



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



**EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE PURIFICACIÓN EN LA
PLANTA DE ACETILENO EN OXICAR- VALENCIA**

CO-TUTORES ACADÉMICOS:

Ing. Tony Espinosa
Ing. Jesús Camacho

AUTOR:

Junaika Buitrago

CO-TUTORES INDUSTRIALES:

Ing. Juan Buitrago
Ing. Víctor Martínez

ASESOR METODOLÓGICO:

Lic. Alberto Pitre

Valencia, Abril de 2008.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado para estudiar el Trabajo Especial de Grado Titulado: **EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UN SISTEMA PURIFICACION EN LA PLANTA DE ACETILENO EN OXICAR- VALENCIA**, realizado por la bachiller Junaika Junibel Buitrago Albarrán C.I. 15.463.634, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo, y que no nos hacemos responsable de su contenido, pero lo encontramos correcto en su forma y presentación.

Prof. Tony Espinosa
Presidente

Prof. Edwin Oviedo
Jurado

Prof. (a) Dayana Zambrano
Jurado

Valencia, 23 de Abril de 2008.



Un día tome la decisión de abandonar mi casa y alejarme de mi familia con un solo fin, cumplir mis sueños, con mis esperanzas puestas en Dios en quien he confiado siempre, fue largo el camino que tuve que recorrer, pruebas difíciles que afrontar, pero a medida que fueron transcurriendo los días me di cuenta que los éxitos en la vida llegan, pero no se logran solo, es por esta razón que quiero dedicarles esto a ustedes, todas y cada una de las personas que colocaron un granito de arena para que de un sueño esto se convirtiera en una realidad, especialmente:

A mis padres, Elubia y Joel...gracias por estar ahí siempre y darme los mejores consejos.

A mis padres sustitutos, Lesbia y Francisco...por su gran apoyo.

A mis hermanitos Josét, Génesis y Jaelys...espero sigan mis buenos pasos.

A mis demás familiares, en particular mi tío José Luis...por confiar siempre en mi.

A todos mis amigos, con los que inicie y finalice la carrera, en particular a Vanessa y a Modesto por ser tan incondicionales.

A mis tutores Juan Buitrago y Tony Espinosa.

A mis compañeros de trabajo y también amigos, en particular a Katusca y Adycar.

A mi nene por haber llegado en el mejor momento, ser mi amor, mi compañero y mi motivo de seguir adelante... TE AMO

A todos GRACIAS... Juni



SUMARIO

La siguiente investigación se basó en la evaluación técnico-económica de un sistema de purificación en la planta de acetileno en Oxicar-Valencia, que consiste en eliminar las impurezas que contiene el gas para obtener acetileno grado absorción atómica y poder satisfacer las necesidades de sus clientes al colocar este producto en el mercado, para esto se plantearon los siguientes objetivos: caracterizar el proceso de obtención de acetileno en la planta; identificar las diferentes tecnologías de purificación de acetileno; seleccionar la tecnología mas adecuada a ser aplicada en el proceso de obtención de acetileno; diseñar el proceso de purificación de acetileno seleccionado y evaluar económicamente el sistema con el fin de determinar su factibilidad.

Luego de caracterizar el proceso de obtención de acetileno se procede a identificar las tecnologías más adecuadas en la purificación del gas mediante la búsqueda de información con personal especializado, se seleccionó la tecnología más adecuada debido a las exigencias a través del criterio de una matriz de selección, posteriormente se lleva a cabo el diseño del sistema de purificación mediante ensayos experimentales de un sistema a escala piloto a las condiciones de la tecnología seleccionada, para finalmente aplicar cálculos financieros para la determinación de la factibilidad económica del proyecto.

Los resultados arrojan que la tecnología más adecuada para el sistema de purificación es la absorción con una sola torre de ácido sulfúrico, logrando producir acetileno con las especificaciones de pureza requeridas según el plan de calidad GE-PLC-08.

Se recomienda crear un plan de análisis para el chequeo de las concentraciones de las impurezas a la salida del nuevo sistema de purificación, con el fin de verificar que el gas cumple con las especificaciones de pureza y seguir las normativas que reportan los MSDS de carburo de calcio, acetileno y el ácido sulfúrico, con el fin trabajar en condiciones seguras.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Objetivos.....	7
1.3 Justificación.....	7
1.4 Limitaciones.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes.....	9
2.2 Términos básicos.....	13
2.2.1 Gases.....	13
2.2.2 Tubos colorimétricos.....	22
2.2.3 Adsorción.....	26
2.2.4 Absorción.....	26
2.2.5 Absorción atómica.....	34
2.2.6 Flujo de caja.....	35
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	43
3.1 Caracterizar el proceso de obtención de acetileno en la planta, con la finalidad de conocer las variables involucradas la purificación del gas....	43
3.2 Identificar las diferentes tecnologías de purificación de acetileno, con el fin de conocer las diferentes opciones tecnológicas de purificación.....	47
3.3 Seleccionar la tecnología mas adecuada a ser aplicada en el proceso de obtención de acetileno, con la finalidad de obtener acetileno grado absorción atómica.....	53
3.4 Diseñar el proceso de purificación de acetileno seleccionado, con el fin de mejorarlo.....	57
3.5 Evaluar económicamente el sistema diseñado para el proceso de producción de acetileno, con el fin de determinar su factibilidad.....	58
CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN.....	59



CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	63
5.1 Estudio de mercado.....	63
5.2 Ingresos.....	63
5.3 Egresos.....	64
5.4 Costos.....	65
5.5 Deuda.....	67
5.6 Flujo de caja.....	68
5.7 Modelos de rentabilidad.....	68
CAPITULO VI. DISCUSIONES DE RESULTADOS	69
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75
APÉNDICES A: CÁLCULOS TÍPICOS.....	77
APÉNDICE B: TABLAS.....	89
APÉNDICE C: FIGURAS.....	99
ANEXOS.....	104



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1.1	Proceso de obtención de acetileno en Oxicar- Valencia.....	4
1.2	Diseño de la planta de acetileno Oxicar- Valencia.....	6
2.1	Cuñetes para el almacenamiento del carburo de calcio.....	14
2.2	Generador de la planta de acetileno Oxicar-Valencia.....	15
2.3	Estructura del acetileno.....	17
2.4	Cilindros de acero para el almacenamiento del acetileno.....	18
2.5	Oxicorte con acetileno.....	19
2.6	Tubos colorimétricos para medición de gases.....	23
2.7	Bomba manual para tubos colorimétricos.....	24
2.8	Rellenos para torres de absorción.....	31
2.9	Principio de la absorción atómica.....	34
3.1	Caracterización de cilindros de acetileno estándar.....	44
3.2	Vista microscópica de algas diatomasea.....	48
3.3	Equipo de purificación de la planta de acetileno Oxicar-Valencia.....	49
3.4	Sistema de purificación .Adsorción con tierra diatomasea.....	50
3.5	Absorción con una torre de ácido sulfúrico.....	51
3.6	Sistema de purificación .Absorción con una torre de ácido sulfúrico...	52
3.7	Absorción con tres torres de ácido sulfúrico.....	53
3.8	Sistema de purificación. Absorción con tres torres de ácido sulfúrico..	54
4.1	Sistema piloto de purificación de acetileno.....	60
5.1	Ventas del acetileno por Oxicar en un periodo de 10 años.....	64
C.1	Prueba con tubos colorimétricos.....	99
C.2	Prueba con nitrato de plata.....	99
C.3	Dosificador de ácido sulfúrico.....	100
C.4	Parte superior del sistema piloto.....	100
C.5	Distribuidor de gas en el sistema piloto.....	101
C.6	Parte inferior de la del sistema piloto.....	101
C.7	Anillos Pall de plástico.....	102



C.8	Parte interior del sistema piloto.....	102
C.9	Sistema piloto.....	103



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
2.1 Constantes físicas del acetileno.....	16
2.2 Constantes físicas de la arsina.....	20
2.3 Constantes físicas de la fosfina.....	21
2.4 Constantes físicas del sulfuro de hidrógeno.....	22
2.5 Tipos de llama para los equipos de absorción atómica.....	31
2.6 Costo de instalación de equipos.....	38
2.7 Costo de edificaciones.....	38
2.8 Costo de tuberías.....	39
3.1 Caracterización de cilindros de acetileno	45
3.2 Caracterización de cilindros de acetileno	45
3.3 Caracterización del acetileno en la entrada del equipo de purificación en la planta Oxicar-Valencia.....	55
3.4 Características de las diferentes tecnologías que pueden ser empleadas en la purificación del acetileno.....	55
3.5 Matriz de valoración de tecnologías.....	56
3.6 Matriz de selección de diferentes tecnologías.....	57
4.1 Especificaciones del sistema de purificación a escala piloto	60
4.2 Caracterización del acetileno en la entrada del sistema piloto.....	61
4.3 Caracterización del acetileno en la salida del sistema piloto.....	61
4.4 Especificaciones del sistema de purificación a escala macro.....	62
5.1 Ingresos brutos del proyecto de acetileno.....	64
5.2 Costos directos de manufactura del proyecto de acetileno.....	66
5.3 Costos indirectos de manufactura del proyecto de acetileno.....	67
5.4 Deuda del proyecto de purificación de acetileno.....	67
5.5 Flujo de caja para el proyecto de acetileno.....	68
B.1 Selección del material adecuado para trabajar con el acetileno.....	89
B.2 Plan de la calidad para el llenado de cilindros de acetileno.....	90
B.3 Comunicado a Tecno-Proyect para la mejora del sistema de purificación.....	91



B.4	Especificaciones del carburo de calcio.....	92
B.5	Orden de compra del carburo de calcio.....	93
B.6	Certificado de inspección de los tubos colorimétricos de arsina.....	94
B.7	Certificado de inspección de los tubos colorimétricos de fosfina.....	95
B.8	Factura de compra de ácido sulfúrico.....	96
B.9	Factura de la compra de tubos colorimétricos.....	97
B.10	Análisis de costo del proyecto.....	98



INTRODUCCIÓN

Oxicar, produce gases de uso industrial y medicinal para comercializarlos y distribuirlos a tiempo, comprometiéndose a satisfacer los requerimientos de los clientes bajo los lineamientos del sistema de gestión de la calidad con el objetivo de asegurar la producción de los productos y servicios, asegurándose de satisfacer a sus clientes y mantener programas de mejora continua en los procesos y en el personal.

La investigación tuvo como objetivo general el diseño de un sistema que permita obtener acetileno con las especificaciones de pureza requeridas. Para ello fue necesario conocer las impurezas contenidas en el gas y eliminarlas con la tecnología que garantice los niveles de calidad, satisfaciendo la demanda de acetileno de alta pureza que actualmente la empresa no puede suplir debido a que su planta no está acondicionada para obtener dicho producto, hoy en día existen diversas tecnologías para la purificación para lograr dicho objetivo.

Se incluyeron los conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de la carrera universitaria, específicamente en las áreas de fenómenos de transporte, diseño de procesos, operaciones unitarias y operaciones avanzadas de Ingeniería Química, además de ofrecer experiencia en el ámbito laboral e industrial.

La metodología se inició con la caracterización del proceso actual de obtención de acetileno en la planta, además de la identificación de las diferentes tecnologías de las cuales se seleccionó la más adecuada. Posteriormente se llevó a cabo la implementación de un sistema que cumpliera con el principio de la tecnología seleccionada mediante ensayos experimentales en un equipo a escala piloto para



luego diseñar el sistema de purificación y finalmente estimar los costos asociados a la adquisición y evaluar la factibilidad económica del proyecto.

El trabajo se divide en seis capítulos. El primer capítulo consiste en la descripción del problema, los objetivos, la justificación y las limitaciones. El segundo capítulo está conformado por las bases teóricas de la investigación que facilitan su comprensión. En el tercero se describe la metodología detallada para el cumplimiento de cada uno de los objetivos. En las dos secciones posteriores, se presenta el diseño del sistema de purificación del gas y la evaluación económica del sistema global con la finalidad de conocer la factibilidad de su implementación donde finalmente se muestran las discusiones conclusiones y recomendaciones. Para complementar la información suministrada se presenta la sección de apéndices.

La importancia del proyecto es aportar una solución versátil porque va orientada a eliminar subproductos tóxicos nocivos para la salud; así como reducir los costos del proceso de producción de acetileno y mejorar la calidad del producto, haciendo que la empresa sea más competitiva y segura.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección se dará a conocer el planteamiento del problema en estudio, especificando el propósito, situación actual, situación deseada, así como el objetivo general y los específicos y las razones que justifican y limitan la investigación.

1.1 Descripción del problema

El acetileno es un compuesto de fórmula molecular C_2H_2 que contiene dos átomos de carbono y dos de hidrógeno. Un proceso alternativo de síntesis, más apto es la reacción del agua con carburo de calcio donde se forma como subproducto el hidróxido de calcio, de acuerdo con la siguiente reacción



(1.1)

El gas formado en esta reacción a menudo tiene un olor aliáceo similar al ajo, esto debido a las trazas de fosfina que se forman del fosfuro cálcico presente como impureza.

El acetileno es un compuesto exotérmico lo que significa que su descomposición en los elementos libera calor. Por esto su generación suele necesitar elevadas temperaturas en alguna de sus etapas o el aporte de energía química de alguna otra manera, al aire este compuesto se quema con una llama luminosa liberando ciertas cantidades de carbonilla. Los átomos de hidrógeno del acetileno pueden disociarse, por lo que tiene carácter levemente ácido. A partir del acetileno y una solución básica de un metal pueden formarse acetiluros. Algunos de estos acetiluros (especialmente los de cobre y de plata) son explosivos y pueden detonarse con activación mecánica.

Uno de los principales usos del acetileno es conocido como gas utilizado en equipos de soldadura debido a las elevadas temperaturas (hasta 3.000 °C) que alcanzan las mezclas de acetileno y oxígeno en su combustión, y para el funcionamiento de los equipos de absorción atómica constituyendo un área importante dentro de los sectores como la metalmecánica, la metalúrgica en el mercado nacional. Para satisfacer la demanda Oxicar cuenta con una planta ubicada en el estado Carabobo en la zona industrial, sector el Pajal, ciudad de Valencia.

Oxicar, es una empresa venezolana con mas de cinco décadas de actividad que se encuentra esparcida a lo largo de toda la geografía nacional, dedicada principalmente a la producción, distribución y comercialización de gases hidrocarburos y no hidrocarburos para la industria química, petroquímica, medicina y otros sectores de la economía nacional, así como el mercadeo de máquinas y equipos de soldadura y particularmente para el hombre y su ambiente. Antiguamente el acetileno se utilizaba como fuente de iluminación.



Figura 1.1 Proceso de obtención de acetileno en Oxicar- Valencia.



En la industria se utiliza como materia prima para la obtención de acetileno carburo de calcio en presencia de agua cuya reacción se da en un generador donde también se obtiene un producto secundario llamado hidróxido de calcio (ecuación 1.1), luego de allí el gas pasa por una trampa de agua o sellador con la finalidad de que el mismo no se pierda, luego pasa por el gasómetro antes de llegar al equipo de purificación, el cual consta de una caja rectangular que tiene conectado unos cilindros que permiten el paso del gas a través de una tierra diatomasea la cual por su contenido es capaz de atrapar la cantidad de componentes indeseados en la reacción que influyen en el grado de pureza del mismo. Luego en un separador se retiran otras impurezas, se retira calor a través de un intercambiador y se dirige el gas hacia unos filtros secadores para finalmente llegar a un sistema de llenado, donde son colocados en unos cilindros previamente llenados con un contenido específico de acetona (ver figura 1.1 y 1.2).

1.1.1 Formulación del problema

La empresa busca ocupar y mantener posiciones de liderazgo a corto y a mediano plazo en cada una de sus líneas de producción, así como mejorar y garantizar sus niveles de calidad, pero actualmente existe una demanda de acetileno de alta pureza la cual Oxicar no puede satisfacer debido a que su planta no está acondicionada para obtener dicho producto en el estado de pureza requerido. Se propone el estudio de las diversas tecnologías para la purificación del acetileno y la evaluación técnico-económica para dar una respuesta a la necesidad detectada.

1.1.2. Situación actual

Actualmente Oxicar cuenta con una planta de acetileno para suplir el área de la soldadura, y lo requiere también para el área de absorción atómica, necesidad que no puede suplir debido a las trazas de fosfina y arsina presentes en el mismo.

1.1.3. Situación deseada

La empresa requiere la evaluación técnico-económica de un sistema de purificación de acetileno elimine así impurezas que contiene el gas como fosfina y arsina para obtener



acetileno grado absorción atómica y poder satisfacer una gran parte del mercado nacional.



1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar técnico-económicamente un sistema de purificación de acetileno en la planta Oxicar- Valencia, con la finalidad de mejorar la calidad de dicho producto.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar el proceso de obtención de acetileno en la planta, con la finalidad de conocer las variables involucradas la purificación del gas.
2. Identificar las diferentes tecnologías de purificación de acetileno, con el fin de conocer las diferentes opciones tecnológicas de purificación.
3. Seleccionar la tecnología más adecuada a ser aplicada en el proceso de obtención de acetileno, con la finalidad de obtener acetileno grado absorción atómica.
4. Diseñar el proceso de purificación de acetileno seleccionado, con el fin de mejorarlo.
5. Evaluar económicamente el sistema diseñado para el proceso de producción de acetileno, con el fin de determinar su factibilidad.

1.3 Justificación

Esta investigación tiene gran relevancia a nivel social porque hoy en día en el mercado nacional existe una demanda de acetileno de alta pureza para el proceso de absorción atómica, la cual es cubierta por otros proveedores. La empresa desea incursionar en nuevos mercados dentro de los gases con la inclusión de acetileno grado analítico dentro de la gama de sus productos para lograr considerar al sector y presentar una mayor versatilidad.

En cuanto a la conveniencia y beneficios de este proyecto aportará una reducción de las altas sumas de dinero que la empresa gasta en la adquisición de acetileno a través de otros proveedores. Es importante recalcar que durante la elaboración del presente



trabajo de investigación se llevaron a cabo prácticas que permitieron reforzar conocimientos y habilidades adquiridas a lo largo de la carrera universitaria, específicamente en las áreas de fenómenos de transporte, diseño de procesos, operaciones unitarias y operaciones avanzadas de Ingeniería Química, además de ofrecer experiencia en el ámbito laboral e industrial.

La investigación presenta un aporte metodológico ya que se establecerá una estrategia para el desarrollo de un nuevo sistema de purificación de acetileno, ofreciendo una nueva herramienta para plantas futuras en dicha empresa y permite ampliar conocimientos referentes a la obtención de acetileno alta pureza grado absorción atómica.

Finalmente la realización de este trabajo especial de grado le permite al autor afianzar los conocimientos y aprender mas sobre las tecnologías de purificación, manejo de los componentes tóxicos presentes, funcionamiento, diseño y costo de equipos presentes en la planta.

1.4 Limitaciones

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se pueden encontrar ciertas condiciones que restringen y limitan el desarrollo de la misma entre las cuales se pueden señalar:

- Dificultad para la manipulación de los componentes.
- La no disponibilidad del espacio físico.
- La selección de las tecnologías.
- El grado de pureza requerido.
- Tiempo de ejecución del proyecto.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A continuación se presentarán los trabajos, proyectos e investigaciones que presentan fines semejantes a los perseguidos en la investigación y que sirven de sustento a la misma.

2.1.1. León. E., José. L. (2003). Evaluación técnico- económica de un sistema de purificación de hidrogeno en Oxicar-Valencia. Carabobo. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general evaluar técnico-económicamente un sistema de purificador de hidrógeno prepurificado obtenido mediante la electrolisis del agua, para la obtención de hidrogeno ultra alta pureza en la planta, con la finalidad de ser usado en distintos sectores de la industria y ser aplicado en la producción de energía y la cromatografía de gases entre otros.

Entre las principales conclusiones están que la tecnología mas adecuada al proceso es el deoxo con sistema de adsorción y que el proyecto es factible tanto técnica como económicamente por lo que es posible obtener hidrogeno ultra alta pureza cumpliendo con las especificaciones del producto del mercado para lograr la mayor satisfacción a los clientes de dicha empresa.

Existen similitudes con el presente trabajo de investigación ya que se llevo lla cabo un proceso de purificación de un producto proveniente de la misma planta y además se basa en un sistema de purificación y una evaluación técnico- económica.

2.1.2 Garbi, Miriam; Pacheco, Jackeline. (2003). Factibilidad técnico-económico de una planta para producir fosfatos de sodio grado alimenticio. Carabobo. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.



Este trabajo de investigación tiene como objetivo general la factibilidad económica de la planta para producir fosfatos de sodio grado alimenticio tomando en cuenta variables que influyen en la reacción de acuerdos a sus índices de calidad.

En el desarrollo de este trabajo fue necesario definir el mercado y la capacidad de la planta a diseñar, para finalmente realizar la evaluación económica del proyecto y determinar la rentabilidad del mismo, para el desarrollo fue necesario sintetizar fosfatos obtenidos, tomando en cuenta variables que influyen en la reacción y caracterizarlos de acuerdo a sus índices de calidad, por otra parte se tomaron en cuenta los datos de importación de producción de estudios suministrados por la oficina central de estadísticas e información y se evaluó la rentabilidad del proyecto.

La similitud con este trabajo es que se caracterizo la rentabilidad del mismo a través de parámetros de diseño los cuales son de gran importancia en cualquier estudio tanto técnico como económico.

2.1.3 Peña, Marcel. (2003). Alternativas para el mejoramiento de oxidación en la etapa de purificación de la planta de CO₂ en Praxair-Venezuela. Carabobo. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general el mejoramiento de oxidación de la etapa de purificación de la planta de dióxido de carbono estableciendo zonas críticas para la mejora de ciertos factores.

En este trabajo los objetivos específicos se basaron en analizar el proceso de oxidación para establecer las zonas ambientalmente críticas del mismo, analizar las zonas ambientalmente del proceso con el fin de obtener los factores a mejorar, seleccionar alternativas que permitan mejorar el proceso de oxidación, tecnologías que permitan mejorar el desempeño del proceso y evaluar la factibilidad técnico-económica de las alternativas a solucionar.



La similitud existente con este trabajo de investigación es que se aplicaron técnicas de purificación del dióxido para la mejora del proceso y así poder seleccionar alternativas a través de la evaluación de la factibilidad.

2.1.4 Gudiño, Paul; Vitoria, María. (2002). Evaluación de tecnologías para la recuperación de hidrogeno en las corrientes gaseosas de la refinería El Palito. Carabobo. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general evaluar las tecnologías para la recuperación de hidrogeno en la corrientes gaseosas de la refinería.

El objetivo principal de esta investigación fue la evaluación y selección de parámetros como el costo, la purificación, el espacio, y otros de las diferentes tecnologías utilizadas para la recuperación del hidrógeno provenientes de varios procesos de la refinería El Palito, así purificarlo y reutilizarlo para otros procesos, al igual se estudian las diferentes tecnologías para la purificación del hidrogeno.

Dicho trabajo presenta similitud con la investigación, debido a que la finalidad principal de la misma fue generar una selección de tecnología mas adecuada para la purificación de un gas de mucha importancia en cuanto a su utilidad.

2.1.5. Shuiliang, Yao; Akira, Nakayama; Eiji, Suzuki. (2001). Acetylene and hydrogen from pulsed plasma conversion of methane. (Acetileno e hidrogeno a partir de la conversión de impulsos de plasma de metano). Japón. Instituto de Investigaciones de Tecnologías Innovadoras para la Tierra.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general el uso del HFPP como la frecuencia de impulsos de plasma donde se presenta una comparación a los arcos de de procesos de oxidación parcial donde el HFPP tuvo el menor consumo de metano para la generación de energía y la producción de acetileno y hidrógeno.



En este trabajo de investigación los recientes progresos de conversión del metano al acetileno e hidrógeno que usan un plasma pulsado de alta frecuencia (HFPP) se introdujo una comparación al arco convencional y los procesos de la oxidación parciales. El proceso de HFPP tenía el consumo del metano más bajo para el poder y la generación de acetileno y producciones de hidrógeno y un sistema de la separación relativamente simple para la purificación del producto, indicando que los HFPP que procesan tendría el costo que opera más bajo. Para el uso práctico del proceso de HFPP, un suministro de poder de pulso que tiene una eficacia de energía superior que se desearían igual a un 72%.

Este trabajo de investigación se relaciona en cuanto a los sistemas de purificación de acetileno pero por medio de la conversión del metano con la finalidad de evaluar la eficacia de la energía por el suministro de poder de pulso.

2.1.6 Betina, Rosner; Bernan, Schink (1995). Purification and Characterization of Acetylene Hydratase of Pelobacter Acetylenicus. (Purificación y Caracterización de Acetileno). Alemania. Universitat Konstanz. Fakultat fur Bilologie.

En este trabajo de investigación tiene como objetivo general la purificación y caracterización del acetileno de Hydratase of Pelobacter acetylenicus, fermentación de la bacteria Pelobacter acetylenicus la cual cataliza la hidratación del acetileno.

En este trabajo de investigación consiste en la actividad de la enzima especifica en extracto de células de crecimiento fue mas alto después en la presencia de tungstate, la actividad enzimático fue estable incluso después del almacenamiento prolongado de la célula o proteína purificada en virtud del aire.

En este trabajo de investigación se relaciona con la purificación del acetileno directamente el cual es utilizado para ensayos cromatográficos, estos equipos siempre requieren de acetileno grado absorción atómica.



2.2 Términos básicos

2.2.1 Gases

Estado de la materia en el cual las fuerzas intermoleculares entre los distintos átomos o moléculas de una sustancia son tan pequeños que la misma no adopta ni forma, ni volumen fijo, tendiendo a expandirse todo lo posible para ocupar el recipiente que lo contiene. Las sustancias en estado gaseoso cumplen la ley de los gases ideales:

$$P * V = n * R * T \quad (2.1)$$

De donde:

P = presión del gas.

V = volumen ocupado por el gas.

n = número de moles de gas.

R = constante universal de los gases.

T = temperatura del gas.

Los gases reales no se expanden infinitamente, sino que llegaría un momento en el que no ocuparían más volumen. Esto se debe a que entre sus átomos/moléculas se establecen unas fuerzas bastante pequeñas, debido a los cambios aleatorios de sus cargas electrostáticas, a las que se llama fuerzas de Van der Waals.

(Perry,1992)

2.2.2 Acetileno

Poniendo en contacto el carburo de calcio con el agua, sucede entre ellos una rápida reacción acompañada de calor, de esta combinación tiene lugar una rápida formación de un gas que es acetileno y de una sustancia sólida que es el hidrato de calcio.

El carburo de calcio es un producto de la Industria Química que se fabrica en hornos eléctricos con una mezcla de cal (óxido de calcio) y de carbón productos de muy buena calidad, el carburo tiene un color gris oscuro, es duro y apenas roto presenta una fractura cristalina, su temperatura de fundición es de 3000 °C, no es explosivo, no es inflamable, debe ser conservado en cuñetes bien cerrados y en lugares secos (ver figura 2.1), se vende en diferentes medidas expresadas en milímetros y las más comunes son 15/25 mm; 25/50mm; 50/80 mm.

De un kilo de carburo de calcio con una buena calidad, en combinación con 800 gramos de agua, se desarrollan de 285 a 385 litros de acetileno en condiciones ambientales, el número de litros de acetileno obtenidos de un kilo de carburo de calcio se le conoce como “Rendimiento del Carburo”.



Figura 2.1 Cuñetes para el almacenamiento del carburo de calcio

El acetileno o etino es el alquino más sencillo. El acetileno de grado comercial, contiene rastros de impurezas como **fosfina**, **arsina**, **sulfuro de hidrógeno**, dependiendo del tipo de carburo utilizado, el cual varía según el productor, el tipo de generador de acetileno y de la temperatura del generador, alrededor del 90% de fósforo presente en el carburo se encuentra en forma de fosfina (PH_3) en el acetileno.

El azufre en forma de sulfuro de hidrogeno (H_2S) presente en el acetileno es solamente el 3% del azufre presente en el carburo, mientras que casi todo el amoniaco que contiene el carburo queda en el hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$). La legislación de los diferentes países productores, toman en consideración solamente el contenido de fosfina, la cual es la impureza que más afecta la calidad de la soldadura, además de ser toxica.

Con los generadores tipo carburo en agua (ver figura 2.2) dado el exceso de hidróxido de calcio presente y por el hecho de que el gas burbujea a través de este el azufre y el amoniaco se queda en el hidróxido por lo cual sale menos cantidad de H_2S . La fosfina y la arsina provienen del fosfato de calcio y arsenato presentes en la cal y son reducidos a fosfuros y arsenuros en el carburo, el nivel de toxicidad es difícilmente alcanzado en condiciones ambientales de trabajo, por lo tanto la purificación del acetileno se justifica mas que la toxicidad de sus impurezas, para no disminuir la calidad de la soldadura, para que pueda ser empleado en equipos de laboratorio y pueda ser mejor absorbido por la acetona dentro de los cilindros.



Figura 2.2 Generador de la planta de acetileno Oxicar-Valencia.

Para eliminar las impurezas remanentes en el acetileno se utiliza una sustancia depurante la cual utiliza un poder oxidante de las sales ferríticas catalizadas



convenientemente difundidas en un soporte poroso inerte conocida como tierra fósil, al igual que con soluciones de ácido sulfúrico que son capaces de arrastrar la fosfina contenida en el gas. El acetileno es una molécula rica en energía que libera grandes cantidades de energía cuando es descompuesto en carbón e hidrógeno. El acetileno es muy inestable incluso por debajo de su presión normal. A presiones sobre 1 kg/cm².

Una descomposición explosiva puede ser iniciada por calentamiento, chispas, colisión o fricción. Métodos seguros de manipulación y envío de acetileno han sido desarrollados para protegerlo contra estos peligros. El acetileno comprimido es comúnmente distribuido en cilindros de acero llenado con materiales porosos y acetona y es comúnmente referido como acetileno disuelto.

(CGA, 2004)

TABLA 2.1

CONSTANTES FÍSICAS DEL ACETILENO

Nombre	Acetileno
Formula química	C ₂ H ₂
Peso molecular (kg/kgmol)	26,04
Densidad (0°C, 1atm) (kg/m ³)	1,1716
Gravedad específica (21,1°C,1atm)	0,906
Volumen específico (21,1°C,1atm) (m ³ /kg)	0,918
Punto de ebullición (69 KPa) (°C)	-75,2
Punto de fusión (69 KPa) (°C)	-82,2
Densidad (kg/m ³)	231
Calor específico Cp (kJ/kg*°C)	1,60
Calor específico Cv (kJ/kg*°C)	1,27
Solubilidad en agua v/v (15,5°C)	1,1

Fuente: CGA (2004)

2.2.2.1 Estructura del acetileno

En el acetileno cada átomo de carbono está unido a otros dos átomos solamente, de este modo cada átomo de carbono hace uso de dos orbitales híbridos sp en la formación de las uniones σ . Las uniones σ entre los átomos de carbono, resultan de la superposición de dos orbitales sp , mientras que la ligadura C-H resulta de la superposición $sp-s$. La molécula es lineal es decir que los ángulos entre ligaduras son de 180° . Los dos orbitales p restantes de cada átomo de carbono son perpendiculares entre sí y cada uno contiene un electrón. La superposición de cada electrón p con un orbital similar del otro átomo de carbono, conduce a la formación de ligaduras π . Ambos orbitales moleculares tienen simetría cilíndrica, como en el caso de los alquenos, los electrones de las ligaduras π están relativamente expuestos al ataque por reactivos electrofílicos, de ahí que el acetileno como los otros alquinos, funcionen primordialmente como bases de Lewis en las reacciones de adición a la triple ligadura.

(CGA,2004)



Figura 2.3 Estructura del acetileno. Fuente: (CGA,2004)

2.2.2.2 Obtención del acetileno

En petroquímica se obtiene el acetileno por enfriamiento rápido de una llama de gas natural o de fracciones volátiles del petróleo con aceites de elevado punto de ebullición. El gas es utilizado directamente en planta como producto de partida en síntesis o

vendido en bombonas disuelto en acetona (ver figura 2.4). Así se baja la presión necesaria para el transporte ya que a altas presiones el acetileno es explosivo.

(CGA,2004)



Figura 2.4 Cilindros de acero para almacenamiento del acetileno.

Un proceso alternativo de síntesis, más apto para el laboratorio, es la reacción de agua con carburo cálcico (CaC_2). Se forma hidróxido cálcico y acetileno. El gas formado en esta reacción a menudo tiene un olor característico a ajo debido a trazas de fosfina que se forman del fosforo cálcico presente como impureza.

(CGA,2004)

2.2.2.3 Características

El acetileno es un compuesto exotérmico, lo que significa que su descomposición en los elementos libera calor, por esto su generación suele necesitar elevadas temperaturas en alguna de sus etapas o el aporte de energía química de alguna otra manera, al aire quema con una llama luminosa liberando ciertas cantidades de carbonilla.

(CGA,2004)

2.2.2.4 Usos del acetileno

Antiguamente el acetileno se utilizaba como fuente de iluminación. En la vida diaria el acetileno es conocido como gas utilizado en equipos de soldadura (ver figura 2.5) debido a las elevadas temperaturas hasta 3.000°C que alcanzan las mezclas de acetileno y oxígeno en su combustión, el acetileno es además un producto de partida importante en la industria química.

(CGA,2004)



Figura 2.5 Oxicorte con acetileno.

2.2.2.5 Impurezas en el acetileno

Son aquellos gases no deseados que se encuentran en el producto, y requieren ser eliminados en cierta proporción dependiendo del proceso para el que vaya ser utilizado el gas.

(CGA,2004)



- **Arsina**

La arsina o trihidruro de arsénico (AsH_3) es un compuesto inorgánico gaseoso a temperatura ambiente, es inflamable y altamente tóxico. Esta constituido de hidrógeno y arsénico, es más pesada que el aire, soluble en agua, incolora, y con un olor suave a ajo que sólo es percibido cuando se encuentra en altas concentraciones.

Algunos minerales presentan en su composición arsénico. El arsénico o el mineral que contiene este elemento cuando están en contacto con el agua o algún ácido ocurre una reacción, liberando una cantidad pequeña de gas arsina.

(CGA, 2004)

TABLA 2.2

CONSTANTES FÍSICAS DE LA ARSINA

Nombre	Trihidruro de arsénico
Formula química	AsH_3
Peso molecular (kg/kgmol)	77,95
Densidad (kg/m^3)	3,24
Gravedad específica	2,69
Punto de ebullición ($^{\circ}\text{C}$)	-62,5
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	-116,9
Solubilidad en agua v/v	0,23
TLB (concentración máxima permitida) (ppm)	30

Temperatura: $(21,1 \pm 0,1) ^{\circ}\text{C}$

Presión: $(1,0 \pm 0,1) \text{ atm}$

Fuente: **CGA (2004)**



- **Fosfina**

La fosfina o fosfamina (PH_3) es un gas incoloro, inflamable, que explota a temperatura ambiente y que huele a ajo o a pescado podrido, pequeñas cantidades ocurren naturalmente provenientes de la degradación de materia orgánica.

Es levemente soluble en agua, es usada en las industrias de semiconductores y de plásticos, en la producción de un retardador de llamas y como insecticida en granos almacenados. Es la impureza más considerada en el gas, en cuanto a purificación se trata. Es la que se encuentra en mayor proporción en gas.

(CGA, 2004)

TABLA 2.3

CONSTANTES FÍSICAS DE LA FOSFINA

Nombre	Fosfamina
Formula química	PH_3
Peso molecular (kg/kgmol)	33,998
Densidad (kg/m^3)	1,405
Gravedad específica	1,184
Punto de ebullición ($^{\circ}\text{C}$)	-87,72
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	-133
Solubilidad en agua v/v	0,26
TLB (concentración máxima permitida) (ppm)	7

Temperatura: $(21,1 \pm 0,1)$ $^{\circ}\text{C}$

Presión: $(1,0 \pm 0,1)$ atm

Fuente: CGA (2004)



- **Sulfuro de hidrógeno**

El ácido sulfhídrico acuoso es un ácido inorgánico formado por la disolución y disociación en agua del sulfuro de hidrógeno. Se le llama ácido sulfhídrico cuando se halla disuelto en agua. Con bases fuertes forma sales conocidos como sulfuros. En estado gaseoso se le conoce con el nombre de sulfuro de hidrógeno. Es una impureza contenida en el acetileno pero en menor proporción.

(CGA, 2004)

TABLA 2.4

CONSTANTES FÍSICAS DEL SULFURO DE HIDRÓGENO

Nombre	Sulfuro de hidrógeno
Formula química	H ₂ S
Peso molecular (kg/kgmol)	34,066
Gravedad específica	1,189
Punto de ebullición(°C)	-60,3
Punto de fusión (°C)	-82,88
Solubilidad en agua (kg/m ³)	38
TLV (concentración máxima permitida)	10

Temperatura: (15,0 ± 0,1) °C

Presión: (1,0 ± 0,1) atm

Fuente: CGA (2004)

2.2.3 Tubos colorimétricos

Un tubo colorimétrico es un vial que contiene una preparación química que reacciona con la sustancia a medir cambiando de color (ver figura 2.6). La mayoría de los tubos colorimétricos están graduados, de tal manera que la longitud de la mancha indica la concentración de la sustancia medida.



Figura 2.6 Tubos colorimétricos para medición de gases.

La escala, para facilitar la interpretación de los resultados, viene graduada en ppm o en porcentaje en volumen, dependiendo de la sustancia de que se trate, en algunos casos, la interpretación cuantitativa de los resultados se hace por comparación de colores.

Al venir indicada la escala en los tubos no es necesaria la calibración previa de los mismos por parte del usuario. Sí es importante conocer que los tubos, aunque vienen cerrados por ambos extremos y deben conservarse en lugar refrigerado, tienen fecha de caducidad, por lo que deberán consultarse las indicaciones del fabricante al respecto, la lectura del tubo debe hacerse inmediatamente después de terminar el muestreo, ya que la coloración y extensión de la mancha pueden variar con el tiempo, los tubos son de un solo uso.

La mayoría de las reacciones utilizadas en los tubos colorimétricos no son selectivas en el estricto sentido de la palabra, ya que con frecuencia no distinguen entre compuestos similares. El fabricante indica en el manual de utilización los compuestos que constituyen interferencias en la determinación tanto cualitativa como cuantitativa.

El usuario de tubos debe tener siempre presentes la presión y la temperatura en el lugar y momento del muestreo y hacer las correcciones oportunas, siguiendo las

instrucciones del fabricante (ver la sección de anexos), ya que la lectura puede variar si las condiciones a las que han sido calibrados los tubos es sensiblemente diferente.

Existen dos tipos de tubos colorimétricos: los de corta y los de larga duración. En los de corta duración, el método de medida consiste en hacer pasar el aire que contiene el contaminante a través del tubo mediante una bomba mecánica de plástico conocida como fuelle (ver figura 2.7) con un recorrido constante de 100 cm^3 de aire por embolada. El número de éstas es el recomendado por el fabricante.

En algunos casos es posible utilizar distintos números de emboladas, teniendo en cuenta que entonces la escala graduada del tubo debería corregirse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.



Figura 2.7 Bomba manual para tubos colorimétricos.

El tiempo necesario para el muestreo está comprendido entre 10 segundos y 15 minutos, dependiendo del número de emboladas necesarias, por lo que estos tubos de corta duración están recomendados para:

- Estimar la concentración puntual del contaminante en el aire, para compararla con un valor límite de corta duración o con un valor techo.
- Calcular la concentración del contaminante cerca de la fuente de emisión.
- Calcular la variación de la concentración de un contaminante en el espacio o en el tiempo.



- Detectar fugas.
- Conocer la presencia del contaminante en espacios cerrados, como por ejemplo un tanque.
- Emisiones de corta duración.
- Determinación de concentraciones pico.

Estos tubos están calibrados junto con la bomba recomendada por el fabricante, por lo que no es recomendable utilizarlos con otra bomba distinta aunque suministre el mismo volumen de aire, ya que podría afectarse el perfil o la longitud de la mancha.

Los tubos colorimétricos de larga duración proporcionan una medida integrada que representa la concentración media del contaminante durante el período de muestreo. La duración del muestreo con este tipo de tubos está comprendida entre 1 y 8 horas, por lo que se utilizan para:

- Estimar la concentración promedio del contaminante en el aire, para compararla con un valor límite de larga duración.

Dentro de los tubos de larga duración existen dos tipos distintos:

- Aquéllos en los que se hace pasar el aire a través del tubo mediante una bomba peristáltica o similar, a un caudal de $15 \text{ cm}^3/\text{min}$
- Los que miden la concentración del contaminante basados en la difusión del aire y, por tanto, no necesitan bomba.

La principal ventaja de la utilización de los tubos colorimétricos es su rapidez de respuesta, ya que no es necesario un análisis posterior y, por consiguiente, están particularmente indicados en aquellos casos en los que se precisa conocer con rapidez la presencia de un compuesto que puede ocasionar daños agudos.

(Dräger, 2000)



2.2.3 Adsorción

Es un proceso de separación en la que los componentes de una fase fluida se transfieren hacia la superficie de un sólido adsorbente. Generalmente las partículas de las partículas de adsorbente se mantienen en un lecho fijo mientras que el fluido pasa continuamente a través del lecho hasta que el sólido está prácticamente saturado y no es posible alcanzar ya la separación deseada. Se desvía entonces un flujo hacia otro lecho hasta que el adsorbente saturado es sustituido o regenerado, el fluido acumulado en el adsorbente luego de ser cargado en el lecho se le denomina adsorbato; el proceso inverso es llamado desorción.

(Perry,1992)

2.2.4 Absorción

Es una operación unitaria en la cual un componente soluble de una mezcla gaseosa se disuelve en un líquido. La operación inversa, llamada despojo o desorción, se emplea cuando se desea transferir un componente volátil desde una mezcla líquida hasta un gas.

(Perry,1992)

2.2.4.1 Reglas de las fases y equilibrio

Para predecir la concentración de un soluto en dos fases en equilibrio, se requieren datos de equilibrio experimentales. Además, si las dos fases no están en equilibrio, la velocidad de transferencia de masa es proporcional a la fuerza impulsora, que es la desviación con respecto al equilibrio. Las variables importantes que afectan al equilibrio de un soluto son temperatura, presión y concentración.

El equilibrio entre dos fases en cualquier caso, está restringido por la regla de las fases:

$$F = C - P + 2 \quad (2.3)$$



De donde:

F = número de variantes o grados de libertad del sistema.

C = número de componentes totales en las dos fases.

P = número de fases en equilibrio.

(Perry,1992)

2.2.4.2 Solubilidad de gases en líquidos en el equilibrio:

- **Sistemas de dos componentes**

Si cierta cantidad de un gas simple y un líquido relativamente no volátil se llevan al equilibrio la concentración resultante del gas disuelto en el líquido recibe el nombre de solubilidad del gas a la temperatura y presión predominantes.

A una temperatura dada, la solubilidad aumentará con la presión La solubilidad de cualquier gas depende de la temperatura, y depende en la forma descrita por la ley de Van't Hoff para el equilibrio móvil:

“Si se aumenta la temperatura de un sistema en equilibrio, ocurrirá un cambio durante el cual se absorberá calor”.

(Perry,1992)

- **Sistemas de multicomponentes**

Si una mezcla de gases se pone en contacto con un líquido, la solubilidad en el equilibrio de cada gas será, en ciertas condiciones, independiente de la de los demás, siempre y cuando el equilibrio se describa en función de las presiones parciales en la mezcla gaseosa. Si todos los componentes del gas, excepto uno, son básicamente insolubles, sus concentraciones en el líquido serán tan pequeñas que no podrán



modificar la solubilidad del componente relativamente soluble; entonces se puede aplicar la generalización Si varios componentes de la mezcla son apreciablemente solubles, la generalización será aplicable únicamente si los gases que se van a disolver son indiferentes ante la naturaleza del líquido; esto sucederá en el caso de las soluciones ideales.

(Perry,1992)

2.2.4.3 Elección del disolvente para la absorción

Si el propósito principal de la operación de absorción es producir una solución específica, el disolvente es especificado por la naturaleza del producto. Si el propósito principal es eliminar algún componente del gas, casi siempre existe la posibilidad de elección. Por supuesto, el agua es el disolvente más barato y más completo, pero debe darse considerable importancia a las siguientes propiedades:

(Perry,1992)

- **Solubilidad del gas**

La solubilidad del gas debe ser elevada, a fin de aumentar la rapidez de la absorción y disminuir la cantidad requerida de disolvente. En general, los disolventes de naturaleza química similar a la del soluto que se va a absorber proporcionan una buena solubilidad. Para los casos en que son ideales las soluciones formadas, la solubilidad del gas es la misma, en fracciones mol, para todos los disolventes. Sin embargo, es mayor, en fracciones peso, para los disolventes de bajo peso molecular y deben utilizarse pesos menores de estos disolventes. Con frecuencia, la reacción química del disolvente con el soluto produce una solubilidad elevada del gas; empero, si se quiere recuperar el disolvente para volverlo a utilizar, la reacción debe ser reversible.

(Perry,1992)



- **Volatilidad**

El disolvente debe tener una presión baja de vapor, puesto que el gas saliente en una operación de absorción generalmente está saturado con el disolvente y en consecuencia, puede perderse una gran cantidad. Si es necesario, puede utilizarse un líquido menos volátil para recuperar la parte evaporada del primer disolvente.

(Perry,1992)

- **Corrosión**

Los materiales de construcción que se necesitan para el equipo no deben ser raros o costosos.

(Perry,1992)

- **Costo**

El disolvente debe ser barato, de forma que las pérdidas no sean costosas, y debe obtenerse fácilmente.

(Perry,1992)

- **Viscosidad**

Se prefiere la viscosidad baja debido a la rapidez en la absorción, mejores características en la inundación de las torres de absorción, bajas caídas de presión en el bombeo y buenas características de transferencia de calor.

(Perry,1992)

- **Misceláneos**

Si es posible, el disolvente no debe ser tóxico, ni inflamable, debe ser estable químicamente y tener un punto bajo de congelamiento.



2.2.4.4 Torres empacadas

Las torres empacadas utilizadas para el contacto continuo del líquido y del gas tanto en el flujo a contracorriente como a corriente paralela, son columnas verticales que se han llenado con empaque o con dispositivos de superficie grande. El líquido se distribuye sobre éstos y escurre hacia abajo, a través del lecho empacado, de tal forma que expone una gran superficie al contacto con el gas.

(Perry,1992)

2.2.4.5 Empaque

El empaque de la torre debe ofrecer las siguientes características:

- Proporcionar una superficie interfacial grande entre el líquido y el gas. La superficie del empaque por unidad de volumen de espacio empacado debe ser grande, pero no en el sentido microscópico
- Poseer las características deseables del flujo de fluidos. Esto generalmente significa que el volumen fraccionario vacío, o fracción de espacio vacío, en el lecho empacado debe ser grande. El empaque debe permitir el paso de grandes volúmenes de fluido a través de pequeñas secciones transversales de la torre, sin recargo o inundación; debe ser baja la caída de presión del gas.
- Ser químicamente inerte con respecto a los fluidos que se están procesando.
- Ser estructuralmente fuerte para permitir el fácil manejo y la instalación.
- Tener bajo precio.

(Perry,1992)

- **Empaques al azar**

Los empaques al azar son aquellos que simplemente se arrojan en la torre durante la instalación y que se dejan caer en forma aleatoria (ver figura 2.8). En el pasado se utilizaron materiales fácilmente obtenibles. Por ejemplo: piedras rotas, grava o pedazos de coque; empero. Estos materiales resultan baratos, no son adecuados debido a la pequeña superficie y las malas características con respecto al flujo de fluidos. Entre los diferentes rellenos para las torres de absorción tenemos:



Figura 2.8. Rellenos para torres de absorción.

- Los anillos de Rasching son cilindros huecos, cuyo diámetro va de 6 a 100 mm o más. Pueden fabricarse de porcelana industrial, que es útil para poner en contacto a la mayoría de los líquidos, con excepción de álcalis y ácido fluorhídrico; de carbón que es útil, excepto en atmósferas altamente oxidantes; de metales o de plásticos.
- Los plásticos deben escogerse con especial cuidado, puesto que se pueden deteriorar rápidamente y con temperaturas apenas elevadas, con ciertos solventes orgánicos y con gases que contienen oxígeno.
- Los empaques de hojas delgadas de metal y de plástico ofrecen la ventaja de ser ligeros, pero al fijar los límites de carga se debe prever que la torre puede llenarse inadvertidamente con líquido.
- Los anillos de Lessing y otros con particiones internas se utilizan con menos frecuencia.



- Los empaques con forma de silla de montar, los de Berl e Intalox y sus variaciones se pueden conseguir en tamaños de 6 a 75 mm; se fabrican de porcelanas químicas o plásticos.
- Los anillos de Pall, también conocidos como Flexirings, anillos de cascada y, como una variación, los Hy-Pak, se pueden obtener de metal y de plástico.

Generalmente, los tamaños más pequeños de empaques al azar ofrecen superficies específicas mayores y mayores caídas de presión, pero los tamaños mayores cuestan menos por unidad de volumen. A manera de orientación general: los tamaños de empaque de 25 mm o mayores se utilizan generalmente para un flujo de gas de 0,25 m³/s, 50 mm o mayores para un flujo del gas de 1 m³/s.

Durante la instalación, los empaques se vierten en la torre, de forma que caigan aleatoriamente; con el fin de prevenir la ruptura de empaques de cerámica o carbón, la torre puede llenarse inicialmente con agua para reducir la velocidad de caída.

(Perry,1992)

- **Empaques regulares**

Los empaques regulares ofrecen las ventajas de una menor caída de presión para el gas y un flujo mayor.

Generalmente a expensas de una instalación más costosa que la necesaria para los empaques aleatorios.

- Los anillos hacinados de Rasching son económicos solo en tamaños muy grandes. Hay varias modificaciones de los empaques metálicos expandidos.
- Las rejillas o “vallas” de madera no son caras y se utilizan con frecuencia cuando se requieren volúmenes vacíos grandes; como en los gases que llevan consigo el alquitrán de los hornos de coque, o los líquidos que tienen partículas sólidas en suspensión.



- La malla de lana de alambre tejida o de otro tipo, enrollada en un cilindro como si fuese tela (Neo-Kloss), u otros arreglos de gasa metálica (Koch-Sulzer, Hyperfil y Goodloe) proporcionan una superficie interfacial grande de líquido y gas contacto y una caída de presión muy pequeña; son especialmente útiles en la destilación al vacío.

(Perry,1992)

2.2.4.5 Soportes de empaques

Es necesario un espacio abierto en el fondo de la torre, para asegurar la buena distribución del gas en el empaque.

En consecuencia, el empaque debe quedar soportado sobre el espacio abierto, el soporte debe ser lo suficientemente fuerte para sostener el peso de una altura razonable de empaque; debe tener un área libre suficientemente amplia para permitir el flujo del líquido y del gas con un mínimo de restricción.

Se prefieren los soportes especialmente diseñados que proporcionan paso separado para el gas y el líquido.

Puede fabricarse en diferentes modificaciones y diferentes materiales, inclusive en metales, metales expandidos, cerámica y plásticos.

(Perry,1992)

2.2.4.6 Cuerpo de la torre

Esta puede ser de madera, metal, porcelana química, ladrillo a prueba de ácidos, vidrio, plástico, metal cubierto de plástico o vidrio, u otro material, según las condiciones de corrosión. Para facilitar su construcción y aumentar su resistencia, generalmente son circulares en la sección transversal.

(Perry,1992)

2.2.5 Absorción atómica

La espectroscopia de absorción atómica (a menudo llamada AA) es un método que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga. La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra. La excitación de los átomos del analito es hecha por el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

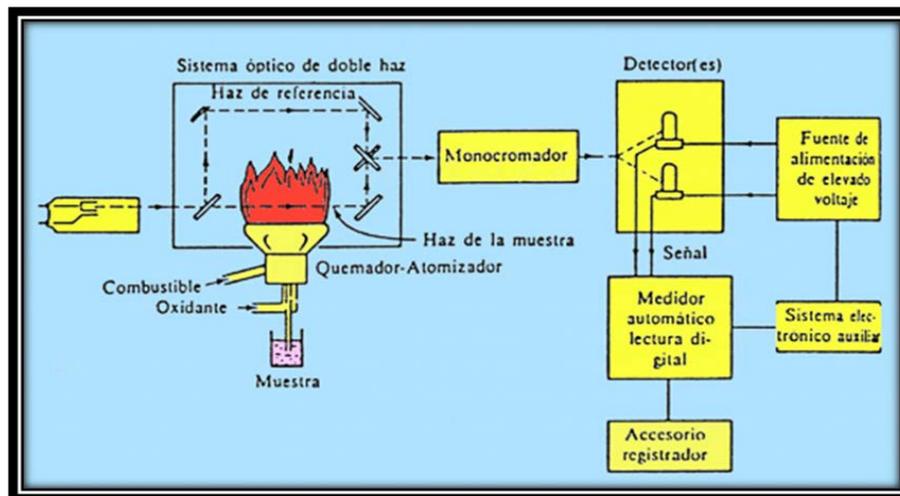


Figura 2.9 Principio de la absorción atómica. Fuente: Skoot and West (1998)

En la AA, la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito en la muestra. Una mufla de grafito para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla se utiliza comúnmente hoy día para aumentar la sensibilidad.



TABLA 2.5

TIPOS DE LLAMA PARA LOS EQUIPOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Combustible	Oxidante	Temperatura	Velocidad de Combustión
Gas LP	Aire	1700-1900	39-43
Gas LP	Oxígeno	2700-2800	370-390
Hidrógeno	Aire	2000-2100	300-440
Hidrógeno	Oxígeno	2550-2700	900-1400
Acetileno	Aire	2100-2400	158-266
Acetileno	Oxígeno	3050-3150	1100-2480
Acetileno	Óxido nitroso	2600-2800	285

Fuente: (Skoot and West, 1998)

El método del horno de grafito puede también analizar algunas muestras sólidas o semisólidas. Debido a su buena sensibilidad y selectividad, sigue siendo un método de análisis comúnmente usado para ciertos elementos traza en muestras acuosas y otros líquidos.

(Skoot and West, 1998)

2.2.6 Flujo de caja

Balance de entradas-salidas monetarias, válido para proyectos o líneas productivas instaladas del horizonte económico escogido. Comúnmente se utiliza base anual.

(Giugni, 2001)

2.2.6.1 Ingresos (Entradas)

- Ventas
- Servicios



(Giugni, 2001)

2.2.6.2 Egresos (Salidas)

- Inversión de capital
- Costos operacionales
- Deuda
- Impuesto

(Giugni, 2001)

2.2.7 Ingresos:

2.2.7.1 Ventas: $\sum (\text{Precio} \times \text{Volumen})$ (2.4)

2.2.7.2 Servicios

Tarifas varias, básicamente dependientes de duración y catalogación.

(Giugni, 2001)

2.2.8 Egresos:

2.2.8.1. Inversión de Capital

Dinero requerido para financiar construcción, puesta en operación y estabilización de cualquier proyecto o línea de producción. La inversión representa el costo con mayor peso específico dentro de los egresos, por lo cual su estimación debe ser confiable para poder tomar decisiones.

- **Factores incidentes sobre la Inversión de Capital**
- Proveedores de equipos
- Fluctuación costos de materias primas
- Políticas internas



- Ratas de producción
- Políticas gubernamentales

(Giugni, 2001)

2.2.8.2 Costos operacionales:

- **Costos adquisición de equipos**

Data histórica disponible debe ser ajustada por tiempo/capacidad

- **Índices de costos**

Ajusta costos en el tiempo de acuerdo a índices promedios reales.

$$\text{Costo}_{\text{ACTUAL}} = \text{Costo}_{\text{PASADO}} \times \left(\frac{\text{Índice}_{\text{ACTUAL}}}{\text{Índice}_{\text{PASADO}}} \right)$$

(2.5)

- **Escalamiento de costos**

Ajusta costos por capacidad, de acuerdo a exponentes promedios. Los exponentes están disponibles para diversos equipos/servicios.

$$\text{Costo}_{\text{REQUERIDO}} = \text{Costo}_{\text{CONOCIDO}} \times \left(\frac{\text{Capacidad}_{\text{REQUERIDA}}}{\text{Capacidad}_{\text{CONOCIDA}}} \right)^n$$

(2.6)

- **Costos instalación de equipos**

Según Lang (1948) conocido el costo del equipo, es posible estimar el costo de instalación mediante ajustes por factores (ver tabla 2.6).

$$\text{Costo}_{\text{INSTALADO}} = \text{Costo}_{\text{ADQUISICION}} * f$$

(2.7)

- **Costos de terreno**

Valor del terreno, impuestos municipales.

TABLA 2.6
COSTO DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Tipo de Planta	Factor (<i>f</i>)
Procesos sólidos	3.9
Procesos sólidos/fluidos	4.1
Procesos fluidos	4.8

Fuente: **Giugni (2001)**

En el caso de no aceptarse estos factores, un rango entre 35%-45% costo de equipos adquiridos se puede utilizar en procesos sólido-líquidos

- **Costo de edificaciones**

Compra/construcción de área apta (m² cubiertos), en relación al costo de equipos adquiridos.

TABLA 2.7
COSTO DE EDIFICACIONES

Tipo Proceso	Edif. Nueva	Edif. Existente
Sólido	68%	25%
Sólido y Fluido	47%	29%
Fluido	45%	18%

Fuente: **Giugni (2001)**

- **Costo instrumentación y control**



Tradicionalmente costo de equipos principales incluyen instrumentación. De no estar incluido, procesos sólidos-líquidos consideran este renglon como 13% aprox. del costo del equipo adquirido (relacionado).

- **Costo servicios industriales**

Infraestructura total para servicios (aire, vapor, agua potable, etc.). Procesos sólidos-fluido consideran 55% del costo total de los equipos adquiridos como reserva a este ítem.

- **Costos de tuberías**

Contempla materiales/labor proporcional al costo de los equipos adquiridos. Si es requerido aislamiento, debe considerarse entre 15%-25% del costo de tubería calculado.

TABLA 2.8
COSTO DE TUBERIAS

Tipo Proceso	%
Sólido	16
Sólido y Fluido	31
Fluido	66

Fuente: **Giugni (2001)**

- **Costos equipos eléctricos**

Contempla suministro eléctrico, alumbrado, transformación. Se estima entre 10%-15% de costo equipos adquiridos.

- **Costos estudios y proyectos**

Consideran aproximadamente 35% costo equipos adquiridos.



- **Costos supervisión y entrenamiento**

Consideran entre 2%-7% costos equipos adquiridos.

- **Arranque, pruebas y contingencia**

Consideran entre 8%-10% costos capital fijo.

- **Costos inventario materias primas**

Aseguramiento de insumos para operación; cálculos basados en rata de consumo, valor, proveedores y almacenaje. Valoración al costo de adquisición en planta.

- **Costos inventario productos**

Disponibilidad de productos para cumplir compromisos de venta; cálculos basados en naturaleza del producto, naturaleza del mercado, valor y almacenaje. Valoración al costo de manufactura.

- **Salarios**

Dinero disponible para cubrir gastos de personal. Mínimo 2 meses.

- **Efectivo en caja**

Dinero equivalente a 1-2 meses gastos de manufactura, para imprevistos.

- **Costos de Producción**

Costos incurridos durante los procesos de manufactura y colocación de productos en los mercados. Son considerados para cada fracción del horizonte económico.

Donde:

- **Costos Manufactura**



Todos los costos involucrados en la operación de las plantas productoras y servicios directos a las líneas de producción.

- **Gastos Generales**

Todos los costos involucrados en las actividades periféricas no medulares de la producción, pero necesarias para garantizar la supervivencia del negocio.

(Giugni, 2001)

2.2.8.3 Deuda

Se basa en la inversión que se realiza para llevar a cabo un proyecto.

(Giugni, 2001)

2.2.8.4 Impuesto

Son las tasas impositivas que se cancelan al estado por las transacciones comerciales.

(Giugni, 2001)

2.2.9 Capital Fijo

Dinero necesario para el acondicionamiento del sistema productivo, desde la adquisición de terrenos hasta los gastos de arranque y puesta en marcha de tal sistema. Incluye elementos tangibles e intangibles, necesaria su discriminación para determinar su posible depreciación.

(Giugni, 2001)

2.2.10 Capital de Trabajo



Dinero necesario para iniciar operaciones y cumplir con compromisos establecidos. Su magnitud depende de la catalogación de la línea productiva. A continuación elementos típicos del Capital de Trabajo

- Inventario de materias primas y otros insumos
- Inventario de productos
- Inventario de repuestos
- Salarios
- Cuentas por pagar
- Efectivo en caja

(Giugni, 2001)

2.2.11 Medidores de Rentabilidad

Figuras financieras que comparan la globalidad de los flujos de caja con la alternativa de un “*mejor negocio*”, a través de una Tasa de Rendimiento Alternativo (i).

2.2.11.1 Valor Presente Neto (VPN)

$$\text{VPN}_i = \sum_{x=0}^n F_x(1+i)^{-x}$$

(2.8)

Si $\text{VPN}_i \geq 0 \rightarrow$ Proyecto viable

(Giugni, 2001)

2.2.11.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$0 = \sum_{x=0}^n F_x(1+\text{TIR})^{-x}$$

(2.9)



$x=0$

Si $TIR \geq i \rightarrow$ Proyecto viable

(Giugni, 2001)



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

A continuación se describe el tipo de investigación a ser desarrollada y se presentan de forma ordenada las estrategias metodológicas que permiten clasificar, comprender y organizar la información necesaria para el logro de cada uno de los objetivos planteados.

Según los objetivos planteados, la estrategia metodológica es de campo ya que en el transcurso de la investigación se recolectan datos de la realidad y desde el punto de vista de nivel de profundidad la investigación se puede clasificar como investigación evaluativa ya que se miden efectos de comparación con las metas que se proponen alcanzar, este tipo de investigación contribuye a la toma de decisiones y esta orientada a describir y a comprender las relaciones existentes en las variables, los cuales son analizados bajo ciertos criterios.

Para el desarrollo sistemático de la investigación, se plantean las siguientes fases:

- Caracterización del proceso de obtención del acetileno.
- Identificación de la tecnología más adecuada.
- Selección de la tecnología más adecuada.
- Desarrollo del sistema de purificación de acetileno.
- Evaluación de la factibilidad económica del sistema de purificación del acetileno.

Para el logro de los objetivos propuestos, se presentan a continuación una serie de pasos que describen la metodología a emplearla:

3.1 Caracterizar el proceso de obtención de acetileno en la planta, con la finalidad de conocer las variables involucradas en la purificación del gas.

Para la caracterización del proceso de obtención de acetileno se realizó un estudio detallado de cada una de las variables involucradas en el sistema de purificación actual en la planta, y en función de ello se identificaron los puntos de interés a tratar, para poder definir el campo de trabajo.

Actualmente en Oxicar se produce acetileno para los sectores metalmecánica y metalúrgica para las aplicaciones de corte y soldadura. El sistema de purificación actual consta de una caja rectangular que tiene como adsorbente tierra diatomacea donde entra el gas que viene del gasómetro, cuando la sustancia depurante pierde su color amarillo oscuro para tomar una coloración blanca, significa que esta perdiendo su poder depurante, con exposición al aire la sustancia vuelve a tomar su color amarillo oscuro y su poder adsorbente.

Se realizó una toma de muestras en los cilindros (ver figura 3.1) justo cuando se estaba arrancando la planta donde la tierra estaba en sus mejores condiciones para la adsorción, los datos experimentales se encuentran reportados en la tabla 3.1, luego se cuantifico el mismo muestreo reportados en la tabla 3.2 usando tubos colorimétricos de mayor rango. En la tabla 3.3 se evaluaron las condiciones del gas a la salida del reactor.



Figura 3.1. Caracterización de un cilindro de acetileno estándar.

TABLA 3.1
CARACTERIZACIÓN DE CILINDROS DE ACETILENO

Cilindros	Arsina (AsH ₃) (ppm)	Fosfina (PH ₃) (ppm)	Nitrato de plata (AgNO ₃)	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) (ppm)	Presión de salida en el cilindro (psig)
Serial N°:10587	> 3	>4	+	1	5
Serial N°:10497	> 3	>4	+	1	5
Serial N°:10584	> 3	>4	+	1	5
Serial N°: 4946	> 3	>4	+	1	5

Temperatura ambiente: (30,5 ± 0,1) °C

Presión ambiente: (0,98 ± 0,01) atm.

TABLA 3.2
CARACTERIZACIÓN DE CILINDROS DE ACETILENO

Cilindros	Arsina (AsH ₃) (ppm)	Fosfina (PH ₃) (ppm)	Nitrato de plata (AgNO ₃)	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) (ppm)	Presión de salida en el cilindro (psig)
Serial N°:10587	> 3	>20	+	1	5
Serial N°:10497	> 3	>30	+	1	5
Serial N°:10584	> 3	>30	+	1	5
Serial N°: 4946	> 3	>20	+	1	5

Temperatura ambiente: (30,0 ± 0,1) °C

Presión ambiente: (0,96 ± 0,01) atm.

TABLA 3.3
CARACTERIZACIÓN DEL ACETILENO EN LA ENTRADA DEL EQUIPO DE PURIFICACIÓN EN LA PLANTA OXICAR-VALENCIA

Presión (psig)	Temperatura (°C)	Arsina (AsH ₃) (ppm)	Fosfina (PH ₃) (ppm)	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) (ppm)	Nitrato de plata (AgNO ₃)
15	30	<0,5	30	<2	+

Temperatura ambiente: (30,5 ± 0,1) °C

Presión ambiente: (0,96 ± 0,01) atm.

Para la realización de las pruebas se utilizó los siguientes instrumentos y equipos:

- 4 cilindros de acetileno.
- 1 regulador simple para acetileno marca CONCOA, conector CGA 300.
- 1 termómetro ambiental marca Templec.
- Tubos colorimétricos marca Dräger para arsina y fosfina.
- 1 Bomba manual.
- Solución de Nitrato de plata.
- Papel absorbente.

Se seleccionarán cuatro cilindros al azar y se les ensayaron análisis de impurezas tales como arsina, fosfina y sulfuro de hidrógeno con el objeto de cuantificar y conocer dichas concentraciones, además se reforzó con una prueba cualitativa que consiste en hacer pasar el gas a través de un papel de filtro impregnado con nitrato de plata al 5%.

Las mediciones de impurezas se hicieron con tubos colorimétricos para medición de impurezas en gases cuya prueba consiste en una reacción de la impureza con una sal contenida en el tubo dando como señal una coloración específica para cada especie.



3.2 Identificar las diferentes tecnologías de purificación de acetileno, con el fin de conocer las diferentes opciones tecnológicas de purificación.

Existen tres métodos principales para la purificación de acetileno, los cuales consisten en adsorción por tierra diatomácea, absorción utilizando ácido sulfúrico como absorbente en un sistema con una sola columna de absorción y en otro sistema con tres columnas de absorción, cada uno de estos procesos están basados en principios diferentes y se describen de una forma más detallada a continuación.

3.2.1 Adsorción por tierra diatomácea.

Para la adsorción de gases se han descubierto sustancias sólidas de naturaleza esencial porosa, cada una de ellas con una afinidad marcada para la adsorción de ciertos gases, para utilizarlas industrialmente en la recuperación de disolventes, en el fraccionamiento de mezclas gaseosas y en otras aplicaciones, entre los materiales comerciales se encuentran arcillas, carbones vegetales, carbones activados, gelatinas, alúmina y silicatos.

La mayoría de estos muestran una preferencia selectiva para la adsorción de gases. Son más o menos granulados y se ponen en capas o columnas de espesor adecuado, a través de los cuales pasa el gas del cual hay que adsorber el gas en cuestión, puesto que puede lograrse la adsorción prácticamente completa, aun con un contenido de gas muy bajo el procedimiento se presta fácilmente para las operaciones de recuperación.

El soporte de tierra diatomácea fue el primero en utilizarse y todavía se sigue usando al transcurrir de los años, la tierra diatomácea consiste en el esqueleto de un alga donde existe una célula simple llamada diatomea, el esqueleto de estas algas estaba formado por paredes porosas de aproximadamente 1μ de diámetro.

Los poros se convirtieron en estructuras las cuales dan origen a un poro mucho mas pequeño para finalmente actuar como filtros (ver figura 3.2), la estructura de estos poros es responsable por un área de aproximadamente $20 \text{ m}^2/\text{g}$.

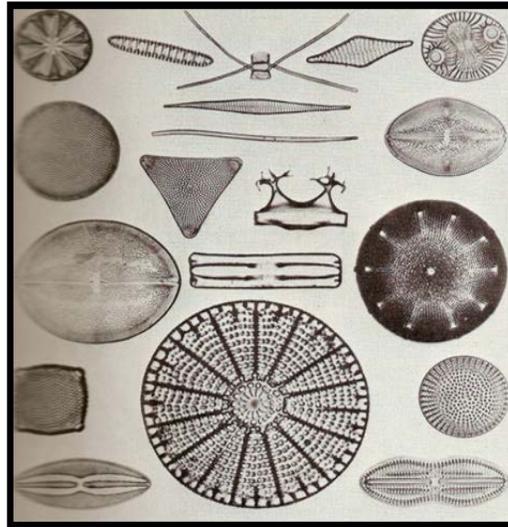


Figura 3.2. Vista microscópica de algas diatomasea.

Para eliminar las impurezas remanentes en el acetileno se utiliza una sustancia adsorbente, que tiene una apariencia amarilla conocida como tierra diatomasea a través de la cual se hace pasar el gas mejor conocida como tierra diatomasea. Estas impurezas son fijadas en la tierra impregnándolas, cuando la sustancia depurante pierde el color amarillo oscuro para tomar una coloración blanca significa que esta perdiendo su poder adsorbente.

Cuando se quita la tapa del contenedor del depurante (ver figura 3.3 y 3.4) para permitir que ventile libremente por varias horas, en esta etapa solo se libera acetileno y humedad al ambiente, con esta exposición al aire la sustancia vuelve a tomar su coloración amarilla oscuro y su poder adsorbente, esta regeneración se puede hacer solo tres veces, sustituyendo en cada ocasión la cuarta parte de la sustancia

regenerada por sustancia nueva se debe purgar con nitrógeno para arrastrar el acetileno al ambiente evitando con esto que se formen mezclas explosivas.



Figura 3.3. Equipo de purificación de la planta de acetileno Oxicar-Valencia.

Durante esta regeneración solamente se libera acetileno y humedad, el acetileno liberado puede ser tolerado en el ambiente hasta un contenido del 5% durante una hora sin que ocasione ningún daño, este gas a concentraciones mayores del 5% es utilizado como anestésico.

3.2.2 Absorción con una sola torre de ácido sulfúrico.

La absorción de gases es una operación en la cual la mezcla gaseosa se pone en contacto con un líquido, a fin de disolver de manera selectiva uno o más componentes del gas y de obtener una solución de estos en el líquido.

El sistema consiste en la dosificación del ácido sulfúrico en la torre, donde se pone en contacto con el acetileno. Las impurezas contenidas en el gas son arrastradas por el líquido lo que hace que el acetileno que entra a la torre salga con un grado mayor de pureza que al inicio del proceso.



El diseño es una torre vertical empacada donde ocurre una operación unitaria conocida como absorción, en este sistema no hay recuperación del ácido que sale contaminado de la torre. (ver figura 3.5 y 3.6)

Tiene como ventaja que no requiere de mucho espacio para su implementación.



Figura 3.5. Absorción con una torre de ácido sulfúrico.

3.2.3 Absorción con tres torres de ácido sulfúrico.

Consiste en tres torres verticales empacadas que utilizan el ácido sulfúrico como absorbente, el cual arrastra las impurezas contenidas en el acetileno.

Al final del proceso existe una torre de hidróxido de sodio que actúa como neutralizante. Posee un sistema de enfriamiento para retirar el calor producido con el contacto continuo del gas con el líquido.



Requiere de mayor espacio físico para su aplicación debido a la cantidad de equipos que conforman el sistema (ver figura 3.7 y 3.8).

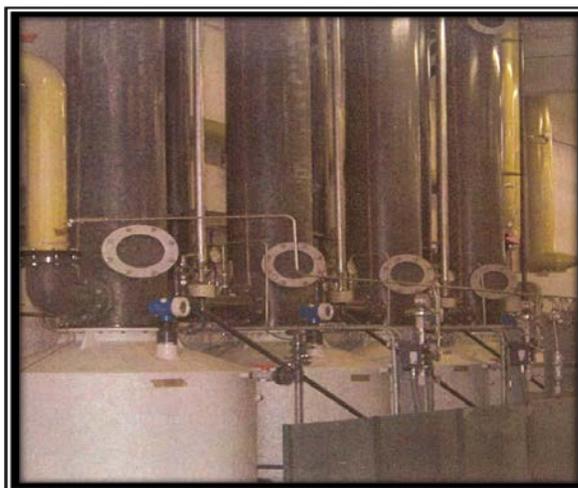


Figura 3.7. Absorción con tres torres de ácido sulfúrico.

El principio de este sistema es parecido al anterior. En este proceso no existe el diseño de dosificación de ácido sulfúrico. El objetivo principal es la recuperación del ácido utilizado durante el proceso.

3.3 Seleccionar la tecnología más adecuada a ser aplicada en el proceso de obtención de acetileno, con la finalidad de obtener acetileno grado absorción atómica.

Se realizó mediante la búsqueda de las tecnologías disponibles y factibles en el mercado que pudieran ser adecuadas al proceso, mediante visitas a las bibliotecas del IVIC, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, entrevistas con personal especializado como Tecno-proyect en Italia a través del uso de Internet, entre otros.



Se realizó una matriz de selección (ver figura 3.5) es un cuadro comparativo que permite seleccionar por medio de valoraciones (ver figura 3.4), los criterios más importantes, entre ellos: costo, disponibilidad y espacio físico (ver figura 3.3).

3.3.1 Costo: se puede decir que es el criterio más importante en la selección de la tecnología porque este factor debe considerarse para la rentabilidad del proyecto.

3.3.2 Disponibilidad: es la capacidad de obtención de la tecnología, las cuales se deben adquirir en moneda extranjera por ser importadas.

3.3.3 Espacio físico: es aquel ocupado por los equipos que conforman las diferentes tecnologías, el cual está limitado por la planta ya existente, estos deben de ser colocados en la planta de acetileno dentro del área ya establecida con el fin de controlar las variables involucradas en el proceso como temperaturas, presión.

TABLA 3.4
CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS QUE PUEDEN SER EMPLEADAS EN LA PURIFICACIÓN DEL ACETILENO

Tecnologías	Aspectos		
	Costo	Disponibilidad	Espacio físico
Tierra diatomasea	Alto	Largo plazo	Grande
Una sola torre de absorción de ácido sulfúrico	Alto	Largo plazo	Pequeño
Tres torres de absorción de ácido sulfúrico	Alto	Largo plazo	Grande



Posteriormente se procede a realizar una matriz de valoración asignando valores en un rango de (1-5) a los diferentes criterios según el orden de importancia:

TABLA 3.5
MATRIZ DE VALORACIÓN DE TECNOLOGÍAS

Aspectos	Tecnologías		
	Tierra diatomasea	Una sola torre de absorción de ácido sulfúrico	Tres torres de absorción de ácido sulfúrico
Costo	2	4	1
Disponibilidad	5	4	3
Espacio físico	5	5	2

Donde:

1= Muy desfavorable

2= Desfavorable

3= Moderadamente favorable

4= Favorable

5= Muy favorable

Finalmente la matriz de selección de tecnologías la cual nos indicara el sistema de purificación adecuado para su aplicación en base a las exigencias

TABLA 3.6
MATRIZ DE SELECCIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS

Aspectos	Porcentaje %	Tecnologías		
		Tierra diatomasea	Una sola torre de absorción de ácido sulfúrico	Tres torres de absorción de ácido sulfúrico
Costo	60	1,2	2,4	0,6
Disponibilidad	10	0,5	0,4	0,3
Espacio físico	30	1,5	1,5	0,6
Total	100	3,2	4,3	1,5

3.4 Diseñar el proceso de purificación de acetileno seleccionado, con el fin de mejorarlo.

La metodología de este objetivo se basa en la recopilación de información, definición de las variables, montaje y puesta en marcha de un sistema piloto en base a la tecnología seleccionada donde se consideró en la construcción del sistema las condiciones de seguridad debido al alto riesgo de la reacción, aislando el área de trabajo con la finalidad de evitar daños humanos y materiales en la empresa.

3.4.1 Recopilación de la información.

Una vez definida la tecnología adecuada se procedió a obtener la información bibliográfica del sistema de purificación con una torre de absorción con ácido sulfúrico,



se tomo en cuenta los métodos de obtención experimental y las condiciones de operación, para considerar los aspectos más importantes en el desarrollo del objetivo.

3.4.2 Definición de variables.

En el proceso de obtención experimental se consideraron variables como la cantidad de ácido sulfúrico a suministrar por la cantidad de acetileno alimentado, las características del acetileno, la altura del relleno, el diámetro de la torre, materiales de construcción, la temperatura dentro de la torre así como la caída de presión en la misma.

3.4.3 Montaje y puesta en marcha del sistema piloto.

En base a las consideraciones necesarias para la construcción del prototipo como materiales a utilizar, estructura física, ubicación, método de operación, sistema de control, incluyendo el mantenimiento preventivo que se le debe aplicar al sistema, se puso en marcha la fase experimental de este objetivo.

3.5 Evaluar económicamente el sistema diseñado para el proceso de producción de acetileno, con el fin de determinar su factibilidad.

Un análisis económico se efectúa basado en los principios de evaluación de proyectos de inversión, flujo de caja, ingresos, egresos, costos operaciones, valor de pecio neto, tasa de interna de retorno, entre otros. Todos estos valores se obtienen a través de modelos matemáticos que definen la rentabilidad de la inversión.

Para determinar la rentabilidad se realizó la búsqueda de los costos de adquisición, operación e instalación de los equipos involucrados en el proyecto a partir de cotizaciones a proveedores, y la fabricación de algunos equipos dentro de la empresa.





CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN

A continuación se presenta el diseño del sistema de purificación de acetileno, donde se describe un sistema a escala piloto que se basa en la tecnología seleccionada para luego llevarlo a escala macro.

Para la fabricación del sistema piloto se utilizaron los siguientes materiales:

- 1 tubo, diámetro 4".
- Anillos 3/8".
- Anillos 1/2".
- Adaptadores 3/8" NPT 1/4" OD.
- 1 tubing, longitud 6m.
- 2 flanges.
- Anillos Pall de plásticos.

Para la puesta en marcha del sistema piloto se utilizaron los siguientes instrumentos y equipos:

- Una torre de absorción.
- 1 panel de equipos.
- 2 termómetros bimetálicos, diámetro 1/2" , 120°C, diámetro dial 3/2".
- 1 termómetro ambiental marca Templec.
- 1 cilindro de acetileno, tipo 220, capacidad 25 kg.
- 1 cilindro de nitrógeno, tipo 220, capacidad 6 m³.
- 1 regulador simple para acetileno marca CONCOA, conector CGA 300.
- 1 regulador doble para nitrógeno marca CONCOA, conector CGA 580.
- Tubos colorimétricos marca Dräger para arsina, fosfina y sulfuro de hidrógeno.
- 1 Bomba manual.
- 1 manómetro diferencial sencillo, fluido agua coloreada.

- 1 flowmeter para oxígeno.
- Solución de Nitrato de plata.
- Papel absorbente.
- Solución de ácido sulfúrico concentrado.
- 1 recipiente dosificador del ácido sulfúrico.

TABLA 4.1
ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN A ESCALA PILOTO

Altura del relleno(cm)		30
Diámetro interno de la torre (cm)		10,5
Temperatura en la torre (°C)		30
Presión de entrada del gas a la torre (psig)		10
Flujo de entrada del gas a la torre (L/min)		8
Cantidad de ácido suministrado (L/min)		$3,125 \cdot 10^{-4}$

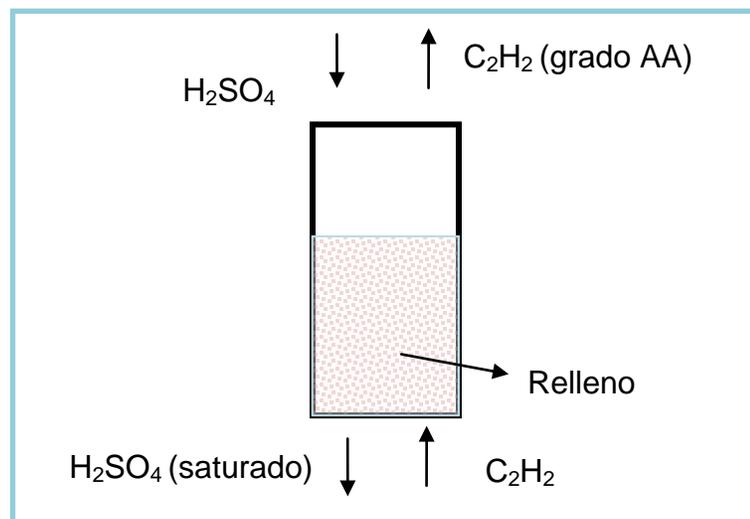


Figura 4.1

Sistema piloto de purificación de acetileno con una torre de ácido sulfúrico.



TABLA 4.2
CARACTERIZACIÓN DEL ACETILENO EN LA ENTRADA DEL SISTEMA PILOTO

Cilindro	Arsina (AsH ₃) (ppm)	Fosfina (PH ₃) (ppm)	Nitrato de plata (AgNO ₃)	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) (ppm)	Presión en la salida del cilindro (psig)
Serial N°: 60257	> 3	>20	+	<1	3

Temperatura ambiente: (30,5 ± 0,1) °C

Presión ambiente: (0,98 ± 0,01) atm.

TABLA 4.3
CARACTERIZACIÓN DEL ACETILENO EN LA SALIDA DEL SISTEMA PILOTO

Cilindro Serial N°: 60257	Arsina (AsH ₃) (ppm)	Fosfina (PH ₃) (ppm)	Nitrato de plata (AgNO ₃)	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) (ppm)	Altura manométrica (cm)
Corrida 1	< 0,05	<5	+	<1	9
Corrida 2	<0,25	<3	-	<1	9
Corrida 3	<0,5	<4	-	<1	10

Fluido manométrico: agua coloreada.

Presión en el cilindro: (10 ± 1) psig.

Temperatura en la torre: (30,0 ± 0,1) °C

Temperatura ambiente: (25,0 ± 0,1) °C

Presión ambiente: (0,98 ± 0,01) atm.



TABLA 4.4
ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE PURIFICACIÓN A ESCALA MACRO

Flujo de gas producido en la planta (kg/h)		27,23
Altura de relleno (m)		3,33
Diámetro interno de la torre (m)		0,25
Cantidad de ácido suministrado (L/min)		$1,17 \cdot 10^{-2}$

Para la construcción del sistema piloto (ver tabla 4.1) se consideró la homologación de sistemas de purificación existentes en la planta, presión, temperatura, flujos de trabajo así como también el apoyo en antecedentes relacionados con este tipo de sistemas, lo que llevó a definir las dimensiones del prototipo (altura del relleno, diámetro interno de la torre). Tanto el flujo de entrada de gas a la torre como la cantidad de ácido suministrado fueron fijados.

El sistema de purificación de acetileno a escala piloto (ver figura 4.1) para la absorción de impurezas con una sola torre de ácido sulfúrico funcionó de la siguiente manera, un cilindro que contenía acetileno impuro el cual se caracterizó para conocer los valores de arsina, fosfina y sulfuro de hidrógeno, se reforzó con la prueba de nitrato de plata la cual dio positiva como se muestra en la tabla 4.2 los cuales estaban fuera de parámetros según plan de la calidad GE-PLC-08 para acetileno grado absorción atómica (arsina <10 ppm, fosfina <10 ppm).

Este gas entra a la torre y se pone en contacto con el ácido sulfúrico al 98% de pureza, la transferencia ocurre justamente en el desplazamiento de estos a través de un lecho, donde el líquido es capaz de arrastrar las impurezas contenidas en el gas, llevando las concentraciones fuera de parámetros hasta valores de impurezas aceptables como absorción atómica reportados en la tabla 4.3.

Finalmente basándose en la capacidad de producción de la planta de acetileno se estimó la cantidad de ácido a alimentar, altura de relleno y diámetro interno de la torre con un método de escalamiento lineal obteniendo los valores reportados en la tabla 4.4.



CAPÍTULO V

EVALUACIÓN ECONÓMICA

El objetivo central de este capítulo es la evaluación económica de la alternativa seleccionada, haciendo uso principalmente de los indicadores de factibilidad, valor presente neto y la tasa interna de retorno.

En el estudio económico del proyecto el financiamiento por capital de deuda para un período de estudio de 10 años, se realizó en dólares americanos con una tasa de cambio de 2,15 Bs/\$, y a flujos monetarios variables, es decir, se toma en cuenta la inflación presenciada actualmente de 24% anual. A continuación se describen cada uno de los criterios utilizados en el análisis.

5.1 Estudio de mercado

La evaluación económica se realizó en base a un estudio de mercado nacional de acetileno estándar y de ultra alta pureza realizado por Oxicar. En dicho estudio de mercado se determina que la demanda actual de cilindros de acetileno es de 1600 cilindros por año.

5.2 Ingresos

Oxicar aspira ocupar un 30% del mercado nacional en 10 años. Inicialmente se espera alcanzar un 20 % del mercado global, luego irá aumentando en un 0,5 % hasta alcanzar el objetivo final, como puede observarse en la figura 5.1. El estudio económico, se realizó basado en la inversión inicial, que involucra cada uno de los equipos y accesorios a utilizar en la alternativa seleccionada, fue realizada mediante la solicitud de cotizaciones a diferentes fabricantes o proveedores.

Los ingresos por venta de cilindros de acetileno por cada año de proyecto, pueden ser observados en la tabla 5.1.

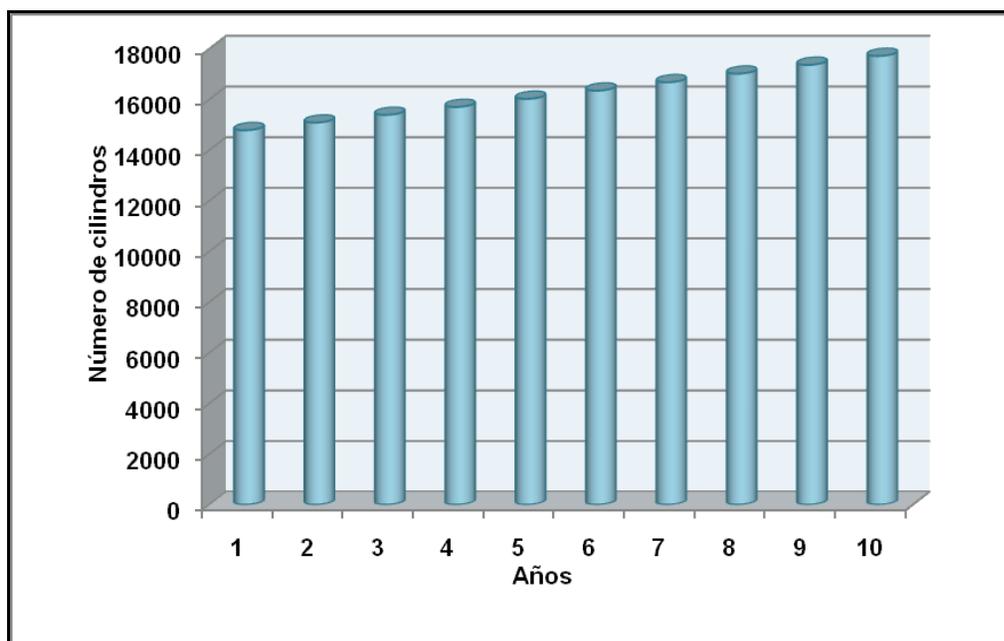


Figura 5.1

Ventas de acetileno deseada por Oxicar en un período de 10 años.

TABLA 5.1

INGRESOS BRUTOS DEL PROYECTO DE ACETILENO

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos*10 ⁻³ (\$)	271	282	293	306	318	332	345	360	375	390
Precio*10 ⁻³ (\$)	13,8	14,1	14,8	15,6	16,3	17,2	18,1	18,9	19,9	20,9

5.3 Egresos

5.3.1 Inversión inicial

Este estudio presenta la inversión inicial con sus dos componentes que son el capital fijo y el capital de trabajo. Los flujos monetarios son todos los costos que se espera que



ocurran por la implantación y operación del proyecto, los cuales se reseñan a continuación para la alternativa estudiada:

5.3.1.1 Capital fijo

Contempla todos aquellos gastos directos e indirectos, llamados también activos, en los que incurre la instalación completa del proceso que se clasifican como: costos directos o costos físicos de la planta y costos indirectos de capital. Para el proyecto 12,84 \$.

5.3.1.2 Capital de trabajo

Se refiere a los fondos de dinero indispensables para que el proceso pueda iniciar sus operaciones en un lapso mínimo de tres meses; incluye el inventario de materia prima y el inventario de repuestos y materiales. Para el proyecto 2,56 \$ (ver en la sección de apéndices).

5.4 Costos:

5.4.1 Costos directos:

5.4.1.1 Materia Prima

La materia prima requerida para este proceso es el carburo de calcio

5.4.1.2 Servicios

Involucran los gastos por energía eléctrica consumida, para desplazar contenido de acetileno en las tuberías y equipos, cada 8 horas de operación por 15 min y la resistencia eléctrica que consume 1 kWh en el mismo intervalo de producción.

Los costos directos de manufactura del proyecto por cada año de proyecto, pueden ser observados en la tabla 5.2.



TABLA 5.2

COSTOS DIRECTOS DE MANUFACTURA DEL PROYECTO DE ACETILENO

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Materia prima*10 ⁻³ (\$)	145	151	157	163	170	177	185	192	200	209
Servicios*10 ⁻³ (\$)	18	19	19	20	21	22	23	24	25	26
Total *10 ⁻³ (\$)	163	170	177	184	192	200	208	217	226	235

5.4.2 Costos indirectos:**5.4.2.1 Depreciación**

Es el deterioro del valor de los activos causada por deterioro y/o desgaste o obsolescencia. En este caso, se toma en cuenta los equipos de instrumentación y control, las tuberías, los equipos eléctricos y los equipos principales.

Por política empresarial de Oxicar se considera la devaluación de los equipos y tuberías en diez años es igual al 100%.

5.4.2.2 Seguros

Es la protección de los activos de cualquier accidente, se estima como el 1% del capital fijo teniéndose que el valor 128\$ anual.

5.4.2.3 Supervisor de planta

Se considera un 10% de las horas de producción de acetileno. El comportamiento de este parámetro puede observarse en la tabla 5.3. Los costos globales de manufactura vienen dado por la suma de los costos indirectos y directos.

Los costos de manufactura indirectos por cada año de proyecto, pueden ser observados en la tabla 5.3.



TABLA 5.3
COSTOS DE MANUFACTURA DEL PROYECTO DE ACETILENO

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Depreciación *10⁻³ (\$)	1284	1284	1284	1284	1284	1284	1284	1284	1284	1284
Seguros*10³(\$)	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128
Supervisor de planta*10⁻³ (\$)	36	38	39	41	43	44	46	48	50	52
Total*10⁻³ (\$)	38	39	41	42	44	46	48	50	52	54

5.5 Deuda

La deuda por cada año de proyecto, pueden ser observados en la tabla 5.4.

TABLA 5.4
DEUDA DEL PROYECTO DE PURIFICACIÓN DE ACETILENO

Año	Capital (\$)	Interés (\$)	Pago capital (\$)	Deuda (\$)
1	12.841	1.027	920	11.921
2	11.921	954	993	10.928
3	10.928	874	1.073	9.855
4	9.855	788	1.159	8.696
5	8.696	696	1.251	7.445
6	7.445	596	1.352	6.093
7	6.093	487	1.460	4.633
8	4.633	371	1.576	3.057
9	3.057	245	1.703	1.354
10	1.354	108	1.839	0



5.6 Flujo de caja

Es el balance de entrada y salidas monetarias, se estima como la diferencia entre los ingresos y los egresos. El flujo de caja por cada año de proyecto, pueden ser observados en la tabla 5.5.

TABLA 5.5
FLUJO DE CAJA PARA EL PROYECTO DE ACETILENO

Año	Ingresos*10 ⁻³ (\$)	Egresos*10 ⁻³ (\$)	Flujo de caja*10 ⁻³ (\$)
1	271	288	-17
2	282	285	-2
3	293	288	4
4	306	300	5
5	318	313	5
6	332	325	6
7	345	339	6
8	360	353	7
9	375	367	7
10	390	382	7

5.7 Modelos de rentabilidad

Los indicadores que se utilizaron para realizar el análisis económico son el valor actual y equivalente anual. Cuando se trata de costos únicamente, éstos representan el costo total asociado con el proyecto, lo que permite establecer cuál de los proyectos es más ventajoso económicamente.

5.7.1 Valor presente neto

El valor actual representa el costo total presente asociado al proyecto a la tasa de rendimiento establecida, si es mayor que cero el proyecto es viable y el resultado es $VPN_{(12\%)} = 6,94$.

5.7.2 Tasa interna de retorno

Da la rapidez con la cual retorna la inversión inicial a la empresa, si es superior a la tasa de interés de 12%, es viable, tiene un porcentaje igual a 19,83 %.



CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según el muestreo establecido en el manual de procedimientos de Gases Especiales para el análisis de acetileno grado absorción atómica (ISO 9001-2000) se establece muestrear el 10% del lote producido, y los valores obtenidos en la tabla 3.1 definen el estado del gas en los cilindros como fuera de parámetros, estos parámetros están especificados en el plan de la calidad de Oxicar GE-PLC-08 (figura B.2, sección de apéndices) los cuales reflejan que para la arsina y la fosfina el valor requerido debe ser <10 ppm. Esta caracterización se tomo como un análisis cualitativo de la producción de acetileno en la planta.

En la tabla 3.2 en función al mismo 10% muestreado se cuantifico los valores de arsina y fosfina usando tubos colorímetros de un rango mayor de lectura, reflejando valores entre 20 y 30 ppm reflejando para la fosfina, esto se debe a que el carburo de calcio como materia prima no es 100% puro y contiene compuestos de arsénico, fosforo y azufre capaces de promover durante la reacción del carburo de calcio con agua (ecuación 1.1) la aparición de impurezas de arsina fosfina y sulfuro de hidrógeno en el gas. Anexo a las pruebas anteriores se realizó una prueba cualitativa que consiste en impregnar un papel de filtro con solución de nitrato de plata al 5% para luego hacer pasar el gas a través de este observándose un cambio de color de incoloro a marrón oscuro, señal de que las impurezas son mayores a 10 ppm, esto es debido a que las impurezas contenidas en el gas son capaces de reaccionar con la solución promoviendo una reacción de oxidación de la plata.



Con respecto al sulfuro de hidrógeno el valor se mantuvo constante (1 ppm) durante las pruebas debido al bajo contenido de compuestos azufrados en la materia prima y además esta concentración no es interferente durante la absorción atómica. En la tabla 3.3 se evaluaron las condiciones del gas a la salida del reactor mostrando valores fuera de parámetros 30 ppm para la fosfina y positiva la prueba con nitrato de plata, esto se realizó con el fin de conocer dichos parámetros en el proceso de producción de acetileno en la planta, cabe destacar que en los tres ensayos (tabla 3.1, 3.2, 3.3) solo el valor de la fosfina se encuentra fuera de parámetros condición mínima y necesaria para decidir que el producto esta fuera de parámetros.

En el proceso de obtención de acetileno en la planta Oxicar-Michelena se cuenta con el sistema de purificación para la adsorción de impurezas con tierra diatomacea que es la sustancia adsorbente a través de la cual se hace pasar el acetileno impuro, esperando que la arsina la fosfina y el sulfuro de hidrógeno queden adsorbidas. Esta tecnología no garantiza la pureza permanente del gas debido a que la tierra diatomacea es capaz de saturarse con rapidez perdiendo en poco tiempo su capacidad adsorbente de manera irreversible. Además de este se investigo dos sistemas de purificación donde se utilizan torres empacadas y ácido sulfúrico como absorbente para arrastrar las impurezas contenidas en el gas, los cuales garantizan la purificación permanente.

La tecnología más adecuada a utilizar en la purificación del acetileno es la del sistema de una sola torre de absorción con ácido sulfúrico, según los resultados obtenidos en la matriz de selección utilizada (tabla 3.4), donde se tomo en cuenta los aspectos más relevantes como costo, disponibilidad y espacio físico de la tecnología. Además existe una disponibilidad inmediata y no se requiere de una inversión adicional en moneda extranjera, ya que la mayoría de los materiales



utilizados en esta tecnología son de fácil adquisición en nuestro país, y los equipos pueden ser contruidos en los talleres de soldadura de la empresa, específicamente en el Departamento de Criogenia, disminuyendo aun más los costos de fabricación e instalación de los mismos. Es una tecnología que no requiere de mucho espacio físico, y que sustituye perfectamente sin necesidad de abarcar mas espacio físico del que se cuenta, por otro lado dicho sistema cumple el objetivo de purificación deseado, la limitante de esta tecnología es que no se dispone de datos precisos lo que nos lleva a construir un sistema piloto para su determinación y posteriormente diseñar el sistema a escala macro.

En función a ciertas consideraciones tales como: homologación de sistemas de purificación en la planta, dimensiones de materiales existentes en el Departamento de Criogenia, presión, temperatura, flujos y experiencia de operación en gases, justifica la necesidad de construir un modelo piloto que permita simular condiciones de operación de escala macro con el fin de verificar a través de análisis la eficiencia del sistema de purificación de acetileno. Arrojando como resultados que a la entrada de la torre (ver tabla 4.2), el gas contenía impurezas que estaban fuera de parámetros, así también se analizó el gas a la salida de la torre (ver tabla 4.3), mostrando valores dentro de los parámetros exigidos por el plan de la calidad, quedando demostrada la capacidad absorbente de impurezas y la purificación del gas, logrando obtener acetileno grado absorción atómica. A partir de esto y considerando lo antes expuesto, el sistema piloto fue llevado a escala macro a través de modelos matemáticos y extrapolación para garantizar la eficiencia del nuevo sistema de purificación.

La evaluación económica se realizo en base de un estado de mercado nacional realizado en Oxicar. En dicho estudio de mercado se determina la demanda



actual de cilindros de acetileno por año. Los indicadores que se utilizaron para realizar el análisis económico son el valor actual y el equivalente anual. Cuando se trata de costos únicamente, estos representan el costo total asociado con el proyecto, lo que permitió establecer que el proyecto es ventajoso económicamente. Actualmente la empresa cuenta con acetileno para suplir el área de soldadura y oxicorte, más no para el área de análisis empleando el método de absorción atómica, de allí la necesidad de implantar un sistema de purificación que permita satisfacer este sector. El valor presente neto es un indicador económico que debido a su valor positivo ($VPN > 0$) y la tasa interna de retorno (TIR) que proporciona cuan rápido retorna la inversión inicial, teniendo en cuenta que siendo mayor a la tasa de interés fijada se concluye que ambos parámetros determinan la viabilidad del proyecto.



CONCLUSIONES

1. Las impurezas en el acetileno a la salida del reactor son la arsina, la fosfina y el sulfuro de hidrógeno cuyas concentraciones son 3 ppm, 20 ppm y 2 ppm respectivamente.
2. Las tecnologías que pueden ser aplicadas al proceso de producción de acetileno grado absorción atómica son las siguientes: adsorción con tierra diatomacea, absorción con una sola torre de ácido sulfúrico y absorción con tres torres de ácido sulfúrico.
3. La tecnología más adecuada al proceso de purificación del acetileno es la absorción con una sola torre de ácido sulfúrico.
4. Los valores obtenidos de impurezas para la arsina, la fosfina y el sulfuro de hidrógeno a la salida del sistema de purificación en escala piloto cuyas son 0,3 ppm; 4 ppm y 1 ppm.
5. El proyecto presenta un valor presente neto de 6,94 y una tasa interna de retorno de 19,83%.
6. El proyecto es factible tanto técnica como económicamente, por lo que es posible la producción de acetileno grado absorción atómica.



RECOMENDACIONES

1. Instalar y aplicar el sistema de purificación seleccionado, de una torre de absorción con ácido sulfúrico.
2. Se debe crear un plan de análisis para el chequeo de las concentraciones de las impurezas a la salida del nuevo sistema de purificación de una torre de absorción con ácido sulfúrico, con el fin de ver si el gas cumple con las especificaciones de pureza para grado absorción atómica según el plan de la calidad GE-PLC-08.
3. Al momento de adquirir el carburo de calcio como materia prima se debe tomar como criterio de selección al momento de la compra, que cumpla con las especificaciones que garanticen un mayor rendimiento de producción y menor contenido de impurezas.
4. Seguir las normativas que reportan los MSDS (ver anexos) del carburo de calcio, acetileno y el ácido sulfúrico con el fin trabajar con la mayor seguridad y evitar accidentes al momento de su manipulación.
5. Implementar un sistema de enfriamiento en la planta de acetileno para mejorar la velocidad de llenado de los cilindros, haciendo este más eficiente.



BIBLIOGRAFÍA

1. Betina, R; Bernan, S (1995). **Purification and Characterization of Acetylene Hydratase of Pelobacter Acetylenicus**. Alemania. Universitat Konstanz. Fakultat fur Biologie. [Documento en línea]. Disponible [Thesys.acetylene](#) [Consulta: 2008, Enero 16].
2. Concoa (2007). **“Manual de reguladores de presión CONCOA”**. México.
3. Garbi, M; Pacheco, J. (2003). **Factibilidad técnico-económica de una planta para producir fosfatos de sodio grado alimenticio**. Trabajo no publicado. Universidad de Carabobo. Carabobo.
4. Gudiño, P; Vitoria, M. (2002). **Evaluación de tecnologías para la recuperación de hidrogeno en las corrientes gaseosas de la refinería El Palito**. Trabajo no publicado. Universidad de Carabobo. Carabobo.
5. Giugni, L; Etedgui, C; González, I; Guerra V (2001). **Evaluación de proyectos de inversión**. Universidad de Carabobo.
6. Knaebel, Kent (2003). **“A “How to” guide for adsorber design”**. Adsorption [Documento en línea]. Disponible en: www.adsorption.com [Consulta: 2007, Octubre 15].
7. León. E., José. L. (2003). **Evaluación técnico- económica de un sistema de purificación de hidrógeno en Oxicar-Valencia**. Trabajo no publicado. Universidad de Carabobo. Carabobo.
8. McCabe, W.; Smith, J. y Harriot P (1991). **“Operaciones unitarias en Ingeniería Química”**. Editorial McGraw-Hill. Madrid.



9. Oxicar (2007). [Documento en línea]. Disponible en: www.oxicar.com [Consulta: 2007, Noviembre 5].
10. Oxicar (2008). “**Manual de operación de la planta de Acetileno**”. Oxicar-Valencia.
11. Peña, Marcel. (2003). **Alternativas para el mejoramiento de oxidación en la etapa de purificación de la planta de CO₂ en Praxair-Venezuela**. Trabajo no publicado. Universidad de Carabobo. Carabobo.
12. Perry, R. H. (1992). **Manual del Ingeniero Químico**. Sesta edición Editorial McGraw Hill.
13. Shuiliang. Y., Akira N.; Eiji, S. (2001). **Acetylene and hydrogen from pulsed plasma conversión of methane. Japón**. [Documento en línea]. Disponible en: www.bibliotecaivic.com [Consulta: 2007, Diciembre 6].
14. Smith, J. M y Van Ness, H. C. (1992). “**Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química**”. Editorial McGraw-Hill. México.
15. Treybal, R. (1988). “**Operaciones de transferencia de masa**”. Segunda Edición. Editorial McGraw-Hil. México.

APÉNDICE A

En esta sección se presentan los modelos matemáticos utilizados para realizar los cálculos típicos en el diseño del sistema de purificación y el estudio económico del mismo.

A.1. Cálculos típicos del diseño del sistema de purificación

A.1.1 Determinación del volumen del prototipo

Para determinar el volumen del prototipo se empleó la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{\pi * D_p^2 * h_p}{4} \quad (\text{A.1})$$

Donde:

V_p : Volumen del prototipo, (cm^3)

D_p : Diámetro del prototipo, (cm)

h_p : Altura del prototipo, (cm)

Se tiene que:

$$V_{p_1} = \frac{\pi * (0,105\text{m})^2 * 0,35\text{m}}{4} = 3,03 * 10^{-3} \text{m}^3$$
$$V_{p_i} = 0,0030\text{m}^3$$

A.1.1.1 Determinación del error asociado al volumen aparente del prototipo

El error se determinó por derivadas parciales, tal como se muestra a continuación:

$$\Delta V_p = \left(\frac{\partial V_p}{\partial D_p} \right) \cdot \Delta D_p + \left(\frac{\partial V_p}{\partial h_p} \right) \cdot \Delta h_p \quad (\text{A.2})$$



$$\Delta V_p = \left(\frac{\pi * h_p * 2D_p}{4} \right) \Delta D_p + \left(\frac{\pi * D_p^2}{4} \right) \cdot \Delta h_p$$
$$\Delta V_p = \left(\frac{\pi * 0,35 * 2 * 0,105}{4} \right) 0,01 + \left(\frac{\pi * 0,105^2}{4} \right) \cdot 0,01$$
$$\Delta V_p = 0,0006638 \cong 0,0007 m^3$$

Por lo tanto el volumen del prototipo es igual a:

$$V_p = (0,0030 \pm 0,0007) m^3$$

A.1.2 Determinación de la cantidad de gas a suministrar en el sistema piloto

El flowmeter con el que se midió la cantidad de gas a suministrar al prototipo está calibrado para oxígeno a una presión de 50 psia y a una temperatura de 30°C, por esta razón se calcula un factor de corrección para la medición de acetileno para un flujo inicial de 10 L/min.

A.1.2.1 Corrección por presión

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * \sqrt{\frac{\text{presión} - \text{operación}(\text{psia})}{\text{presión} - \text{calibración}(\text{psia})}}$$

(A.3)

Sustituyendo tenemos:

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * \sqrt{\frac{24,7}{50}}$$

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * 0,7028$$



A.1.2.2 Corrección por presión

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * \sqrt{\frac{460 + \text{temperatura} - \text{calibración} (^{\circ}F)}{460 + \text{temperatura} - \text{operación} (^{\circ}F)}} \quad (\text{A.4})$$

Sustituyendo tenemos:

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * \sqrt{\frac{460 + 70}{460 + 82}}$$

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * 0,9889$$

A.1.2.3 Corrección por presión

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * \sqrt{\frac{ge - \text{aire}}{ge - \text{acetileno}}} \quad (\text{A.5})$$

Sustituyendo tenemos:

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * \sqrt{\frac{1}{0,986}}$$

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * 1,1044$$

Finalmente:

$$\text{Flujo corregido} = \text{flujo inicial} * \text{corrección por presión} * \text{corrección por temperatura} * \text{corrección por gravedad.}$$

(A.6)

Sustituyendo tenemos:



$$\text{Flujo corregido} = 10 \text{ L/min} * 0,7028 * 0,9889 * 1,1044$$

$$\text{Flujo corregido} = 7,6760 \text{ L/min}$$

Para un suministro de 0,5 Kg de C_2H_2 que equivalen a 7,6770 L/min.

En base a una producción de 0,5 Kg de C_2H_2 se calculó una tasa de dosificación de ácido $3,125 * 10^{-4}$ L/min a partir del volumen medido en un cilindro graduado, en función de los datos reportados en la siguiente tabla.

V(cm ³)	t(s)
0,93	180
0,93	177
0,92	180

Se calcularon todos los datos a escala piloto, y por método lineal se calcularon los parámetros a escala macro. Con el uso de la ecuación A.1 y en base a la tasa de producción de la planta de acetileno Oxicar-Michelena de 25 m³/h, equivalentes a 27,23 kg/h, se logra obtener un volumen interno ocupado por relleno de 0,1634 m³ para un diámetro estándar de 10", y una torre de 3,33 m de altura.

A.1.3 Determinación de la velocidad lineal y tiempo de retención

Haciendo uso del resultado obtenido en la ecuación A.1 y el flujo corregido se obtiene una sección de flujo de $8,6629 * 10^{-3}$ m², se determina la velocidad lineal en el sistema piloto

$$\text{Velocidad lineal(piloto)} = \text{flujo corregido} / \text{área}$$

(A.7)



Sustituyendo tenemos:

$$\text{Velocidad lineal(piloto)} = (7,6760 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{min}) / 8,6629 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Velocidad lineal(piloto)} = 0,8860 \text{ m/min}$$

Seguidamente se calcula el tiempo de retención:

$$\text{Tiempo de retención(piloto)} = h / \text{velocidad lineal}$$

(A.8)

Sustituyendo tenemos:

$$\text{Tiempo de retención(piloto)} = 0,30 \text{ m} / 0,8860 \text{ m/min}$$

$$\text{Tiempo de retención(piloto)} = 0,3386 \text{ min}$$

De igual manera se calculo para el sistema a escala macro, con un flujo de 25 m³/h, una sección de la torre de 0,0491 m², dando una velocidad lineal 8,4881 m/min y un tiempo de retención 0,3923 min.

A.1.4 Cálculos típicos del análisis económico

Realizados para el primer año del proyecto de purificación de acetileno para una producción de 14786 cilindros anuales.

A.1.4.1 Cálculo de los ingresos anuales

Para el cálculo se empleo la siguiente ecuación:

$$IA = PA * VA + PAa * VAa$$

(A.9)

Donde:

IA: Ingresos anuales por acetileno, (\$/ año)

PA: Precio del acetileno, (\$/kg)

VA: Volumen de producción anual de acetileno, (kg/ año)



PAa: Precio del acetileno absorción atómica, (\$/kg)

VAa: volumen de producción anual de acetileno absorción atómica, (kg/ año)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.1 para el primer año se tiene:

$$IA = 6,107 * 43000 + 13,488 * 628$$

$$IA = 271071,46 \text{ \$/año}$$

A.1.4.2 Cálculo de los egresos anuales

A.1.4.2.1 Cálculo de los costos directos de capital

- **Materia prima**

Para el cálculo de los costos asociados a la materia prima se empleo la siguiente ecuación:

$$MP = IA * 0.5355$$

(A.10)

Donde:

MP: costo por materia prima, (\$)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.2 y utilizando datos suministrados por la empresa basada en la su producción anual se tiene:

$$MP = 271071,46 * 0.5355$$

$$MP = 145158,766 \text{ \$/año}$$

- **Servicios**

Se estimaron las horas de operación anual. Para producir 14786 cilindros anuales son necesarios 30 horas de operación, si se consume 1 kWh en la resistencia eléctrica y se



regenera cada 8 horas, solo se requiere 3 horas de regeneración, es decir que anualmente consumirá 3 kWh, el costo del electricidad.

Para el cálculo de los costos asociado al servicio se empleo la siguiente ecuación:

$$V = IA * 0,068 \quad (\text{A.11})$$

Donde:

V: costos de servicios, (\$/año)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.2 y utilizando datos suministrados por la empresa basada en la su producción anual se tiene:

$$V = 271071,46 * 0,068$$
$$V = 18433 \text{ \$/año}$$

Mantenimiento

Para el cálculo se empleo la siguiente ecuación:

$$M = IA * 0,068 \quad (\text{A.12})$$

Donde:

M: Costos de mantenimiento, (\$/año)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.2 y utilizando datos suministrados por la empresa se tiene:

$$M = 271071,46 * 0,068$$
$$M = 18433 \text{ \$/año}$$



Laboratorio

El costo asociado al laboratorio es un valor constante que depende del número de pruebas que hay que realizar anualmente, obteniendo un valor de:

$$CL = 5581 \text{ \$/año}$$

Donde:

CL: Costo de laboratorio, (\\$/año)

Para el cálculo de los costos directos se emplea la siguiente ecuación:

$$CD = MP + V + M + CL$$

(A.13)

Donde:

CD: Costos directos, (\\$/año)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.2 para el primer año se tiene:

$$CD = 145158,766 + 18433 + 18433 + 5581$$

$$CD = 187605 \text{ \$/año}$$

A.1.4.2.2 Cálculo de los costos indirectos de capital

- Depreciación

Para el cálculo de los costos asociados al seguro se emplea la siguiente ecuación:

$$D = \frac{CF - VR}{n}$$

(A.14)

Donde:



D: Depreciación, (\$)

CF: Capital fijo, (\$)

n: tiempo de vida del proyecto, (\$)

VR: valor residual al transcurrir los años, (\$)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.3 para el primer año se tiene:

$$D = \frac{12841 - 122}{10}$$
$$D = 1284 \text{ \$}$$

- **Seguros**

Para el cálculo de los costos asociado al seguro se empleo la siguiente ecuación:

$$S = CF * 0,01$$

(A.15)

Donde:

S: costos por seguro, (\$)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.3 para el primer año se tiene:

$$S = 12841 * 0,01$$

$$S = 128 \text{ \$}$$

- **Supervisor de planta**

Para el cálculo de los costos asociado al supervisor de la planta se empleo la siguiente ecuación la cual fue suministrada por la empresa:

$$CSP = IA * 0,135$$

(A.16)



Donde:

CSP: costos asociado al supervisor de venta, (\$)

Sustituyendo los datos reportados en la tabla 5.3 se tiene:

$$CSP = 271071,146 * 0,135 \$$$

$$CSP = 36595 \$$$

Para el cálculo de los costos indirecto se empleo la siguiente ecuación:

$$CIC = D + S + CSP$$

(A.17)

Donde:

CIC: costos indirectos de capital, (\$)

Sustituyendo los valores respectivos para el primer año:

$$CIC = 1284 + 128 + 36595$$

$$CIC = 225612 \$/\text{año}$$

A.1.4.2.3 Cálculos de la deuda

- Interés

$$I = 0.08 * CF$$

(A.18)

Donde:

I: interés (\$)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.4 para el primer año se tiene:



$$I = 0.08 * 12841$$

$$I = 1027 \$$$

- **Pago de capital**

Se empleo la siguiente ecuación:

$$PC = CTA - I$$

(A.19)

Donde:

CTA: Cuota, (\$)

PC: Pago de capital, (\$)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.4 para el primer año se tiene:

$$PC = 1947 - 1027$$

$$PC = 920 \$$$

Para el cálculo de la deuda se empleo la siguiente ecuación:

$$DEU = CF - PC$$

(A.20)

Donde:

DEU: Deuda, (\$)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.4 para el primer año se tiene:

$$DEU = 12841 - 920$$

$$DEU = 11921 \$$$

A.1.4.2.4 Cálculo del flujo de caja

Mediante la siguiente ecuación

$$F_t = IUAP - EUAP$$

(A.21)



Donde:

Ft: flujos monetarios netos, (\$/año)

IUAP: ingreso, (\$/año)

EUAP: egreso, (\$/año)

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.5 para el primer año se tiene:

$$F_t = 271071 - 288000$$

$$F_t = -17$$

A.1.4.2.5 Cálculo del valor presente neto

Mediante la siguiente ecuación

$$VPN_i = \sum_{x=0}^n F_t * (1+i)^{-x}$$

(A.22)

Donde:

VPN: valor presente neto (Adm.)

Sustituyendo los valores de flujo de caja reportados en la tabla 5.5 se tiene:

$$VPN = 6,94 \text{ Adim.}$$

A.1.4.2.6 Cálculo de la tasa interna de retorno

Mediante la siguiente ecuación

$$0 = \sum_{x=0}^n F * (1 + TIR)^{-x}$$

(A.23)

Donde:

TIR: tasa interna de retorno, %

Sustituyendo los valores reportados en la tabla 5.5 y despejando se tiene que:

$$TIR = 19,83 \%$$

uxicar		PLAN DE LA CALIDAD		Código: GE-PLC-08								
		Edición:	1	Página:	2 De 2							
Título: LLENADO DE CILINDROS CON ACETILENO												
N°	Etapa del Proceso	Punto de Control	Variables de Control	Criterios de Aceptación	Método de Control	Frecuencia	Registro	Resp.	Documento Asociado			
1	Producto almacenado en cilindro.	Acetileno Estándar	% C ₂ H ₂	> 99,00 %	Adsorción	Por llenado a requerimiento del cliente	PTA-I-14-F01	Supervisor de Gases Especiales	PTA-I-15			
2	Producto almacenado en cilindro.	Acetileno Absorción Atómica	% C ₂ H ₂	99,50 %	Adsorción	Cada Llenado	GE-P-01-F05	Supervisor de Gases Especiales	-----			
										AsH ₃	< 10 ppm	Colorimétrico o Tubo Dräger
										PH ₃	< 10 ppm	

Figura B.2 Plan de la calidad para el llenado de cilindros de acetileno.

**Gases Especiales**

De: "Gases Especiales" <gasesespeciales@oxicar.net>
Para: "SIAD-Emanuele Bigi" <emanuele.big@siadmi.com>
CC: "OXICAR-Lesbia de Gómez" <director@oxicar.net>
Enviado: Miércoles, 15 de Agosto de 2007 04:36 p.m.
Asunto: PURIFICACION ACETILENO

Buenas tardes Sr. Emanuele

Sirva el presente para saludarle y solicitarle su valiosa colaboración a fin de recibir su asistencia con la información para mejorar el sistema de purificación de nuestra planta de acetileno la cual tiene una capacidad de producción 25 m³/hr.

Agradeciendo de antemano su respuesta por esta misma vía.

Atentamente

Juan Buitrago
Gerente de Gases Especiales
OXICAR - Valencia
Tel.: 00582418322580 ext-. 1369 - 1366
Fax.: 00582418321223
Móvil.: 00584144371209
E-mail: gasesespeciales@oxicar.net

16/08/2007

Figura B.3. Comunicado Tecno-Proyect para la mejora del sistema de purificación.



Valencia, 26 de noviembre de 2007.
 GESP-M07111860

Para: José Castro
 De: Ing. Juan Buitrago

c.c. Sra. L de Gómez, V. Martínez.

Asunto: **ESPECIFICACION DE CARBURO DE CALCIO.**

Revisada las especificaciones y características del Carburo de Calcio, a ser utilizado como materia prima en la fabricación del Acetileno, se requiere del proveedor el cumplimiento de las especificaciones que garantizan la calidad del producto suministrado, con los siguientes parámetros tomados como referencia de la norma **DIN 53922** y experiencias de fabricantes del producto:

Característica	Especificación	Unidad de medida	Observaciones
Granulometría.	Tamaño de partícula: 25/50	milímetros	
	% Bajo tamaño máximo 15%		
	% Sobre tamaño máximo 7%		
Rendimiento	Mínimo 290 L/kg de CaC ₂	Litro/kg	Medido a 760 mm de Hg.
Porcentaje en peso	% mínimo de CaC ₂ 77,0	% en peso	
Máximo contenido de Fosfina en acetileno	Máximo: 110 partes por millón en volumen	ppmv	Medido con tubos Dräger.
Máximo contenido de H ₂ S (Sulfuro de Hidrógeno) en acetileno	200 partes por millón en volumen	ppmv	Medido con tubos Dräger.

Presentación: Tambor metálico de 100 kilogramos.

Agradeciendo de antemano su atención

De Usted(es), Atentamente

Ing. Juan Buitrago
 Tel.: 0241-8322580 ext. 1369
 Fax.: 0241-8321223
 Cel.: 0414-4371209
 E-mail.: gasesespeciales@oxicar.net

OXICAR. C.A. RIF. J-00027609-9

Figura B.4 Especificaciones del carburo de calcio.



COM-P.01-F02
REV. 0 10/03
R.I.F.: J-00027609-9
N.I.T.: 0059598457



SUCURSALES					
	Telefonos	Fax		Telefonos	Fax
Barinas	(073) 29273		Pto. Cabello	(042) 615205	611963
Barquisimeto	(051) 25725	310880	Zona Valencia:		
Caracas	(02) 340218	360586	Castillo	(041) 349483	345292
La Victoria	(044) 212453		Guacara	(045) 718221	717917
Maracay	(043) 543297	540476	Michelena	(041) 318633	315085
Morón	(042) 71182		DISTRIBUIDORES EN TODO EL PAIS		

Valencia, 13 de Abril de 19 2007	ORDEN DE COMPRA 28337- 1
PROVEEDOR: ELECTROMETALURGICA ANDINA, S.A.I.C.	
DIRECCION: Avenida de Mayo 981 3er Piso (1084) Capital Federal. Argentina	
Tlf: 54-1143450618 Fax: 54-11-143453869 Atn: Sra. Edith Abreu	

FAVOR SERVIRNOS LA PRESENTE ORDEN DE COMPRA DE ACUERDO CON LAS INSTRUCCIONES ABAJO ESPECIFICADAS

FECHA DESPACHO	TRANSPORTE	FORMA DE PAGO
Finales de Abril	MARITIMO PTO. CABELLO - VZLA	L/C ALADI A LA VISTA

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
		VIENEN O/C 28337.....		
		IMPUREZAS MAXIMAS EN CARBURO DE CALCIO		
		INSOLUBLES 2%		
		SiO2: 4,55%		
		Fe2 O3: 1,40%		
		Mg: 0,35%		
		RENDIMIENTO MINIMO: 292 Lt/ Kgr.		
		TODO DE ACUERDO A SU FACTURA PROFORMA		
		Nº 4998 DE FECHA 5/03/2007		
		Importacion Aprobada por CADIVI (Oficina Control		
		de Cambios) con la Autorización Adquisicion de		
		Divisas Nº 01703777 en fecha 11/04/2007 con		
		Vencimiento 08/10/2007		
		Van O/C 28337-2.....		

Envíenos su factura por duplicado indicando el número de nuestra orden de compra. Anexe al original de su factura el original de la orden de compra. Sin el cumplimiento de estos requisitos, no procederemos al pago de la factura. No aceptamos otro material que el especificado en esta orden y el que no corresponde a la misma, será devuelto por cuenta y riesgo del proveedor.

HECHO POR: LDG/ Yr	PEDIDO POR: PLANTA ING. VICTOR MARTINEZ		OXIGENO CARASOBO C.A.
USO: Producción de Gas Industrial Acetileno SC: 146926	JEFE DEPARTAMENTO		

Original

Figura B.5 Orden de compra del carburo de calcio.



R.I.F.: J-07028466-8

Garantía INTEgral de buen Servicio _____

CERTIFICADO DE INSPECCION**Señores: OXICAR.**

INTE, C.A., representante de la empresa Drager, hace constar que el producto descrito a continuación ha sido objeto de las respectivas pruebas de calidad a nivel de la fábrica. Asimismo, el (los) equipo (s) y/o sus componentes ha(n) sido sometido(s) a la inspección de rigor a su arribo a Venezuela, por lo cual se CERTIFICA SU CONFORMIDAD.

Descripción de material: Una (01) Caja de diez (10) Tubitos para medición de Arsenamina.

Número de parte: CH 25001

Lote(es): ARXC-0371

Nota de Entrega No.: 7765-07

Factura No. : 4133-07

Maracaibo, 23 de Octubre de 2.007.

*Marilys Baptista.
Coordinadora de Materiales.*

• Avenida 3F, Quinta Flamingo #70-40
Teléfonos: (0261) 7938222 - 7916119
7916328 - Fax: (0261) 7938305
Apdo. Postal 891. Maracaibo, Edo. Zulia
Venezuela. E-mail: inteca@telcel.net.ve

• Av. Paseo Cabriales, Sector Kerdell
Torre Movilnet Piso 11 Oficina Nº 7
Telefax: (0241) 8255004 - 8254562
Valencia, Estado Carabobo, Venezuela
E-mail: inteval@intecavenezuela.com

• C.C. Regina, Av. Municipal Nivel Oficinas
Locales 15 y 17. Telefax: (0281) 2600090
2600091 - 2600092. Puerto La Cruz
Estado Anzoátegui, Venezuela
E-mail: intepic@intecavenezuela.com

www.intecavenezuela.com

Figura B.6. Certificado de inspección de los tubos colorimétricos de arsina.



R.I.F.: J-07028466-8

Garantía INTEgral de buen Servicio _____

CERTIFICADO DE INSPECCION**Señores: OXICAR.**

INTE, C.A., representante de la empresa Dräger, hace constar que el producto descrito a continuación ha sido objeto de las respectivas pruebas de calidad a nivel de la fábrica. Asimismo, el (los) equipo (s) y/o sus componentes ha(n) sido sometido(s) a la inspección de rigor a su arribo a Venezuela, por lo cual se CERTIFICA SU CONFORMIDAD.

Descripción de material: *Una (01) Caja de diez (10) Tubitos para medición de Fiosfina.*

Número de parte: *81 01801*

Lote(es): *ARUL-0121*

Nota de Entrega No.: *7765-07*

Factura No. : *4133-07*

Maracaibo, 23 de Octubre de 2.007.

*Marilys Baptista.
Coordinadora de Materiales.*

● Avenida 3F, Quinta Flamingo #70-40
Teléfonos: (0261) 7938222 - 7916119
7916328 - Fax: (0261) 7938305
Apdo. Postal 891. Maracaibo, Edo. Zulia
Venezuela. E-mail: inteca@telcel.net.ve

● Av. Paseo Cabriales, Sector Kerdell
Torre Movilnet Piso 11 Oficina N° 7
Teléfax: (0241) 8255004 - 8254562
Valencia, Estado Carabobo, Venezuela
E-mail: inteval@intecavenezuela.com

● C.C. Regina, Av. Municipal Nivel Oficinas
Locales 15 y 17. Teléfax: (0281) 2600090
2600091 - 2600092. Puerto La Cruz
Estado Anzoátegui, Venezuela
E-mail: intepic@intecavenezuela.com

www.intecavenezuela.com

Figura B.7. Certificado de inspección de los tubos colorimétricos de fosfi





DISTRIBUIDORA QUIMISOL, C.A.

PLANTA DE DISTRIBUCION Y FACTURACION:
 AV. PRINCIPAL, ZONA INDUSTRIAL EL TIGRE, GUACARA, EDO. CARABOBO.
 TELFS.: (0245) 564.0038 - 564.0902 - 564.2710 - 564.0313 - 564.0527 - 564.1130
 FAX: (0245) 564.0321 - 564.27.10
 R.I.F.: J-00071432-0

Nº DE CONTROL: **24210**
 SERIE "1"

CLIENTE: **OXIGENO CARABOBO, C.A.** COBRADOR: **C024**
 CODIGO: **O-0030** N.I.T.:
 R.I.F. Nº: **J-00027609-9**
 DIRECCION: **URB.IND.CARABOBO 9NA TRANSV. CALLE CARABOBOEDO. CARABOBO VALENCIA**

TELEFONOS **041-328629** VENDEDOR: **V024**

FACTURA Nº 23128

FECHA EMISION	FECHA VENCIMIENTO
18/02/2008	04/03/2008

ORDEN DE COMPRA Nº **149626**

FORMA DE PAGO: **CREDITO 15 DIAS**

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	U.MED.	CONT.U.	PRECIO UNITARIO	%AJUSTO	IMPORTE
1101003T	ACIDO SULFURICO LOTE:5375-659-7-11	2.00	T		345.00	900	690.00

*** TAMBORES RETORNABLES ***

FAVOR EMITIR CHEQUE NO ENDOSABLE A NOMBRE DE DISTRIBUIDORA QUIMISOL, C.A. Y/O DEPOSITAR EN NUESTRAS CUENTAS BANCARIAS:
BANCO MERCANTIL, CTA. CTE. NRO. 0105 0019 26 1019200413
BANCO EXTERIOR, CTA. CTE. NRO. 0115 0029 33 0290050270
BANCO DEL CARIBE, CTA. CTE. NRO. 0114 0226 78 2265000161

SUB-TOTAL Bs 690.00

IVA 9.00% SOBRE Bs 690.00 62.10

TOTAL A PAGAR Bs 752.10

SON: **SETECIENTOS CINCUENTA Y DOS CON 10/100**

OBSERVACIONES: **EL MONTO DE ESTA FACTURA DEVENGARA INTERESES DESDE SU VENCIMIENTO, CALCULADOS A LA TASA ACTIVA PROMEDIO FIJADA POR EL BANCO CENTRAL DE VENEZUELA, MAS 3% ANUAL POR LA MORA.**

CONDICIONES GENERALES DE VENTA AL RESPALDO.

DES-PACHADO CON NOTA DE ENTREGA Nº

DEL

OXICAR
ALMACEN DE REPUESTOS
RECIBIDO
 FECHA 18/02/08

CANCELADO POR: 

SELLO Y FIRMA DEL CLIENTE

DOMICILIO FISCAL:
 Urb. Montalván, Calle 1 con Av. 2, Centro Usúar, Piso 5
 Ofic. 53, Apartado 40539, Telfs.: (0212) 442.0830 - 442.3853
 Master 443.5511 - Fax: (0212) 442.0191 - 443.8015
 Caracas 1020 - Venezuela.

ESTA FACTURA VA SIN TACHADURAS NI ENMIENDAS IMPRESA POR GRAFIBOND S.A. RIF: Nº J-00204223-0. DIRECCION: 4TA. TRANSVERSAL ENTRE LUIS ROQUE Y ALFREDO JAHN, LOS PALOS GRANDES, CTA. LOAS, TUPA. (0212) 9943754
 2844010 FAX: 2858617 SEGUN RES. SAT/GTR/96/E-960322036 DE FECHA 15/03/1998. REGION CAPITAL, CANTIDAD 1.000 Nº DE CONTROL DESDE LA SERIE 1 Nº 24001 HASTA LA SERIE 1 Nº 25000 - FECHA: 28/10/2007

ORIGINAL

Figura B.8. Factura de la compra de ácido sulfúrico.





inteca

Garantía INTEgral de buen Servicio

FORMA	PAGINA
FACTURA N° 4133 - 07	1

R.I.F.: J - 07028466 - 8
N.I.T.: 0026400236

FORMA LIBRE CONTROL N° 40434

CLIENTE/DIRECCION OXICAR RIF: J-00027609-9 NIT: 0059598457 Zona Industrial Carabobo, 9na transversal, calle 87-A No. 141, Valencia. Edo Carabobo	FORMA No. 4133 - 07	FECHA 23/10/2007	NUUESTRA REF. 11452/07
	CLIENTE REF. 148191/148192	FECHA 19/10/2007	CLIENTE No. 0180

RENG.	CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	U/M	MON	P/UNITARIO	P/TOTAL
1	CH 29401	Tubito de corto tiempo para la medicion de Gases Nitrosos Medicion: 0.5...10 PPM. Marca Drager.	3	Caja	BS	290,920.00	872,760.00
2	CH 20501	Caja de 10 tubitos de corto tiempo para la medicion de Amoniaco "Amoniaco 5/a" Rango de medida: 5...70 PPM. Marca Drager.	2	Caja	BS	325,380.00	650,760.00
3	CH 25601	Tubito de corto tiempo para la medicion de Monoxido de Carbono doble rango de Medicion: 5...150 y 100...700 PPM, tipo S/c. Marca Drager.	1	Caja	BS	317,724.00	317,724.00
4	CH 25001	Tubito de corto tiempo para la medicion de Arsenamina Medicion: 1...60 y 0.05...3 PPM. Marca Drager.	1	Caja	BS	436,392.00	436,392.00
5	81 01801	Tubito de corto tiempo para medicion de Fosfina Medicion doble rango de: 1-20 PPM; 20-100 PPM. Marca Drager.	1	Caja	BS	367,488.00	367,488.00
Sub total:							2,645,124.00
I.V.A.: 9.0000 %							238,061.16

REVISADO

Nombre: A. JALLS

Firma: [Signature]

Fecha: 26-10-07

OXICAR

ALMACEN DE REPUESTOS

RECIBIDO

FECHA 26/10/07

de 148191

(falta x entregar Item 3 y 1 ct. de Item 6)

[Signature]

TIEMPO DE ENTREGA 	TERMINOS DE PAGO CRÉDITO 30 DÍAS	MONTO TOTAL BS 2,883,185.00
VIA Vendedor	VALIDEZ DE LA OFERTA	FIRMA AUTORIZADA Trevor Salvisberg

Av. 3F # 70-40, Quinta Flamingo Av. Paseo Los Cabrales Sector Kerdell Centro Comercial Regina, Nivel Oficinas

Teléfonos: (0261) 793.82.22 - 791.61.19 Torre Movinet, Piso 11 Oficina N° 7 Locales 15 y 17, Avenida Municipal

791.63.28 - Fax: 793.83.05, Apdo Postal 891. Telefax: (0241) 825.50.04 - 825.45.62 Telefax: (0281) 260.00.90 - 260.00.91 - 260.00.92

Maracaibo - Estado Zulia - Venezuela Valencia - Edo. Carabobo - Venezuela Pto. La Cruz - Edo. Anzoátegui - Venezuela

E-mail: inteca@movistar.com E-mail: inteval@intecavenezuela.com E-mail: intepic@intecavenezuela.com

IMPRESORA TECNICA DE VENEZUELA, C.A. Av. 60 No. 139-189, Zona Industrial, Maracaibo Edo. Zulia, Tels: 0291-7361065 - 7361047 - Fax: 0291-7362877 - RIF: J-30230740-6 Resolución N.º 541/G19/96-E-96022093 DEL 15/03/96 - G.R.T1 Region Capital, Forma Libre 10000 Formas N° Control Clase N° 38001, hoja N° 48000, 21-02-2007

Figura B.9. Factura de la compra de tubos colorimétricos

DESCRIPCION		ASIG.	CANT.	C/U	TOTAL	UTILIDAD	G.TOTAL
CLIENTE : OXICAR LABORATORIO							
R.T Nº :				S.SNº :		UBIC :	
						FECHA : 02/04/2008	
OBSERVACIONES:							
FABRICACION DE TORRE DE ABSORCION CON ACIDO SULFURICO (H2SO4)							
							CANTIDAD A FABRICAR: 1
MANO DE OBRA							
Nº días Ingeniero de Planta		1,00		0,00	0,00	1,00	0,00
Nº días Supervisión		1,00	2,00	141,81	283,63	1,00	283,63
Nº días Tecnico		1,00	1,00	79,90	79,90	1,00	79,90
Nº días Soldador		1,00	5,00	73,87	369,35	1,00	369,35
Nº días Ayudante.		1,00	5,00	47,86	239,29	1,00	239,29
Nº días Dibujante		1,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00
Bonos Extraordinarios (10% de los sueldos)		1,00	1,00	97,22	97,22	1,00	97,22
TOTAL MANO DE OBRA (1)							1.069,38
EQUIPOS							
Nº días Oxicorte			5,00	4,17	20,83	1,00	20,83
Nº días máquina de soldar			5,00	8,33	41,67	1,00	41,67
Nº días bomba de vacio				20,02	0,00	1,00	0,00
Nº días espectrometro				29,04	0,00	1,00	0,00
Nº días turbina y calentador				2,78	0,00	1,00	0,00
TOTAL EQUIPOS (2)							62,50
CONSUMIBLES							
Bs Kw/dia			5,00	1,20	6,00	1,00	6,00
Abrasivos			2,00	5,17	10,34	1,00	10,34
Aportes de soldadura			2,00	100,00	200,00	1,00	200,00
TOTAL CONSUMIBLES (3)							216,34
SUMINISTROS							
Tubo SS 316L, Diam, 12", Sch 10, C/Costura, 6.10mts			2,00	8.189,25	16.378,50	1,00	16.378,50
Anillos SS 304, Diam 1/2"			5,00	50,00	250,00	1,00	250,00
Malla SS, 304, Diam 310mm			1,00	200,00	200,00	1,00	200,00
Disco SS 304, D.Ext 310mm, D.Int 260mm, e=3mm			2,00	200,00	400,00	1,00	400,00
Tubo SS 304, Diam 1/2" (para distribuidores)			1,00	500,00	500,00	1,00	500,00
Bridas AC, Diam 12"			2,00	500,00	1.000,00	1,00	1.000,00
Flanges Ciegos AC, 12"			2,00	500,00	1.000,00	1,00	1.000,00
Tornillos SS, 3/8" x 1-1/4", con tuercas			16,00	10,00	160,00	1,00	160,00
					0,00	1,00	0,00
SUB-TOTAL SUMINISTROS (4)							19.888,50
TOTAL SUMINISTROS (4+5)							19.888,50
TOTAL GASTOS (1+2+3+4+5)							21.236,72
GASTOS ADMINISTRATIVOS					30,00	%	6.371,02
COSTO POR FABRICACION CONTRATADA							0,00
TOTAL							27.607,74
IMPUESTO A LAS VENTAS (IVA)					0,00	%	0,00
TOTAL UNITARIO							27.607,74
TOTAL GENERAL POR FABRICAR		1	PIEZAS				27.607,74

Figura B.10. Análisis de costo del proyecto

APÉNDICE C

A continuación se presentan las fotografías tomadas en la fabricación y puesta en marcha del sistema de purificación de la tecnología aplicada a escala piloto.



Figura C.1 Prueba con tubos colorimétricos.



Figura C.2 Prueba con nitrato de plata.



Figura C.3 Dosificador de ácido sulfúrico.



Figura C.4 Parte superior del sistema piloto.



Figura C.5. Distribuidor de gas en el sistema piloto



Figura C.6. Parte inferior de la del sistema piloto.



Figura C.7. Anillos Pall de plástico.

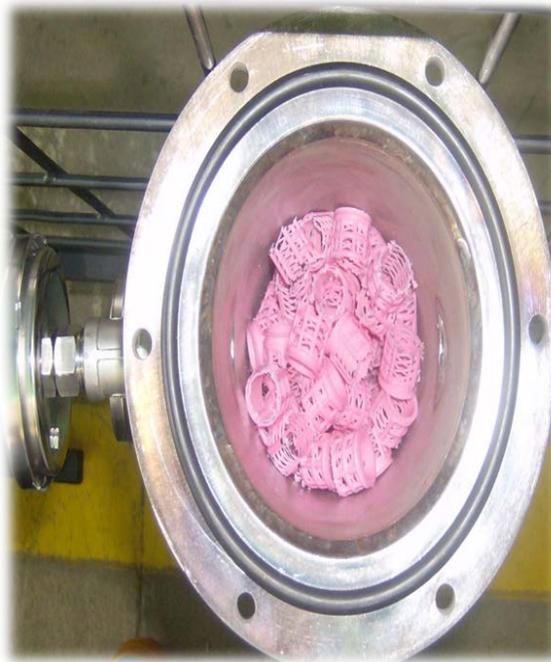


Figura C.8. Parte interior del sistema piloto.



Figura C.9. Sistema piloto.