccionados del proceso; estos resultados pueden observarse en BsF en las tablas 3.6 y 3.7. y en dólares en las tablas 3.8 y 3.9.

Como se demuestra, pese a que la inflación acumulada para 2008 en los EEUU fue de 0,09% debido a la recesión experimentada en ese país, el costo estimado en BsF para el mismo período se encuentra por encima de la paridad cambiaria, debido a la pérdida de valor del bolívar fuerte frente al dólar, a pesar de la deflación experimentada en los EEUU para el mismo período económico.

Tabla 3.6 Costos de los equipos del proceso en estudio para el año 2008. (BsF)

EQUIPO	Incremento por por unidad. (BsF). Año 2008. Inflación de	Costo unitario (BsF) 2008. Inflación de 30,90%	Costo unitario (BsF) por cantidad de unidad, Año 2008 con inflación de 30,90%
--------	--	--	---

	30,90%		
Reformador primario	65.106,30	275.806,30	275.806,30
Reformador Secundario	79.722,00	337.722,00	337.722,00
Filtro de aire	45.701,30	193.601,95	193.601,95
Separadores	13.866,31	58.741,11	234.964,45
Compresores	1.163.577,14	4.929.198,94	19.716.795,74
Enfriadores	32.124,64	136.087,89	1.224.791,05
Convertidor de Alta	96.330,75	408.080,75	408.080,75
Convertidor de Baja	99.652,50	422.152,50	422.152,50
Torre de lavado	755.607,77	3.200.940,37	3.200.940,37
Tanque de flasheo	76.400,25	323.650,25	323.650,25
Intercambiador de Calor	3.321.750,00	14.071.750,00	14.071.750,00
Filtro Tipo Cartucho	59.577,58	252.385,28	252.385,28
Torre Regeneradora	812.821,13	3.443.310,23	3.443.310,23
Condensador	198.045,39	838.968,99	838.968,99
Rehervidor	40.092,39	169.841,24	169.841,24
Bomba Reciprocante	482.311,46	2.043.189,96	2.043.189,96
Tanque de Balance	72.475,27	307.023,07	307.023,07
		Costo total (BsF)	47.464.974,13
		Costo total \$	22.076.732,15

(BsF/2,15\$)

Fuente: Elaboración Propia**Tabla 3.7** Costos de los equipos del proceso en estudio para el año 2009. (BsF)

EQUIPO	Incremento por unidad (BsF) Año 2009 con inflación de 25,1%	Costo Unitario (BsF) 2009. Inflación de 25,1%	Costo unitario (BsF) por cantidad de unidad, Año 2009 con inflación de 25,1%
Reformador primario	69.227,38	345.033,68	345.033,68
Reformador Secundario	84.768,22	422.490,22	422.490,22
Filtro de aire	48.594,09	242.196,04	242.196,04
Separadores	14.744,02	73.485,13	293.940,53
Compresores	1.237.228,93	6.166.427,87	24.665.711,48
Enfriadores	34.158,06	170.245,96	1.532.213,60
Convertidor de Alta	102.428,27	510.509,02	510.509,02
Convertidor de Baja	105.960,28	528.112,78	528.112,78
Torre de lavado	803.436,03	4.004.376,41	4.004.376,41
Tanque de flasheo	81.236,21	404.886,46	404.886,46
Intercambiador de Calor	3.532.009,25	17.603.759,25	17.603.759,25
Filtro Tipo Cartucho	63.348,71	315.733,98	315.733,98

Torre Regeneradora	864.270,87	4.307.581,09	4.307.581,09
Condensador	210.581,22	1.049.550,21	1.049.550,21
Rehervidor	42.630,15	212.471,39	212.471,39
Bomba Reciprocante	512.840,68	2.556.030,64	2.556.030,64
Tanque de Balance	77.062,79	384.085,86	384.085,86
		Costo total (BsF)	59.378.682,64
		Costo total \$ (BsF/2,15\$)	27.617.991,93

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.8 Costos de los equipos del proceso en estudio para el año 2008. (\$)

EQUIPO	Incremento por unidad. (\$) . Año 2008. Inflación de 0,09%	Costo unitario (\$) 2008. Inflación de 0,09%	Costo unitario (\$) por cantidad de unidad, Año 2008 con inflación de 0,09%
Reformador primario	88,20	98.088,20	98.088,20
Reformador Secundario	108,00	120.108,00	120.108,00
Filtro de aire	61,91	68.852,91	68.852,91
Separadores	18,78	20.890,78	83.563,14
Compresores	1.576,31	1.753.028,31	7.012.113,23
Enfriadores	43,52	48.398,52	435.586,68
Convertidor de	130,50	145.130,50	145.130,50

Alta			
Convertidor de Baja	135,00	150.135,00	150.135,00
Torre de lavado	1.023,63	1.138.387,63	1.138.387,63
Tanque de flasheo	103,50	115.103,50	115.103,50
Intercambiador de Calor	4.500,00	5.004.500,00	5.004.500,00
Filtro Tipo Cartucho	80,71	89.758,71	89.758,71
Torre Regeneradora	1.101,13	1.224.584,43	1.224.584,43
Condensador	268,29	298.372,29	298.372,29
Rehervidor	54,31	60.402,61	60.402,61
Bomba Reciprocante	653,39	726.643,39	726.643,39
Tanque de Balance	98,18	109.190,18	109.190,18
		Costo total (\$)	16.880.520,41
		Costo total BsF (\$*2,15BsF)	36.293.118,88

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.9 Costos de los equipos del proceso en estudio para cierre de noviembre de 2009. (\$)

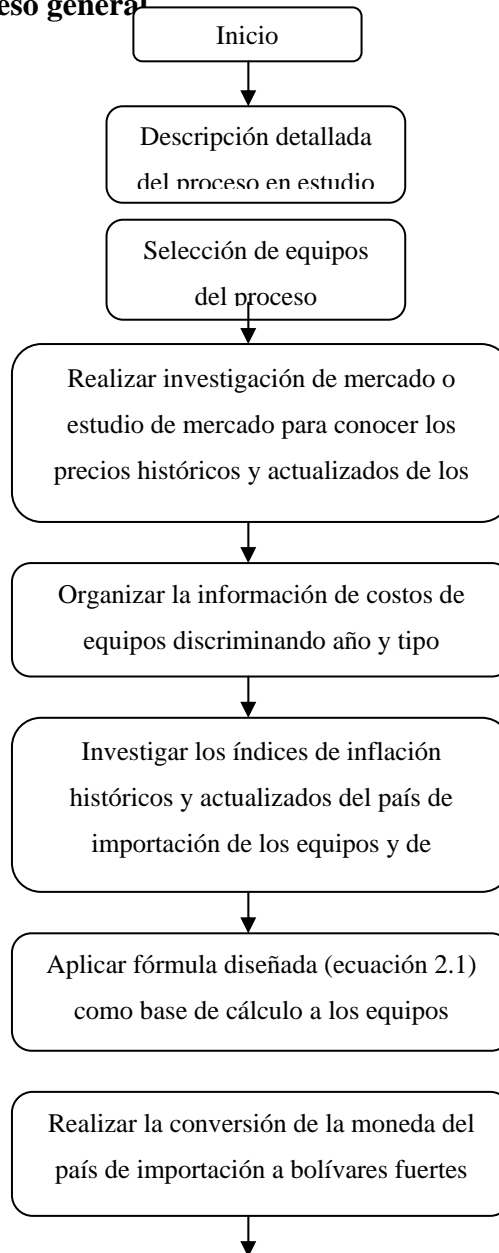
EQUIPO	Incremento por unidad (\$). Año 2009. Inflación de 2,72%	Costo unitario (\$) Año 2009. Inflación de 2,72%	Costo unitario (\$) por cantidad de unidad, Año 2009. Inflación de 2,72%
Reformador	2.668,00	100.756,20	100.756,20

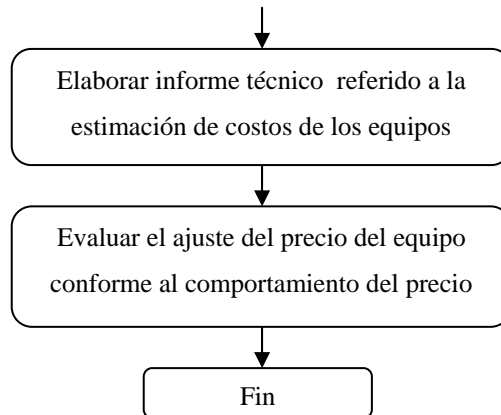
primario			
Reformador Secundario	3.266,94	123.374,94	123.374,94
Filtro de aire	1.872,80	70.725,71	70.725,71
Separadores	568,23	21.459,01	85.836,06
Compresores	47.682,37	1.800.710,68	7.202.842,71
Enfriadores	1.316,44	49.714,96	447.434,63
Convertidor de Alta	3.947,55	149.078,05	149.078,05
Convertidor de Baja	4.083,67	154.218,67	154.218,67
Torre de lavado	30.964,14	1.169.351,77	1.169.351,77
Tanque de flasheo	3.130,82	118.234,32	118.234,32
Intercambiador de Calor	136.122,40	5.140.622,40	5.140.622,40
Filtro Tipo Cartucho	2.441,44	92.200,15	92.200,15
Torre Regeneradora	33.308,70	1.257.893,13	1.257.893,13
Condensador	8.115,73	306.488,02	306.488,02
Rehervidor	1.642,95	62.045,56	62.045,56
Bomba Reciprocante	19.764,70	746.408,09	746.408,09
Tanque de Balance	2.969,97	112.160,16	112.160,16
		Costo total (\$)	17.339.670,56

Costo total BsF (\$*2,15BsF)	37.280.291,71
---------------------------------	---------------

Fuente: Elaboración Propia

3.5 diagrama de flujo sobre la metodología para la estimación de costos de equipos en un proceso general





- **Descripción detallada del proceso en estudio:** Se necesita la descripción de proceso para el conocimiento de los equipos que se seleccionaran, así se conocerán las características de estos y sus capacidades.
- **Selección de equipos del proceso:** Se especifican los equipos seleccionados del proceso, solo a estos se les estimaran los costos.
- **Realizar investigación de mercado o estudio de mercado para conocer los precios históricos y actualizados de los equipos:** En este proceso se examinan los equipos seleccionados para encontrar su valor monetario en el mercado. La búsqueda de estos precios puede hacerse mediante correo electrónico, entrevista telefónica o personal con personal de empresas que vendan los equipos, también mediante libros o revistas especializadas en dichos temas. Es recomendable hacer una selección aproximadamente de cinco proveedores que proporcionen los catálogos de precios con las especificaciones de los equipos.
- **Organizar la información de costos de equipos discriminando año y tipo**

En este paso se organiza la información para su mejor manejo y entendimiento durante el desarrollo de la metodología, siendo el año y el tipo de equipo la mejor forma de disposición de dicha información.

- **Investigar los índices de inflación históricos y actualizados del país de importación de los equipos y de Venezuela**

La investigación de los índices de inflación es necesaria puesto que es la base principal de la metodología, obtener información acerca de los índices históricos permite un mejor entendimiento de la variación de los costos. El índice de inflación en Venezuela puede obtenerse a partir de la página web del banco central de Venezuela, que es la fuente oficial de la información económica del país.

- **Aplicar fórmula diseñada (ecuación 2.1) como base de cálculo a los equipos seleccionados del proceso**

Se utiliza la fórmula anteriormente usada para el proceso de la estimación de costos de los equipos utilizados en la captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂), la cual es la base de la metodología planteada.

- **Realizar la conversión de la moneda del país de importación a bolívares fuertes (BsF) a los resultados obtenidos**

Se necesita hacer la conversión de la moneda del país de donde se importaran los equipos a la moneda nacional puesto que para el uso de la fórmula planteada se necesita la inflación del país donde se está haciendo el estimado de los costos.

- **Elaborar informe técnico referido a la estimación de costos de los equipos involucrados**

La elaboración del informe permite entender la variación de los costos de los equipos, se explican las posibles causas de su aumento o decremento y se puede hacer la comparación con respecto a la variación de los costos del país de importación de los equipos.

- **Evaluar el ajuste del precio del equipo conforme al comportamiento del precio real del mercado**

Esta evaluación consta de calcular el porcentaje de desviación del costo estimado del equipo en el momento en que se obtenga el precio real. Así con ello se logra saber que tan precisa fue la estimación, si se subestimo o sobreestimo con respecto al valor verdadero de los equipos.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados más relevantes arrojados en el estudio son los índices de inflación de los dos países involucrados y la diferencia de costos que se logró pronosticar . en primer lugar, podemos observar la inflación anualizada de USA para los años 2008 y 2009 los cuales se ubicaron en 0,09% y 2,72% respectivamente, para Venezuela estos mismos índices se ubicaron en 30,90% y 25,1%

Este factor desemboca al siguiente resultado. Los costos totales de los equipos calculados siguiendo los índices Norteamericanos para los años 2008 y 2009 son de 16.880.520,41 y 17.339.670,56 dólares americanos. Mientras que los costos totales tomando en cuenta los parámetros venezolanos son de 22.076.732,15 y 27.617.991,93 dólares americanos para el mismo periodo de tiempo, presentándose un incrementos entre los precios de los dos países de un 30,78% en el 2008 y de un 59,28% para el 2009 con una media de 45,03% evidenciando las diferencia de los 2 países en materia cambiaria, pudiéndose demostrar que la adquisición de los equipos para montar una planta en USA se puede ahorrar en un 60% el capital requerido sin tomar en cuenta el incremento de los precios al momento de los pagos por impuestos de nacionalización venezolano, siendo un factor determinante para la inversión en nuestro país.

Si el análisis general del estudio refleja que la situación de un país es económicamente incierta, en virtud de que los factores macroeconómicos fuesen inestables y reflejen los cambios políticos, sociales o circunstanciales del momento; es importante realzar lo indispensable que resulta conocer los pormenores de la realidad económica de los mismos y obtener las bases reales para realizar una

proyección confiable de los cálculos que se revelen y de esta manera evaluar la factibilidad de inversión propuesta.

Se puede hacer semejanza de este estudio con los índices realizados por la consultora J.P. Morgan de Riesgo país donde Venezuela se muestra como uno de los países menos recomendados para realizar inversiones por parte de los empresarios. Sin embargo, La investigación forma parte de la etapa de prediseño de un proyecto asumiendo que el estudio de factibilidad realizado en la etapa conceptual es positivo.

Se estudio el proceso de captura y secuestro de CO₂ para poner a prueba la metodología de pronóstico debido a que es un proceso sencillo con pocos equipos a evaluar, por lo que requiere un bajo nivel de exigencia a nivel de cálculo en comparación a otros procesos más complejos. Así mismo, el índice de costo que tiene mayor semejanza con el comportamiento de la inflación es el de “Marshall & Swift”, además de tener beneficios como la periodicidad de sus reportes y se limita a reflejar índices de equipos de procesos obviando costos de construcción, mano de obra y demás costos secundarios.

La reutilización de equipos de otros procesos es una manera de abaratar costos, mas el estudio no contempla esa posibilidad, ya que el escenario presentado se asume la adquisición completa de los equipos utilizados en el proceso.

Una vez realizado los cálculos de incremento de los equipos, basado en las inflaciones acumuladas de los años 2008 y 2009 se puede notar claramente el impacto de los índices macroeconómicos en la industria química específicamente en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂). Se demuestra el costo elevado que se sucede año tras año en la adquisición de los equipos, haciendo difícil una proyección real de los costos de la instalación al tiempo de las diferentes etapas de ingeniería, afectando directamente a los inversionistas que aportan su capital para

el proyecto, ya que estos actúan de forma reactiva al verse imposibilitado de tomar decisiones a largo plazo o en su defecto se puede inducir el abandono del proyecto por temor a la pérdida del capital invertido.

Específicamente en cuanto al método, este resulta ser más eficiente ya que toma en cuenta la inflación, el cual es el factor más importante dentro de los estudios económicos y va de la mano con las realidades políticas del país donde se realicen los cálculos, arrojando cifras acertadas adecuándose a la necesidad de exactitud requerida por la estimación de magnitud clase V que se necesita para la fase de diseño preliminar, en la cual se basa este estudio; por lo tanto solo se tomaron en cuenta los equipos mayores del proceso obviando los equipos y sistemas de control.

Este método es de fácil aplicación y si se necesitan pronósticos más adelantados se utilizan las predicciones de inflación proporcionadas por el banco central o entes gubernamentales encargados de realizar estas predicciones de inflación.

4.1. Conclusiones

- A partir de la descripción del proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO₂) se obtienen dimensiones y capacidades de los equipos usados en dicho proceso.
- Se establecieron para la estimación de costos los equipos mayores del proceso, excluyendo los equipos y sistemas de control
- Los índices de costos de las empresas “Marshall & Swift” y “Plantas de Ingeniería Química” no siguen un patrón estándar, ni su comportamiento es progresivo aritméticamente, por lo que se dedujo que los costos son afectados

por variables macroeconómicas y que el comportamiento de estos índices se verifican conforme al comportamiento de la inflación para esos años.

- En la metodología para la estimación de costos de los equipos, se toma como base el costo original de año a partir del cual se pretenda realizar la estimación, obteniéndose el producto por la inflación acumulada anual del año base más la sumatoria del costo original.
- Comparando los resultados obtenidos de los costos de los equipos en Venezuela y Estados Unidos, se hace evidente la debilidad de la economía nacional en materia cambiaria, un retroceso en la capacidad adquisitiva de nuestra moneda frente al dólar.
- Para futuras estimaciones de costos mediante la metodología planteada, se siguen una serie de pasos para su aplicación, que van desde la recopilación de información hasta un informe detallado del cálculo de los costos.
- El método de estimación propuesto es de fácil aplicación y se adapta a la exactitud requerida por la estimación de magnitud clase V que se usa para la fase de diseño preliminar.

4.2. Recomendaciones

- Usar otras metodologías para estimado de costos en caso de que disponer de datos históricos.
- Crear una base de información de los resultados de las estimaciones para formar datos históricos que permitan su uso para futuras estimaciones.

- Incluir luego de haber calculado la estimación de los costos de los equipos; los costos de nacionalización, en el caso de Venezuela que es el país que importa los equipos, sería un 35% del valor de adquisición del equipo.
- Incluir costos secundarios de producción como el consumo eléctrico de los equipos del proceso, mano de obra, vapor, gas natural, entre otros.
- Para hacer un cálculo más preciso del capital e inversión se recomienda anexar los costos de los accesorios, equipos y sistemas de control.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ACOSTA, M., (2006) **“Endulzamiento del gas natural”**. Manual de procedimiento, Ingeniería Química, Petrolera Ameriven. Caracas, Venezuela.

[2] BANCO CENTRAL DE VENEZUELA., El Riesgo- país y sus determinantes, (2000).

Disponible en línea:
<http://www.bcv.org.ve/Upload/Publicaciones/tecnic11.pdf>

[3] BANCO CENTRAL DE VENEZUELA., Índice de inflación acumulada, (2010).

Disponible en línea: <http://www.bcv.org.ve>

[4] CHEMICAL ENGINEERING., Índice de costos de Marsall & Swift y de Plantas de ingeniería Química (2010).

Disponible en línea: www.che.com/pcitrial/

[5] GUZMAN, F., (2008) **“Preparación y evaluación de proyectos de la industria química”**. Edición única, unidad de publicaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

[6] KENNETH, J., (1998) **“Bombas: selección, uso y mantenimiento”**. Edición única, Editorial Mcgraw-Hill. México.

[7] LELAND, B. y Tarquin, A., (1999) **“Ingeniería económica”**, Cuarta edición, Editorial McGraw – Hill Interamericana, Colombia.

[8] **“Manual de operaciones”**. Planta de servicios industriales unidades 31 y 32. Fertinitro C.E.C. Venezuela (2000).

[9] MEXICO MAXICO., Porcentaje de inflación anualizada de países americanos. (2010)

Disponible en línea: <http://www.mexicomaxico.org/Voto/Inflacion.htm>

[10] MORENO, L., (2009) **“Evaluación de la red de vapor de baja presión de una planta productora de amoníaco”**. Trabajo de grado, Ingeniería Química, Universidad de Oriente. Anzoátegui, Venezuela.

[11] NAVARRO, M., (2007) **“Diseño de un sistema de cálculo para la estimación del flujo de urea líquida almacenado, hacia la sección de concentración al vacío de la planta Fertinitro C.E.C.”**. Trabajo de grado, Ingeniería Química, Universidad de Oriente. Anzoátegui, Venezuela.

[12] PETERS, M. y Timmerhaus, K., (1993) **“Diseño de plantas y economía para ingenieros químicos”**. Primera edición en español, editorial Mcgraw-Hill. España.

[13] ROJAS, G., (2003) **“Ingeniería de yacimientos de gas condensado”**. Edición única, Universidad de Oriente. Anzoátegui, Venezuela.

[14] TAHA, H., (2004) **“Investigación de operaciones”**. Séptima edición, editorial Pearson. México.

[15] US BUREAU OF LABOR STATISTICS., Inflación acumulada de Estados Unidos. (2010). Disponible en línea: <http://www.bls.gov>

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	Propuesta de una metodología para la estimación de costos de equipos involucrados en el proceso de captura y secuestro de dióxido de carbono (CO ₂)
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Eileen Figueredo	CVLAC:17.676.418 EMAIL: hechizada489@hotmail.com
Cristian Requena	CVLAC:17.046.362 E MAIL: crist_requena@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

Estimación

Costos

Proceso

Captura

Dióxido

Carbono

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ciencias aplicadas	Ing. Química

RESUMEN (ABSTRACT):

El dióxido de carbono (CO₂) es un contaminante que afecta el funcionamiento y vida útil de los equipos y está presente en el gas natural, que es usado como materia prima en las industrias petroquímicas. Por ende es importante profundizar los esfuerzos para realizar procesos de captura y secuestro de dióxido de carbono en la mayoría de las industrias para aprovechar este recurso económicamente.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Alexis Cova	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	11.905.328			
	E_MAIL	alexiscovab@gmail.com			
	E_MAIL				
Nivia Díaz	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	13.317.350			
	E_MAIL	ingniviadiaz@yahoo.com			
	E_MAIL				
Isvelia Avendaño	ROL	CA	AS X	TU	JU X
	CVLAC:	8.024.255			
	E_MAIL	Isvelia2009@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	02	11
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.Estimación de costos.doc	Aplicación/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O
P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingenieros Químicos

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al Artículo 44 del reglamento del trabajo de grado, “los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”

Eileen Figueredo

AUTOR

Cristian Requena

AUTOR

AUTOR

Ivelia Avendaño

TUTOR

Alexis Cova

JURADO

Nivia Díaz

JURADO

Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS