



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DE UNA UNIDAD DE
ABSORCIÓN EN EL LABORATORIO DE PROCESOS DE LA “ESCUELA
TÉCNICA INDUSTRIAL ROBINSONIANA MATURÍN”**

REALIZADO POR:

JOSE FELIPE COVA BARRETO

C.I. 17.403.510

EDGAR DANIEL RODRIGUEZ ARIZA

C.I. 17.404.001

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERO DE PETRÓLEO**

MATURÍN, NOVIEMBRE DE 2012

ACTA DE APROBACION



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA

ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DE UNA UNIDAD DE
ABSORCIÓN EN EL LABORATORIO DE PROCESOS DE LA “ESCUELA
TÉCNICA INDUSTRIAL ROBINSONIANA MATURÍN”

REALIZADO POR:


JOSE FELIPE COVA BARRETO

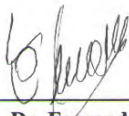
C.I: 17.403.510

EDGAR DANIEL RODRIGUEZ ARIZA

C.I: 17.404.001

APROBADO POR:


Ing. Tomas Marin
Asesor Académico



Dr. Fernando Pino
Jurado Principal



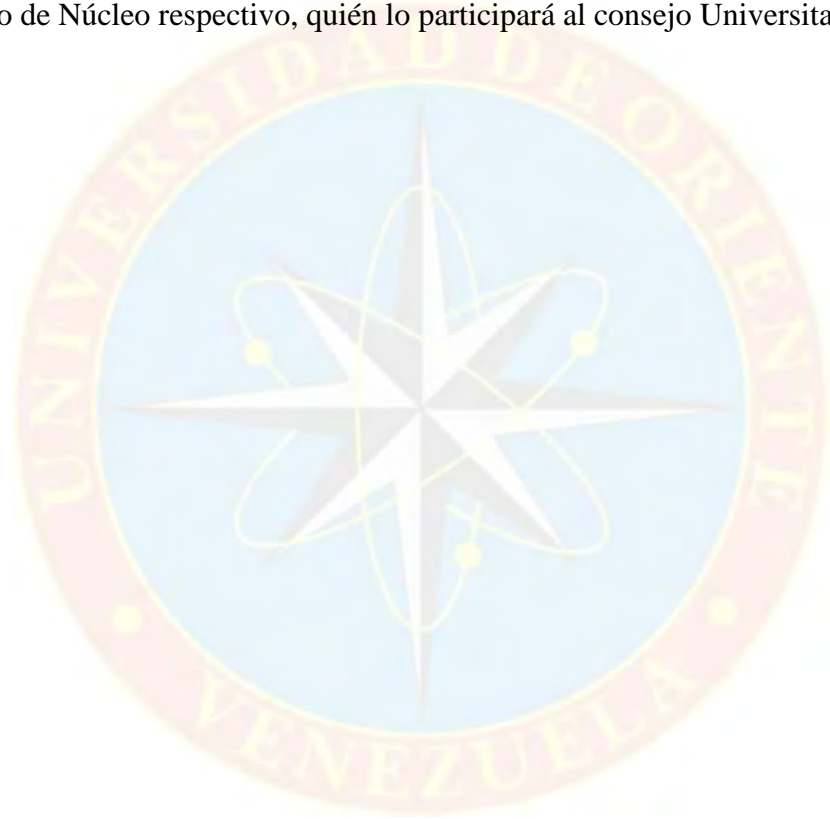
MsC. Rubén Vega
Jurado Principal

MATURÍN, NOVIEMBRE DE 2012

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado:

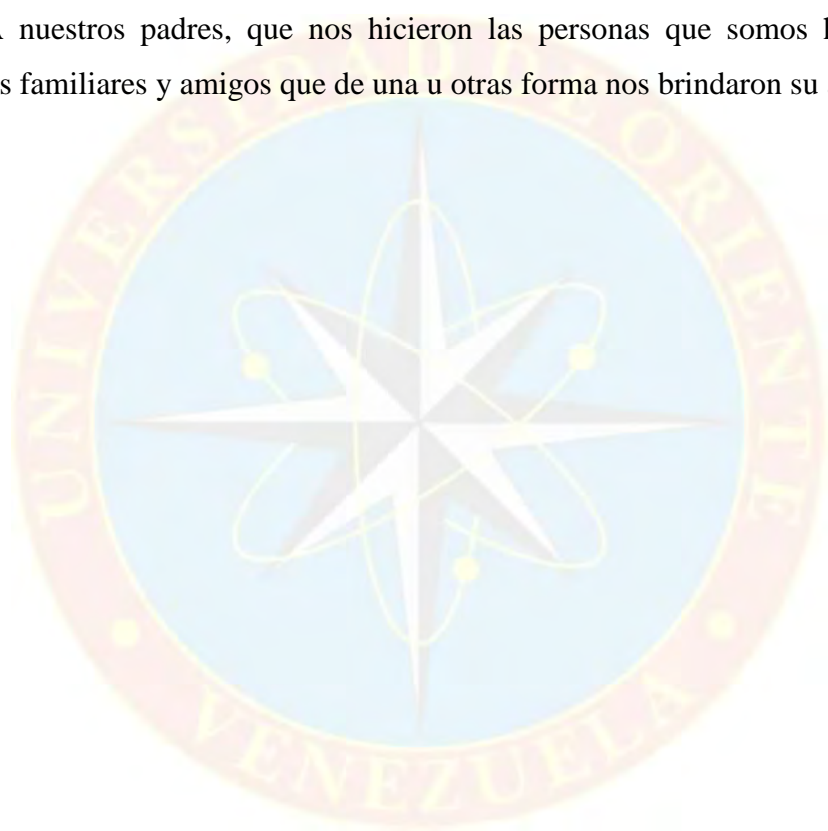
“Los trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién lo participará al consejo Universitario”.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, padre todopoderoso por darnos la energía que necesitamos para seguir adelante y la fuerza y entereza que nos permitió levantarnos las veces que tropezamos y caímos, en la carrera para el cumplimiento de esta meta.

A nuestros padres, que nos hicieron las personas que somos hoy en día, a nuestros familiares y amigos que de una u otras forma nos brindaron su apoyo.



INDICE GENERAL

| | |
|---|-------------|
| ACTA DE APROBACION | ii |
| RESOLUCIÓN..... | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| LISTA DE FIGURAS | vii |
| LISTA DE TABLAS | viii |
| LISTA DE GRÁFICAS | ix |
| RESUMEN..... | x |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 3 |
| EL PROBLEMA | 3 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION..... | 4 |
| 1.2.1 Objetivo general | 4 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.3 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION..... | 5 |
| CAPÍTULO II | 6 |
| MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 ANTECEDENTES..... | 6 |
| 2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO..... | 8 |
| 2.3 BASES TEÓRICAS..... | 8 |
| 2.3.1 Absorción | 8 |
| 2.3.2 Unidad de absorción de gas IC131D | 9 |
| 2.3.3 Operaciones unitarias físicas | 11 |
| 2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS | 14 |
| CAPÍTULO III..... | 16 |
| MARCO METODOLÓGICO | 16 |
| 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 16 |
| 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN | 16 |
| 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA | 17 |
| 3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 17 |
| 3.4.1 Recopilación bibliográfica..... | 17 |
| 3.4.2 Entrevistas no estructuradas | 18 |
| 3.5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO..... | 18 |
| 3.5.1 Etapa I: Estudio de la operación unitaria de absorción de gas a escala de una mezcla de CO ₂ , agua y aire en una unidad de absorción diseñada en el laboratorio de procesos de la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín” | 18 |
| 3.5.2 Etapa II: Estudio de la operación unitaria de absorción de gas en la columna de absorción de gas IC131D..... | 21 |

| | |
|---|------------|
| 3.5.3 Etapa III: Comparación de los resultados obtenidos durante la operación unitaria de absorción de gas de una mezcla de CO ₂ , agua y aire a escala, con los resultados obtenidos en la absorción de gas de la mezcla de CO ₂ , agua y aire realizada en la columna de absorción de gas IC131D..... | 22 |
| 3.5.4 Etapa IV: Análisis de la influencia de las variables de operación en la columna de absorción de gas IC131D..... | 23 |
| 3.6 RECURSOS | 23 |
| 3.6.1 Recursos humanos | 23 |
| 3.6.2 Recursos financieros..... | 23 |
| 3.6.3 Recursos materiales y bibliográficos..... | 23 |
| CAPÍTULO IV | 24 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 24 |
| 4.1 ESTUDIO DE LA OPERACIÓN UNITARIA DE ABSORCIÓN DE GAS A ESCALA DE UNA MEZCLA DE CO ₂ , AGUA Y AIRE EN UNA UNIDAD DE ABSORCIÓN DISEÑADA EN EL LABORATORIO DE PROCESOS DE LA “ESCUELA TÉCNICA INDUSTRIAL ROBINSONIANA MATURÍN” | 24 |
| 4.2 ESTUDIO DE LA OPERACIÓN UNITARIA DE ABSORCIÓN DE GAS EN LA COLUMNA DE ABSORCIÓN DE GAS IC131D..... | 33 |
| 4.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA OPERACIÓN UNITARIA DE ABSORCIÓN DE GAS DE UNA MEZCLA DE CO ₂ , AGUA Y AIRE A ESCALA, CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ABSORCIÓN DE GAS DE LA MEZCLA DE CO ₂ , AGUA Y AIRE REALIZADA EN LA COLUMNA DE ABSORCIÓN DE GAS IC131D..... | 41 |
| 4.4 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN LA COLUMNA DE ABSORCIÓN DE GAS IC131D | 42 |
| CAPITULO V..... | 44 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 44 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 44 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 45 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 46 |
| APÉNDICES..... | 47 |
| HOJAS METADATOS..... | 104 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1 UNIDAD DE ABSORCIÓN GAS IC131D..... | 10 |
| FIGURA 2.2. PH METRO DIGITAL Y BEAKER DE 250 ML | 14 |
| FIGURA 3.1 COLUMNA DE ABSORCIÓN DE GAS A ESCALA..... | 19 |



LISTA DE TABLAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabla 4.1 | Primer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala. | 24 |
| Tabla 4.2 | Resultado del análisis estadístico del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala. | 26 |
| Tabla 4.3 | Comparación múltiple de los resultados obtenidos del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala. | 27 |
| Tabla 4.4 | Resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala. | 30 |
| Tabla 4.5 | Resultado del análisis estadístico de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala. | 31 |
| Tabla 4.6 | Comparación múltiple de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala. | 31 |
| Tabla 4.7 | Resultados del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D. | 33 |
| Tabla 4.8 | Resultado del análisis estadístico del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D. | 34 |
| Tabla 4.9. | Comparación múltiple de los resultados obtenidos del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D. | 35 |
| Tabla 4.10 | Resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas modelo IC131D. | 38 |
| Tabla 4.11 | Resultado del análisis estadístico de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas modelo IC131D. | 39 |
| Tabla 4.12 | Comparación múltiple de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas modelo IC131D. | 40 |
| Tabla 4.13 | Resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala. | 41 |
| Tabla 4.14 | Resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas modelo IC131D. | 42 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| Gráfica 4.1 Variación de pH respecto al porcentaje de CO ₂ | 25 |
| Gráfica 4.2 Variación de pH respecto al porcentaje de CO ₂ | 34 |





**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO MONAGAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DE UNA UNIDAD DE ABSORCIÓN EN
EL LABORATORIO DE PROCESOS DE LA “ESCUELA TÉCNICA INDUSTRIAL
ROBINSONIANA MATURÍN”**

Autor:

Académico:

Br. Cova Barreto José Felipe

Marín

Br. Edgar Daniel Rodríguez Ariza

Noviembre, 2012

Asesor

Ing. Tomas

RESUMEN

Esta investigación fue desarrollada con la finalidad de analizar las variables de operación de una unidad de absorción de gas, para lo cual se realizaron 6 experimentos donde se obtuvieron 10 muestras representativas en cada uno, donde se midió el pH para conocer grado de acidez o basicidad en cada mezcla para determinar el % molar de CO₂ inmerso en el agua, estos experimentos se realizaron tanto en una unidad de absorción de gas modelo a escala como en la unidad de absorción de gas IC131D. El primer experimento realizado en ambas unidades de absorción de gas estuvieron representados bajo los siguientes valores experimentales: Caudal de agua: 147, 95 y 67 L/h, Caudal de gas: 10, 15, 20, 30, 35 y 40 Lb/pulg². Los valores experimentales antes mencionados fueron combinados en cada experimento con el fin de conocer la influencia de las variables, obteniéndose en la unidad de absorción de gas a escala los siguientes valores: % molar de CO₂: 5,09E-12; 5,21E-12; 5,33E-12; 5,59E-12; 5,85E-12; 6,41E-12; 6,87E-12; 7,20E-12; 7,36E-12; y 7,36E-12; pH: 6,77; 6,76; 6,75; 6,73; 6,71; 6,67; 6,64; 6,62; 6,61; y 6,61. Mientras que en la unidad de absorción de gas IC131D se obtuvieron los siguientes resultados: % molar de CO₂: 4,75E-12; 5,09E-12; 5,46E-12; 5,72E-12; 5,96E-12; 6,56E-12; 7,03E-12; 7,36E-12; 7,54E-12; y 7,89E-12. En cada uno de los experimentos realizados posteriormente en ambas unidades de absorción se obtuvieron resultados similares. Seguidamente se hicieron análisis y se compararon los resultados obtenidos en ambas unidades de absorción de gas para conocer cuál es más eficiente.

INTRODUCCIÓN

En la química industrial uno de los procesos fundamentales ha sido la absorción de gases, ésta consiste en separar uno o varios componentes de una mezcla gaseosa generándose una operación unitaria que es el cambio que puede tener una materia tanto en su composición como en su masa.

En 1915 se realizó la primera operación unitaria de absorción de gas, transfiriéndose materia al poner en contacto un gas con un líquido reteniendo ciertos componentes del compuesto gaseoso en el compuesto líquido por contracorriente.

En la actualidad uno de los equipos de mayor uso en la absorción de gas son las torres empacadas que están provistas de un cilindro relleno de anillos con entrada de agua en la parte superior de la columna de absorción de gas y entradas de aire y gas en la parte inferior, así como también una salida de los gases en la parte superior que circulan dentro de la columna por acción de la turbulencia generada mediante cilindros para graduar los caudales de entrada tanto del aire como del gas (manómetros y válvulas reguladoras, cilindro de gas CO₂, compresor de aire y bomba de agua que suministra la entrada de la misma a la torre) donde el aire y el CO₂ se desplazan a través de la torre hasta la parte superior en contracorriente con el agua y el agua desciende al fondo de la torre por acción de la gravedad y una salida del líquido en la parte inferior de la columna para la recolección del mismo.

Las torres o columnas de absorción de gas en la industria petrolera se encargan de remover los gases ácidos como H₂S y CO₂, que son emitidos durante los procesos de combustión que se generan durante el procesamiento de hidrocarburos líquidos y gaseosos.

La realización de este trabajo permitió conseguir conocimiento necesario sobre las torres o columnas de absorción de gas, por tal motivo se realizaron estudios y análisis donde se pudo obtener la mayor información y el conocimiento posible sobre el proceso de absorción no solo en la industria petrolera sino también donde sea necesario llevar a cabo este tipo de proceso.

Para la realización de este trabajo fue necesario el montaje de una torre o columna de absorción de gas IC131D donde se llevaron a cabo los estudios y análisis de las variables respectivas, es necesario mencionar que durante los análisis de las variables, éstas se realizaron tanto en la torre antes descrita como a modelo escala y se hicieron las comparaciones necesarias de los resultados obtenidos durante los análisis para obtener resultados convincentes y sustentables que permitieron conocer el funcionamiento, el control y los productos derivados de una columna de absorción de gas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las torres o columnas de absorción de gas en la química industrial al igual que la industria petrolera son de gran importancia al momento de realizar operaciones unitarias pero estas operaciones son de gran complejidad ya que estas crean una modificación tanto química como física de los compuestos involucrados.

Cuando se tiene la modificación o cambios de compuestos realizados en una columna de absorción de gas, estas modificaciones se ven directamente relacionadas por la transferencia de masa ocurrida durante las operaciones en la columna de absorción de gas.

La importancia para la realización de absorción en una columna de absorción de gas radica principalmente en tres factores primordiales como lo son: el costo, la eficiencia, y la capacidad de producción en las industrias donde se requiera la aplicación de operaciones unitarias.

En nuestro país al igual que en otros países donde se lleve a cabo la explotación de hidrocarburos existen plantas de refinación del crudo producido con el fin de obtener derivados de mejor calidad como también procesamiento del crudo. Durante el procesamiento de los hidrocarburos se generan gases que son altamente contaminantes para la atmósfera, es por eso la necesidad de establecer laboratorios y colocación de torres de absorción de gas que disminuyan o absorban los gases contaminantes que son generados durante el procesamiento de los hidrocarburos y los productos que se pueden obtener durante la absorción.

Como en nuestro país los procesos industriales generan gases ácidos y contaminantes, se requirió hacer estudios y analizar las variables de este tipo de gases ácidos, en este caso específicamente se vio la necesidad de estudiar al CO_2 durante la transferencia de materia que se produce por operación unitaria.

Por tal motivo se vio la necesidad de realizar la instalación de los equipos donados y poner en funcionamiento la columna de absorción de gases. Donde se realizaron experimentos que permitieron el estudio y el análisis de las variables en una mezcla de CO_2 , agua y aire en una columna de absorción de gas.

En esta investigación se tuvo como patrón principal de estudio la colocación de una columna de absorción de gas IC131D de origen Italiano en el laboratorio de procesos en la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín” donado por el gobierno nacional en el año 2004 con el fin de estudiar las variables durante el proceso de absorción. Pero para ese entonces no se contaba con el espacio físico disponible para la instalación de dicho equipo, ni con las personas calificadas para el manejo de la columna de absorción de gas.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.2.1 Objetivo general

Analizar las variables de operación de una unidad de absorción en el laboratorio de procesos de la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín”.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudiar la operación unitaria de absorción de gas a escala de una mezcla de CO_2 , agua y aire en una unidad de absorción diseñada en el laboratorio de procesos de la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín”.

- Estudiar la operación unitaria de absorción de gas en la columna de absorción de gas IC131D.
- Comparar los resultados obtenidos durante la operación unitaria de absorción de gas de una mezcla de CO₂, agua y aire a escala, con los resultados obtenidos en la absorción de gas de la mezcla de CO₂, agua y aire realizada en la columna de absorción de gas IC131D.
- Analizar la influencia de las variables de operación en la columna de absorción de gas IC131D

1.3 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Con la dotación de una unidad de absorción realizada en el año 2004 por el gobierno nacional en las instalaciones del laboratorio de procesos de la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín” fue necesario la instalación y funcionamiento de la columna de absorción de gas IC131D, con la instalación de dicho equipo se presentó la oportunidad de realizar experimentos para el estudio y análisis de una mezcla de CO₂, agua y aire para así conocer las variables que se generan de los procesos industriales.

Con el convenio realizado en el año 2011 con la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín” y la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas para trabajos de tesis y de investigación se desea alcanzar el máximo logro posible durante las investigaciones que se realicen en el laboratorio de procesos para garantizar una buena formación académica de ambas partes y poder generar investigaciones futuras tanto a estudiantes de la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín” como a estudiantes de la Universidad de Oriente Núcleo Monagas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Pérez (2008), Evaluación de las condiciones internas y de operación de la columna de absorción con amina del mejorador de crudo extra-pesado Petropiar en el Complejo Industrial José. En el presente trabajo se realizó una evaluación de las condiciones internas y de operación de la columna de absorción con amina de la planta de gas del mejorador PETROPIAR con la finalidad de determinar las causas que originan el arrastre de amina en el gas te tope de la columna. Para ello se empleó como herramienta de ingeniería el programa de simulación PRO II con Provisión. Se simuló la torre a condiciones de diseño y luego esta fue validada a condiciones normales de operación a un flujo de gas ácido de 26,03 MMSCFD. Esto con la finalidad de determinar las posibles desviaciones que presenta la columna con respecto al diseño original. Para la toma de muestra de los valores normales se utilizaron tanto las mediciones de planta que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio de la empresa, así como los arrojados por el programa de monitoreo Aspen Process Explorer a saber: temperatura, presión y flujo de las distintas corrientes que integran a la columna de absorción. Se realizó un aumento de carga de gas a la columna, con lo cual se determinó el flujo de gas máximo que puede ser admitido en la torre sin que se produzca arrastre de amina en la misma. Finalmente se realizaron dos exploraciones gammagráficas a la columna, la primera a condiciones normales de operación y la segunda aumentando la carga de gas ácido para producir arrastre de amina en la columna; esto con la finalidad de verificar la integridad mecánica en el absorbedor. Obteniéndose los siguientes resultados: el simulador PRO II reproduce con confiabilidad ambas simulaciones, tanto diseño como operación; el arrastre de amina ocurre cuando el flujo de gas combustible se encuentra alrededor de

26 MMSCFD; la cantidad de sulfuro de hidrógeno en la corriente de gas combustible es de 20,77 ppm; la gammagrafía demostró que existe lagrimeo entre plato y plato en la columna.

Gómez y Guzmán (2004), Análisis de las variables del proceso de diseño de las columnas de absorción para 27 sistemas binarios en una operación sin reacción química. En el presente trabajo se obtuvieron las variables del proceso de diseño de las columnas de absorción para 27 sistemas binarios en una operación sin reacción química, además de establecieron correlaciones y gráficos termodinámicos que rigen dicha operación, y desarrollaron el algoritmo de cálculo para el diseño de las columnas de absorción con el objetivo de establecer un software que produzca los resultados obtenidos a través de cálculos realizados con datos experimentales, para la realización de este trabajo se hizo uso del simulador HYSYS, el cual permitió efectuar mediante el diseño de modelos matemáticos el diseño y evaluación del equipo de separación de gases de una manera práctica y rápida. El simulador HYSYS es lo suficientemente versátil en su manejo ya que permite ejecutar cambios de variables en los compuestos y sustancias para analizar sus efectos en la separación.

Velázquez y Betancourt (2003), Evaluación de la eficiencia en torres de absorción de gases para el sistema aire, amoníaco y agua. En el presente trabajo se evaluó la eficiencia en torres de absorción de gases para el sistema aire, amoníaco y agua a través del cual verificaron las condiciones de trabajo y manejo de una torre. Con la finalidad de verificar si dicha torre se encontraba en las mejores condiciones, uso y eficacia para un óptimo desempeño en la planta. De esta manera se puede tener conocimiento adecuado de las torres de absorción y de las especificaciones técnicas de trabajo para el sistema aire, amoníaco y agua. Si se desea trabajar con otras sustancias como acetonas, aminas entre otros deberá adecuarse la torre de absorción para éste tipo de sustancias.

Sierra (2001), Diseño de una columna de absorción de gas modelo a escala rellena de anillos Raschig mediante la adecuación de torres empacadas en el laboratorio de operaciones unitarias de la “Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui”. Para esto se uso el sistema amoniaco y agua, con la finalidad de conocer la influencia de los anillos Raschig sobre el agente separador. Para la realización de este trabajo se utilizaron diferentes tipos de anillos que fueron introducidos en la columna de absorción de gas a modelo escala y observaron el comportamiento de los anillos en el proceso de mezclado de los compuestos involucrados, durante los experimentos realizados se utilizaron anillos Raschig, anillos Pall, montura de Berl y montura Intalox, estos fueron distribuidos de manera uniforme y con una gran proporción de espacios vacios que permitiera que volúmenes relativamente grandes de líquido pasaran a contracorriente con respecto al gas que fluye a través de las aberturas de los anillos. Este tipo de investigación permite conocer los diferentes tipos de empaque y como afectan el agente separador durante el proceso de absorción de gas.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

El presente trabajo fue desarrollado en el laboratorio de procesos de la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín” el cual se encuentra ubicado en la Av. Raúl Leoni. Laboratorio que fue habilitado para trabajos de tesis y de investigación mediante el convenio realizado en el año 2011 con la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín” y la “Universidad de Oriente Núcleo de Monagas”.

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 Absorción

Es el proceso mediante el cual un contaminante gaseoso se disuelve en un

líquido. El agua es el absorbente más usado, a medida que el flujo de gas pasa por el líquido, este absorbe el gas de la misma manera como el azúcar es absorbido en un vaso de agua cuando se agita.

La absorción se usa comúnmente para recuperar productos o purificar gases con alta concentración de compuestos orgánicos. La absorción puede tener lugar mediante dos tipos de operaciones unitarias: a) física, como las bebidas o momentos bipolares, fuerzas de polarización, fuerzas dispersivas, etc. o b) químicas; que se deben a fuerzas de valencia y redistribuciones de electrones entre el sólido y el gas absorbido.

2.3.2 Unidad de absorción de gas IC131D

La unidad IC131D está constituida fundamentalmente por una columna de llenado con anillos Raschig cargados a “granel”. El agua entra por la extremidad superior de la columna empujada por un electro bomba centrífuga que aspira desde un tanque de almacenaje.

La línea del gas está conectada a la parte inferior de la columna y puede ser alimentada por un compresor de aire, por una bombona de gas o bien por una mezcla gas/aire. Sobre las líneas líquido y gas están insertados tres flujómetros para poder medir el caudal del fluido, mientras que en la columna están dispuesta toma de presión, termopares y tomas de muestras que permiten tener bajo control la evolución del proceso.

Sobre la estructura metálica que soporta el conjunto de aparatos está fijado el módulo de mando que prevé también un indicador digital de temperatura conectado a los termopares de la columna.

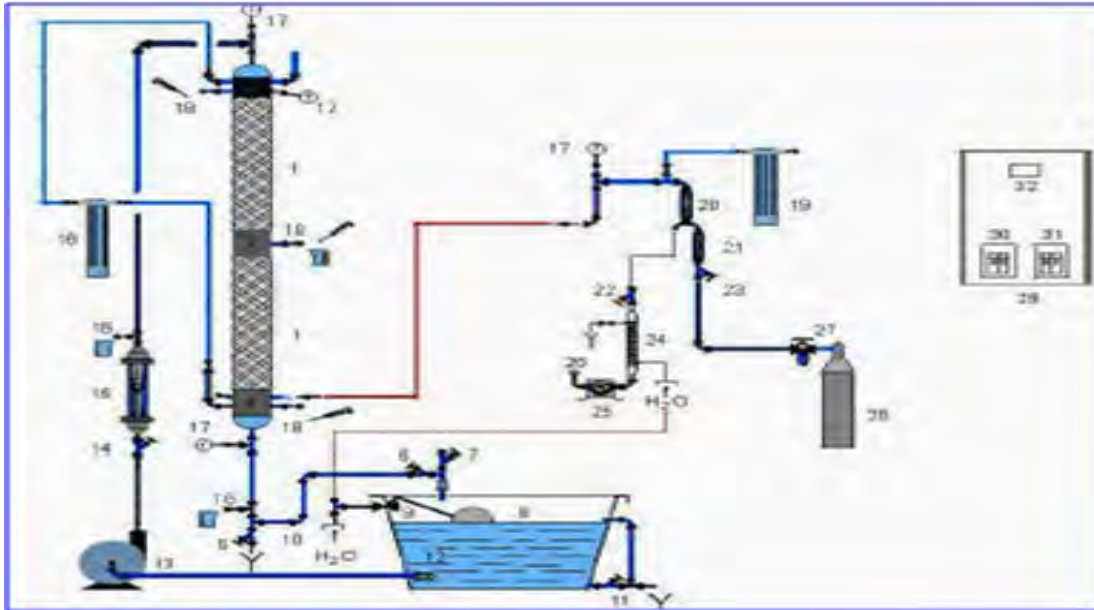


Figura 2.1 Unidad de absorción de gas IC131D

Fuente: Manual de la unidad de absorción de gas IC131D. DIDACTA

1. Troncos de columna de llenado
2. Pequeño tronco intermedio
3. Cabecera superior de la columna, entrada agua
4. Cabecera inferior de la columna, entrada gas y descarga
5. Válvula para lavado/descarga de la columna
6. Válvula para la regulación del flujo del líquido de la columna
7. Válvula de seguridad
8. Tanque de alimentación y recogida del líquido.
9. Válvula de flotador.
10. Conexión de la alimentación de agua
11. Válvula para la descarga del tanque
12. Filtro
13. Bomba centrífuga de circulación
14. Válvula para la regulación del caudal del líquido

15. Medidor de flotador del caudal del líquido
16. Manómetro a U a mercurio
17. Termo resistencia
18. Puntos de extracción de muestras
19. Manómetro a U a mercurio
20. Medidor de flotador del caudal de aire
21. Medidor de flotador del caudal de gas
22. Válvula de regulación del caudal de aire
23. Válvula de regulación del caudal de la componente de gas
24. Intercambiador de calor agua/aire
25. Compresor volumétrico
26. Filtro de aire
27. Regulador de presión
28. Bombona de gas
29. Módulo de mando
30. Interruptor bomba
31. Interruptor compresor
32. Lector digital temperaturas

2.3.3 Operaciones unitarias físicas

- De transferencia de materia.
- De transferencia de energía.
- De transferencia simultanea de materia y energía.
- De transferencia de cantidad de movimiento.

2.3.3.1 Operaciones unitarias químicas

- Tiene por objeto estudiar de una forma distinta los átomos de una molécula para dar otra, es decir los pasos de los reactivos a los productos.
- Asegurarnos de que el modo de fluir de los reactivos sea total, para conseguir una mezcla deseada.
- Proporcionar el tiempo deseado para logra la mezcla deseada.
- Permitir que se adquieran las condiciones de temperatura, presión y composición para obtener una buena condición de absorción durante la velocidad de la mezcla.

2.3.2.2 Fuerza impulsora

La fuerza impulsora es aquella que nos permite determinar la separación por medio de las concentraciones, es decir, la cantidad del componente absorbido en dicha mezcla.

Esta fuerza impulsora actuante en una columna de absorción de gases es la diferencia entre la presión parcial en la corriente gaseosa del componente absorbido y la presión de vapor a la cual se está trabajando.

2.3.2.3 Absorción de gases

Es una operación unitaria en la cual una 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. Esta operación requiere la transferencia de masa de una sustancia en la corriente gaseosa al líquido. La

absorción de gas en un líquido ocurre durante el proceso de limpieza por frotamiento, es una operación de unidad de ingeniería química estándar desarrollada desde el punto de vista técnico y relativamente bien comprendida.

2.3.2.4 Columna de absorción de gases

Las columnas o torres de absorción de gas pueden ser de dos tipos, las columnas de platos o las columnas de rellenos. Las columnas de platos son equipos a contracorriente en los que el contacto se hace en discontinuo sobre unos platos que tienen orificios para el paso de los gases, y un vertedero para transferir el líquido de plato a plato, de manera que los gases ascienden burbujeando por los orificios. Los separadores de venturi provocan una aceleración del gas mediante un estrechamiento, llamado garganta de venturi, en la que se produce la mezcla gas-líquido, siendo la velocidad del líquido la que proporciona la energía para el correcto contacto entre gas residual y solvente, y aunque el tiempo de residencia es escaso debido a las altas velocidades, tienen una buena eficiencia en la eliminación de partículas. Estos equipos presentan una gran pérdida de presión y debido al escaso tiempo de residencia sólo es aplicable a gases de alta solubilidad. Las columnas de relleno a contracorriente, en las que nos centramos en este apartado, son equipos cilíndricos que contienen en su interior un relleno cuyo objetivo es maximizar el área de contacto entre gas y líquido. Las torres empacadas tienen eficiencias de remoción de gases más altas que otros equipos manejando caudales de gas residual más altos y menor cantidad de líquido de limpieza, aunque las pérdidas de presión son altas y los costos del equipo, de operación y de mantenimiento también pueden ser bastante altos.

2.3.2.5 Absorción de CO₂

Es aquella que es generada o provocada en una torre o columna de absorción mediante la agitación o turbulencia en contracorriente de la fase líquida (agua) y la

fase gaseosa (dióxido de carbono), cuando este se disuelve con el agua reacciona en la mezcla para formar ácido carbónico.

2.3.2.6 Medición del pH

El pH es una medida de la acidez o basicidad de una solución. El pH es la concentración de iones o cationes de hidrógeno presentes en determinada sustancia. Se conoce como el logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones de hidrógeno.



Figura 2.2. pH metro digital y Beaker de 250 ml

En el caso del estudio en interés la absorción del CO_2 se puede seguir por medio del pH en función del tiempo. Los valores del pH pueden obtenerse en función del tiempo indicándonos la cantidad de CO_2 que es absorbido y por ser un gas este se expresa en unidades de moles. Se realizan mediciones del pH hasta que no se observe ninguna variación en el pH manteniéndose de manera constante.

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Anillos Raschig: Los anillos Raschig son piezas de tubos que son utilizadas en grandes cantidades como relleno dentro de las columnas de absorción de gases

permitiendo realizar destilaciones de gran eficiencia.

Caudal de fluido: El caudal de fluido es la cantidad de fluido que pasa por un área determinada y avanza en unidad de tiempo.

Dióxido de carbono- CO₂: Es un gas resultante de la combinación de dos cuerpos simples el carbono y el oxígeno. Se produce por la combustión del carbón o los hidrocarburos, la fermentación de los líquidos y la respiración de los humanos y de los animales.

Gas ácido: Un gas ácido se caracteriza por ser un gas que contiene cantidades significativas de ácido sulfúrico (H₂S), dióxido de carbono (CO₂), o contaminantes similares.

Gases contaminantes: Son gases que causan daño ecológico a la atmósfera. Los contaminantes gaseosos más comunes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y los óxidos de azufre.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se desarrollo en este trabajo fue de tipo explicativa, según el autor Arias (2006), “es aquella que se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto”. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación postfacto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. (Pág. 31)

En esta investigación se analizaron las variables y los resultados obtenidos en una columna o torre de absorción de gas IC131D, con la finalidad de conocer el porcentaje de CO₂ que quedó inmerso en el agua durante el proceso de frotación por contracorriente, donde el componente de interés de la fase gaseosa se transfirió a la fase líquida.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se llevo a cabo es del tipo experimental, tal como establece el autor Fideas G. Arias (2006), que es un “proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”. (Pág. 33)

En este tipo de investigación se analizaron las causas que permitieron generar variación en la cantidad de CO₂ que se mezcló con el agua por contracorriente.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

Fidias Arias (2006), define la población como: “la población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación” (Pág. 81)

Durante la investigación se tomaron como población los compuestos agua, CO₂ y aire que se usaron en la unidad de absorción de gas IC131D, donde se tomaron 60 muestras representativas de una mezcla de CO₂, agua y aire, y se hizo variar en cada muestra los caudales de CO₂, agua y aire y observando a través de la medición del pH correspondiente en cada muestra, la cantidad de CO₂ que se absorbió en la misma.

3.4 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En toda investigación es necesaria la obtención de datos o información que permitan generar técnicas para el estudio de las variables que surjan durante la ejecución o planteamiento del problema. Es por eso que hubo la necesidad de realizar experimentos y estudiar las variables generadas de los caudales de CO₂, agua y aire.

En este caso se obtuvo como recolección de información la siguiente técnica:

3.4.1 Recopilación bibliográfica

Durante la elaboración de este trabajo fue necesario obtener información bibliográfica (libros, documentos, tesis de grado, publicaciones en Internet, etc.).

Recopilación que aporó información de gran utilidad y así poder llevar a cabo la realización de este trabajo.

3.4.2 Entrevistas no estructuradas

Se solicitó asesorías con ingenieros y personal calificados y asociados al tema a desarrollar, con el objetivo de obtener información que permitió la elaboración de este trabajo.

3.5 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Para obtener los objetivos planteados en la investigación, se utilizó la siguiente metodología.

3.5.1 Etapa I: Estudio de la operación unitaria de absorción de gas a escala de una mezcla de CO₂, agua y aire en una unidad de absorción diseñada en el laboratorio de procesos de la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín”

Para la realización de esta etapa fue necesario elaborar una columna de absorción de gas a escala, con el fin de simular el proceso que se lleva a cabo en la Unidad de Absorción de Gas en estudio, para ello se utilizaron los siguientes equipos:

- Una columna cilíndrica de 1000 ml
- Anillos del tipo Raschig
- Baño de maría de capacidad de 50 litros
- Bomba de ½ HP
- Bombona de CO₂
- Mangueras y sujetadores



Figura 3.1 Columna de absorción de gas a escala.

Una vez establecido el diseño de la unidad de absorción de gas a escala se procedió a estipular las variables a estudiar, las cuales estuvieron representadas por el caudal de agua y el caudal de CO_2 , estas fueron utilizadas bajo los siguientes valores experimentales:

- **Caudal de agua:** 147, 95 y 67 L/h
- **Caudal de Gas:** 10, 15, 20, 30, 35 y 40 Lb/pulg²

De igual manera estas variables fueron combinadas en cada uno de los experimentos de la siguiente manera:

- **Experimento N°1:** Caudal de agua: 147 L/h; Caudal de gas: 20 Lb/pulg²
- **Experimento N°2:** Caudal de agua: 147 L/h; Caudal de gas: 25 Lb/pulg²
- **Experimento N°3:** Caudal de agua: 67 L/h; Caudal de gas: 10 Lb/pulg²
- **Experimento N°4:** Caudal de agua: 67 L/h; Caudal de gas: 15 Lb/pulg²
- **Experimento N°5:** Caudal de agua: 95 L/h; Caudal de gas: 30 Lb/pulg²

- **Experimento N°6:** Caudal de agua: 95 L/h; Caudal de gas: 35 Lb/pulg²

Posteriormente se procedió a determinar con un pH-metro el grado de acidez o basicidad de la mezcla por medio del porcentaje molar de CO₂ que quedó inmerso en el agua y que fue medido cada 5 minutos a 10 muestras de la mezcla.

Los valores del porcentaje molar de CO₂ obtenidos en cada una de las muestras representativas fueron calculados con la siguiente ecuación:

$$[\% \text{ molar de CO}_2] = 3 \times \text{KH} \times 10^{(7 - \text{pH})} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 1)$$

Donde el número 3 es un valor tabulado y KH está representado con el valor de 1×10^{-14} que es considerado como la ionización del agua.

Para el cálculo de los valores de pH respecto al porcentaje molar de CO₂ se trabajó con un rango de medición para el pH donde se clasificaron los valores de la siguiente manera:

$0 < \text{pH} < 7$ Se considera sustancia acida.

$\text{pH} = 7$ Se considera sustancia neutra

$7 > \text{pH} > 14$ Se considera sustancia básica.

Se realizaron mediciones del pH hasta que no se observó ninguna variación del mismo en las muestras representativas.

Cabe destacar que los resultados obtenidos en cada uno de los experimentos fueron sujetos a un análisis estadístico por medio de un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras.

3.5.2 Etapa II: Estudio de la operación unitaria de absorción de gas en la columna de absorción de gas IC131D

Una vez que se obtuvieron las muestras de las mezclas en la columna de absorción de gas a escala, se procedió a analizar las muestras de las mezclas en la columna de absorción de gas IC131D.

La metodología de estudio fue la misma utilizada en la de modelo a escala. En esta unidad la columna de absorción tenía una dimensión en tamaño de 80mm de diámetro y 160mm de longitud rellena con anillos raschig a lo largo de la columna y de manera uniforme, también con una entrada de agua en la parte superior que era suministrada desde un baño de circulación a través de una bomba y con salida en la parte inferior que era recirculada a lo largo de la columna y depositada en el baño de circulación.

La entrada de aire y gas CO_2 también fueron suministrados a la columna en la parte inferior donde éstas se desplazaron hacia la parte superior de la columna mezclándose con el agua que era vertida a la columna, de igual manera una vez que se obtuvo la mezcla de los tres componentes agua, CO_2 y aire, estos fueron recolectados desde una llave de toma de muestras en la parte inferior de la columna.

El procedimiento experimental en la columna de absorción de gas IC131D y en la columna diseñada a escala fue el mismo, con la diferencia que en la columna de absorción de gas IC131D se tuvieron más variables generadas a los caudales de agua, aire y gas CO_2 que se suministraron a la columna, ya que estos eran de mayor volumen y a diferencia del modelo a escala los caudales de entrada de los componentes involucrados en el experimento podían ser regulados y medidos a través de flujómetros directamente desde la columna de absorción de gas IC131D. De esta manera se pudo saber con exactitud con que volumen de agua, gas y aire se estaba trabajando, así como también tres puntos de medidas de presión en diferentes puntos

de la columna y manómetros que indicaban a qué presión se estaba operando durante los análisis y función de la columna.

A diferencia de la columna a escala las muestras no sólo podían ser tomadas en la parte inferior de la columna, sino que podían ser tomadas en cuatro puntos diferentes a lo largo de la columna para saber las variables de temperaturas a lo largo de ésta, y los resultados de los experimentos podían ser analizados en un computador a través de un sistema automático de adquisición de datos para IC131D.

Las variables que se analizaron en la columna de absorción de gas IC131D fueron las mismas que se generaron en la columna diseñada a escala donde estuvieron representadas por el caudal de agua, aire y CO₂; también se determinó el porcentaje de CO₂ que quedó inmerso en el agua, con la diferencia que en la columna de absorción de gas IC131D se pudieron hacer mediciones más exactas de los caudales de CO₂, agua y aire y se pudo obtener una mejor mezcla de los compuestos.

3.5.3 Etapa III: Comparación de los resultados obtenidos durante la operación unitaria de absorción de gas de una mezcla de CO₂, agua y aire a escala, con los resultados obtenidos en la absorción de gas de la mezcla de CO₂, agua y aire realizada en la columna de absorción de gas IC131D

De los resultados obtenidos en la columna de absorción de gas diseñada a escala como en la columna de absorción de gas IC131D, se realizaron comparaciones de las muestras obtenidas en cada columna de absorción y establecer cuál de las dos columnas de absorción de gas arroja mejores resultados en la medición del porcentaje molar de CO₂ y de esta manera determinar cuál de las dos es más eficiente, con menos porcentaje de error.

3.5.4 Etapa IV: Análisis de la influencia de las variables de operación en la columna de absorción de gas IC131D

La influencia de las variables de operación en la columna de absorción de gas IC131D fue regulada y analizadas de manera individual con el propósito de conocer la influencia de la absorción durante la operación en la columna de absorción.

Estas variables son: el caudal de agua, la presión de aire y la presión de CO₂. Cada una de estas variables estuvo ajustada a un tiempo de medición que se regulo constantemente para conocer las variaciones de absorción mediante la medición del pH respecto al tiempo.

3.6 RECURSOS

3.6.1 Recursos humanos

Para la elaboración de este proyecto se necesitó el asesoramiento de ingenieros y personas calificadas en la especialidad que aportaron conocimiento que sirvió de gran ayuda para la elaboración de este proyecto.

3.6.2 Recursos financieros

Los gastos generados durante la elaboración de éste proyecto fueron asumidos por las personas encargadas en desarrollar dicho trabajo.

3.6.3 Recursos materiales y bibliográficos

Material bibliográfico: Tesis, libros, documentos, Internet, etc.

Material de laboratorio: Beakers, pH metro, baño de maría, columna cilíndrica, mangueras, sujetadores, cronometro, etc.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ESTUDIO DE LA OPERACIÓN UNITARIA DE ABSORCIÓN DE GAS A ESCALA DE UNA MEZCLA DE CO₂, AGUA Y AIRE EN UNA UNIDAD DE ABSORCIÓN DISEÑADA EN EL LABORATORIO DE PROCESOS DE LA “ESCUELA TÉCNICA INDUSTRIAL ROBINSONIANA MATURÍN”

En esta etapa inicialmente se realizaron las pruebas correspondientes en la unidad de absorción de gas a escala que se diseñó en el laboratorio, a continuación se presentan los resultados del experimento N°1, donde las variables utilizadas fueron:

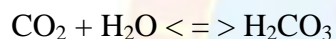
Presión de CO₂ = 20 Lb/pulg², Caudal de agua = 147,18 L/h.

Tabla 4.1 Primer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

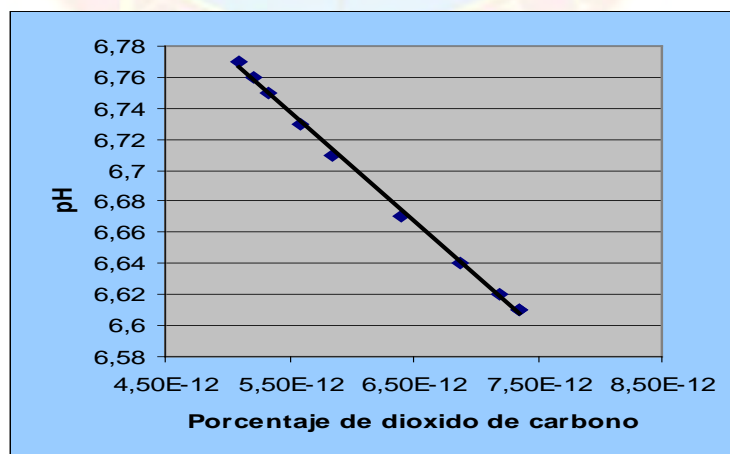
| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 5,09E-12 | 6,77 |
| 10 | 5,21E-12 | 6,76 |
| 15 | 5,33E-12 | 6,75 |
| 20 | 5,59E-12 | 6,73 |
| 25 | 5,85E-12 | 6,71 |
| 30 | 6,41E-12 | 6,67 |
| 35 | 6,87E-12 | 6,64 |
| 40 | 7,20E-12 | 6,62 |
| 45 | 7,36E-12 | 6,61 |
| 50 | 7,36E-12 | 6,61 |

Como se puede observar en la tabla 4.1 los valores de porcentaje molar de CO_2 que quedó disuelto en el agua contenida por la columna de absorción de gas a escala fue ascendiendo, es decir, a medida que aumentaba el tiempo de inyección del CO_2 incrementaba también el porcentaje de este último, esto debido a que durante el proceso de mezclado por contracorriente entre los componentes involucrados en la columna de absorción de gas a escala se aumentaron los caudales lo que generó mayor turbulencia en la columna de absorción de gas y por ende un mayor mezclado generando más absorción.

Esto se produjo ya que el CO_2 reaccionó con el agua formando ácido carbónico (Raymond Chang –1999), según la siguiente ecuación:



El ácido carbónico H_2CO_3 es el que aumenta la concentración de protones H^+ haciendo disminuir el pH, quedando la siguiente ecuación:



Gráfica 4.1 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO_2

En la gráfica 4.1 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad a escala, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0.08; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 1.135e-12 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados.

Para efectos de esta etapa solo se tomó en cuenta los resultados obtenidos en el experimento N°1, debido a que en cada uno de los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala se obtuvieron resultados similares con la misma tendencia en cada una de las gráficas.

Tabla 4.2 Resultado del análisis estadístico del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,61 | X |
| 9 | 3 | 6.61 | X |
| 8 | 3 | 6.62 | X |
| 7 | 3 | 6.64 | X |
| 6 | 3 | 6.67 | X |
| 5 | 3 | 6.71 | X |
| 4 | 3 | 6.73 | X |
| 3 | 3 | 6.75 | X |
| 2 | 3 | 6.76 | XX |
| 1 | 3 | 6.77 | X |

En la tabla 4.2 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna de grupos 27 homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 4.3 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|--------------------|----------------|
| Muestra 1 – Muestra 2 | 0,01 | 0,0393334 |
| Muestra 1 – Muestra 3 | 0,02 | 0,0393334 |
| Muestra 1 – Muestra 4 | *0,04 | 0,0393334 |
| Muestra 1 – Muestra 5 | *0,09 | 0,0393334 |
| Muestra 1 – Muestra 6 | *0,1 | 0,0393334 |
| Muestra 1 – Muestra 7 | *0,13 | 0,0393334 |
| Muestra 1 – Muestra 8 | *0,15 | 0,0393334 |
| Muestra 1 – Muestra 9 | *0,16 | 0,0393334 |
| Muestra 1 – Muestra 10 | *0,16 | 0,0393334 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | 0,01 | 0,0393334 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | 0,03 | 0,0393334 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,08 | 0,0393334 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,09 | 0,0393334 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,12 | 0,0393334 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,14 | 0,0393334 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,15 | 0,0393334 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,15 | 0,0393334 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | 0,02 | 0,0393334 |

Tabla 4.3 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala (Continuación)

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|--------------------|----------------|
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,07 | 0,0393334 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,08 | 0,0393334 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,11 | 0,0393334 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,13 | 0,0393334 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,14 | 0,0393334 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,14 | 0,0393334 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | *0,05 | 0,0393334 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,06 | 0,0393334 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,09 | 0,0393334 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,11 | 0,0393334 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,12 | 0,0393334 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,12 | 0,0393334 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | 0,006 | 0,0393334 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | 0,03 | 0,0393334 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,05 | 0,0393334 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,06 | 0,0393334 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,06 | 0,0393334 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | 0,03 | 0,0393334 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,05 | 0,0393334 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,06 | 0,0393334 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,06 | 0,0393334 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | 0,02 | 0,0393334 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | 0,03 | 0,0393334 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | 0,03 | 0,0393334 |

Tabla 4.3 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala (Continuación)

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|-------------|-----------|
| Muestra 8 - Muestra 9 | 0,01 | 0,0393334 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0393334 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | 0 | 0,0393334 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas modelo a escala.

En la tabla 4.3 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 31 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

En cada uno de los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala se obtuvieron resultados similares con la misma tendencia en cada una de las graficas, a excepción de los valores obtenidos en el experimento número cuatro donde se obtuvieron resultados significativos en los valores del pH en comparación a los demás resultados obtenidos en cada uno de los experimentos realizados.

Obteniéndose de esta manera el comportamiento esperado en cada uno de los experimentos.

Tabla 4.4 Resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala.

| Experimentos | Presión de CO ₂ (Lb/pulg ²) | Caudal de agua (L/h) | % molar de CO ₂ | pH |
|-----------------|---|-------------------------|----------------------------|------|
| Experimento N°1 | 20 | 147,18 | 6,23E-12 | 6,69 |
| Experimento N°2 | 25 | 147,18 | 5,12E-12 | 6.77 |
| Experimento N°3 | 10 | 67 | 4,83E-12 | 6.80 |
| Experimento N°4 | 15 | 67 | 6,81E-12 | 5.66 |
| Experimento N°5 | 30 | 95 | 5,65E-12 | 6.73 |
| Experimento N°6 | 35 | 95 | 5,64E-12 | 6.73 |

En la tabla 4.4 se puede observar los resultados promedios obtenidos en cada una de las pruebas realizadas, efectivamente todos los experimentos tuvieron un comportamiento similar aún a pesar de que se utilizaron diferentes valores en cada una de las variables de trabajo, de igual manera los resultados obtenidos del pH fueron parecidos a excepción del experimento N°4, esto debido a que posiblemente la concentración de la bombona de CO₂ utilizada durante la ejecución de esta prueba era mayor que las consumidas en el resto. Durante la realización de los experimentos se utilizaron 12 bombonas de CO₂ de 10,5 kg.

Cabe destacar que se sustentó la confiabilidad sobre un análisis estadístico aplicando un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes una de otras.

Tabla 4.5 Resultado del análisis estadístico de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala.

| Experimento | Frecuencia | Media | Grupos homogéneos |
|------------------|------------|-------|-------------------|
| Experimento N° 6 | 3 | 5,66 | X |
| Experimento N° 5 | 3 | 6,69 | X |
| Experimento N° 4 | 3 | 6,73 | X |
| Experimento N° 3 | 3 | 6,73 | X |
| Experimento N° 2 | 3 | 6,77 | X |
| Experimento N° 1 | 3 | 6,80 | X |

En la tabla 4.5 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” se identifica un grupo homogéneo según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 4.6 Comparación múltiple de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|-------------------------------------|-------------|---------|
| Experimento N° 1 - Experimento N° 2 | *-0,08 | 0,01779 |
| Experimento N° 1 - Experimento N° 3 | *-0,11 | 0,01779 |
| Experimento N° 1 - Experimento N° 4 | *1,03 | 0,01779 |
| Experimento N° 1 - Experimento N° 5 | *-0,04 | 0,01779 |
| Experimento N° 1 - Experimento N° 6 | *-0,04 | 0,01779 |
| Experimento N° 2 - Experimento N° 3 | *-0,03 | 0,01779 |
| Experimento N° 2 - Experimento N° 4 | *1,11 | 0,01779 |
| Experimento N° 2 - Experimento N° 5 | *0,04 | 0,01779 |

Tabla 4.6 Comparación múltiple de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala (Continuación)

| Contraste | Diferencias | Limites |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|
| Experimento N° 2 - Experimento N° 6 | *0,04 | 0,01779 |
| Experimento N° 3 - Experimento N° 4 | *1,14 | 0,01779 |
| Experimento N° 3 - Experimento N° 5 | *0,07 | 0,01779 |
| Experimento N° 3 - Experimento N° 6 | *0,07 | 0,01779 |
| Experimento N° 4 - Experimento N° 5 | *-1,07 | 0,01779 |
| Experimento N° 4 - Experimento N° 6 | *-1,07 | 0,01779 |
| Experimento N° 5 - Experimento N° 6 | 0 | 0,01779 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas a escala.

En la tabla 4.6 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 14 pares, indican que estos muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

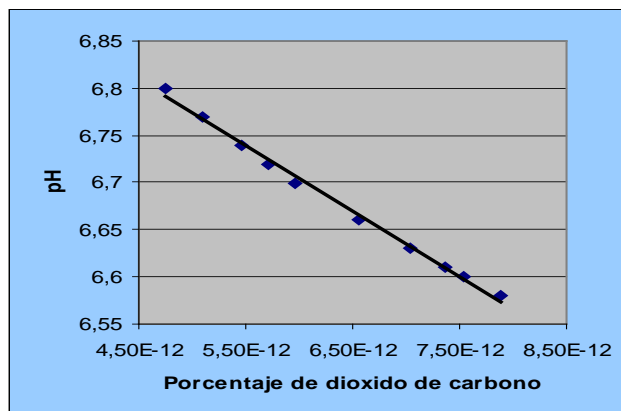
4.2 ESTUDIO DE LA OPERACIÓN UNITARIA DE ABSORCIÓN DE GAS EN LA COLUMNA DE ABSORCIÓN DE GAS IC131D

En esta etapa inicialmente se realizaron las pruebas correspondientes en la unidad de absorción de gas IC131D, a continuación se presentan los resultados del experimento (Tabla 4.7), donde las variables utilizadas fueron Presión de CO₂ = 10 Lb/pulg², Caudal de agua = 67 L/h.

Tabla 4.7. Resultados del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 4,75E-12 | 6,80 |
| 10 | 5,09E-12 | 6,77 |
| 15 | 5,46E-12 | 6,74 |
| 20 | 5,72E-12 | 6,72 |
| 25 | 5,96E-12 | 6,70 |
| 30 | 6,56E-12 | 6,66 |
| 35 | 7,03E-12 | 6,63 |
| 40 | 7,36E-12 | 6,61 |
| 45 | 7,54E-12 | 6,60 |
| 50 | 7,89E-12 | 6,58 |

Como se puede observar en la tabla 4.7 los valores de porcentaje de CO₂ disuelto en el agua contenida por la columna de absorción de gas IC131D fueron ascendiendo de manera progresiva, es decir, a medida que aumentaba el tiempo de inyección del CO₂ incrementaba también el porcentaje de este último, esto debido al mismo fenómeno mencionado en la etapa anterior.



Gráfica 4.2 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica 4.2 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad a escala, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,11; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 1.57e-12 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados. Para efectos de esta etapa solo se tomó en cuenta los resultados obtenidos en el experimento N°1, debido a que en cada uno de los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala se obtuvieron resultados similares con la misma tendencia en cada una de las gráficas.

Tabla 4.8. Resultado del análisis estadístico del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,58 | X |
| 9 | 3 | 6,60 | X |

Tabla 4.8. Resultado del análisis estadístico del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D (Continuación)

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 8 | 3 | 6,61 | X |
| 7 | 3 | 6,63 | X |
| 6 | 3 | 6,66 | X |
| 5 | 3 | 6,70 | X |
| 4 | 3 | 6,72 | X |
| 3 | 3 | 6,74 | X |
| 2 | 3 | 6,77 | X |
| 1 | 3 | 6,80 | X |

En la tabla 4.8 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” indica que todos los grupos homogéneos se encuentran en la misma alineación del signo X, indicando que no existe diferencia significativamente estadística.

Tabla 4.9. Comparación múltiple de los resultados obtenidos del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|-----------------------|-------------|-----------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,17 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,19 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,2 | 0,0170319 |

Tabla 4.9. Comparación múltiple de los resultados obtenidos del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D (Continuación)

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,2 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,17 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,17 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,13 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,09 | 0,0170319 |

Tabla 4.9. Comparación múltiple de los resultados obtenidos del primer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D (Continuación)

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | 0 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa.

En la tabla 4.9 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 44 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

Los resultados que se obtuvieron en los experimentos siguientes que se realizaron en la columna de absorción de gas IC131D arrojaron en mismo comportamiento y describieron la misma similitud.

Tabla 4.10. Resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Experimentos | Presión de CO ₂ (Lb/pulg ²) | Caudal de agua (L/h) | pH | % molar de CO ₂ |
|------------------|---|-------------------------|------|----------------------------|
| Experimento N° 1 | 10 | 67 | 6,68 | 6,34E-12 |
| Experimento N° 2 | 15 | 67 | 6,57 | 7,70E-12 |
| Experimento N° 3 | 20 | 147 | 6,69 | 6,22E-12 |
| Experimento N° 4 | 25 | 147 | 6,51 | 9,62E-12 |
| Experimento N° 5 | 30 | 95 | 6,54 | 9,04E-12 |
| Experimento N° 6 | 35 | 95 | 6,62 | 7,41E-12 |

En esta tabla se pueden observar los resultados promedios obtenidos en cada una de las pruebas realizadas en la unidad de absorción de gas IC131D, destacando

que el caudal de agua se mantuvo constante para los dos primeros experimentos, pero se hicieron variaciones de presión del CO₂ para conocer su influencia, donde se observó que a medida que se aumentó la presión se generó mayor absorción del gas en el agua reflejado por los valores de pH y el porcentaje molar de CO₂ resultante durante los cálculos realizados. De igual forma, se realizó el mismo procedimiento para los cuatros experimentos posteriores.

Durante el mezclado del CO₂, agua y aire en la unidad de absorción de gas IC131D, estos pudieron observarse con mejor facilidad debido a la mayor dimensión en tamaño de la unidad de absorción gas. Como se ha descrito y explicado en los resultados de los experimentos anteriores el aumento de presión generó mayor turbulencia y frotación entre el CO₂, agua y aire teniéndose como resultado mayor cantidad de CO₂ disuelto en el agua. Cabe destacar la veracidad de nuestras observaciones sobre un análisis estadístico aplicando un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes una de otras.

Tabla 4.11 Resultado del análisis estadístico de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Experimento | Frecuencia | Media | Grupos homogéneos |
|------------------|------------|-------|-------------------|
| Experimento N° 6 | 3 | 6,51 | X |
| Experimento N° 5 | 3 | 6,54 | X |
| Experimento N° 4 | 3 | 6,57 | X |
| Experimento N° 3 | 3 | 6,62 | X |
| Experimento N° 2 | 3 | 6,68 | X |
| Experimento N° 1 | 3 | 6,69 | X |

Tabla 4.12. Comparación múltiple de los resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|
| Experimento N° 1 - Experimento N° 2 | *0,11 | 0,01779 |
| Experimento N° 1 - Experimento N° 3 | -0,01 | 0,01779 |
| Experimento N° 1 - Experimento N° 4 | *0,17 | 0,01779 |
| Experimento N° 1 - Experimento N° 5 | *0,14 | 0,01779 |
| Experimento N° 1 - Experimento N° 6 | *0,06 | 0,01779 |
| Experimento N° 2 - Experimento N° 3 | *-0,12 | 0,01779 |
| Experimento N° 2 - Experimento N° 4 | *0,06 | 0,01779 |
| Experimento N° 2 - Experimento N° 5 | *0,03 | 0,01779 |
| Experimento N° 2 - Experimento N° 6 | *-0,05 | 0,01779 |
| Experimento N° 3 - Experimento N° 4 | *0,18 | 0,01779 |
| Experimento N° 3 - Experimento N° 5 | *0,15 | 0,01779 |
| Experimento N° 3 - Experimento N° 6 | *0,07 | 0,01779 |
| Experimento N° 4 - Experimento N° 5 | *-0,03 | 0,01779 |
| Experimento N° 4 - Experimento N° 6 | *-0,11 | 0,01779 |
| Experimento N° 5 - Experimento N° 6 | *-0,08 | 0,01779 |

* Indica una diferencia significativa.

En la tabla 4.12 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 14 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas IC131D muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias

es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

4.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA OPERACIÓN UNITARIA DE ABSORCIÓN DE GAS DE UNA MEZCLA DE CO₂, AGUA Y AIRE A ESCALA, CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ABSORCIÓN DE GAS DE LA MEZCLA DE CO₂, AGUA Y AIRE REALIZADA EN LA COLUMNA DE ABSORCIÓN DE GAS IC131D

El siguiente procedimiento describe la comparación de los resultados obtenidos en la columna de absorción de gas modelo a escala y la columna de absorción de gas IC131D. Para la realización de comparaciones de los resultados fue necesario hacer un promedio general de los valores del pH y el porcentaje molar de CO₂ obtenido en las 60 muestras de la columna de absorción a escala y las 60 muestras de la columna de absorción de gas IC131D.

Tabla 4.13 Resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas a escala.

| Experimentos | Presión de CO₂ (Lb/pulg²) | Caudal de agua (L/h) | pH | % molar de CO₂ |
|---------------------|--|---------------------------------|-----------|----------------------------------|
| Experimento N° 1 | 20 | 147,18 | 6,69 | 6,23E-12 |
| Experimento N° 2 | 25 | 147,18 | 6,77 | 5,12E-12 |
| Experimento N° 3 | 10 | 67 | 6,80 | 4,83E-12 |
| Experimento N° 4 | 15 | 67 | 5,66 | 6,81E-12 |
| Experimento N° 5 | 30 | 95 | 6,73 | 5,65E-12 |
| Experimento N° 6 | 35 | 95 | 6,73 | 5,64E-12 |

Tabla 4.14 Resultados promedios de todos los experimentos realizados en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Experimentos | Presión de CO₂ (Lb/pulg²) | Caudal de agua (L/h) | pH | % molar de CO₂ |
|---------------------|--|---------------------------------|-----------|----------------------------------|
| Experimento N° 1 | 10 | 67 | 6,68 | 6,34E-12 |
| Experimento N° 2 | 15 | 67 | 6,57 | 7,70E-12 |
| Experimento N° 3 | 20 | 147 | 6,69 | 6,22E-12 |
| Experimento N° 4 | 25 | 147 | 6,51 | 9,62E-12 |
| Experimento N° 5 | 30 | 95 | 6,54 | 9,04E-12 |
| Experimento N° 6 | 35 | 95 | 6,62 | 7,41E-12 |

La tabla 4.13 y 4.14 que se describieron anteriormente muestran resultados similares en los valores del pH. Como se demostró anteriormente cada una de estas arrojaron diferencias estadísticas significativas mediante el uso de programas y modelos computarizados.

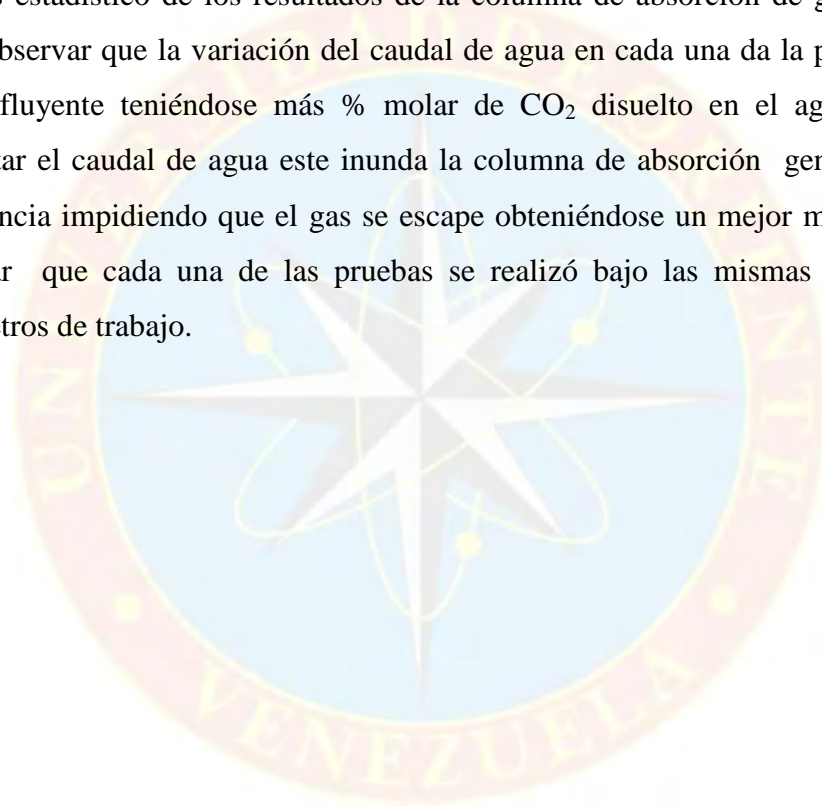
Los valores del pH obtenidos en las muestras de la columna de absorción de gas IC131D mostraron valores menores en comparación a los de las muestras de la columna de absorción de gas modelo a escala indicando que se tuvo mayor % molar de CO₂ disuelto en el agua, a excepción del experimento número cuatro realizado en la columna de absorción de gas modelo a escala donde el valor del pH mantuvo un valor inferior a los demás valores obtenidos.

4.4 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN LA COLUMNA DE ABSORCIÓN DE GAS IC131D

En pruebas realizadas en la columna de absorción de gas IC131D se observó que durante la variación de los caudales de CO₂, agua y aire, los resultados obtenidos mantuvieron el mismo comportamiento y la misma tendencia en cada uno de los

experimentos, es decir, a medida que disminuyo el valor del pH aumento el % molar de CO_2 .

Los valores obtenidos del % molar de CO_2 en cada una de las pruebas efectuadas fueron semejantes estadísticamente indicando que la variación de los caudales no afecto en gran medida las pruebas realizadas. Sin embargo, al realizar el análisis estadístico de los resultados de la columna de absorción de gas IC131D se pudo observar que la variación del caudal de agua en cada una da la pruebas fue las más influyente teniéndose más % molar de CO_2 disuelto en el agua, ya que al aumentar el caudal de agua este inunda la columna de absorción generando mayor turbulencia impidiendo que el gas se escape obteniéndose un mejor mezclado. Cabe destacar que cada una de las pruebas se realizó bajo las mismas condiciones y parámetros de trabajo.



CAPITULO V

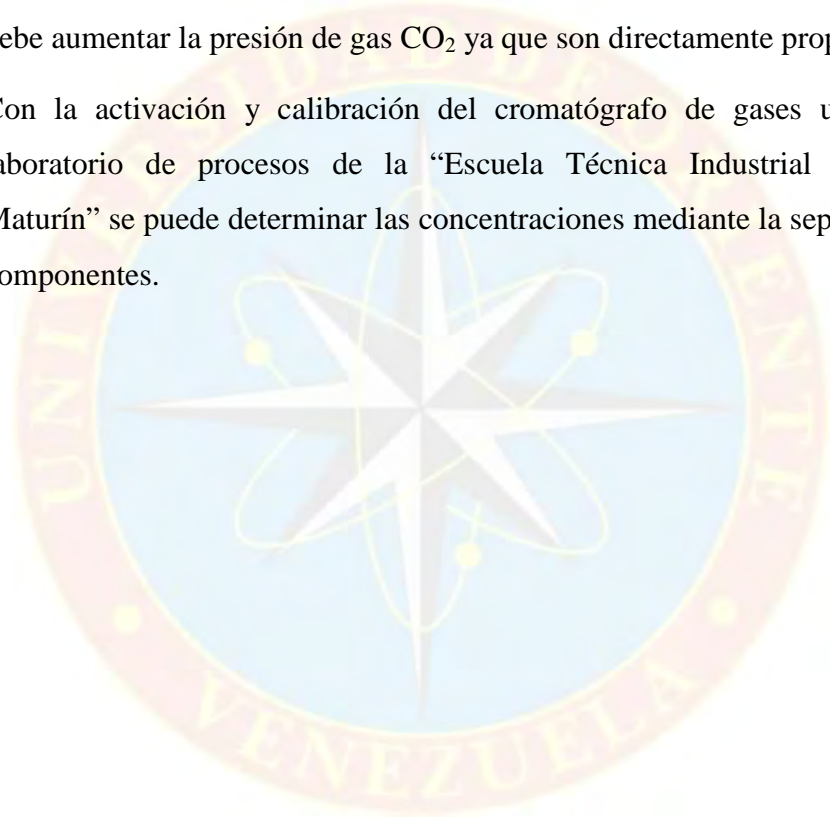
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La descripción de la unidad de absorción de gas IC131D es fundamental para su funcionamiento, lo cual permite realizar las operaciones unitarias.
- En las operaciones unitarias realizadas en la unidad de absorción de gas IC131D y en la columna de absorción de gas modelo a escala el % molar de CO₂ aumenta y el pH disminuye a medida que transcurre el tiempo y los resultados que se obtuvieron en ambas unidades de absorción fueron estadísticamente similares.
- Mediante los análisis estadísticos realizados a cada una de las mezclas obtenidas tanto en la unidad de absorción de gas IC131D y la unidad de absorción de gas modelo a escala se demostró que la unidad de absorción de gas IC131D es más eficiente.
- La variación de cada uno de los caudales utilizados en la columna de absorción de gas IC131D no tuvo influencia estadísticamente significativa durante las pruebas ya que los valores obtenidos en cada una de estas fueron parecidos. Sin embargo, es necesario mencionar que la variable más influyente fue el caudal de agua donde se observó mayor % molar de CO₂ disuelto cuando este se aumentó.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se deben hacer mediciones de pH hasta que no se observe variación en los resultados obtenidos en el pH-metro, esto indica que la mezcla no acepta más porcentaje molar de CO₂.
- Para tener una mejor absorción a medida que se aumenta el caudal de agua se debe aumentar la presión de gas CO₂ ya que son directamente proporcionales.
- Con la activación y calibración del cromatógrafo de gases ubicado en el laboratorio de procesos de la “Escuela Técnica Industrial Robinsoniana Maturín” se puede determinar las concentraciones mediante la separación de los componentes.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Pérez, D. (2008), "Evaluación de las condiciones internas de operación de la columna de absorción con aminas del mejorador de crudo extra-pesado Petro Piar en el Complejo Industrial José", trabajo de grado del Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto la Cruz.
- Gómez, L. Y Guzmán, A. (2004), "Elaboración de un Software didáctico de simulación, para el diseño de columnas de absorción adiabáticas, para mezclas binarias", trabajo de grado del Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto la Cruz.
- Velázquez, C. Y Betancourt, I. (2003), "Evaluación y eficiencia en torre de absorción de gases para el sistema aire, amoniaco y agua", trabajo de grado del Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto la Cruz.
- Sierra. (2001), "Diseño una columna de absorción de gas modelo a escala mediante la adecuación de torres empacadas en el Laboratorio de Operaciones Unitarias del Núcleo de Anzoátegui de la Universidad de Oriente", trabajo de grado del Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto la Cruz.
- Geankoplis, C. (1982), "Procesos de transporte y operaciones unitarias". Segunda edición, México. Editorial Continental.
- Armfield. (2009), "Manual de Instrucciones de uso del Equipo Experimental de la Columna de Absorción de Gas UOP7".
- Treybal, R. (2002), Operaciones de Transferencia de Masa. Segunda edición, México. Editorial McGraw-Hill.
- Zabaleta, O. (2007), "Manual de Balance de Materia y Energía de la Columna de Absorción", Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Química. Ecuador.
- GÓMEZ, T. (1990), "Diseño y Construcción de Torres de Absorción de CO₂ en agua con regulación de temperatura", REPIDISCA.



APÉNDICES



APÉNDICE A
(Análisis estadístico)

Experimento N° 02.

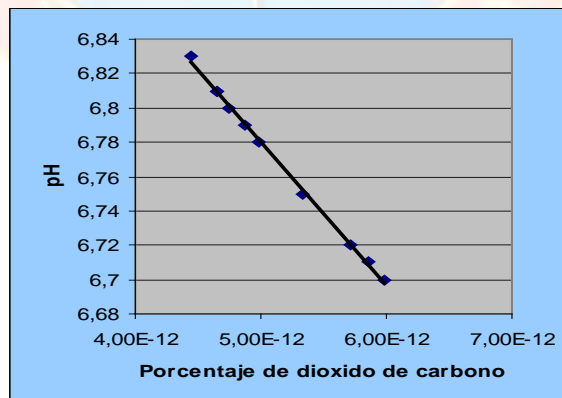
Presión de CO₂ = 25 Lb/pulg².

pH inicial = 6,81.

Caudal de agua = 147,18 L/h.

Tabla A1 Resultados obtenidos del segundo experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 4,65E-12 | 6,81 |
| 10 | 4,44E-12 | 6,83 |
| 15 | 4,65E-12 | 6,81 |
| 20 | 4,75E-12 | 6,80 |
| 25 | 4,87E-12 | 6,79 |
| 30 | 4,98E-12 | 6,78 |
| 35 | 5,33E-12 | 6,75 |
| 40 | 5,72E-12 | 6,72 |
| 45 | 5,85E-12 | 6,71 |
| 50 | 5,99E-12 | 6,70 |



Grafica A1 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica A1 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad a escala, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0.05; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 6.7e-13 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados.

Tabla A2 Resultado del análisis estadístico del segundo experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,70 | X |
| 9 | 3 | 6,71 | XX |
| 8 | 3 | 6,72 | X |
| 7 | 3 | 6,75 | X |
| 6 | 3 | 6,78 | X |
| 5 | 3 | 6,79 | XX |
| 4 | 3 | 6,80 | XX |
| 3 | 3 | 6,81 | X |
| 2 | 3 | 6,81 | X |
| 1 | 3 | 6,83 | X |

En la tabla A2 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” se identifican 4 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla A3 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del segundo experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Muestra | Diferencias | Limites |
|------------------------|--------------------|----------------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *-0,02 | 0,01703019 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | 0 | 0,01703019 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | 0,01 | 0,01703019 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,02 | 0,01703019 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,03 | 0,01703019 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,06 | 0,01703019 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,09 | 0,01703019 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,1 | 0,01703019 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,1 | 0,01703019 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | *0,02 | 0,01703019 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,03 | 0,01703019 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,04 | 0,01703019 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,05 | 0,01703019 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,08 | 0,01703019 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,11 | 0,01703019 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,12 | 0,01703019 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,12 | 0,01703019 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | 0,01 | 0,01703019 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,02 | 0,01703019 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,03 | 0,01703019 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,06 | 0,01703019 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,09 | 0,01703019 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,1 | 0,01703019 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,1 | 0,01703019 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | 0,01 | 0,01703019 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,02 | 0,01703019 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,05 | 0,01703019 |

| | | |
|------------------------|-------|------------|
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,08 | 0,01703019 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,09 | 0,01703019 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,09 | 0,01703019 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | 0,01 | 0,01703019 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,04 | 0,01703019 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,07 | 0,01703019 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,08 | 0,01703019 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,08 | 0,01703019 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | *0,03 | 0,01703019 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,06 | 0,01703019 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,07 | 0,01703019 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,07 | 0,01703019 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,03 | 0,01703019 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,04 | 0,01703019 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,04 | 0,01703019 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | 0,01 | 0,01703019 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | 0,01 | 0,01703019 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | 0 | 0,01703019 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en la columna de absorción de gas modelo a escala.

En la tabla A3 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 37 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con

este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

Experimento N° 03.

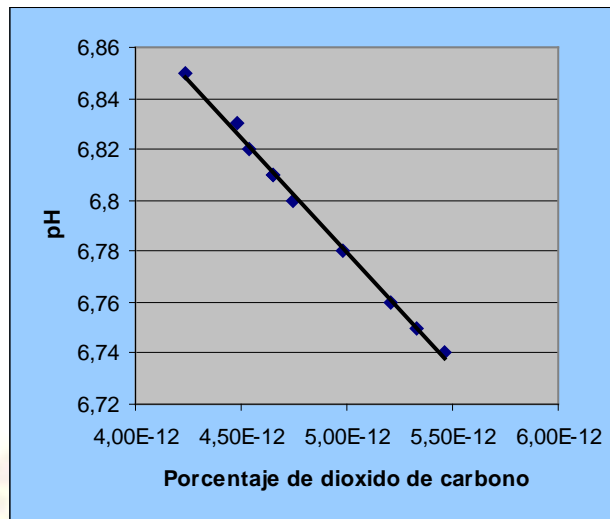
Presión de CO₂ = 10 Lb/pulg².

pH inicial = 6,84.

Caudal de agua = 67 L/h.

Tabla A4 Resultados obtenidos del tercer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 4,24E-12 | 6,85 |
| 10 | 4,48E-12 | 6,83 |
| 15 | 4,54E-12 | 6,82 |
| 20 | 4,65E-12 | 6,81 |
| 25 | 4,65E-12 | 6,81 |
| 30 | 4,75E-12 | 6,80 |
| 35 | 4,98E-12 | 6,78 |
| 40 | 5,21E-12 | 6,76 |
| 45 | 5,33E-12 | 6,75 |
| 50 | 5,46E-12 | 6,74 |



Grafica A2 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica A2 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad a escala, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,05; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 6,1e-12 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados.

Tabla A5 Resultado del análisis estadístico del tercer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,74 | X |
| 9 | 3 | 6,75 | XX |
| 8 | 3 | 6,76 | X |
| 7 | 3 | 6,78 | X |
| 6 | 3 | 6,80 | X |
| 5 | 3 | 6,81 | XX |
| 4 | 3 | 6,81 | XX |
| 3 | 3 | 6,82 | XX |
| 2 | 3 | 6,83 | X |
| 1 | 3 | 6,85 | X |

En la tabla A5 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” se identifican 4 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla A6 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del tercer experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|-----------------------|-------------|-----------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,1 | 0,0170319 |

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | 0 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas modelo a escala.

En la tabla A6 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 37 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

Experimento N° 04.

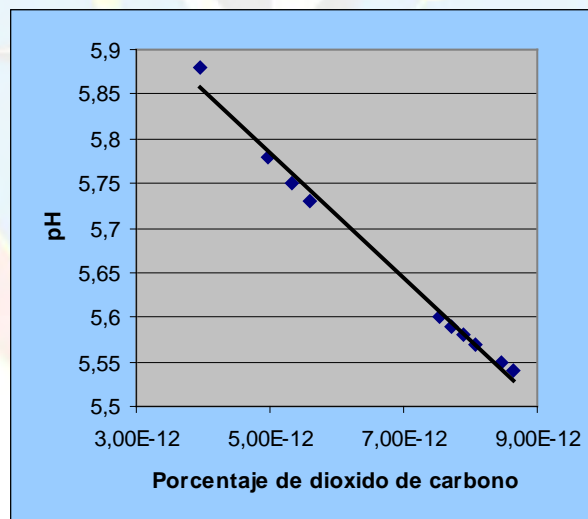
Presión de CO₂ = 15 Lb/pulg².

pH inicial = 6,35.

Caudal de agua = 67 L/h.

Tabla A7 Resultados obtenidos del cuarto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 3,95E-12 | 5,88 |
| 10 | 4,98E-12 | 5,78 |
| 15 | 5,33E-12 | 5,75 |
| 20 | 5,59E-12 | 5,73 |
| 25 | 7,54E-12 | 5,60 |
| 30 | 7,71E-12 | 5,59 |
| 35 | 7,89E-12 | 5,58 |
| 40 | 8,07E-12 | 5,57 |
| 45 | 8,46E-12 | 5,55 |
| 50 | 8,65E-12 | 5,54 |



Grafica A3 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica A3 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad a escala, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra

de las mezclas de 0,155; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 2,06e-12 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados.

Tabla A8 Resultado del análisis estadístico del cuarto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 5,54 | X |
| 9 | 3 | 5,55 | X |
| 8 | 3 | 5,57 | X |
| 7 | 3 | 5,58 | XX |
| 6 | 3 | 5,59 | XX |
| 5 | 3 | 5,60 | X |
| 4 | 3 | 5,73 | X |
| 3 | 3 | 5,75 | X |
| 2 | 3 | 5,78 | X |
| 1 | 3 | 5,88 | X |

En la tabla A8 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” se identifica un grupo homogéneo según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla A9 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del cuarto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|--------------------|----------------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | *0,13 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,28 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,29 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,30 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,31 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,33 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,34 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,18 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,19 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,20 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,21 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,23 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,24 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,17 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,18 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,20 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,21 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | *0,13 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,18 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,19 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,06 | 0,0170319 |

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 6 - Muestra 7 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en la columna de absorción de gas modelo a escala.

En la tabla A9 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 41 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

Experimento N° 05.

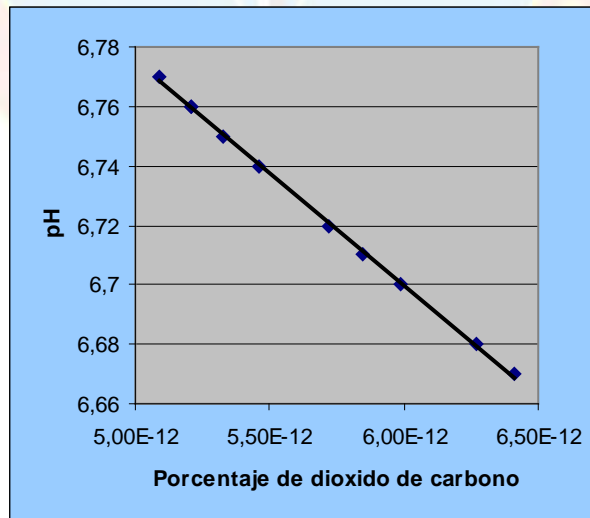
Presión de CO₂ = 30 Lb/pulg².

pH inicial = 6,78.

Caudal de agua = 95 L/h.

Tabla A10 Resultados obtenidos del quinto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 5,09E-12 | 6,77 |
| 10 | 5,21E-12 | 6,76 |
| 15 | 5,21E-12 | 6,76 |
| 20 | 5,33E-12 | 6,75 |
| 25 | 5,46E-12 | 6,74 |
| 30 | 5,72E-12 | 6,72 |
| 35 | 5,85E-12 | 6,71 |
| 40 | 5,99E-12 | 6,70 |
| 45 | 6,27E-12 | 6,68 |
| 50 | 6,41E-12 | 6,67 |



Grafica A4 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica A4 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad a escala, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,045; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 5,9e-13 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados.

Tabla A11 Resultado del análisis estadístico del quinto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,67 | X |
| 9 | 3 | 6,68 | X |
| 8 | 3 | 6,70 | X |
| 7 | 3 | 6,71 | XX |
| 6 | 3 | 6,72 | X |
| 5 | 3 | 6,74 | X |
| 4 | 3 | 6,75 | XX |
| 3 | 3 | 6,76 | XX |
| 2 | 3 | 6,76 | XX |
| 1 | 3 | 6,77 | X |

En la tabla A11 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” se identifica 6 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa,

mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla A12 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del quinto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|--------------------|----------------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | 0 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,09 | 0,0170319 |

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 3 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | 0 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas modelo a escala.

En la tabla A12 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son

significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 36 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

Experimento N° 06.

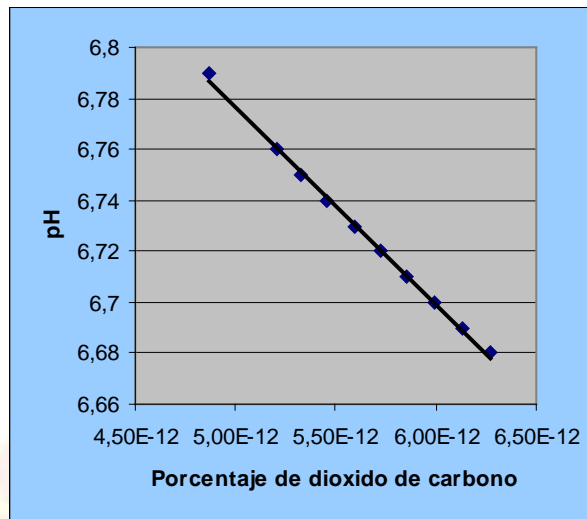
Presión de CO₂ = 35 Lb/pulg².

pH inicial = 6.85.

Caudal de agua = 95 L/h.

Tabla A13 Resultados obtenidos del sexto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 4,87E-12 | 6,79 |
| 10 | 5,21E-12 | 6,76 |
| 15 | 5,33E-12 | 6,75 |
| 20 | 5,46E-12 | 6,74 |
| 25 | 5,59E-12 | 6,73 |
| 30 | 5,72E-12 | 6,72 |
| 35 | 5,85E-12 | 6,71 |
| 40 | 5,99E-12 | 6,70 |
| 45 | 6,13E-12 | 6,69 |
| 50 | 6,27E-12 | 6,68 |



Gráfica A5 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica A5 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad a escala, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,055; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 7e-13 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados

Tabla A14 Resultado del análisis estadístico del sexto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

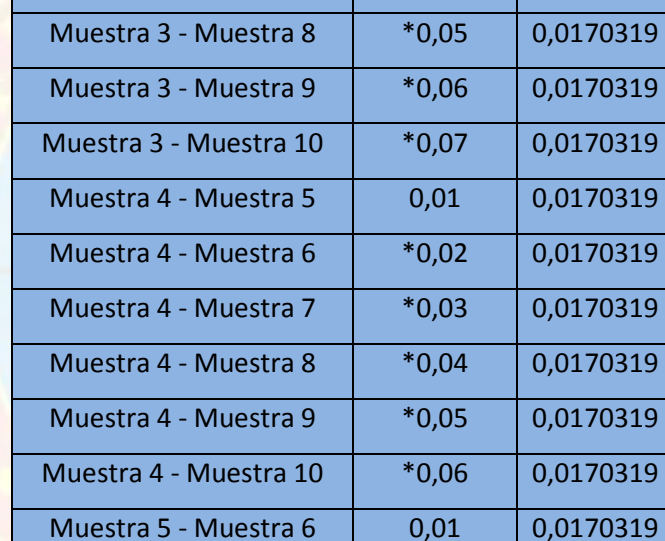
| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,68 | X |
| 9 | 3 | 6,69 | XX |
| 8 | 3 | 6,70 | XX |
| 7 | 3 | 6,71 | XX |

| | | | |
|---|---|------|----|
| 6 | 3 | 6,72 | XX |
| 5 | 3 | 6,73 | XX |
| 4 | 3 | 6,74 | XX |
| 3 | 3 | 6,75 | XX |
| 2 | 3 | 6,76 | X |
| 1 | 3 | 6,79 | X |

En la tabla A14 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” se identifica 5 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas

Tabla A15 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del sexto experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|-------------|-----------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,03 | 0,0170319 |



| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | 0,01 | 0,0170319 |

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | 0,01 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | 0,01 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas modelo a escala.

En la tabla A15 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 37 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas a escala muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero.

APÉNDICE B





Figura B1 Columna de absorción de gas a escala



Figura B2 Bomba de aire.



Figura B3 Baño de circulación.



Figura B4 pH metro digital y Beaker de 250 ml.



Figura B5 Bombonas de CO₂ y manómetro regulador de presión.



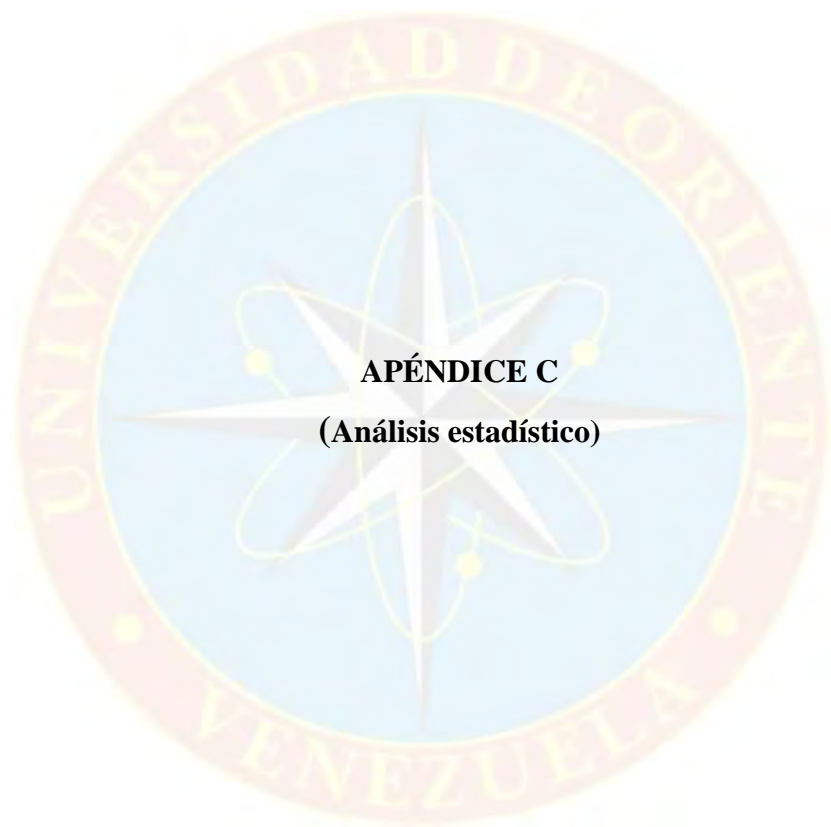
Figura B6 Columna de absorcion de gas a escala, bomba de aire y baño de circulacion.



Figura B7 Columna de absorción de gas IC131D.



APÉNDICES



APÉNDICE C

(Análisis estadístico)

Experimento N° 02.

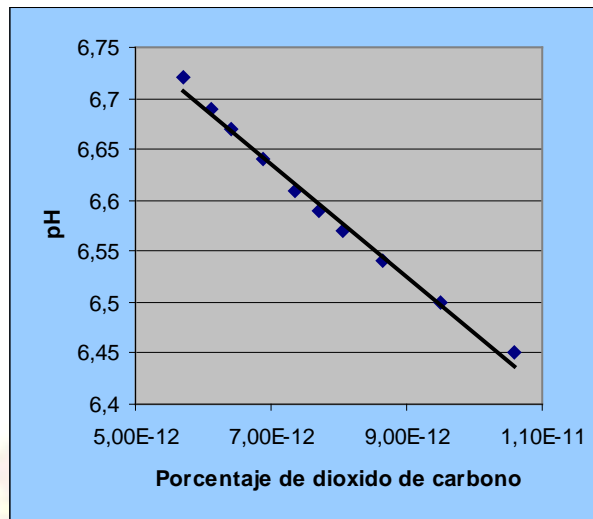
Presión de CO₂ = 15 Lb/pulg².

pH inicial = 6,74.

Caudal de agua = 67 L/h.

Tabla C1 Resultados obtenidos del segundo experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 5,72E-12 | 6,72 |
| 10 | 6,13E-12 | 6,69 |
| 15 | 6,41E-12 | 6,67 |
| 20 | 6,87E-12 | 6,64 |
| 25 | 7,36E-12 | 6,61 |
| 30 | 7,71E-12 | 6,59 |
| 35 | 8,07E-12 | 6,57 |
| 40 | 8,65E-12 | 6,54 |
| 45 | 9,49E-12 | 6,50 |
| 50 | 1,06E-11 | 6,45 |



Gráfica C1 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica C1 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad de absorción de gas IC131D, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,135; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 2,44e-12 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados

Tabla C2 Resultado del análisis estadístico del segundo experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

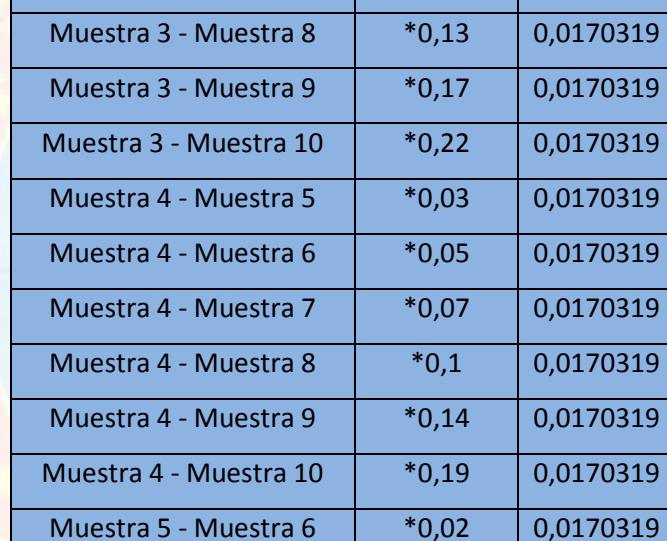
| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,45 | X |
| 9 | 3 | 6,50 | X |
| 8 | 3 | 6,54 | X |
| 7 | 3 | 6,57 | X |

| | | | |
|---|---|------|---|
| 6 | 3 | 6,59 | X |
| 5 | 3 | 6,61 | X |
| 4 | 3 | 6,64 | X |
| 3 | 3 | 6,67 | X |
| 2 | 3 | 6,69 | X |
| 1 | 3 | 6,72 | X |

En la tabla C2 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” no identifica ningún grupo homogéneo según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla C3 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del segundo experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|-------------|-----------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,013 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,18 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,22 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,27 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,08 | 0,0170319 |



| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,19 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,24 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,13 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,17 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,22 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,19 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,03 | 0,0170319 |

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | *0,05 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas IC131D.

En la tabla C3 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 45 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas IC131D muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero

Experimento N° 03.

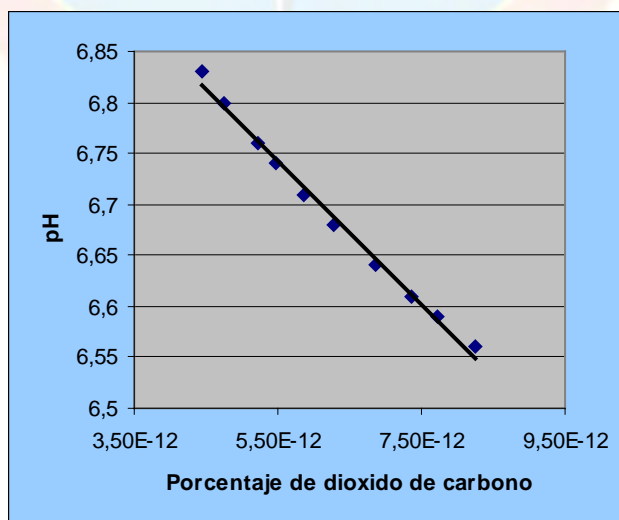
Presión de CO₂ = 20 Lb/pulg².

pH inicial = 6,86.

Caudal de agua = 147 L/h.

Tabla C4 Resultados obtenidos del tercer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 4,44E-12 | 6,83 |
| 10 | 4,75E-12 | 6,80 |
| 15 | 5,21E-12 | 6,76 |
| 20 | 5,46E-12 | 6,74 |
| 25 | 5,85E-12 | 6,71 |
| 30 | 6,27E-12 | 6,68 |
| 35 | 6,87E-12 | 6,64 |
| 40 | 7,36E-12 | 6,61 |
| 45 | 7,71E-12 | 6,59 |
| 50 | 8,26E-12 | 6,56 |



Grafica C2 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica C2 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad de absorción de gas IC131D, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,135; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 2,44e-12 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados

Tabla C5 Resultado del análisis estadístico del tercer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,56 | X |
| 9 | 3 | 6,59 | X |
| 8 | 3 | 6,61 | X |
| 7 | 3 | 6,64 | X |
| 6 | 3 | 6,68 | X |
| 5 | 3 | 6,71 | X |
| 4 | 3 | 6,74 | X |
| 3 | 3 | 6,76 | X |
| 2 | 3 | 6,8 | X |
| 1 | 3 | 6,83 | X |

En la tabla C5 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” no identifica ningún grupo homogéneo según la alineación del signo X

en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla C6 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del tercer experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|-------------|-----------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,19 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,22 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,24 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,27 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,19 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,21 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,24 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,12 | 0,0170319 |

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,17 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,2 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,13 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,18 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | *0,02 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | *0,03 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas IC131D.

En la tabla C6 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 45 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas IC131D muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero

Experimento N° 04.

Presión de CO₂ = 25 Lb/pulg².

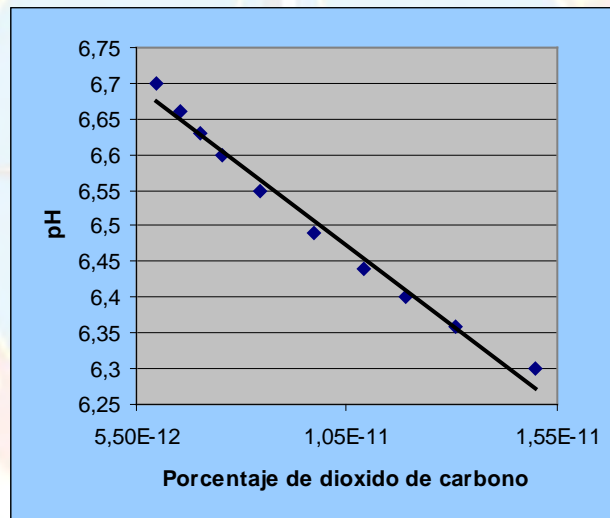
pH inicial = 6,72.

Caudal de agua = 147 L/h.

Tabla C7 Resultados obtenidos del cuarto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 5,99E-12 | 6,70 |

| | | |
|----|----------|------|
| 10 | 6,56E-12 | 6,66 |
| 15 | 7,03E-12 | 6,63 |
| 20 | 7,54E-12 | 6,60 |
| 25 | 8,46E-12 | 6,55 |
| 30 | 9,71E-12 | 6,49 |
| 35 | 1,09E-11 | 6,44 |
| 40 | 1,19E-11 | 6,40 |
| 45 | 1,31E-11 | 6,36 |
| 50 | 1,50E-11 | 6,30 |



Grafica C3 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica C3 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad de absorción de gas IC131D, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,2; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH

con un valor de $4,505e-12$ en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados

Tabla C8 Resultado del análisis estadístico del cuarto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,30 | X |
| 9 | 3 | 6,36 | X |
| 8 | 3 | 6,40 | X |
| 7 | 3 | 6,44 | X |
| 6 | 3 | 6,49 | X |
| 5 | 3 | 6,55 | X |
| 4 | 3 | 6,60 | X |
| 3 | 3 | 6,63 | X |
| 2 | 3 | 6,66 | X |
| 1 | 3 | 6,70 | X |

En la tabla C8 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” no identifica ningún grupo homogéneo según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla C9 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del cuarto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|--------------------|----------------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | 0,04 | 0,626794 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | 0,07 | 0,626794 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | 0,1 | 0,626794 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | 0,15 | 0,626794 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | 0,21 | 0,626794 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | 0,26 | 0,626794 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,96 | 0,626794 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | 0,34 | 0,626794 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | 0,4 | 0,626794 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | 0,03 | 0,626794 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | 0,06 | 0,626794 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | 0,11 | 0,626794 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | 0,17 | 0,626794 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | 0,22 | 0,626794 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,92 | 0,626794 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | 0,3 | 0,626794 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | 0,36 | 0,626794 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | 0,03 | 0,626794 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | 0,08 | 0,626794 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | 0,14 | 0,626794 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | 0,19 | 0,626794 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,89 | 0,626794 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | 0,27 | 0,626794 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | 0,33 | 0,626794 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | 0,05 | 0,626794 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | 0,11 | 0,626794 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | 0,16 | 0,626794 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,86 | 0,626794 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | 0,24 | 0,626794 |

| | | |
|------------------------|-------|----------|
| Muestra 4 - Muestra 10 | 0,3 | 0,626794 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | 0,06 | 0,626794 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | 0,11 | 0,626794 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,81 | 0,626794 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | 0,19 | 0,626794 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | 0,25 | 0,626794 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | 0,05 | 0,626794 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,75 | 0,626794 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | 0,13 | 0,626794 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | 0,19 | 0,626794 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,70 | 0,626794 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | 0,08 | 0,626794 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | 0,14 | 0,626794 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | -0,62 | 0,626794 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | -0,56 | 0,626794 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | 0,06 | 0,626794 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas IC131D.

En la tabla C9 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 7 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas IC131D muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias

es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero

Experimento N° 05.

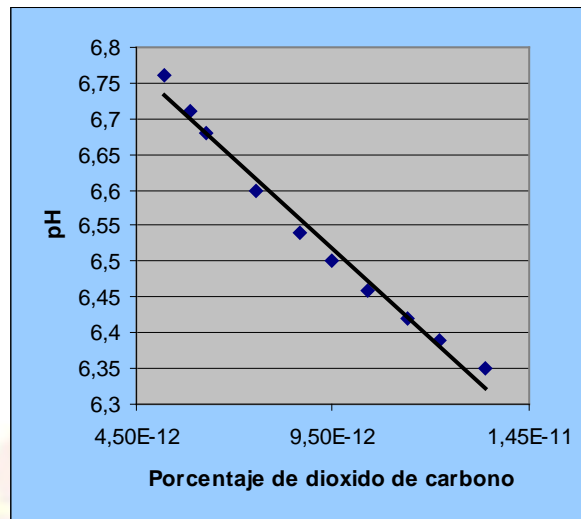
Presión de CO₂ = 30 Lb/pulg².

pH inicial = 6,80.

Caudal de agua = 95 L/h.

Tabla C10 Resultados obtenidos del quinto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 5,21E-12 | 6,76 |
| 10 | 5,85E-12 | 6,71 |
| 15 | 6,27E-12 | 6,68 |
| 20 | 7,54E-12 | 6,60 |
| 25 | 8,65E-12 | 6,54 |
| 30 | 9,49E-12 | 6,50 |
| 35 | 1,04E-11 | 6,46 |
| 40 | 1,14E-11 | 6,42 |
| 45 | 1,22E-11 | 6,39 |
| 50 | 1,34E-11 | 6,35 |



Gráfica C4 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica C4 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad de absorción de gas IC131D, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,185; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 3,495e-12 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados.

Tabla C11 Resultado del análisis estadístico del quinto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

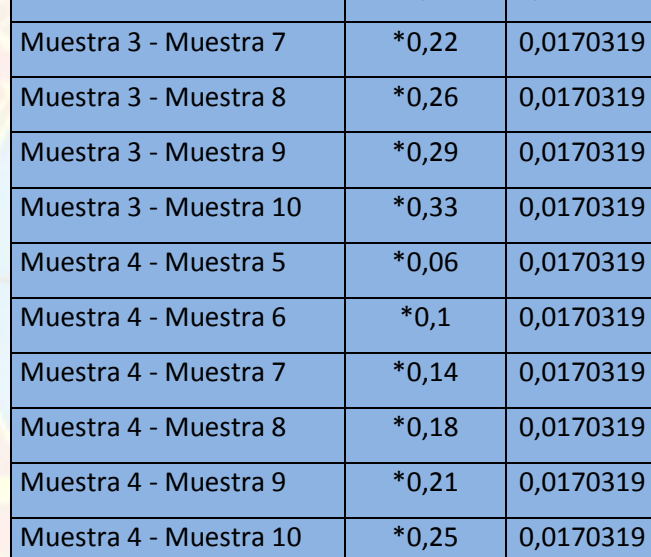
| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,67 | X |
| 9 | 3 | 6,68 | X |
| 8 | 3 | 6,70 | X |

| | | | |
|---|---|------|----|
| 7 | 3 | 6,71 | XX |
| 6 | 3 | 6,72 | X |
| 5 | 3 | 6,74 | X |
| 4 | 3 | 6,75 | XX |
| 3 | 3 | 6,76 | XX |
| 2 | 3 | 6,76 | XX |
| 1 | 3 | 6,77 | X |

En la tabla C11 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” muestra 6 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

Tabla C12 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del quinto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|-------------|-----------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,22 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,26 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,3 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,34 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,37 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,41 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,11 | 0,0170319 |



| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,17 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,21 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,25 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,29 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,32 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,36 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,18 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,22 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,26 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,29 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,33 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,18 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,21 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,25 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,19 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 9 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,15 | 0,0170319 |

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | *0,04 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas IC131D.

En la tabla C12 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 45 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas IC131D muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero

Experimento N° 06.

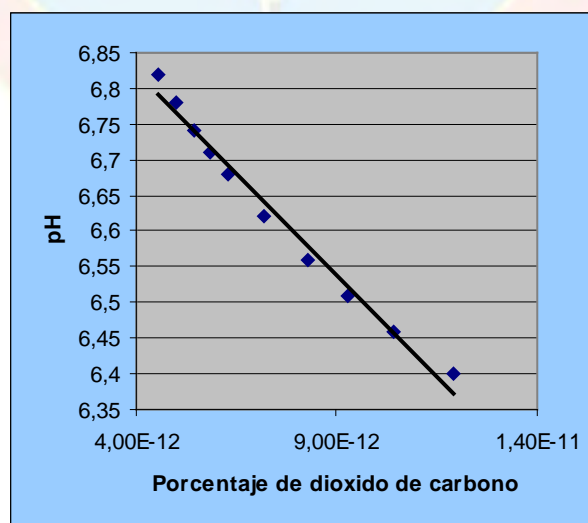
Presión de CO₂ = 30 Lb/pulg².

pH inicial = 6.86.

Caudal de agua = 95 L/h.

Tabla C13 Resultados obtenidos del sexto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Tiempo(min) | % molar de CO ₂ | pH |
|-------------|----------------------------|------|
| 5 | 4,54E-12 | 6,82 |
| 10 | 4,98E-12 | 6,78 |
| 15 | 5,46E-12 | 6,74 |
| 20 | 5,85E-12 | 6,71 |
| 25 | 6,27E-12 | 6,68 |
| 30 | 7,20E-12 | 6,62 |
| 35 | 8,26E-12 | 6,56 |
| 40 | 9,27E-12 | 6,51 |
| 45 | 1,04E-11 | 6,46 |
| 50 | 1,19E-11 | 6,40 |



Grafica C5 Variación de pH respecto al porcentaje molar de CO₂

En la gráfica C5 se puede observar el comportamiento presente en el proceso de absorción de gas en la unidad de absorción de gas IC131D, a medida que el porcentaje molar de CO₂ incrementa debido al aumento del tiempo de inyección del mismo el valor respectivo del pH disminuye proporcionalmente con un valor de disminución para cada muestra de las mezclas de 0,21; mientras que el porcentaje molar de CO₂ inmerso en el agua aumenta inversamente proporcional respecto al pH con un valor de 3,68e-12 en cada muestra de las mezclas con una tendencia lineal. Es importante destacar que cada uno de los resultados mencionados anteriormente fueron obtenidos mediante análisis estadísticos y modelos computarizados.

Tabla C14 Resultado del análisis estadístico del sexto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Muestra | Frecuencia | Media | Grupos Homogéneos |
|---------|------------|-------|-------------------|
| 10 | 3 | 6,68 | X |
| 9 | 3 | 6,69 | XX |
| 8 | 3 | 6,70 | XX |
| 7 | 3 | 6,71 | XX |
| 6 | 3 | 6,72 | XX |
| 5 | 3 | 6,73 | XX |
| 4 | 3 | 6,74 | XX |
| 3 | 3 | 6,75 | XX |
| 2 | 3 | 6,76 | X |
| 1 | 3 | 6,79 | X |

En la tabla C14 mediante el programa computarizado de comparación múltiple “El Startadvisor” muestra 5 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna de grupos homogéneos, indicando que los signos X que se encuentran en la

misma alineación no muestran diferencia estadísticamente significativa, mientras que los signos X que se encuentran fuera de la alineación muestran diferencias estadísticamente significativas.

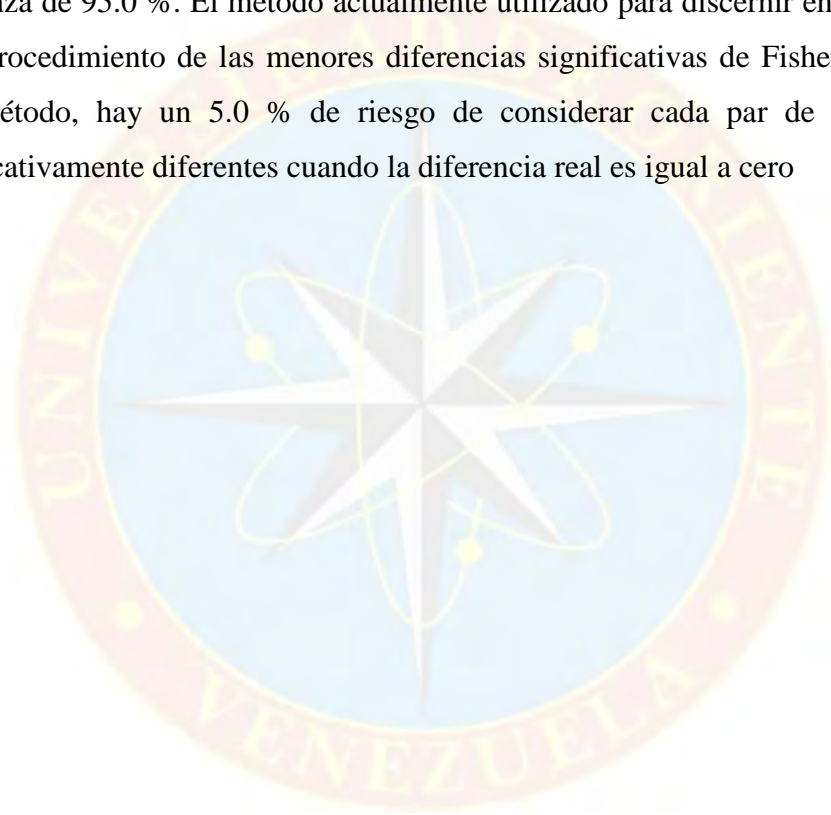
Tabla C15 Comparación múltiple de los resultados obtenidos del sexto experimento realizado en la columna de absorción de gas modelo IC131D.

| Contraste | Diferencias | Limites |
|------------------------|--------------------|----------------|
| Muestra 1 - Muestra 2 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 3 | *0,08 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 4 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 5 | *0,14 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 6 | *0,2 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 7 | *0,26 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 8 | *0,31 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 9 | *0,36 | 0,0170319 |
| Muestra 1 - Muestra 10 | *0,42 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 3 | *0,04 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 4 | *0,07 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 5 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 6 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 7 | *0,22 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 8 | *0,27 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 9 | *0,32 | 0,0170319 |
| Muestra 2 - Muestra 10 | *0,38 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 4 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 5 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 6 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 7 | *0,18 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 8 | *0,23 | 0,0170319 |

| | | |
|------------------------|-------|-----------|
| Muestra 3 - Muestra 9 | *0,28 | 0,0170319 |
| Muestra 3 - Muestra 10 | *0,34 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 5 | *0,03 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 6 | *0,09 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 7 | *0,15 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 8 | *0,2 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 9 | *0,25 | 0,0170319 |
| Muestra 4 - Muestra 10 | *0,31 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 6 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 7 | *0,12 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 8 | *0,17 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 9 | *0,22 | 0,0170319 |
| Muestra 5 - Muestra 10 | *0,28 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 7 | *0,06 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 8 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - muestra 9 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 6 - Muestra 10 | *0,22 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 8 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 9 | *0,1 | 0,0170319 |
| Muestra 7 - Muestra 10 | *0,16 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 9 | *0,05 | 0,0170319 |
| Muestra 8 - Muestra 10 | *0,11 | 0,0170319 |
| Muestra 9 - Muestra 10 | *0,06 | 0,0170319 |

Nota: * Indica una diferencia significativa entre cada uno de los resultados obtenidos en cada una de las muestras obtenidas en la columna de absorción de gas IC131D.

En la tabla C15 se aplica un procedimiento de comparación múltiple mediante el programa computarizado “El StartAdvisor” para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 45 pares, indicando que el experimento realizado en la columna de absorción de gas IC131D muestra diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 %. El método actualmente utilizado para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LCD). Con este método, hay un 5.0 % de riesgo de considerar cada par de medias como significativamente diferentes cuando la diferencia real es igual a cero



HOJAS METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

| | |
|------------------|--|
| Título | ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DE UNA UNIDAD DE ABSORCIÓN EN EL LABORATORIO DE PROCESOS DE LA “ESCUELA TÉCNICA INDUSTRIAL ROBINSONIANA MATURÍN” |
| Subtítulo | |

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.

Autor(es)

| Apellidos y Nombres | Código CVLAC / e-mail | |
|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Rodríguez A. Edgar D. | CVLAC | 17.404.001 |
| | e-mail | edgard.rodriueza@hotmail.com |
| | e-mail | |
| Cova B. José F. | CVLAC | 17.403.510 |
| | e-mail | elcucu169@hotmail.com |
| | e-mail | |

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: “Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2”. Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

| |
|--------------------|
| pH metro |
| Unidad IC131D |
| dióxido de carbono |
| pH |
| Unidad a escala |

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

| Área | Sub-área |
|----------------------------------|-----------------------|
| TECNOLOGIA CIENCIAS APLICADAS | INGENIERO DE PETROLEO |
| | |
| | |

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

Resumen (Abstract):

Esta investigación fue desarrollada con la finalidad de analizar las variables de operación de una unidad de absorción de gas, para lo cual se realizaron 6 experimentos donde se obtuvieron 10 muestras representativas en cada uno, donde se medio el pH para conocer grado de acidez o basicidad en cada mezcla para determinar el % molar de CO₂ inmerso en el agua, estos experimentos se realizaron tanto en una unidad de absorción de gas modelo a escala como en la unidad de absorción de gas IC131D. El primer experimento realizado en ambas unidades de absorción de gas estuvieron representados bajo los siguientes valores experimentales: Caudal de agua: 147, 95 y 67 L/h, Caudal de gas: 10, 15, 20, 30 ,35 y 40 Lb/pulg². Los valores experimentales antes mencionados fueron combinados en cada experimento con el fin de conocer la influencia de las variables, obteniéndose en la unidad de absorción de gas a escala los siguientes valores: % molar de CO₂: 5,09E-12; 5,21E-12; 5,33E-12; 5,59E-12; 5,85E-12; 6,41E-12; 6,87E-12; 7,20E-12; 7,36E-12; y 7,36E-12; pH: 6,77; 6,76; 6,75; 6,73; 6,71; 6,67; 6,64; 6,62; 6,61; y 6,61. Mientras que en la unidad de absorción de gas IC131D se obtuvieron los siguientes resultados: % molar de CO₂: 4,75E-12; 5,09E-12; 5,46E-12; 5,72E-12; 5,96E-12; 6,56E-12; 7,03E-12; 7,36E-12; 7,54E-12; y 7,89E-12. En cada uno de los experimentos realizados posteriormente en ambas unidades de absorción se obtuvieron resultados similares. Seguidamente se hicieron análisis y se compararon los resultados obtenidos en ambas unidades de absorción de gas para conocer cuál es más eficiente.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

Contribuidores:

| Apellidos y Nombres | Código CVLAC / e-mail | |
|---------------------|-----------------------|--|
| Ing. Tomas Marín | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 11.538.733 |
| | e-mail | marintd@cantv.net |
| | e-mail | |
| Dr. Fernando Pino | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 9.299.078 |
| | e-mail | fpino@cantv.net |
| | e-mail | |
| MsC. Ruben Vega | ROL | CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/> |
| | CVLAC | 10.100.632 |
| | e-mail | rvega41@hotmail.com |
| | e-mail | |

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

Fecha de discusión y aprobación:

| Año | Mes | Día |
|------|-----|-----|
| 2012 | 12 | 13 |

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

Lenguaje: spa

Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

Archivo(s):

| |
|-----------------------------------|
| Nombre de archivo |
| Edgarrodriguezjosecova.doc |

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

Alcance:

Espacial: _____ (opcional)

Temporal: _____ (opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarium en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

Área de Estudio:

Tecnología y Ciencia Aplicada

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU Nº 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho


Estimado Profesor Martínez:


Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC Nº 696/2009"**.


Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago, a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,


JUAN A. BOLANOS CUNELE
Secretario






C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/marija

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6
Derechos:

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009): "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."


Edgar D. Rodríguez A.
AUTOR


Jose F. Cova B.
AUTOR


Ing. Tomas Marin
ASESOR