



Universidad de Cuenca



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Proceso para la Deshidratación de alcohol a partir de bioetanol mediante tratamientos sucesivos de Rectificación, Destilación Extractiva con glicoles y Adsorción mediante Tamices Moleculares.

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO

AUTORES:

MIGUEL ÁNGEL BELTRÁN VÁZQUEZ – 0106528102

CRISTIAN SANTIAGO ZHINDON SUMBA – 0302211974

DIRECTOR:

ING. JORGE WASHINGTON DELGADO NOBOA, MGT – 0103599411

CUENCA – ECUADOR

2018

1



RESUMEN

El objetivo de este proyecto es obtener alcohol anhidro, mediante procesos sucesivos de rectificación, destilación extractiva y adsorción con tamiz molecular. El producto obtenido podrá ser utilizado para la mezcla con gasolina en un porcentaje de hasta 10%.

El cumplimiento de este objetivo se basa en tres etapas consecutivas: rectificación, destilación extractiva y el uso de tamices moleculares. En la primera etapa, el volumen de partida es 19 litros a 62°GL obteniéndose un volumen de 3.4 L a 92°GL, trabajando en una columna de rectificación que consta de 10 platos. Seguidamente un tratamiento mediante destilación extractiva, donde se trabaja con diferentes solventes y diferentes relaciones, siendo: etilenglicol, propilenglicol y glicerina, el solvente que mejores resultados proporciona es la glicerina, en relación de 3:1, generando un alcohol de concentración de 98°GL. Y como última etapa se realizan ensayos con tamiz molecular cuyo diámetro de poro es 0.3nm, aquí se trabaja en una columna de lecho fijo, variando la cantidad de tamiz según el volumen de alcohol que se vaya a tratar, mediante la adsorción con tamices moleculares se encontró el tiempo óptimo de trabajo de la columna el cual no deben exceder los 60 minutos, para obtener una concentración final de 99,66°GL. Mediante un estudio hidrodinámico de la columna se encuentra el caudal adecuado de trabajo de 2 ml por minuto, evaluando la concentración de alcohol mediante cromatografía de gases. En la modelación matemática los datos experimentales se ajustan al modelo de dosis respuesta con un valor de R^2 de 0,8187.

Palabra claves: alcohol anhidro, rectificación, destilación extractiva, adsorción, tamiz molecular.



ABSTRACT

The objective of this research project is to obtain anhydrous alcohol, which can be used for mixing with gasoline in a percentage of up to 10%.

To obtain this objective there are consecutive stages: rectification, extractive distillation and the use of molecular sieves. In the first stage, the starting volume is 19 liters to 62°GL and it is obtained a total of 3.4 L to 92°GL; this process is performed in a rectification column consisting of 10 plates. Next, there is the treatment by extractive distillation process in which different solvents and mixes are used, among them: ethylene glycol, propylene glycol and glycerin. It is found that the solvent that yields the best results is glycerin, the most suitable ratio is 3:1. generating a concentration alcohol of 98°GL. Finally, the last stage is when molecular sieve tests are carried out using a pore diameter of 0.3nm. This stage is worked on a fixed bed column, the amount of sieve to be used varies according to the volume of alcohol to be treated. by adsorption with molecular sieves was found that the optimal working time of the column should not exceed 60 minutes, in order to obtain a final concentration of 99.66°GL. Also, by means of a hydrodynamic study of the column is found the adequate flow to carry out the tests, this was 2 ml per minute, evaluating the alcohol concentration by gas chromatography. In mathematical modeling the experimental data are adjusted to the dose response model with a value of R^2 0,8187.

Keywords: anhydrous alcohol, rectification, extractive distillation, adsorption, molecular sieve.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE GENERAL	4
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS	8
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ANEXOS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
DEDICATORIA	15
DEDICATORIA	16
AGRADECIMIENTO	17
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN	18
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO	22
2.1 Alcohol	22
2.1.1 Propiedades Físicas del Alcohol	22
2.1.2 Propiedades Químicas del Alcohol	22
2.2 Etanol	23
2.2.1 Propiedades del etanol	23
2.2.2 Usos de Etanol	24
2.2.3 Alcohol Anhidro	26
2.3 CONSUMO NACIONAL DE GASOLINA EN EL PAÍS	27
2.3.1 Ventajas de uso de Etanol anhidro como combustible	29
2.3.2 Desventajas de uso de Etanol como combustible	29
2.4 PROCESOS PARA LA DESHIDRATACIÓN DE ETANOL	30
2.4.1 DESTILACIÓN AZEOTRÓPICA O RECTIFICACIÓN	30
2.4.1.1 Balance de Materia en una Columna de Platos	31
2.4.1.2 Ventajas de la destilación azeotrópica	32
2.4.1.3 Desventajas de la destilación azeotrópica	33
2.4.2 DESTILACIÓN EXTRACTIVA	33



2.4.2.1	Características del disolvente de extracción.....	38
2.4.2.2	ETILENGLICOL.....	38
2.4.2.3	PROPILENGLICOL.....	39
2.4.2.4	GLICERINA	41
2.4.3	TAMICES MOLECULARES.....	42
2.4.3.1	Flujo Hidrodinámico	44
2.4.3.1.1	45
2.4.3.1.2	Flujo de un fluido	45
2.4.3.3	Mecanismo de adsorción	45
2.4.3.4	Modelos isotérmicos de adsorción.	46
2.4.3.5	Saturación de la columna.....	46
2.4.3.6	Curva de ruptura	46
2.4.4	Modelado matemático de adsorción en columnas	47
2.4.4.1	Modelo de Yoon-Nelson	47
2.4.4.2	Modelo de Thomas	48
2.4.4.3	Modelo de Dosis-Respuesta.....	49
2.4.5	Coefficiente de correlación lineal.....	50
2.4.6	Cromatografía de Gases.....	50
CAPITULO 3 EXPERIMENTACIÓN.....		52
3.1	METODOLOGÍA	52
3.2	LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO	53
3.3	MATERIA PRIMA.....	54
3.3.1	ALCOHOL ETÍLICO	54
3.4	REACTIVOS	55
3.4.1	AGUA DESTILADA.....	55
3.4.2	Etilenglicol	55
3.4.3	Propilenglicol	56
3.4.4	Glicerina.....	56
3.4.5	Tamiz molecular.....	56
3.5	MATERIALES	57
3.6	ALCOHOLÍMETRO DE GAY LUSSAC	58
3.6.1	Procedimiento de lectura mediante el alcoholímetro de Gay-Lussac	58
3.7	RECTIFICACIÓN	59



3.7.1 Especificaciones de la columna de rectificación	60
3.7.2 PROCEDIMIENTO DEL USO DEL EQUIPO	61
3.7.3 Condiciones de operación de la columna de rectificación	62
3.7.4 Extracción de las muestras en cada plato	63
3.7.5 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR ÍNDICE DE REFRACCIÓN	65
3.7.5.1 Índice de refracción.....	65
3.7.6 Procedimiento para lectura mediante refractómetro de Abbe	65
3.7.7 Curvas de calibración.....	66
3.7.8 Calculo de la concentración (% V/V) en cada plato	68
3.8 DESTILACIÓN EXTRACTIVA CON GLICOLES	68
3.8.1 Descripción del proceso.	69
3.9 TAMIZ MOLECULAR	70
3.9.1 Montaje experimental.....	71
3.9.2 Descripción del proceso	71
3.9.3 Parámetros para el diseño de la columna:	72
3.9.4 Calculo de cantidad de tamiz a emplear.....	72
3.10 Procedimiento para lectura en Cromatógrafo de Gases	74
CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	76
4.1 RECTIFICACIÓN	76
4.1.1 Cuadro resumen de la rectificación	80
4.1.2 Rendimiento de la columna.....	80
4.2 DESTILACIÓN EXTRACTIVA CON GLICOLES	81
4.3 TAMIZ MOLECULAR	85
4.3.1 Curva de ruptura	88
4.3.2 Modelado matemático del proceso de adsorción en columnas.....	89
4.2.3 Modelo de Yoon-Nelson	89
4.3.4 Modelo de Thomas	91
4.3.5 Modelo de Dosis-Respuesta.....	92
4.3.6 Parámetros obtenidos de los modelos cinéticos aplicados.	94
4.4 Análisis de las muestras mediante cromatografía de gases	95
4.5 Cálculos del porcentaje de concentración de cada muestra mediante el área bajo la curva.	95
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES	99
CAPÍTULO 6 RECOMENDACIONES.....	100



7 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS 101
ANEXOS 106

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PROPIEDADES DEL ETANOL..... 23
TABLA 2. REQUISITOS DEL ETANOL ANHIDRO GRADO CARBURANTE DE ACUERDO CON LA INEN 2478..... 27
TABLA 3. PRODUCCIÓN DE GASOLINA ECOPAÍS AÑO 2016..... 28
TABLA 4. CUADRO DE PROPIEDADES FÍSICAS DEL ETILENGLICOL..... 39
TABLA 5. MATERIALES. 57
TABLA 6. ESPECIFICACIONES DE LA COLUMNA DE RECTIFICACIÓN DEL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA. 60
TABLA 7. CONFIGURACIÓN DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE DESTILACIÓN. 62
TABLA 8. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA EL PROCESO DE RECTIFICACIÓN EN EL RANGO DE 80 A 94ºGL..... 67
TABLA 9. DATOS..... 72
TABLA 10. ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL ETANOL EN LA COLUMNA AL MINUTO 20..... 76
TABLA 11. ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL ETANOL EN LA COLUMNA AL MINUTO 40..... 76
TABLA 12. ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL DESTILADO AL MINUTO 20. 78
TABLA 13. ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL DESTILADO AL MINUTO 40. 79
TABLA 14. ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL DESTILADO FINAL..... 80
TABLA 15. RESULTADOS FINALES DE LAS MEDICIONES POR DOS MÉTODOS EN LA RECTIFICACIÓN. 80
TABLA 16. ENSAYOS PRELIMINARES CON MONOETILENGLICOL..... 81
TABLA 17. ENSAYOS PRELIMINARES CON PROPILENGLICOL..... 81
TABLA 18. ENSAYOS PRELIMINARES CON GLICERINA. 82
TABLA 19 RESULTADOS MEDIANTE ÍNDICE DE REFRACCIÓN Y CROMATOGRAFÍA DE GASES 85
TABLA 20 ÍNDICE DE REFRACCIÓN DEL ETANOL A DIFERENTES CONCENTRACIONES..... 85
TABLA 21 VALORES DE ÍNDICES DE REFRACCIÓN DE LA MUESTRA OBTENIDA CON GLICERINA A DIFERENTES TIEMPOS..... 86
TABLA 22 VALORES DE ÍNDICES DE REFRACCIÓN DE ALCOHOL MEDIDOS EN DIFERENTES TIEMPOS (SEGUNDO ENSAYO)..... 87
TABLA 23 RESUMEN DEL MODELO DE YOON-NELSON PROGRAMA IBM SPSS STATISTICS 23 90
TABLA 24 PARÁMETROS DEL AJUSTE DEL MODELO DE YOON-NELSON..... 90
TABLA 25 RESUMEN DEL MODELO DE THOMAS PROGRAMA IBM SPSS STATISTICS 23 91
TABLA 26 PARÁMETROS DEL AJUSTE DEL MODELO DE THOMAS EN FUNCIÓN DEL VEF 92
TABLA 27 RESUMEN DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA PROGRAMA IBM SPSS STATISTICS 23 EN FUNCIÓN DEL VEF..... 93
TABLA 28 PARÁMETROS DEL AJUSTE DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL VEF 93
TABLA 29 RESUMEN DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA PROGRAMA IBM SPSS STATISTICS 23 EN FUNCIÓN DEL TIEMPO..... 94
TABLA 30 PARÁMETROS DEL AJUSTE DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO 94
TABLA 31 RESUMEN DE LOS PARÁMETROS OBTENIDOS PARA CADA MODELO..... 94
TABLA 32 ESPECIFICACIONES DE LA PROCEDENCIA DE CADA MUESTRA PARA ANÁLISIS 95
TABLA 33 VALORES DEL ÁREA BAJO LA CURVA DEL ETANOL PATRÓN 95
TABLA 34 COMPARACIÓN DE LAS ÁREAS BAJO LA CURVA DEL PATRON PARA ENCONTRAR LA CONCENTRACIÓN FINAL DE LA MUESTRA 1. 97
TABLA 36 COMPARACIÓN DE LAS ÁREAS BAJO LA CURVA DEL PATRÓN PARA ENCONTRAR LA CONCENTRACIÓN FINAL DE LA MUESTRA 2. 98



ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 REPRESENTACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A NIVEL MUNDIAL	25
GRÁFICO 2 PROYECCIONES DE PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ETANOL	25
GRÁFICO 3. ÍNDICE DE REFRACCIÓN VS CONCENTRACION DEL ETANOL.	67
GRÁFICO 4. ÍNDICE DE REFRACCIÓN VS CONCENTRACIÓN EN EL RANGO DE 80 A 94ºGL	68
GRÁFICO 5. ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN CADA PLATO AL MINUTO 20.	77
GRÁFICO 6. ÍNDICE DE REFRACCIÓN EN CADA PLATO AL MINUTO 40.	78
GRÁFICO 7. MEDIDAS DEL %V/V DE CONCENTRACIÓN DEL ETANOL A DIFERENTES TIEMPOS.....	79
GRÁFICO 8. RELACIÓN DE LA MEZCLA ALCOHOL-ETILENGLICOL Y SU RESPECTIVA CONCENTRACIÓN FINAL.....	83
GRÁFICO 9. RELACIÓN DE LA MEZCLA ALCOHOL-PROPILENGLICOL Y SU RESPECTIVA CONCENTRACIÓN FINAL.....	84
GRÁFICO 10. RELACIÓN DE LA MEZCLA ALCOHOL-GLICERINA Y SU RESPECTIVA CONCENTRACIÓN FINAL	84
GRÁFICO 11 CURVA DE RUPTURA DEL ESTUDIO EN EL TAMIZ MOLECULAR	88
GRÁFICO 12 AJUSTE DEL MODELO DE YOON-NELSON PARA EL ESTUDIO	90
GRÁFICO 13 AJUSTE DEL MODELO DE THOMAS PARA EL ESTUDIO	91
GRÁFICO 14 AJUSTE DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA PARA EL ESTUDIO EN FUNCIÓN DEL VEF	92
GRÁFICO 15 AJUSTE DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA PARA EL ESTUDIO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	93
GRÁFICO 16 CROMATOGRAMA DE ETANOL PATRÓN DE 99,6ºGL	96
GRÁFICO 17 CROMATOGRAMA DE MUESTRA 1 PROVENIENTE DE DESTILACIÓN EXTRACTIVA CON GLICERINA RELACIÓN 3:1	97
GRÁFICO 18 CROMATOGRAMA DE MUESTRA 2 PROVENIENTE DE ENSAYO CON ALCOHOL DE 96ºGL	98

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1. USOS DEL ETANOL COMO COMBUSTIBLE.....	26
DIAGRAMA 2. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL COMBUSTIBLE ECOPAÍS.	28
DIAGRAMA 3. PROCESO DE OBTENCIÓN DE ETANOL CARBURANTE.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESQUEMA DE UNA COLUMNA DE FRACCIONAMIENTO CON CALDERA.....	31
FIGURA 2 DIAGRAMA DE EXTRACCIÓN LIQUIDO-LIQUIDO MEDIANTE CONTACTO SENCILLO	34
FIGURA 3. ESQUEMA DE CURVAS DE RESIDUO CUANDO HAY AZEÓTROPO DE PUNTO DE EBULLICIÓN MÍNIMO.	36
FIGURA 4. CURVAS DE RESIDUO PARA EL SISTEMA DE AGUA-ETILENGLICOL, EN DESTILACIÓN EXTRACTIVA PARA ROMPER EL AZEÓTROPO ETANOL-AGUA.	37
FIGURA 5. METABOLISMO DEL PROPILENGLICOL.....	40
FIGURA 6. OBTENCIÓN DE GLICERINA DE LA SAPONIFICACIÓN.....	41
FIGURA 7. ADSORCIÓN DE LAS MOLÉCULAS DE AGUA SOBRE EL TAMIZ MOLECULAR.	43
FIGURA 8 CURVA DE RUPTURA.....	47
FIGURA 9. LECTURA EN ALCOHOLÍMETRO DE GAY LUSSAC.	59
FIGURA 10. UNIDAD DE DESTILACIÓN.	60
FIGURA 11. EQUIPO DE DESTILACIÓN DE LABORATORIO.	69
FIGURA 12. ESQUEMA DE MONTAJE PARA LA ADSORCIÓN CON TAMIZ MOLECULAR.	71

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. FICHA TÉCNICA ETANOL ANHIDRO.....	106
ANEXO 2. FICHA TÉCNICA ETILENGLICOL.	108



ANEXO 3. FICHA TÉCNICA PROPILENGLICOL 110
ANEXO 4. FICHA TÉCNICA GLICEROL O GLICERINA. 112
ANEXO 5. FICHA TÉCNICA TAMIZ MOLECULAR..... 114
ANEXO 6. ÍNDICES DE REFRACCIÓN VS CONCENTRACIÓN DEL ETANOL..... 115
ANEXO 7. FICHA TÉCNICA ETANOL ANHIDRO..... 117
ANEXO 8 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA Y LÍQUIDOS COMUNES 118
ANEXO 9 VALORES CRÍTICOS DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON..... 119
ANEXO 10 DATOS OBTENIDOS POR CROMATOGRAFÍA DEL ETANOL PATRÓN 1 120
ANEXO 11 DATOS OBTENIDOS POR CROMATOGRAFÍA DEL ETANOL PATRÓN 2 3
ANEXO 12 DATOS OBTENIDOS POR CROMATOGRAFÍA DE MUESTRA 1 PROVENIENTE DEL TRATAMIENTO CON GLICERINA... 5
ANEXO 13 DATOS OBTENIDOS POR CROMATOGRAFÍA DE MUESTRA 2 PROVENIENTE DE ALCOHOL DE 96ªGL 8

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 EXPRESIÓN GENERAL DEL BALANCE TOTAL DE MASA DE UNA COLUMNA DE PLATOS 31
ECUACIÓN 2 EXPRESIÓN DEL BALANCE DEL COMPONENTE A EN UNA COLUMNA DE PLATOS 32
ECUACIÓN 3 EXPRESIÓN DEL SISTEMA ELIMINANDO EL FLUJO MOLAR DE COLAS..... 32
ECUACIÓN 4 EXPRESIÓN DEL SISTEMA ELIMINANDO EL FLUJO MOLAR DE DESTILADO..... 32
ECUACIÓN 5 BALANCE DE MASA EN EL SISTEMA DE EXTRACCIÓN LIQUIDO-LIQUIDO EN BASE A F Y B 34
ECUACIÓN 6 BALANCE DE MASA DEL SISTEMA EXTRACCIÓN LIQUIDO-LIQUIDO EN BASE A R Y E..... 34
ECUACIÓN 7 BALANCE DE MASA CON RESPECTO AL SOLUTO EN BASE A F Y B 34
ECUACIÓN 8 BALANCE DE MASA CON RESPECTO AL SOLUTO EN BASE DE R Y E 34
ECUACIÓN 9 BALANCE DE MASA CON RESPECTO AL EXTRACTO 35
ECUACIÓN 10 BALANCE DE MASA CON RESPECTO AL REFINADO 35
ECUACIÓN 11 BALANCE DE MASA CON ALIMENTACIÓN LIBRE DE SOLVENTE 35
ECUACIÓN 12 BALANCE DE MASA CON RESPECTO AL SOLUTO EN BASE LIBRE DE SOLVENTE 35
ECUACIÓN 13 ECUACIÓN DEL EXTRACTO EN BASE LIBRE DE SOLVENTE 35
ECUACIÓN 14 EXPRESIÓN DE LA FRACCIÓN MOLAR DE B EN BASE LIBRE DE SOLVENTE..... 35
ECUACIÓN 15 BALANCE DE MASA DEL SOLVENTE EN EL SISTEMA 35
ECUACIÓN 16 EXPRESIÓN DEL COEFICIENTE DE REPARTO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN 37
ECUACIÓN 17 ECUACIÓN QUÍMICA DE PRODUCCIÓN DE ETILENGLICOL 39
ECUACIÓN 18 EXPRESIÓN MATEMÁTICA DE CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE UN FLUIDO 45
ECUACIÓN 19 EXPRESIÓN MATEMÁTICA PARA EL CÁLCULO DEL NÚMERO DE REYNOLDS..... 45
ECUACIÓN 20 EXPRESIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE YOON-NELSON 48
ECUACIÓN 21 EXPRESIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE THOMAS 49
ECUACIÓN 22 EXPRESIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL VEF 49
ECUACIÓN 23 EXPRESIÓN MATEMÁTICA DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO 50
ECUACIÓN 24 ECUACIÓN PARA CALCULO DE PROMEDIO DE VALORES DE ÍNDICE DE REFRACCIÓN 68
ECUACIÓN 25 EXPRESIÓN MATEMÁTICA PARA CALCULO DE LA DENSIDAD DE LA MEZCLA DE LECHO FLUIDIZADO ... 72
ECUACIÓN 26 EXPRESIÓN MATEMÁTICA PARA CÁLCULO DE MASA DE LA MEZCLA..... 73
ECUACIÓN 27 EXPRESIÓN MATEMÁTICA PARA EL CÁLCULO DE CANTIDAD DE TAMIZ A EMPLEAR..... 73



ECUACIÓN 28 EXPRESIÓN MATEMÁTICA PARA EL CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL LECHO.....73

ECUACIÓN 29 EXPRESIÓN MATEMÁTICA PARA EL CÁLCULO DE LA ALTURA DEL LECHO74

ECUACIÓN 30 EXPRESIÓN MATEMÁTICA PARA EL CÁLCULO DEL RENDIMIENTO TEÓRICO DE LA COLUMNA80

ECUACIÓN 31 EXPRESIÓN MATEMÁTICA PARA EL CÁLCULO DEL RENDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LA COLUMNA ...81

ECUACIÓN 32 EXPRESIÓN MATEMÁTICA LINEALIZADA DEL MODELO DE YOON-NELSON89

ECUACIÓN 33 EXPRESIÓN MATEMÁTICA LINEALIZADA DEL MODELO DE THOMAS91

ECUACIÓN 34 EXPRESIÓN MATEMÁTICA LINEALIZADA DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL VEF ..92

ECUACIÓN 35 EXPRESIÓN MATEMÁTICA LINEALIZADA DEL MODELO DE DOSIS RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO
.....93



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Miguel Ángel Beltrán Vázquez, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Proceso para la deshidratación de alcohol a partir de bioetanol mediante tratamientos sucesivos de rectificación, extracción con glicoles y adsorción mediante tamices moleculares”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 30 de mayo del 2018

Miguel Ángel Beltrán Vázquez

C.I: 0106528102



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Cristian Santiago Zhindon Sumba, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Proceso para la deshidratación de alcohol a partir de bioetanol mediante tratamientos sucesivos de rectificación, extracción con glicoles y adsorción mediante tamices moleculares”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 30 de mayo del 2018

Cristian Santiago Zhindon Sumba

C.I: 0302211974



Cláusula de Propiedad Intelectual

Miguel Ángel Beltrán Vázquez, autor del Trabajo de Titulación “Proceso para la deshidratación de alcohol a partir de bioetanol mediante tratamientos sucesivos de rectificación, extracción con glicoles y adsorción mediante tamices moleculares”. Certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 30 de mayo del 2018

Miguel Ángel Beltrán Vázquez

C.I: 0106528102



Cláusula de Propiedad Intelectual

Cristian Santiago Zhindon Sumba, autor del Trabajo de Titulación “Proceso para la deshidratación de alcohol a partir de bioetanol mediante tratamientos sucesivos de rectificación, extracción con glicoles y adsorción mediante tamices moleculares”. Certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 30 de mayo del 2018

Cristian Santiago Zhindon Sumba

C.I: 0302211974



DEDICATORIA

Este logro va dedicado para mis padres, Milton y Marina quienes me han dado todo su apoyo a lo largo de este tiempo para cumplir con mis objetivos. De igual manera a mis hermanas Paola y Jessica por el apoyo brindado en esta etapa. Para mi pequeña sobrina Valentina por llenarme de alegrías. Y para mi novia Lore por su apoyo incondicional.

Para los amigos que me brindaron ese apoyo para seguir adelante y no desmayar en el camino.

Miguel Angel Beltrán Vázquez

“Nosotros debemos ser el cambio que queremos ver en el mundo”.

GANDHI



DEDICATORIA

Este logro va dedicado a todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este proyecto.

En primera instancia dar gracias a Dios y de igual manera a mi familia que tuvieron plena confianza en mí, a mi madre y padre que me dieron todo lo que estuvo siempre a su alcance para cumplir con este logro, gracias a sus consejos han logrado convertirme en una persona de bien.

Un agradecimiento especial a Fernanda que a lo largo de estos años siempre estuvo ahí apoyándome con una grata paciencia y confianza plena.

También a mi gran amigo Dr. Cristhian González que a lo largo de esta etapa siempre estuvo pendiente del cumplimiento de esta meta.

Cristian Santiago Zhindon Sumba



AGRADECIMIENTO

Los tesisistas queremos dejar constancia de nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Jorge Delgado Noboa por la confianza brindada y apoyo durante este tiempo de trabajo, de igual manera el agradecimiento también va dirigido al personal que labora en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca que ha colaborado de forma directa e indirecta con este proyecto.

El agradecimiento más importante para nuestros padres y familiares que con su infinita bondad y paciencia han sabido apoyarnos a lo largo de este proyecto, de igual manera a todos nuestros amigos por brindarnos todo el apoyo incondicional durante esta etapa.

Agradecemos de igual manera a Ing. Verónica Saetama, Ing. Servio Astudillo, Dra. Mayra Vera e Ing. Daniel Bermejo ya que gracias a su ayuda desinteresada nos han sabido guiar en las etapas claves de nuestro proyecto.

Y por último y no menos importante el agradecimiento a Dios por brindarnos salud y sabiduría para la realización de cada una de las etapas del proyecto.



CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el mundo vive un agotamiento, que se da de forma progresiva en cuanto al uso de los recursos energéticos, principalmente los basados en combustibles fósiles que son los que han alterado el medio ambiente, siendo estos los que han provocado la generación de gases de invernadero alterando el entorno del planeta y provocando un cambio climático.

La base para el crecimiento de las actuales potencias mundiales fue el uso masivo de combustibles fósiles y que hasta hoy en día sigue siendo el pilar principal de sus procesos. Existen algunos autores que desde hace tiempo han advertido que las reservas de combustibles fósiles son, en términos históricos, muy limitadas es por esto que se busca otros recursos para ser usados como fuente de energía.(Salaet y Roca, 2009).

De acuerdo con una publicación hecha en el 2005 por parte de The Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO) acerca del agotamiento del petróleo mencionando que su demanda no está asociada al crecimiento económico, es por ello a partir de esa fecha la producción presentara una reducción a razón de un 3% a un 5% anual en el mejor de los casos. (Ballenilla, 2005). Por lo que se buscara maneras alternas de cubrir la creciente demanda de energía, mediante fuentes alternativas.

Debido al uso de combustibles fósiles se da un aumento de las emisiones de los gases de efecto invernadero esto ha dado lugar a un creciente interés en la producción y uso de combustibles alternativos, lo que a nivel nacional se refleja en el Reglamento Ambiental para las Operaciones Hidrocarburíferas en Ecuador, artículo 67, que cita: “Se preferirá y fomentará la producción y uso de aditivos oxigenados, tal como el etanol carburante, a partir de materia prima renovable”. Además, en el Decreto Ejecutivo No. 2332, artículo 1, se cita: “Se declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de los biocombustibles”. (Albarracín, Jaramillo, & Albuja, 2015)

Ante esta problemática que preocupa cada vez más a los gobiernos, las ONG, las comunidades y opinión pública en general, para mitigar el impacto generado por los combustibles, se toman en cuenta criterios tales como seguridad energética, desarrollo regional y generación de empleo haciendo que el alcohol carburante se considere de gran importancia sobre todo en países que necesiten dinamizar y revitalizar sus industrias, este tipo de alcohol puede ser utilizado como oxigenante de la gasolina, elevando su contenido de O₂ y realzando el octanaje disminuyendo el plomo en las gasolinas, lo que permite una mayor combustión de la misma disminuyendo



las emisiones contaminantes, la ignición temprana y el cascabeleo del motor.(Arellano y Riofrio, 2014).

En el año 2013, el Gobierno dispuso que en un plazo de ocho meses el Diesel de origen fósil que se consume en el país tenga una mezcla de 5% de biodiesel y que se vaya incrementando hasta alcanzar el 10%.(Decreto Ejecutivo 1303, 2012) El Gobierno está convencido que la producción de biodiesel estimula la actividad agrícola además de generar beneficios ambientales.

Según datos en la actualidad Ecuador posee un rendimiento anual de 9000 litros de etanol por hectárea de caña de azúcar y una demanda aproximadamente de 92000 barriles de etanol al año, en la ciudad de Guayaquil. De igual manera, posee una capacidad para la producción de etanol de 136000 litros diarios, y anualmente, se estima una producción de 50 millones de litros al año. (Arellano y Riofrio, 2014).

Con el cambio de la matriz productiva y en base a los requerimientos que esta plantea, los institutos educativos primordialmente las universidades con carreras técnicas están enfocadas en el desarrollo de nuevas formas de obtención de recursos de tal manera que estos sean “amigables con el ambiente” a partir de materias primas sustentables, renovables y que son consideradas como residuos, contribuyendo de manera especial a una mejor economía sustentable del país.

Desde 2007, uno de los objetivos más ambiciosos del gobierno de turno fue la transformación de la matriz energética de Ecuador, que busca disminuir el consumo de productos derivados de petróleo, tener un sistema eléctrico más limpio, eficiente, confiable, y a apuntalar el cambio de la matriz productiva del país. (Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica, 2017)

El Gobierno tiene un programa de biocombustibles que fue creado a partir del 2004, con la creación del consejo nacional de biocombustibles, con lo cual se impulsa la producción debido a la preocupación por el cambio climático y por el compromiso mundial en el control del efecto invernadero. Los biocombustibles son un mecanismo para reducir emisiones de CO₂ y plomo.(PETROECUADOR, 2013)

La estrategia estatal para el impulso del sector de la producción de etanol para biocombustibles consiste en:



- Fomento a asociaciones agrícolas.
- Fomento de las áreas de producción alcanzando un incremento en 67.500 hectáreas.
- Apoyo a través del Plan Nacional de Riego.
- Reconversión de plantaciones con financiamiento preferencial.
- Plan de fomentos a la productividad.
- Fomento de agroindustrias asociativas para la constitución de centros de acopio y destilerías.
- Apoyo a la industria privada para que incremente su capacidad instalada para cumplir con el objetivo de una mezcla de 15% de etanol.

En base a estas consideraciones se plantea la obtención de bioetanol anhidro, proceso que es realizado por la Universidad de Cuenca a través de la carrera de Ingeniería Química en el laboratorio de Operaciones Unitarias, para determinar las condiciones óptimas de trabajo, de acuerdo a cada etapa del proceso realizando una deshidratación casi completa del alcohol reduciendo su porcentaje de agua hasta un 0,05%, el alcohol anhidro o alcohol carburante como también se le conoce tiene un contenido de alcohol de 99.5-99.6% en peso, que puede ser obtenido mediante diferentes procesos industriales dentro de los que está este estudio: Destilación azeotrópica o rectificación, Destilación extractiva con solventes y adsorción con tamices moleculares.

En cada etapa de este proceso se obtiene un alcohol con una mayor concentración que el de partida y en la última etapa el agua restante del sistema etanol-agua es adsorbida por un lecho compuesto de tamiz molecular en forma granular permitiendo así subir el porcentaje de etanol hasta 99.5% de pureza.

Con los resultados obtenidos se pretende estandarizar el proceso de manera que pueda ser proyectado a escala industrial, reduciendo los costos de producción de forma que contribuya al cambio de la matriz productiva y energética del país.



1.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener alcohol anhidro a partir de bioetanol de baja concentración aplicando procesos de rectificación, extracción con glicoles y el uso de tamiz molecular.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar y determinar cada uno de los resultados obtenidos con la metodología planteada en el proyecto, en cada etapa del proceso de obtención del alcohol anhidro.
- Cuantificar el grado alcohólico al término de cada proceso realizado mediante un alcoholímetro, variando los parámetros (temperaturas, relaciones, alturas, flujos) para determinar los más adecuados.
- Estudiar las condiciones teóricas del proceso que favorecen la destilación azeotrópica a escala de laboratorio.



CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Alcohol

Los alcoholes, son compuestos orgánicos que contienen grupos hidroxilo (-OH). Son compuestos frecuentes en la naturaleza, útiles en la industria y en el hogar. La palabra alcohol es uno de los términos más antiguos de la química, deriva del término árabe “al-kuhl”. Originalmente significaba “poder” y más tarde “esencia”. (Hern, 2007).

2.1.1 Propiedades Físicas del Alcohol

En la Química Orgánica, los alcoholes se definen como líquidos incoloros de olor característico, de baja masa molecular y solubles en agua en diferentes proporciones.

La molécula de alcohol está compuesta principalmente por un alcano que es su parte hidrofóbica y un grupo -OH correspondiente a su grupo hidrófilo. El OH le confiere polaridad y la posibilidad de formar puentes de hidrógeno entre ellos dando “moléculas asociadas” y mayor solubilidad en agua.

Las principales propiedades físicas del alcohol son:

- Solubilidad: al hablar de solubilidad hace referencia a la capacidad que tienen las moléculas para formar puentes de hidrogeno permitiendo asociarse entre ellas.
La solubilidad de los alcoholes, tiende a disminuir al aumentar el número de carbonos en la cadena, esto se debe a que el grupo hidroxilo polar constituye una parte relativamente pequeña en comparación con la porción hidrocarburo.(Arellano y Riofrio, 2014).
- Punto de Fusión: Este aumenta a medida que aumenta la cantidad de carbonos.
- Punto de Ebullición: A una mayor cantidad de átomos de carbono aumenta el punto de ebullición y al aumentar las ramificaciones disminuye su punto de ebullición.(Requena, 2012).
- Densidad: La densidad aumenta con el número de carbonos y con el número de ramificaciones.

2.1.2 Propiedades Químicas del Alcohol

Debido al efecto inductivo que ejerce el grupo hidroxilo como sustituyente sobre los carbonos adyacentes los alcoholes pueden comportarse tanto como ácidos o bases.



Pueden actuar como base de Lewis ya que poseen pares de electrones sin compartir sobre el oxígeno y se pueden protonar con ácidos fuertes.

Al igual que el protón del hidroxilo del agua, el protón del hidroxilo de un alcohol es débilmente ácido. Una base fuerte puede sustraer el protón del hidroxilo de un alcohol para generar un alcóxido.

2.2 Etanol

Se lo conoce como alcohol etílico cuya fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ en condiciones normales de presión y temperatura se presenta como un líquido incoloro e inflamable cuyo punto de ebullición es de $78,4^\circ\text{C}$. (Cerpa, 2005)

Se puede obtener a partir de productos con alto contenido de azúcares fermentables. La fermentación es llevada a cabo principalmente por levaduras, produciendo etanol y CO_2 , en un proceso que ocurre en unas 48 horas. Típicamente una tonelada de caña de azúcar limpia contiene unos 135 kg de sacarosa que producen unos 85 litros de etanol. El sistema etanol-agua puede ser rectificado mediante destilación hasta un 96% es aquí donde se forma una mezcla azeotrópica, razón por la cual se debe usar otros métodos para romper este azeótropo. (Alvarez, Evelson, y Boveris, 2008)

El etanol puede ser obtenido mediante diferentes procesos, uno de ellos es a partir de la hidratación de etileno en presencia de un ácido fuerte como el H_2SO_4 , y otro de uso muy común a partir de fermentación anaeróbica de azúcares, cuya materia prima es la caña de azúcar, la remolacha y también de fuentes ricas en almidón tales como maíz, trigo, cebada y tubérculos. Todos estos en presencia de levadura.

2.2.1 Propiedades del etanol

Los datos fisicoquímicos del etanol que se indican en la tabla 1, fueron tomados de “Octane Numbers of Etanol and Methanol – Gasoline Blends Estimated from Molar Concentrations” y “Chemical Engineers' Handbook”.

Tabla 1. Propiedades del etanol

Propiedad	Etanol
Octanaje (RON)*	109
Densidad energética (MJ/L)	19.6
Mezcla aire combustible	9



Presión de vapor (KPa)	5.95
Temperatura de ebullición (°C)	79
Densidad (Kg/L)	0.789

Fuente: Chemical Engineers' Handbook

Para medir el octanaje se toma como referencia combustibles patrones formados por la mezcla del iso-octano que posee un RON de 100, y del n-heptano que posee un RON de 0. El primero es un hidrocarburo con alta resistencia a la auto inflamación al que se le da un valor de 100. El segundo es otro hidrocarburo que se auto inflama fácilmente y al que se da un valor de octanaje de cero. De esa forma, una gasolina que soporte las mismas presiones en la cámara de combustión que el iso-octano tendrá un octanaje de 100 y una que solo soporte las presiones del hexano tendrá un octano de 0.

En la tabla 1 podemos observar que el octanaje del etanol es superior a 100, por lo tanto, este le confiere propiedades que ayudaran a una mejor combustión, evitando efectos como el cascabeleo del motor.

El etanol tiene una densidad energética menor al de la gasolina que es de 34.78 MJ/L; esto significa que toma más combustible (volumen y masa) para producir la misma cantidad de trabajo. La ventaja del etanol es que tiene mayor valor de octano que la gasolina libre de etanol disponible en las estaciones de servicio, lo que permite un aumento en el índice de compresión del motor para incrementar la eficiencia térmica.

2.2.2 Usos de Etanol

El etanol tiene diversas aplicaciones dentro de las cuales se toman 3 como las más importantes y de mayor aplicación: uso industrial, en bebidas y como combustible.(Arellano y Riofrio, 2014)

La producción mundial de etanol en 2018 se proyecta en alrededor de 120 mil millones de litros (32 mil millones de galones).

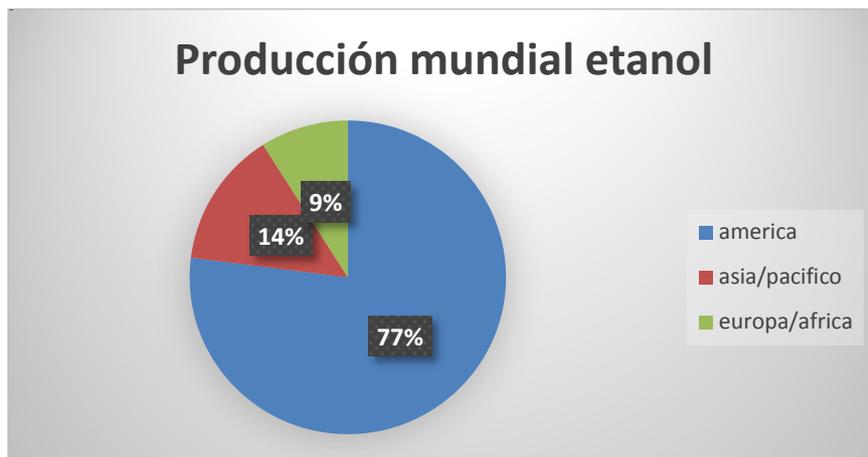


Gráfico 1 Representación de la producción de etanol a nivel mundial

Fuente: (“International - Strong growth seen in world ethanol output to 2030 – F.O. Licht - The only source of comprehensive biofuels statistics,” 2018)

Según proyecciones se espera que la producción mundial de etanol combustible aumente de manera constante en los próximos años, con un total pronosticado en 2025 de 121 mil millones de litros (32 mil millones de galones) y 133 mil millones en 2030 (35 mil millones). El aumento más fuerte se registrará en América, en esta zona se espera que la producción de etanol combustible aumente a alrededor de 100 mil millones de litros (26 mil millones de galones) en 2025 y a 106 mil millones en 2030 (28 mil millones).

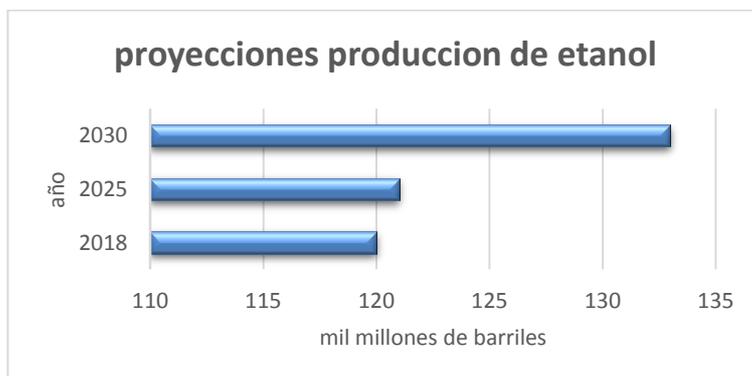


Gráfico 2 Proyecciones de producción mundial de etanol

Fuente: (“International - Strong growth seen in world ethanol output to 2030 – F.O. Licht - The only source of comprehensive biofuels statistics,” 2018)

Al ser el uso principal para combustibles este es el punto de interés del proyecto planteado por esto se da una pequeña clasificación:

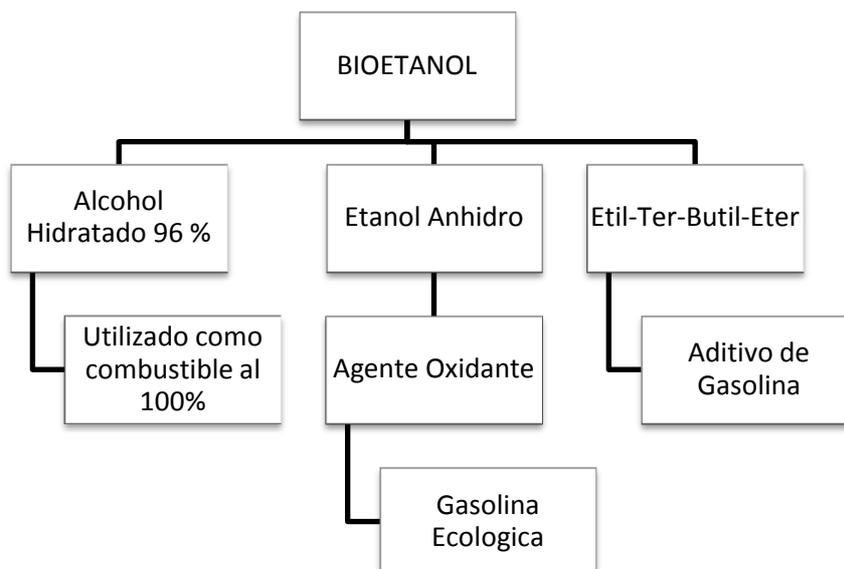


Diagrama 1. Usos del etanol como combustible

Fuente (Arellano y Riofrio, 2014)

El etanol puede ser utilizado como combustible, ya sea en combinación con la gasolina o 100% puro dependiendo del tipo de motor.

2.2.3 Alcohol Anhidro

Es un alcohol libre de agua producido por la fermentación de azúcares, el cual mediante la acción de agentes químicos deshidratantes o mediante tecnologías de separación apropiadas logra alcanzar una graduación de 99,5% p/p.(ISO ASTM 4806, 2017).

Es utilizado principalmente para la mezcla con la gasolina de automotor en diferentes concentraciones, y debido a que cuenta con un alto octanaje permite una mejor combustión ya que presenta una menor presión de vapor que la gasolina común, de esta manera reduce las emisiones y gases de combustión. Hay que tener en cuenta que no en todos los vehículos se puede usar esta mezcla a altas concentraciones, pero por lo general los vehículos actuales no presentan ningún problema.

El etanol carburante debe cumplir con los requisitos de rendimiento especificados por la norma INEN 2478: contenido de etanol, metanol, goma lavada con solvente, contenido de agua, contenido desnaturalizante, contenido de cloruro inorgánico, contenido de cobre, acidez, pH, contenido de azufre, contenido de sulfato, apariencia y Gravedad específica. (INEN 2478, 2009)



Tabla 2. Requisitos del etanol anhidro grado carburante de acuerdo con la INEN 2478.

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Contenido de Etanol	%	99,6	---	NTE INEN 340
Acidez total (como ácido acético)	mg/100ml	---	3,0	NTE INEN 341
Conductividad eléctrica	μS/m	---	500	ASTM D 1125
Densidad a 20°C	Kg/m ³	---	791,5	ASTM D 4052
Contenido de cloruros	mg/l	---	32	ASTM D 512
Contenido de agua	%	---	0,3	ASTM E 203
Contenido de cobre	mg/kg	---	0,1	ASTM D 1688
Residuo por evaporación	mg/100ml	---	5,0	ASTM D 381

Fuente (INEN 2478, 2009)

En tabla 2 podemos ver los requerimientos del etanol para considerarlo de grado anhidro y los métodos de ensayo para cuantificar los resultados. En este estudio se realizará la cuantificación del contenido de etanol.

Además de ser un aditivo de combustibles también es usado en la industria farmacéutica y en análisis de laboratorios. Debido a la gran problemática ambiental el gobierno ecuatoriano puso en marcha el plan piloto del uso de biocombustible “Ecopaís” que contiene 10% de etanol carburante en la gasolina extra. El plan piloto comenzó con una mezcla del 5% y actualmente se encuentra en el 10% se plantea subir la mezcla hasta llegar al 15%.(Arellano y Riofrio, 2014).

2.3 CONSUMO NACIONAL DE GASOLINA EN EL PAÍS

El octanaje o número de octano es una medida de la calidad y capacidad antidetonante de las gasolinas. Las gasolinas que tienen un alto índice de octano producen una mejor combustión.

El proceso productivo de la gasolina Eco país se basa en el procesamiento de la caña y la obtención de etanol a partir del jugo de caña o guarapo. Por otro lado, se trabaja con el resultado de la refinación de petróleo para realizar una mezcla en base a naftas de alto octano y nafta base.

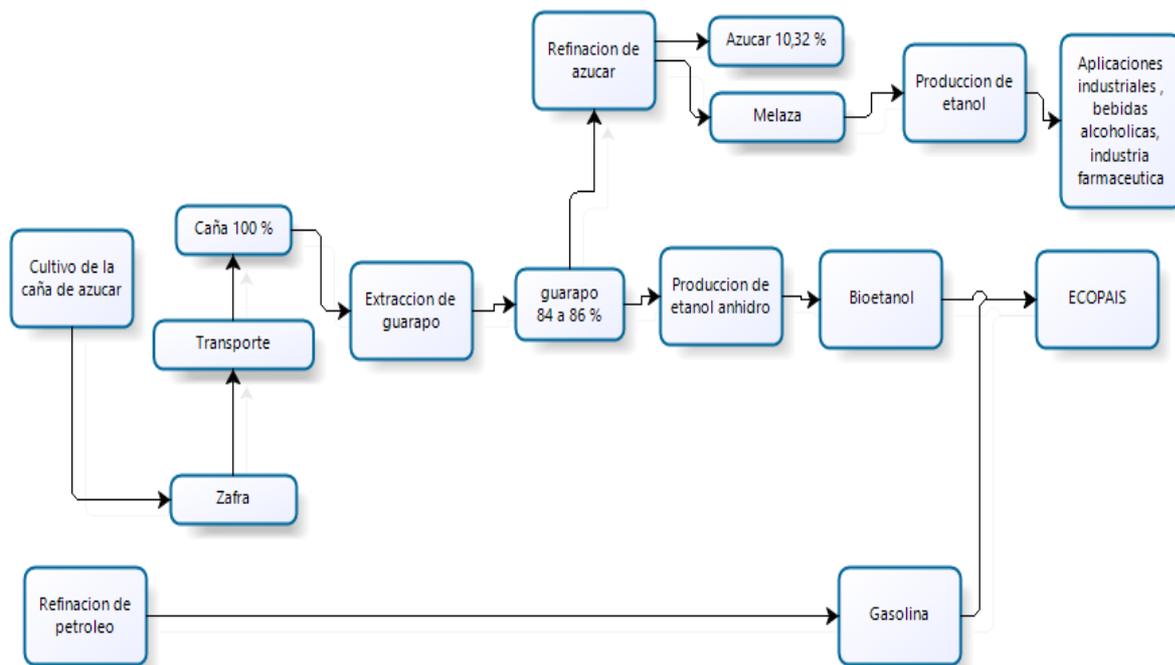


Diagrama 2. proceso de obtención del combustible ECOPAÍS.

Fuente: (PETROECUADOR, 2013)

En el diagrama 2 podemos observar el proceso productivo de la gasolina Ecopaís a partir de la caña de azúcar. Por otro lado, se trabaja con el resultado de la refinación de petróleo para realizar una mezcla en base a naftas de alto octano y nafta base.

Tabla 3. Producción de gasolina ECOPAÍS año 2016.

Mes	Cifras en barriles GASOLINA ECOPAÍS						TOTAL MEZCLA GASOLINA ECOPAÍS
	PASCUALES			LA TOMA-LOJA (a)			
	Premezcla	Etanol	SUBTOTAL	Premezcla	Etanol	SUBTOTAL	
Enero	353.165	7.662	360.827	-	-	-	360.827
Febrero	330.656	7.045	337.701	-	-	-	337.701
Marzo	342.184	17.861	360.044	-	-	-	360.044
Abril	342.111	18.146	360.257	-	-	-	360.257
Mayo	371.757	19.882	391.639	-	-	-	391.639
Junio	378.360	11.252	389.612	-	-	-	389.612
Julio	378.100	16.874	394.974	-	-	-	394.974
Agosto	396.780	21.054	417.833	-	-	-	417.833
Septiembre	436.935	21.614	458.549	-	-	-	458.549
Octubre	449.889	22.267	472.156	-	-	-	472.156
Noviembre	438.265	21.287	521.456	58.644	3.261	61.905	583.361
Diciembre	489.101	23.912	580.618	63.908	3.504	67.412	648.030
TOTAL	4.707.303	208.855	5.045.667	122.551	6.765	129.317	5.174.984
Ene - Dic 2015	4.204.034	164.119	4.368.153	-	-	-	4.368.153
Var % 16/15	11,97	27,26	15,51	-	-	-	18,47

Fuente: (PetroEcuador, 2016)



La tabla 3 indica el uso del etanol anhidro en la preparación de la gasolina Ecopaís. En cada mes se puede observar el incremento de la demanda de etanol para cubrir la demanda a nivel nacional.

2.3.1 Ventajas de uso de Etanol anhidro como combustible

Este compuesto presenta las siguientes ventajas como uso carburante:

- Presenta un alto índice de octano por lo que mejora la mezcla.
- Reduce las emisiones de gases contaminantes hasta el 30%.
- Presenta baja toxicidad y disminuye la contaminación ambiental.
- Generación de empleos integrando el sector rural con la industria ampliando, fomentando y optimizando la industria agrícola.
- Su producción puede ser a partir de la caña de azúcar en su mayoría, tomando en cuenta que también, puede ser obtenido a partir de distintos excedentes de producción de otros cultivos agrícolas del país.
- Se reduce la dependencia de los derivados del petróleo que son importados. Como pueden producirse a partir de insumos locales, los biocombustibles pueden contribuir en la reducción de importaciones de diésel y/o gasolinas y mejoran la balanza comercial. En el país se importa Nafta de Alto Octano para ser mezclada con Nafta Base y poder alcanzar los estándares de calidad que exige el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

2.3.2 Desventajas de uso de Etanol como combustible

- Pérdida de bosques primarios para la producción de la materia prima para la elaboración del alcohol. El Ecuador tiene alrededor de 9,6 millones de hectáreas de bosques primarios que representan el 39% de la superficie total del país. Según un informe de la FAO, Ecuador sufre una disminución del 1,8% anual de bosques primarios, la tasa más alta de América Latina. Claro que la principal razón de esta pérdida es debido a el sector maderero, agrícola, ganadería y el crecimiento demográfico de la población.
- La mayoría de los procesos de obtención de etanol requieren en gran cantidad agua para su producción, lo que genera un mayor requerimiento de este elemento.



- La producción de alcohol en grandes cantidades a partir de la caña de azúcar puede generar un conflicto con la producción de azúcar si no se realiza el balance necesario para que no exista un desequilibrio tanto productivo como económico. La soberanía alimentaria, en esencia, proclama el derecho a alimentos seguros, nutritivos y culturalmente apropiados para toda la población.

Para el correcto manejo del alcohol anhidro se tiene en consideración las recomendaciones en la ficha de seguridad (Ver anexo 1).

2.4 PROCESOS PARA LA DESHIDRATACIÓN DE ETANOL

2.4.1 DESTILACIÓN AZEOTRÓPICA O RECTIFICACIÓN

Químicamente, se conoce como destilación azeotrópica, a la técnica que se utiliza para fraccionar a un compuesto azeótropo a través de una destilación. Quizás la destilación azeotrópica más típica y común es la que se realiza de la mezcla que conforman el sistema etanol-agua, aunque con esta técnica solo se consigue purificar al alcohol en torno a un 95%.

Un azeótropo, es una mezcla líquida que tiene un máximo o un mínimo en los puntos de ebullición, con relación a los puntos de ebullición de las composiciones de las mezclas a su alrededor. Los puntos de ebullición de los componentes puros presentes en la mezcla deben ser los suficientemente cercanos para permitir la formación de un azeótropo. Una mezcla cuyos componentes tienen puntos de ebullición cercanos puede formar un azeótropo cuando ocurren pequeñas desviaciones de las soluciones líquidas ideales. Una mezcla con puntos de ebullición distantes de sus componentes puede no formar un azeótropo, aún si constituyen una mezcla líquida, con características no ideales. Los azeótropos se presentan raras veces en las mezclas constituidas por componentes cuyos puntos de ebullición difieren de más de 30°C (54°F). (Perry, Green, & Maloney, 1997)

El término destilación azeotrópica aplica a una clase de operación de destilación, caracterizada por la separación de componentes usando las propiedades azeotrópicas del sistema en cuestión. El agente responsable del comportamiento azeotrópico específico para cada componente, conocido como arrastrador o solvente puede ser incluido en la alimentación principal o en cualquier parte del proceso cercano a la alimentación (por lo general en el plato superior a ésta). La destilación azeotrópica es usada para separar componentes cuyos puntos de ebullición

estén muy cercanos, o aún en casos de formación de azeótropos, donde la destilación convencional es costosa o prácticamente imposible. (Perry et al., 1997)

2.4.1.1 Balance de Materia en una Columna de Platos

Una columna se alimenta con F (mol/h) de concentración x_F y genera D (mol/h) del producto destilado de concentración x_D , y B (mol/h) de producto residual de concentración x_B . Ver figura 3) (McCabe, Warren., Smith, Julian C., Harriot, 2007)

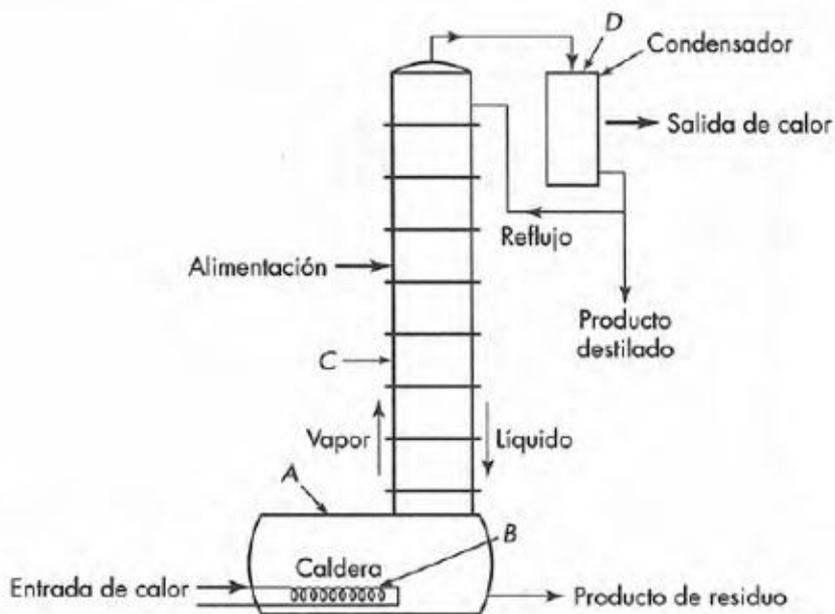


Figura 1. Esquema de una columna de fraccionamiento con caldera.

Fuente: (McCabe, Warren., Smith, Julian C., Harriot, 2007)

De aquí se pueden escribir dos balances de masa:

- Ecuación del balance total de masa:

$$F = D + B$$

Ecuación 1 Expresión general del balance total de masa de una columna de platos



- Ecuación del balance del componente A:

$$F x_F = D x_D + B x_B$$

Ecuación 2 Expresión del balance del componente A en una columna de platos

- Eliminando B del sistema, obtenemos:

$$\frac{D}{F} = \frac{x_F - x_B}{x_D - x_B}$$

Ecuación 3 Expresión del sistema eliminando el flujo molar de colas

- Eliminando D del sistema, obtenemos:

$$\frac{B}{F} = \frac{x_D - x_F}{x_D - x_B}$$

Ecuación 4 Expresión del sistema eliminando el flujo molar de destilado

Donde:

- **F**: flujo molar de alimentación en mol/h.
- **B**: flujo molar de colas en mol/h.
- **D**: flujo molar de destilado en mol/h.
- **X_D**: fracción molar de etanol en el destilado.
- **X_F**: fracción molar de etanol en la alimentación.
- **X_B**: fracción molar de etanol en las colas.

Estas dos últimas ecuaciones (2) y (3) se pueden aplicar para todos los valores de los flujos de vapor y líquido en el interior de la columna. (McCabe, Warren., Smith, Julian C., Harriot, 2007)

2.4.1.2 Ventajas de la destilación azeotrópica

- No se necesita añadir ninguna sustancia extra al sistema para poder obtener una separación de la mezcla.



- El equilibrio liquido vapor, es uno de los más estudiados y existen muchas fuentes de consulta para trabajar en la destilación.
- Poder realizar una separación directa de la mezcla, obteniendo una pureza relativamente alta, en vista que no se utilizan procesos más complejos para su separación.
- la existencia de azeótropos se detecta con gran claridad; los orígenes y los extremos de las curvas de destilación representan las fracciones que se pueden obtener como productos de cabeza y de cola en columnas de destilación.(Gil, Aguilar, & Caicedo, 2006)

2.4.1.3 Desventajas de la destilación azeotrópica

- Los costos de funcionamiento de los equipos son elevados ya sea en la producción de vapor o energía eléctrica.
- Puede darse casos en los que no se logra modificar en gran medida la mezcla original, ya sea que el equilibrio liquido vapor sean similares en términos de P y T.(Gil et al., 2006)
- Se obtiene un volumen mucho menor en relación al volumen de inicio de la mezcla.

2.4.2 DESTILACIÓN EXTRACTIVA

La destilación extractiva es una técnica de separación y purificación para aislar una sustancia de una mezcla sólida o líquida que se encuentra, mediante el uso de un disolvente.

En este tipo de operación la solución a ser extraída se denomina alimento (A+C) y el líquido con el que se pone en contacto se denomina solvente (B), de aquí también tenemos que la fase rica en solvente se denomina Extracto mientras que la fase pobre en solvente se denomina Refinado. (Leon, 2011)

Este método es utilizado para separar azeótropos y mezclas que tienen puntos de ebullición cercanos. En este tipo de destilación se agrega un solvente a la columna de destilación, este solvente se selecciona para uno de los componentes, “B”, pase a él en forma selectiva. Como se suele escoger al solvente para que tenga un punto de ebullición apreciablemente mayor que el de los componentes que se están separando, el componente atraído, “B”, tiene volatilidad reducida. Entonces, el componente, “A”, se vuelve relativamente más volátil y es sencillo



sacarlo en el destilado. Se requiere de una columna aparte para separar al solvente y al componente “B”. (Wankat Phillip, 2008)

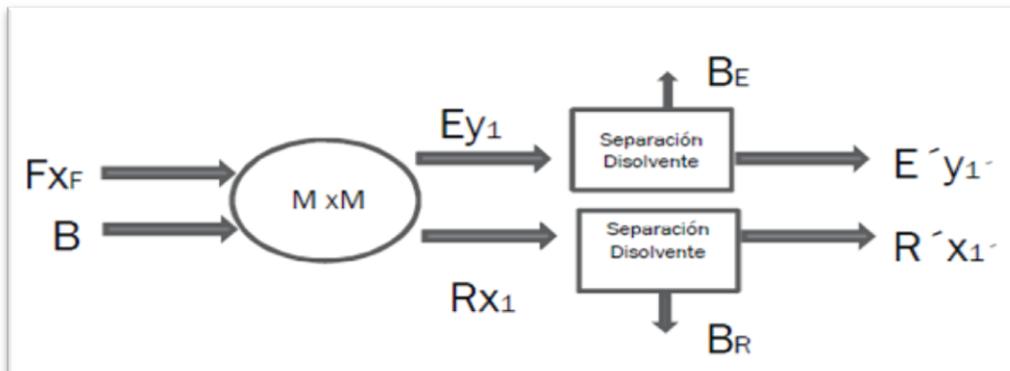


Figura 2 diagrama de extracción liquido-liquido mediante contacto sencillo

Fuente: (Leon, 2011)

Balance de masa para el sistema de Extracción liquido-liquido

$$F + B = M$$

Ecuación 5 Balance de masa en el sistema de Extracción Liquido-liquido en base a F y B

$$M = R + E$$

Ecuación 6 Balance de masa del sistema Extracción liquido-liquido en base a R y E

Balance de masa respecto al soluto

$$F_{XF} + B_{XB} = M_{XM}$$

Ecuación 7 Balance de masa con respecto al soluto en base a F y B

$$M_{XM} = R_{x1} + E_{y1}$$

Ecuación 8 balance de masa con respecto al soluto en base de R y E

Balance de masa respecto a la separación del solvente



$$E = B_E + E'$$

Ecuación 9 Balance de masa con respecto al extracto

$$R = B_R + R'$$

Ecuación 10 Balance de masa con respecto al refinado

En el caso de que la alimentación esté libre de solvente tendríamos

$$F = R' + E'$$

Ecuación 11 Balance de masa con alimentación libre de solvente

con respecto al soluto

$$F_{XF} = R'_{x'1} + E'_{y'1}$$

Ecuación 12 Balance de masa con respecto al soluto en base libre de solvente

Sabemos que E corresponde al caudal del extracto en base libre de solvente por lo que

$$E = E'(1+N)$$

Ecuación 13 Ecuación del extracto en base libre de solvente

Donde N es la fracción molar de B en base libre de solvente

$$N = \frac{Kg_B}{Kg_A + Kg_C}$$

Ecuación 14 Expresión de la fracción molar de B en base libre de solvente

$$B = B_E + B_R$$

Ecuación 15 Balance de masa del solvente en el sistema

Donde:

- F: Corriente de alimentación
- X_F : Fracción molar de C en la alimentación (puede ser fracción másica o molar)
- B: Corriente de solvente
- M: Mezcla de alimentación más solvente
- X_M : Fracción molar de C en la mezcla
- E: Corriente de Extracto rica en B
- y_1 : Fracción molar de C en el extracto (1 corresponde al número de etapas)
- R: Corriente de Refinado pobre en B
- x_1 : Fracción molar de C en el refinado (1 corresponde al número de etapas)
- B_E : Disolvente en el Extracto
- E' : Extracto en base libre de solvente
- y_1' : Fracción molar de C en el extracto en base libre de solvente.
- x_1' : Fracción molar de C en el refinado en base libre de solvente.
- B_R : Dinsolvente en el refinado. (Leon, 2011)

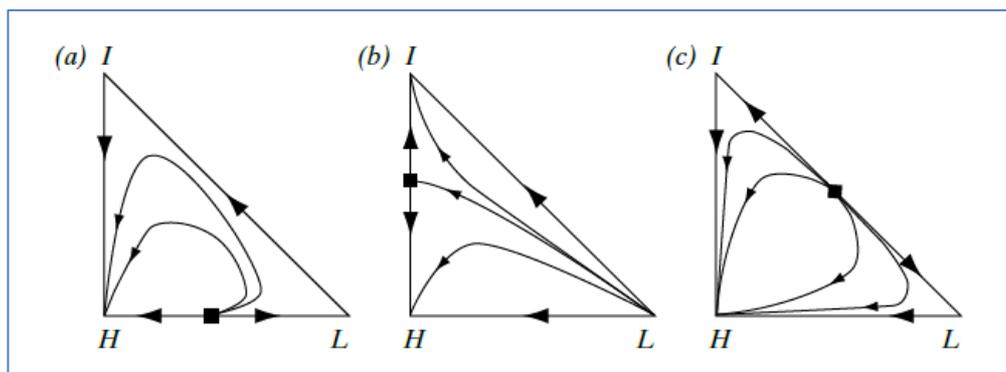


Figura 3. Esquema de curvas de residuo cuando hay azeótropo de punto de ebullición mínimo.

Fuente: (Wankat Phillip, 2008)

En la figura 3 observamos las posibilidades de las curvas de residuo que se pueden presentar en la destilación extractiva, la figura 5 c es la que nos indica la ruptura del azeótropo de la mezcla.

La destilación extractiva se ha estudiado y aplicado en la deshidratación y recuperación completa del etanol. La ventaja que presenta esta técnica respecto de la destilación azeotrópica, radica en que el etanol obtenido no contiene trazas del agente de separación lo que amplía su utilidad a productos alimenticios y farmacéuticos, además, las características del agente de

separación hacen que su búsqueda sea menos costosa y restringida que en el caso de la destilación azeotrópica. (Gil et al., 2006)

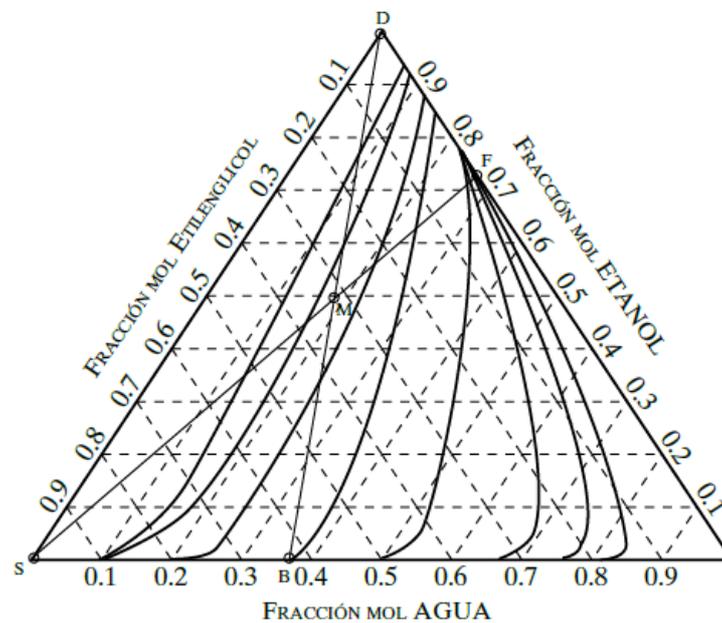


Figura 4. Curvas de residuo para el sistema de agua-etilenglicol, en destilación extractiva para romper el azeótropo etanol-agua.

Fuente: (Wankat Phillip, 2008)

En la figura 4 se aprecia el diagrama de la curva de residuo para la destilación extractiva de etanol y agua, utilizando etilenglicol como solvente. Esta es una simulación que fue realizada en aspen plus, donde las curvas comienzan en el azeótropo binario (89% etanol y 11% agua). Como todas las curvas de residuo tienen la misma forma general, en este sistema no hay frontera de destilación. El solvente y la alimentación se pueden combinar como alimentación mezclada, M, (determinada con la regla de la palanca), que se separa entonces en las corrientes D y B (Wankat Phillip, 2008).

Dentro de este estudio se toma en consideración el llamado coeficiente de distribución o coeficiente de reparto de un componente “i” entre las dos fases líquidas separadas (Extracto E y Refinado R) a la relación entre las concentraciones que alcanza ese componente en ambas fases de equilibrio:

$$k_i = \frac{\text{concentracion componente i en E}}{\text{concentracion componente i en R}} = \frac{C_E}{C_R}$$

Ecuación 16 Expresión del coeficiente de reparto de un sistema de extracción



Este coeficiente depende del disolvente empleado, de la composición de la mezcla y también de la temperatura de operación. (Ocon Garcia & Tojo Barreiro, 1970)

2.4.2.1 Características del disolvente de extracción

La destilación extractiva-selectiva hacia un componente de una mezcla disuelta en un determinado disolvente se puede conseguir añadiendo otro disolvente que cumpla las siguientes condiciones:

- Que no sea miscible con el otro disolvente. El agua o una disolución acuosa suele ser uno de los disolventes implicados. El otro disolvente es un disolvente orgánico.
- Que el componente deseado sea mucho más soluble en el disolvente de extracción.
- Que el resto de los componentes no sean solubles en el disolvente de extracción.
- Que sea suficientemente volátil, de manera que se pueda eliminar fácilmente del producto extraído mediante destilación o evaporación.
- Que no sea tóxico ni inflamable, aunque, desgraciadamente hay pocos disolventes que cumplan los dos criterios: hay disolventes relativamente no tóxicos pero inflamables como el hexano, otros no son inflamables, pero sí tóxicos como el diclorometano o el cloroformo, y otros son tóxicos e inflamables como el benceno. (Leon, 2011)

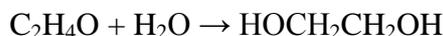
2.4.2.2 ETILENGLICOL

Es un compuesto químico que pertenece al grupo de los dioles. Es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso como el almíbar y leve sabor dulce. Por estas características organolépticas se suelen utilizar distintos colorantes para reconocerlo y así disminuir las intoxicaciones por accidente. A temperatura ambiente es poco volátil, pero puede existir en el aire en forma de vapor. Se fabrica a partir de la hidratación del óxido de etileno (epóxido cancerígeno). (Carrillo E, Aguirre G, & Villanueva Q, 2006)

Se utiliza como anticongelante en los circuitos de refrigeración de motores de combustión interna, como difusor del calor, mezclado con agua para los procedimientos de deshielo y anti-hielo de los aviones comerciales, para fabricar compuestos de poliéster, y como disolvente en la industria de la pintura y el plástico.



El etilenglicol se produce a partir de etileno, mediante el compuesto intermedio óxido de etileno. El óxido de etileno reacciona con agua produciendo etilenglicol según la siguiente ecuación química: (Vasquez Daniel, 2014)



Ecuación 17 Ecuación química de producción de etilenglicol

Esta reacción puede ser catalizada mediante ácidos o bases, o puede ocurrir en un pH neutro a temperaturas elevadas. (Vasquez Daniel, 2014)

Las siguientes son algunas de las propiedades físicas de etilenglicol:

Tabla 4. Cuadro de propiedades físicas del etilenglicol.

Punto de ebullición	197,60°C
Punto de fusión	-13,00°C
Densidad a 20°C	1,1135 g / cm ³
Índice de refracción, nD20	1,4318
Calor de vaporización	52,24 kJ / mol
Calor de combustión	19,07 MJ / kg
Temperatura crítica	372°C
Presión crítica	0.186L / mol
Punto de inflamabilidad	111°C
Temperatura de ignición	410°C
Viscosidad a 20°C	19.83 mPa · s

Fuente: (Textos Científicos, 2014)

De estas propiedades el valor de mayor interés es la temperatura de ebullición, tomádo en cuenta para evitar intoxicaciones por inhalación de sus vapores.

Para el correcto manejo del etilenglicol se tiene en consideración las recomendaciones en la ficha de seguridad (Ver anexo 2)

2.4.2.3 PROPILENGLICOL

El propilenglicol (nombre sistemático: propano-1,2-diol), es uno de los componentes más utilizados; es un compuesto orgánico (un alcohol, más precisamente un diol) incoloro, insípido e inodoro. Es un líquido aceitoso claro, higroscópico e hidrosoluble. Se obtiene por hidratación del óxido de propileno. (Adagio Paul, 2010)



De acuerdo con la Material Safety Data Sheet (MSDS), el propilenglicol es un líquido incoloro con un ligero sabor dulce y es notablemente más viscoso que el agua, lo que significa que fluye lentamente, como jarabe. Su punto de fusión es de -72,4 grados F (- 58°C), y su punto de ebullición es de 370,8 grados F (187°C). Tiene un peso específico de 1,036 g/cm³, lo que significa que es ligeramente más denso que el agua. Su presión de vapor a temperatura ambiente normal es insignificante, por lo que el propilenglicol no se evapora en un grado significativo.(Escrig, 2015)

Se utiliza como disolvente en diferentes formulaciones farmacéuticas. La diferencia de toxicidad entre el etilenglicol y el propilenglicol se puede explicar analizando sus metabolismos. La biotransformación del etilenglicol genera los ácidos glicólicos, glioxílico y oxálico, responsables de la acidosis metabólica y el daño renal. El metabolismo del propilenglicol genera ácido pirúvico o piruvato, que ingresa directamente al ciclo de Krebs, siendo metabolizado por la célula de forma natural.(Escrig, 2015)

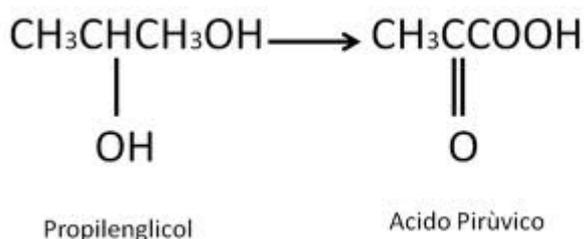


Figura 5. Metabolismo del propilenglicol.

Fuente: (Escrig, 2015)

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) ha determinado que no es necesario establecer un límite de exposición al Propilenglicol en lugares de trabajo. La Administración de Alimentos y Medicamentos estadounidense (FDA) determinó que este compuesto es “generalmente considerado como seguro” (GRAS) para uso en alimentación, cosmética, y medicinas. Este se metaboliza de forma natural en piruvato, intermediario metabólico común, por lo que no es citotóxico.(Escrig, 2015)

En cuanto a sus aplicaciones, son muy amplias y variadas: como humectante en productos farmacéuticos, cosmética, alimentos y tabaco, como agente saborizante y solvente de coloración en comidas (quesos, helados, leches, etc.) y bebidas, (aditivo alimentario E1520), como anticongelante de alimentos, en máquinas de humo artificial para entrenamiento de bomberos y producciones teatrales, como ingrediente en muchos productos cosméticos,



inclusive productos para bebés, espumas de baño, y champús, en multitud de medicamentos (muchos de ellos inhaladores por ejemplo Ciclosporina o Nicorette), desinfectantes de manos, lociones antibacterianas y soluciones salinas.(Escrig, 2015)

Para el correcto manejo del propilenglicol se tiene en consideración las recomendaciones en la ficha de seguridad (Ver anexo 3)

2.4.2.4 GLICERINA

El glicerol o glicerina, es un compuesto alcohólico terciario con tres grupos $-OH$ (hidroxilos). La palabra glicerol, procede del griego Glykos, que significa dulce. Posee un aspecto de líquido viscoso, no tiene color, pero si un característico olor, además de un sabor dulzón. Además, el glicerol es un compuesto higroscópico, lo que quiere decir que tiene la capacidad de ceder o adsorber la humedad presente en el medio que lo rodea. Se descompone en ebullición, en la cual entra a una temperatura de $290^{\circ}C$. Es un compuesto líquido si se encuentra a temperatura ambiente, (a unos $25^{\circ}C$). (Mendez Ángeles, 2010)

Todo el glicerol producido en el mundo hasta 1949, provenía de la industria del jabón. Actualmente, el 70 % de la producción de glicerol le pertenece a los Estados Unidos, y proviene de los glicéridos (grasas y aceites naturales), y el resto de la producción de glicerina sintética (subproducto del propileno), la producción de ácidos grasos y ésteres de ácidos grasos (biodiésel). (Lafuente, 2017)

Se produce mediante la saponificación de las grasas, como un subproducto de la fabricación del jabón.

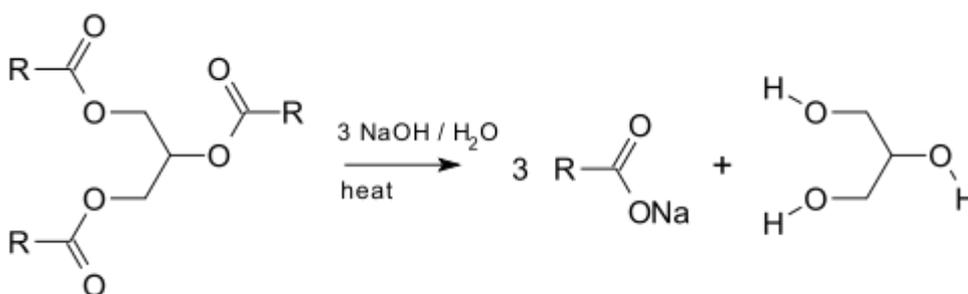


Figura 6. Obtención de glicerina de la saponificación.

Fuente: (Montiel, 2017)



Es un líquido untuoso al tacto, incoloro o casi incoloro, límpido muy higroscópico. Miscible con agua y etanol al 96%, poco soluble en acetona, prácticamente insoluble en aceites grasos y en aceites esenciales. Densidad: 1,256 - 1,264 g/ml. Índice de refracción: 1,4700 - 1,4750. (Acofarma, 2009)

El glicerol tiene numerosas aplicaciones. Entre sus usos más frecuentes se encuentran:

- La fabricación de productos cosméticos, sobre todo en la industria jabonera.
- Dentro del área farmacéutica, se usa en jarabes, cremas, etc.
- En temperaturas más altas de los 250°C, en los baños calefactores.
- En ciertas maquinarias se utiliza como lubricante.
- Anticongelante
- Fabricación de distintos productos, sobre todo en la preparación de tés, cafés, y otros extractos vegetales, así como la elaboración de bebidas refrescantes, donde se añade como aditivo para aumentar la calidad. (Mendez Ángeles, 2010)

Para el correcto manejo de la glicerina se tiene en consideración las recomendaciones en la ficha de seguridad (Ver anexo 4)

2.4.3 TAMICES MOLECULARES

El uso de los tamices moleculares en la deshidratación se da ya que las moléculas de agua pueden ser adsorbidas sobre la superficie interna de los poros del tamiz. (Benito J. de la Cruz Santana, 2006).

Son sustancias granulares que tienen forma cilíndrica o esférica, sabiendo que son capaces de adsorber hasta un 22% de su propio peso en agua son utilizados comúnmente para la adsorción del mismo en las industrias de alcohol carburante, siendo este un proceso que se encuentra en auge con el fin de remplazar a la destilación azeotrópica. (García Soto, 2012)

Todas las zeolitas son consideradas como tamices moleculares y estas son caracterizadas por las siguientes propiedades:

1. Alto grado de hidratación.
2. Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado
3. La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.
4. Las propiedades de intercambio del catión



5. Presenta canales moleculares uniformes clasificados en los cristales deshidratados.
6. Por su habilidad de adsorber gases y vapores.
7. Por sus propiedades catalíticas

Los tamices moleculares son materiales que pueden adsorber selectivamente moléculas en base al diámetro del poro, pero no todos los tamices moleculares son considerados como zeolitas, ya que también el carbón activado, las arcillas activadas, la alúmina en polvo, y la sílice en gel se consideran como tamices moleculares, todos estos tamices poseen diferentes diámetros promedios que son los que determinan la capacidad de adsorción de las sustancias, siendo así que tenemos:

- 3A cuyo tamaño de poro es de 3 Armstrong, el mismo que será utilizado en el estudio debido a que adsorbe NH_3 , H_2O , este tipo de tamiz es de gran uso para secar líquidos polares.
- 4A cuyo tamaño de poro es de 4 Armstrong, su afinidad de adsorción se da hacia CO_2 , SO_2 , H_2S , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 , etanol, es de uso para secar líquidos y gases no polares.
- 5A cuyo tamaño de poro es de 5 Armstrong, este tipo de tamiz adsorbe hidrocarburos normales de hasta $n\text{-C}_4\text{H}_{10}$, alcoholes hasta $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$, mercaptanos hasta $\text{C}_4\text{H}_9\text{SH}$. No es utilizado para adsorber iso-compuestos o anillos mayores que C_4 .
- 10X cuyo tamaño de poro es de 8 Armstrong, utilizado generalmente para adsorber hidrocarburos ramificados y aromáticos y también se adosan para secar gases.
- 13X cuyo tamaño de poro es de 10 Armstrong, utilizado para adsorber di-n-butilamina.

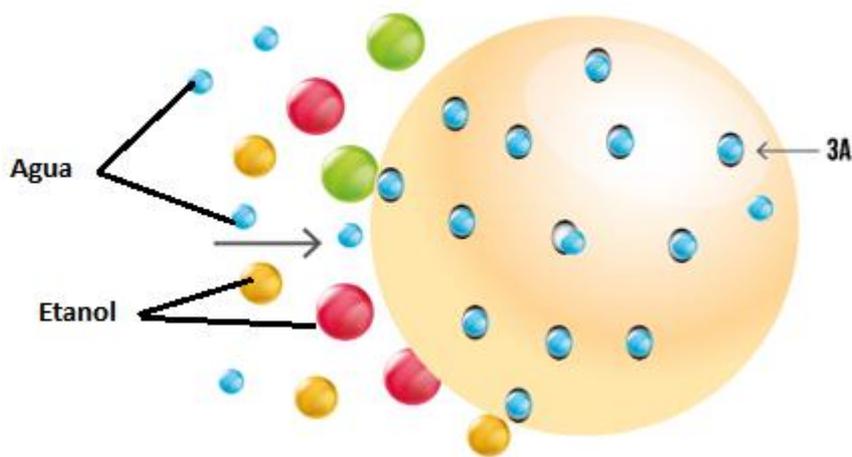


Figura 7. Adsorción de las moléculas de agua sobre el tamiz molecular.

Fuente: Autores



La figura 7 indica la forma como se da la adsorción de las moléculas de agua en el tamiz molecular, ya que estas tienen un diámetro inferior que los caminos intersticiales de este tamiz de manera que son adsorbidas por el mismo, a diferencia del etanol cuyas moléculas son más grandes y pasan a través de los espacios entre los tamices sin ser adsorbidos.

La regeneración del tamiz una vez saturado el lecho se lo puede hacer de distintas formas una de ellas es mediante gas caliente, el CO₂ es el más utilizado por su fácil manejo, sin embargo, existe otro método mediante secado en estufa a altas temperaturas durante varias horas hasta obtener peso constante de manera que el tamiz pueda ser utilizado nuevamente en el proceso.

A nivel de industria se utiliza la tecnología PSA (pressure swing, vacuum purge adsorption), donde se alterna la operación de las columnas, (mientras una trabaja produciendo etanol anhidro, la otra es regenerada con el reciclo de una porción de etanol anhidro sobrecalentado y presiones de vacío), logra así prolongar el tiempo de vida media del tamiz por varios años. (Benito J. de la Cruz Santana, 2006)

2.4.3.1 Flujo Hidrodinámico

Estudia el comportamiento del movimiento de los fluidos; en sí, también conocido como hidrodinámica se fundamenta principalmente en los fluidos incompresibles es decir los líquidos; para ello considera la velocidad, presión, flujo y gasto. Se aplica en el diseño y construcción de presas, canales, acueductos, cascos de barcos, aviones, hélices, turbinas, frenos, amortiguadores, colectores pluviales entre otras aplicaciones. (Enriqueta & Ángel, 2014)

Para este tipo de estudio se consideran tres aproximaciones que son importantes en este tema:

- ✓ Que el fluido es un líquido incompresible, es decir, que su densidad no varía con el cambio de presión, a diferencia de lo que ocurre con los gases;
- ✓ Se considera despreciable la pérdida de energía por la viscosidad, ya que se supone que un líquido es óptimo para fluir y esta pérdida es mucho menor comparándola con la inercia de su movimiento;
- ✓ Se supone que el flujo de los líquidos es un régimen estable o estacionario, es decir, que la velocidad del líquido en un punto es independiente del tiempo.



El flujo hidrodinámico presenta varias características que pueden ser descritas por ecuaciones matemáticas muy sencillas. Entre ellas:

2.4.3.1.1 Ley de Torricelli: si en un recipiente que no está tapado se encuentra un fluido y se le abre al recipiente un orificio la velocidad con que caerá ese fluido será:

$$v = \sqrt{2gH}$$

Ecuación 18 Expresión matemática de cálculo de la velocidad de un fluido

La otra ecuación matemática que describe a los fluidos en movimiento es el número de Reynolds (adimensional):

$$Re = \frac{\rho c D}{\mu}$$

Ecuación 19 Expresión matemática para el cálculo del número de Reynolds

Dónde:

- ρ : es la densidad
- c : la velocidad
- D : es el diámetro del cilindro
- μ : es la viscosidad dinámica.

2.4.3.1.2 Flujo de un fluido

El flujo del fluido puede ser muy complejo, pero a pesar de esto se pueden tomar modelos idealizados relativamente simples, si la trayectoria del flujo no cambia con el tiempo se lo conoce como flujo estacionario, cuando el fluido resbala sin producir esfuerzos se dice que el flujo es laminar. Si los cambios en el flujo son grandes el flujo es conocido como turbulento.

2.4.3.3 Mecanismo de adsorción

La adsorción es el proceso que consiste en la transferencia de un material desde una fase hasta una superficie, donde se enlaza mediante fuerzas intermoleculares. La sustancia que se concentra en la superficie se define como el adsorbato y el material sólido sobre el cual este se acumula se define como el adsorbente, tal como se aprecia en la figura 7. (Benito J. de la Cruz Santana, 2006)



2.4.3.4 Modelos isotérmicos de adsorción.

Los modelos isotérmicos de adsorción, que corresponde a la transferencia de masa no neta entre fases, se emplean para determinar la distribución de un adsorbato entre la fase del fluido en el seno del sistema y la fase adsorbida sobre la superficie de un adsorbente sólido. La distribución de equilibrio por lo general se determina a temperatura constante. Se han propuesto varios modelos matemáticos para describir el proceso de adsorción. Dentro de estas se han desarrollado modelos para describir situaciones en que el adsorbato se presente en forma local en sitios específicos, o bien se mueve sobre la superficie del adsorbente. Se han hecho consideraciones para casos en que las moléculas interactúan no solo con la superficie, sino también entre sí. A continuación se estudiarán algunas ecuaciones de las isothermas más ampliamente usadas. (Benito J. de la Cruz Santana, 2006)

2.4.3.5 Saturación de la columna

El tiempo al que ocurre la saturación de la columna, se establece cuando la concentración en la salida es superior a un valor comprendido entre el 90 % y el 95 % de la concentración inicial a la entrada de la columna. La saturación es controlada por parámetros tales como el tiempo, la concentración, el espacio y longitud de la columna. (Yu, Feng, Cai, Wang, y Chi, 2015)

2.4.3.6 Curva de ruptura

Resulta al graficar la concentración final sobre la concentración inicial (C/C_0) dados en función del tiempo o del volumen tratado, se conoce como curva de ruptura, esta curva es la que nos permite observar el comportamiento del tamiz molecular con respecto al tiempo o al volumen de etanol tratado, aquí podemos determinar los tiempos óptimos de operación de la columna o el volumen adecuado para una cierta cantidad de tamiz molecular. (BOADA, 2015)

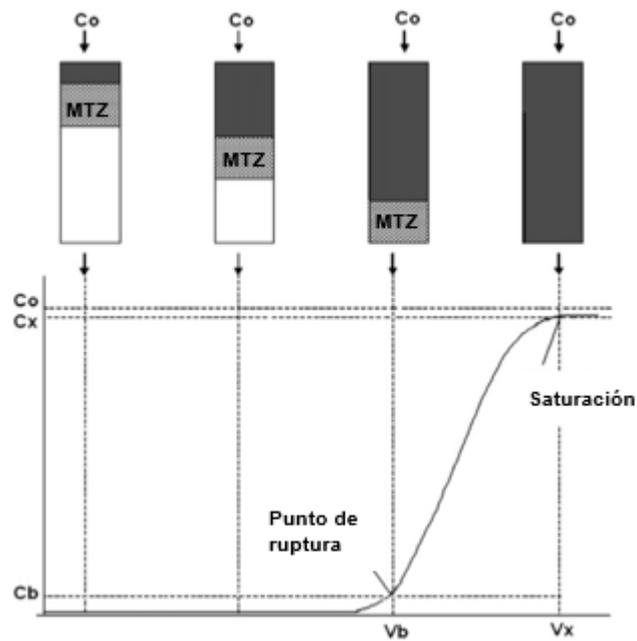


Figura 8 Curva de ruptura

Fuente: (Bermejo, 2016)

2.4.4 Modelado matemático de adsorción en columnas

Los modelos matemáticos utilizados para describir el comportamiento dinámico de la eliminación de contaminantes en una columna de lecho fijo se encuentran el de **Thomas**, **Yoon-Nelson** y **Dosis-Respuesta**; estos modelos son los que se aplicarán a los datos experimentales en este estudio. (Bermejo, 2016)

2.4.4.1 Modelo de Yoon-Nelson

Es un modelo relativamente simple fue desarrollado por Yoon y Nelson. Este modelo asume que la velocidad con la que disminuye la probabilidad de adsorción para cada molécula de adsorbato es proporcional al porcentaje de adsorción del adsorbato y a la probabilidad de que no se adsorba; este modelo es el más sencillo en comparación con los otros, no requiere datos relativos a las características del adsorbato, el tipo de adsorbente o las propiedades físicas del lecho (Calero, Blázquez, Hernáinz, Ronda, & Martín-Lara, 2012), generalmente se utiliza para



predecir el comportamiento dinámico de sistemas de composición simple o binaria según (Olivares, 2013). La ecuación, a continuación, describe el modelo:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{(\tau-t)Kyn}}$$

Ecuación 20 Expresión matemática del modelo de Yoon-Nelson

Donde:

C: es la concentración a la salida de la columna (°GL)

C₀: es la concentración inicial del etanol (°GL)

t: es el tiempo de toma de la muestra (min)

K_{yn}: es la constante de proporcionalidad de Yoon-Nelson (min⁻¹)

τ: es el tiempo requerido para retener el 50% del adsorbato inicial (min).

2.4.4.2 Modelo de Thomas

El modelo de Thomas, es de los más generales y en si el más utilizado para describir el comportamiento del proceso de adsorción en columnas de lecho fijo (Calero et al., 2012). Por lo general este se utiliza para conocer la máxima capacidad de adsorción de un adsorbente y así obtener el rendimiento de la columna. De acuerdo con este modelo se asume que hay un flujo pistón sin dispersión axial en el lecho y que la fuerza motriz obedece a la isoterma de Langmuir y a una cinética de reacción reversible de segundo orden (Andrade, 2013) este considera que la adsorción no está limitada por una reacción química, sino que está controlada por la transferencia de materia en la interfase.

Según (Villada-Villada, Hormaza-Anaguano, & Casis, 2014) el modelo se describe mediante:



$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{Kth}{Q}\right)(q_o * m_B - C_o * V_{ef})}}$$

Ecuación 21 Expresión matemática del modelo de Thomas

Donde:

Kth: es la constante de velocidad del modelo de Thomas (g/min mg)

q_o: es la capacidad de adsorción en el modelo de Thomas (g/g)

m_B: es la masa del biosorbente (g)

V_{ef}: es el volumen del efluente (mL) y

Q: es el caudal de alimentación (mL/min)

2.4.4.3 Modelo de Dosis-Respuesta

Este modelo actualmente está siendo empleado para describir los procesos de adsorción en columna (Calero et al., 2012), el cual tiene una importancia relativa ya que este modelo describe, la curva completa de ruptura con una gran exactitud, además que puede minimizar los errores que resultan de usar el modelo de Thomas, especialmente a bajos o altos tiempos de la curva de ruptura (Andrade, 2013). La ecuación está en función tanto del volumen del efluente como del tiempo, las cuales se muestran a continuación:

- En función del volumen del efluente según (Kumar Karna, 2013).

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{1 + \left(\frac{C_o * V_{ef}}{q_o * m_B}\right)\alpha}$$

Ecuación 22 Expresión matemática del modelo de Dosis Respuesta en función del V_{ef}



Donde:

q_0 : es la capacidad de adsorción en el modelo de Dosis-respuesta (g/g)

α : es la constante del modelo dosis-respuesta (ml/min)

- En función del tiempo según (Andrade, 2013).

$$\frac{C}{C_o} = \frac{1}{1 + \left(\frac{Q * t}{\beta}\right)\alpha}$$

Ecuación 23 Expresión matemática del modelo de Dosis Respuesta en función del tiempo

Donde:

α y β : son constantes del modelo de dosis-respuesta (ml/min).

2.4.5 Coeficiente de correlación lineal

El coeficiente de correlación lineal r mide la fuerza de la relación lineal entre los valores cuantitativos apareados x y y en una muestra. También, se conoce como coeficiente de correlación producto momento de Pearson, en honor de Karl Pearson (1857-1936), quien lo desarrolló originalmente.(Triola, 2009)

Para una mejor Interpretación del valor de r se presenta por medio de la tabla A-6 (Ver anexo 9)

Si el valor absoluto del valor calculado de r excede el valor de la tabla de A-6, concluya que existe una correlación lineal significativa. De lo contrario, no existe evidencia suficiente para sustentar la conclusión de una correlación lineal.(Triola, 2009)

2.4.6 Cromatografía de Gases

En la cromatografía de gases, la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna. La elución se produce por el flujo de una fase móvil, de un gas inerte, y a diferencia de la



mayoría de los tipos de cromatografía, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna.(SKOOG Douglas, James, & NIEMAN, 2001)

La cromatografía gas - líquido tiene gran aplicación en todos los campos de la ciencia y su denominación se abrevia normalmente como cromatografía de gases y su funcionamiento se basa en la distribución del analito entre una fase móvil gaseosa y una fase líquida inmovilizada sobre la superficie de un sólido inerte. El concepto fue enunciado por primera vez, en 1941, por Martin y Synge, quienes fueron también los responsables del desarrollo de la cromatografía de distribución líquido - líquido.(Parrales, Reyes, William, & Tobar, 2012)



CAPITULO 3 EXPERIMENTACIÓN

El desarrollo de la presente investigación es experimental puesto que se realizaron varios ensayos para determinar los mecanismos que eliminen el agua de la mezcla etanol-agua, previo a la estandarización de los procesos se realizaron pre-ensayos.

3.1 METODOLOGÍA

La metodología presenta una descripción de diferentes métodos experimentales que ayudan a incrementar el grado de alcohol tales como: Rectificación, Destilación extractiva y la adsorción mediante el uso de tamices moleculares.

En las tres etapas experimentales se varia las condiciones de trabajo como son temperaturas, porcentajes de mezcla, tiempos, cantidades en peso, flujos; hasta obtener los mejores resultados en cada uno de los ensayos y así lograr un producto final con el mayor grado alcohólico posible, que pueda ser utilizado como alcohol carburante.

El alcohol base para las experimentaciones posee las siguientes condiciones

- Concentracion inicial 62° GL
- Densidad aparente 0.79 kg/L
- Volumen 19 L

Para el proceso de extracción del etanol a base de la caña de azúcar, el primer paso es el corte de la caña de azúcar. En la extracción el jugo obtenido puede usarse para producir azúcar o fermentar este jugo para la obtención de etanol, se le adiciona una bacteria para acelerar la fermentación, después pasa al proceso de destilado, es aquí de donde se parte el estudio.

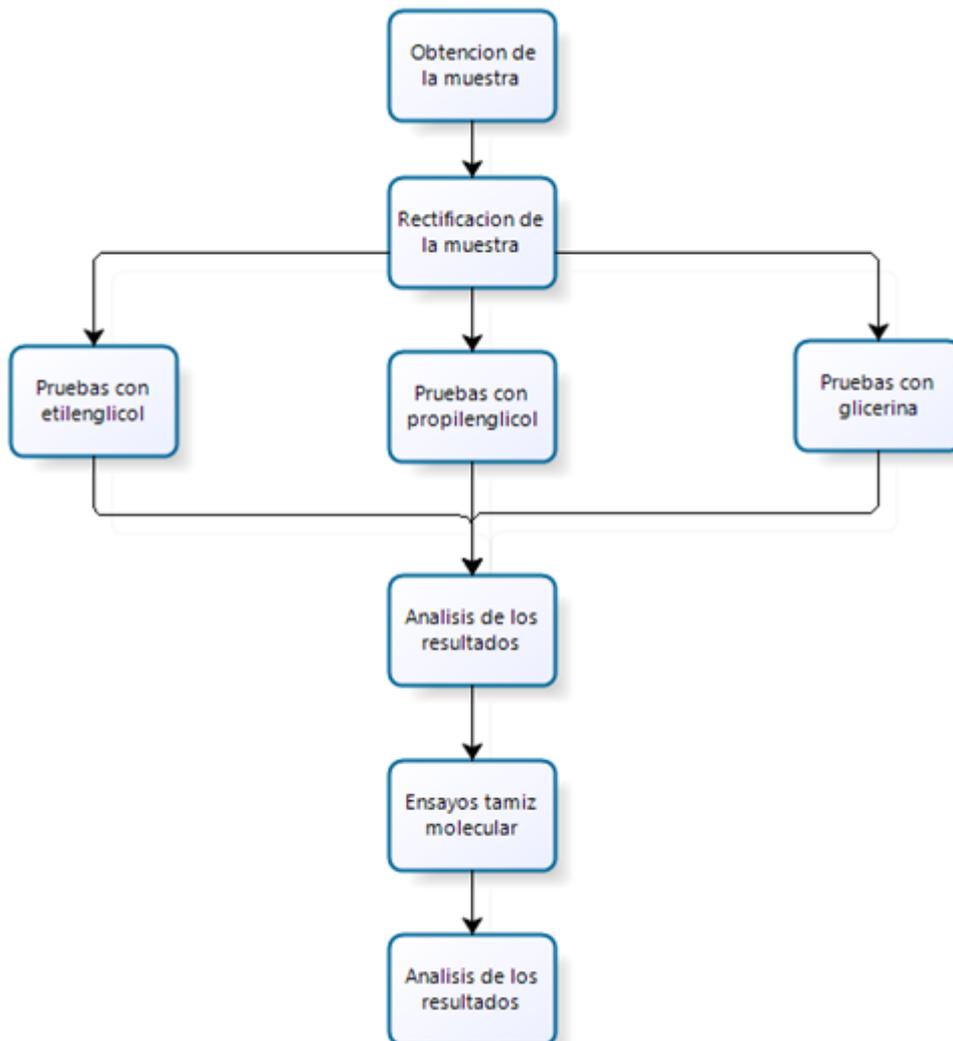


Diagrama 3. Proceso de obtención de etanol carburante.

Fuente: Autores

El diagrama 3 presenta el proceso que se lleva a cabo para la obtención de alcohol anhidro en base a los diferentes métodos experimentales que se describen a continuación en este capítulo.

3.2 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

La parte experimental de este trabajo de titulación se realizó en el laboratorio de operaciones unitarias del tecnológico de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca.

EL alcohol utilizado en este estudio proviene del cantón Santa Isabel, provincia del Azuay en Ecuador, está ubicado a 62 km de la Ciudad de Cuenca, siguiendo la carretera Cuenca – Girón – Pasaje, Valle de clima caliente con cultivos de caña de azúcar. La muestra inicial presenta una concentración de 62°GL.



Georreferencia de la comunidad Pata-Pata

3°16'24.7"S 79°17'20.3"W

-3.273519, -79.288970

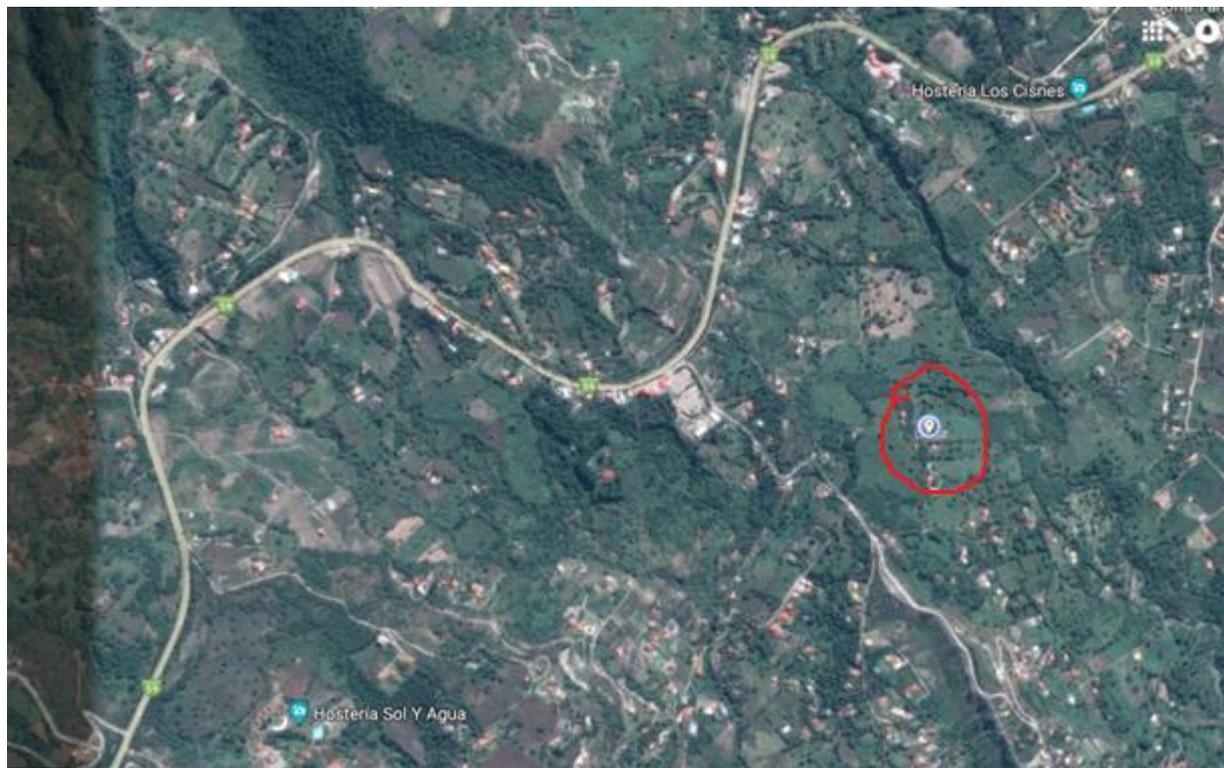


Foto 1 Ubicación Geográfica de la toma de la muestra de etanol

Foto tomada de Google Maps

3.3 MATERIA PRIMA

3.3.1 ALCOHOL ETÍLICO

El alcohol posee un grado de 62° GL, este alcohol fue elegido para el estudio por su alta concentración inicial esto en base a muestras tomadas en los alrededores a la comunidad donde se tenían concentraciones menores a la indicada, otra consideración es la cercanía de la zona de estudio.

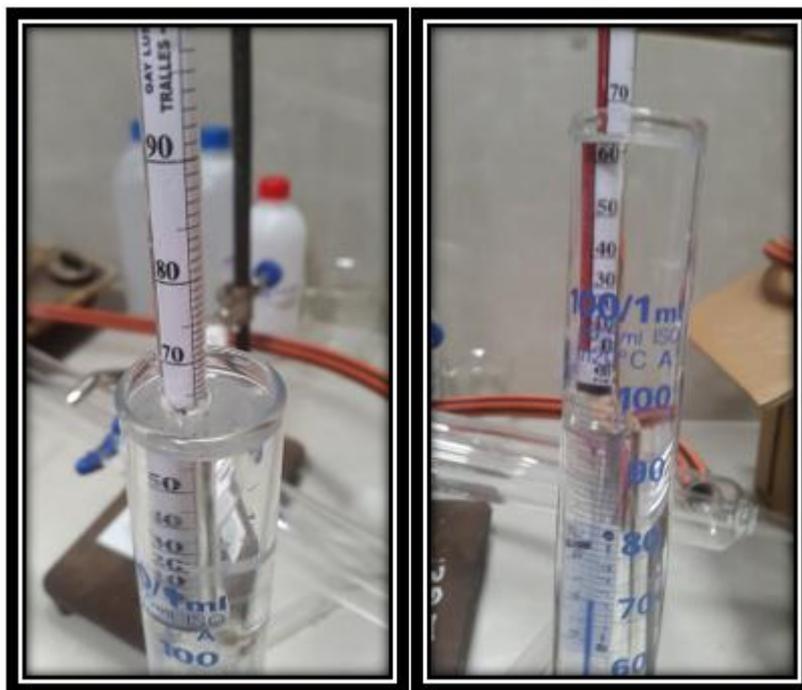


Foto 2. Concentración inicial de la muestra de etanol.

Foto tomada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Cuenca

Fuente Autores.

3.4 REACTIVOS

3.4.1 AGUA DESTILADA

El agua destilada es aquella sustancia cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H₂O y ha sido purificada o limpiada mediante destilación.

3.4.2 Etilenglicol

Dulce, incoloro, inodoro, el color verde es una tinta que se le agrega al anticongelante

Usos comunes

- Anticongelante
- Fluido descongelante para aviones
- Líquido hidráulico de frenos
- Pinturas a base de látex

Dosis letal: 1-2 ml/kg



3.4.3 Propilenglicol

Es un excipiente, disolvente, cosolvente, y humectante, con propiedades bactericidas y fungicidas. A concentraciones elevadas actúa como conservante de efectividad casi similar al etanol, sobre todo conjuntamente con parabenos, por lo que se usa en dermatología para prevenir o tratar infecciones secundarias.(Acofarma, 2009b)

3.4.4 Glicerina

La glicerina es un agente deshidratante osmótico con propiedades higroscópicas y lubricantes. Tiene también acción antiflogística local y tópica. Es emoliente, protegiendo y ablandando la piel. Por vía oral es demulcente y laxante débil, también edulcorante. Es un buen disolvente de sustancias orgánicas y minerales.(Acofarma, 2009a)

- Apariencia Incoloro
- Masa molar 92,09382 g/mol
- Punto de fusión 291 K (18 °C)
- Punto de ebullición 563 K (290 °C)

3.4.5 Tamiz molecular

El tamiz molecular 3A ofrece la ventaja de que sus poros son muy pequeños para ser penetrados por las moléculas de etanol (4,4 Å), de modo que, al pasar una mezcla de agua-etanol, el agua (2,8 Å) es adsorbida sobre el tamiz, ya sea en fase líquida o vapor, logrando la separación. Este fenómeno de adsorción se da principalmente por las interacciones electrostáticas y la generación de momentos polares entre el adsorbente y la mezcla, dadas las propiedades hidrofílicas del tamiz. Las moléculas de agua capturadas en los poros de la zeolita pueden ser desorbidas reduciendo la presión del sistema.(García Soto, 2012)

los tamices moleculares son adecuados para el secado de todos los gases y líquidos. se pueden usar en desecadores, tubos de secado, para mantener secos los disolventes absolutos, rellenar columnas para el secado de gases o disolventes y para la adsorción selectiva.



Foto 3. Tamiz molecular de forma cilíndrica y esférica.

Fotografía tomada de la página oficial de productos Merck.

Fuente: Autores.

Propiedades del tamiz molecular

Densidad aparente = 0,75 kg/L

Superficie de contacto = 800 m²/g

Forma = Perlas de 2mm

Volumen del espacio hueco = 0,3 cm³/g

(Merck, 2013)

3.5 MATERIALES

Tabla 5. Materiales.

	Cantidad
Unidad de destilación	1
Probetas	1
Alcoholímetro	1
Vasos de precipitación	10
Equipo de destilación	1
Cocineta	1
Bureta	2
Pipetas	2
Balón de aforo	1
Termómetro	1



Balanza	1
Refractómetro	1
Mufla	1
Embudos	2
Tubos de ensayo	50
Erlenmeyer	1
Crisol	1
Pinza	1
Estufa	1

Fuente Autores.

3.6 ALCOHOLÍMETRO DE GAY LUSSAC

Se utiliza el alcoholímetro de Gay Lussac, el mismo que se introduce y se gira en la muestra de etanol que debe estar colocada en una probeta. El grado alcohólico se determina al visualizar el valor de la escala del alcoholímetro que marca el nivel de la muestra de etanol.

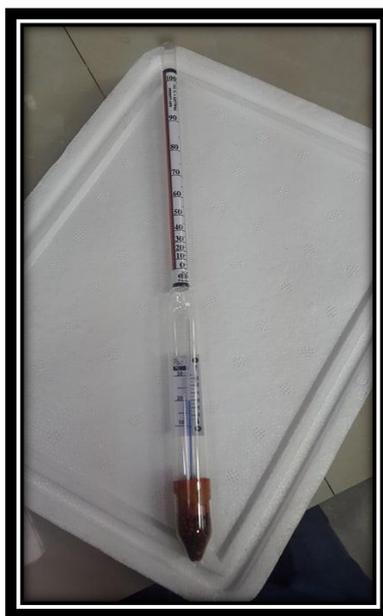


Foto 4. Alcoholímetro de Gay Lussac.

Foto tomada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Cuenca

Fuente Autores.

3.6.1 Procedimiento de lectura mediante el alcoholímetro de Gay-Lussac

- Lavar la probeta varias veces con agua destilada. Evitar mojar la parte exterior de la probeta ya que la evaporación del alcohol produciría un enfriamiento de la muestra.

- Llenar la probeta con la muestra hasta unos 5 cm por debajo de su borde.
- Lavar y secar bien el alcoholímetro, ya que cualquier cuerpo extraño fijado en la superficie podría variar el peso del alcoholímetro alterando los valores de lectura.
- Tomar el alcoholímetro con los dedos pulgar e índice e introducir suavemente en la probeta, soltar cuando el valor de la escala correspondiente a la graduación supuesta esté ligeramente por debajo de la superficie del líquido.
- Dejar que el alcoholímetro flote libremente sin presentar adherencia con las paredes y leer el valor indicado en el vástago coincidente con la línea de flotación. Debe despreciarse la curvatura del menisco (véase figura 10).

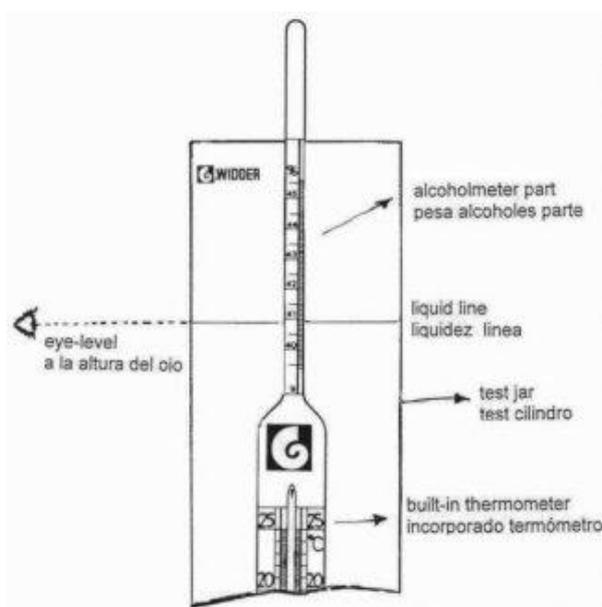


Figura 9. Lectura en alcoholímetro de Gay Lussac.

Fuente: (Ecuatoriana, 2014)

3.7 RECTIFICACIÓN

Para la rectificación de la mezcla binaria se utilizó la columna de rectificación del laboratorio de operaciones unitarias del tecnológico de ciencias químicas de la Universidad de Cuenca.

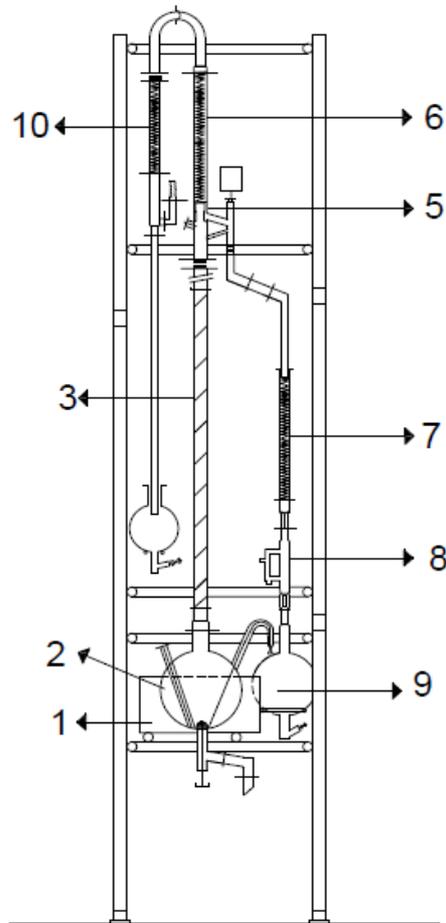


Figura 10. Unidad de destilación.

Fuente: Laboratorio de operaciones unitarias Universidad de Cuenca.

3.7.1 Especificaciones de la columna de rectificación

Tabla 6. Especificaciones de la columna de rectificación del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad de Cuenca.

		<i>DN</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
1	Calentador de balón			Calentamiento eléctrico 220-380 v. tri.60Hz
2	Hervidor	20 litros	Vidrio	Cop.utile.21L, col DN80 Tubo de alimentación DN 40 con grifo de trasiego, tubo de válvula de vaciado DN40



3	Columna de fraccionamiento con relleno rasching	DN 50	Vidrio	Empaques rasching de vidrio 7x7 con placas PTFE de retención.
4	De fraccionamiento con relleno "multiknit"	DN 50	Vidrio/inox	Empaques multiknit de inox lg 150x10
5	Cabeza de reflujo	DN 50	Vidrio	Comando eléctrico, magnético y timer.
6	Condensador s=0.3m ₂	DN 50	Vidrio	Intercambiador con serpentinos QmLiq=1300Kg/h
7	Enfriador s=0.2m ₂	DN 50	Vidrio	-----ídem-----=750 Kg/h
8	Separador graduado	DN 25	Vidrio	Capacidad 100 ml graduado
9	Recipiente	10 litros	Vidrio	Balón tipo B, col DN40 grifo de trasiego DN40-
10	Circuito de vacío			condensador trampa DN40 s=0.2m ₂ et Balón 5L tipo "B"
	Columna de fraccionamiento con 10 platos de borboteo.	Ø 50	PTFE	BE5266A

FUENTE: LABORATORIO TECNOLÓGICO

3.7.2 PROCEDIMIENTO DEL USO DEL EQUIPO

Para la puesta en marcha del equipo se procede de la siguiente manera:

1. CERRAR LAS VÁLVULAS DE DESCARGA

Cerrar V2 – V9 – V12 – V13

2. ALIMENTAR EL PRODUCTO A DESTILAR

Abrir V8 o sacar el tapón del balón N°2.

Alimentar el producto.

Cerrar V3 y reponer el tapón sobre el balón n°2.

3. ALIMENTAR LOS INTERCAMBIADORES



Abrir V1.

Abrir V3 para alimentar el condensador.

Abrir V4 para alimentar la trampa.

Abrir V5 para alimentar el enfriador.

4. PUESTA EN CALEFACCIÓN DEL BALÓN

Averiguar que el armario de mando es bajo tensión.

Poner el interruptor general en marcha.

Poner los interruptores del calentamiento en marcha.

5. PUESTA EN MARCHA DEL TIMER

Desde cuando la temperatura T1 es casi la misma que la temperatura de ebullición poner los dos pulsadores del TIMER en marcha.

Fijar el reflujo deseado.

Abrir V14.

3.7.3 Condiciones de operación de la columna de rectificación

En la tabla se presentan los parámetros básicos de operación de la unidad de rectificación los cuales serán siempre fijos para la parte experimental.

Tabla 7. Configuración de operación de la unidad de destilación.

Parámetro	Valor
Volumen de carga inicial	19 L
Temperatura niquelinas base	95 °C
Temperatura niquelinas 2	80 °C
Reflujo	Reflujo: 60 s Producto: 40s

Fuente Autores.



Foto 5. Tablero de control de la columna de rectificación.

Foto tomada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Cuenca

Fuente Autores.

3.7.4 Extracción de las muestras en cada plato

- i. En el puerto de muestreo líquido de cada plato se introduce una aguja hipodérmica con jeringa de capacidad 10 ml. En el muestreo se extrae aproximadamente 5 ml de muestra de la fase líquida de cada plato desde que la primera gota de destilado cae en la recepción, luego al minuto 20 y posteriormente al minuto 40.



Foto 6. Columna de rectificación con las jeringas para la toma de muestras en cada plato.

Foto tomada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Cuenca

Fuente Autores.

- ii. La extracción de las muestras debe realizarse al mismo tiempo en todos los platos y las colas.
- iii. La toma de muestras se realizará por triplicado en el menor tiempo posible. En total por cada ensayo se extrae 108 muestras, que serán caracterizados por refractometría.



3.7.5 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR ÍNDICE DE REFRACCIÓN

3.7.5.1 Índice de refracción

El índice de refracción es una constante física de interés teórico y práctico. Puede utilizarse como criterio de identificación o pureza de una sustancia; permite, entre otras aplicaciones, determinar la concentración de determinadas sustancias disueltas en solución. (Carla De Angelis, 2014)



Foto 7. Refractómetro de Abbe.

Foto tomada en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad de Cuenca

Fuente Autores.

3.7.6 Procedimiento para lectura mediante refractómetro de Abbe

- Abrir el conjunto del prisma cuidadosamente.
- Mediante una pipeta o una jeringa aplicar la muestra de líquido al prisma.
- Se debe tener especial cuidado de no dejar que la punta de la pipeta de vidrio toque el prisma, ya que puede rayar el cristal del prisma.
- Se cierra el conjunto del prisma.
- Encender la lámpara usando el interruptor en el lado izquierdo. En este caso, el interruptor se encuentra en el cable de alimentación
- Se debe ajustar la lámpara para que la luz brille en el prisma.
- Mirar a través del ocular.



- Si está cerca del índice de refracción de la muestra, debería ver que la vista en la ocular muestra una región oscura en la parte inferior y una región más clara en la parte superior.
- En el caso de que no se divise una región clara y oscura, gire el volante en el lado derecho del instrumento hasta que lo haga.
- Antes de hacer la lectura, es necesario ajustar la posición de la lámpara y afilar el límite entre la luz y las regiones oscuras utilizando el dial del compensador en la parte frontal del refractómetro.
- Una vez que tenga una demarcación nítida entre las regiones claras y oscuras, girar el volante en el lado derecho para colocar el borde exactamente en el centro de la cruz.
- Para leer el índice de refracción, la escala superior indica el índice de refracción. Al interpolar cuidadosamente se puede leer el valor con una precisión de 4 decimales.
- Se registra el índice de refracción.
- Una vez terminado, se limpia el refractómetro, usando un pañuelo para eliminar la mayor parte de muestra.
- Se prefiere un movimiento de borrado en lugar de un movimiento de frotamiento para minimizar las posibilidades de arañar el prisma.
- Después de terminar de limpiar el prisma asegurarse de que la luz esté apagada. (Chemistry Lab Techniques, 2012)

3.7.7 Curvas de calibración

Curvas de calibración se utilizan para comprender la respuesta instrumental a un analito y predecir la concentración en una muestra desconocida. Por lo general, un conjunto de muestras estándar se hace a diferentes concentraciones con una gama que incluye al desconocido de interés y se registra la respuesta instrumental en cada concentración.

Los siguientes datos corresponden a los índices de refracción del etanol a 20°C, esta tabla fue tomada de METTLER TOLEDO. (Ver anexo 6)

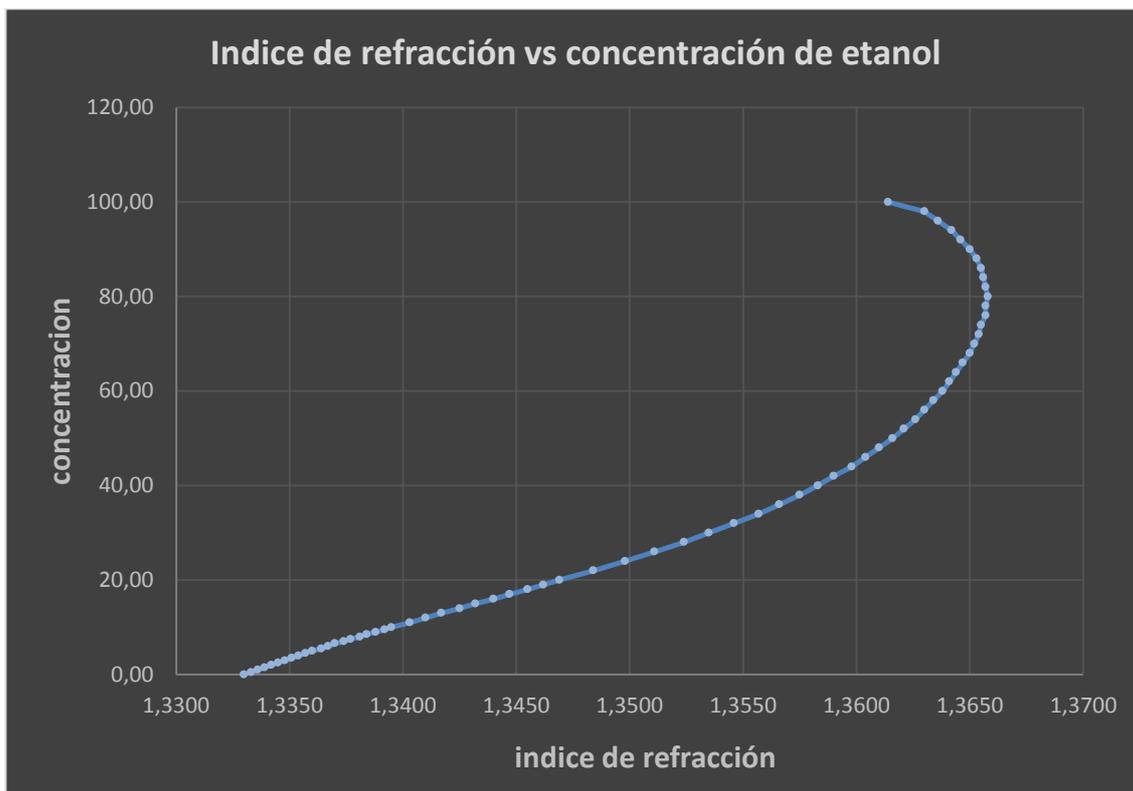


Gráfico 3. Índice de refracción vs concentración del etanol.

Fuente Autores.

Datos para la curva de calibración en el proceso de rectificación

Se toman los datos a partir de una concentración de 80 esto debido a que mediante el alcoholímetro de gay Lussac se determinó que la concentración del etanol no disminuye de los 88°GL. Se realiza la curva de calibración de esta manera para obtener un mejor ajuste de la recta.

Tabla 8. Curva de calibración para el proceso de rectificación en el rango de 80 a 94°GL

Concentración	Índice de refracción
80,00	1,3658
82,00	1,3657
84,00	1,3656
86,00	1,3655
88,00	1,3653
90,00	1,3650
92,00	1,3646
94,00	1,3642

Fuente METTLER TOLEDO

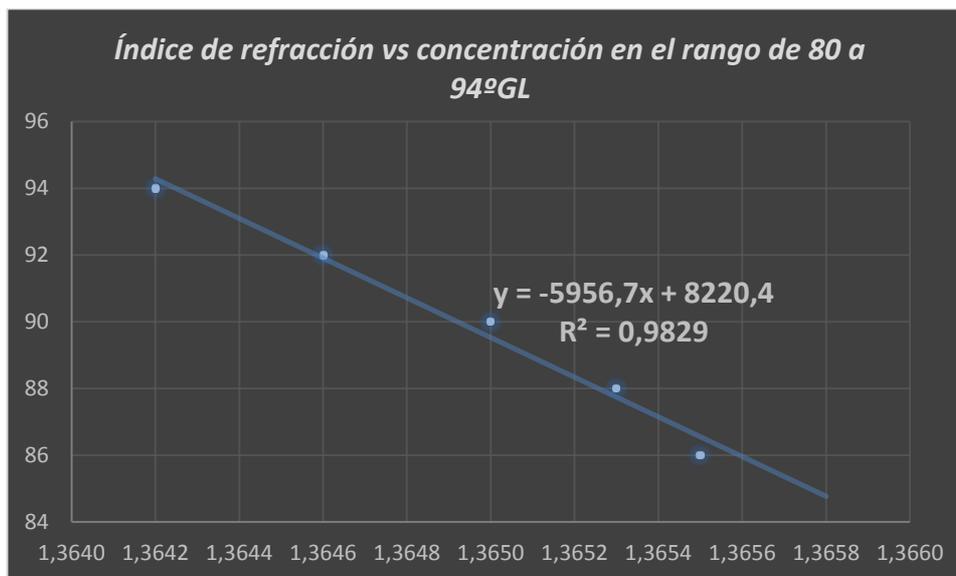


Gráfico 4. Índice de refracción vs concentración en el rango de 80 a 94°GL

Fuente Autores.

3.7.8 Cálculo de la concentración (% V/V) en cada plato

- Se promedian los índices de refracción ya que son muestras por triplicado en cada uno de los platos en diferentes tiempos.

$$n\bar{R} = \frac{nR1 + nR2 + nR3}{3}$$

Ecuación 24 Ecuación para cálculo de promedio de valores de índice de refracción

3.8 DESTILACIÓN EXTRACTIVA CON GLICOLES

A partir del alcohol obtenido en la etapa de rectificación, cuya concentración es de 92 °GL, y al que se le añade un tercer componente para facilitar la separación mediante destilación extractiva.

En base a varias consideraciones se ha tomado en cuenta la utilización de 3 tipos de solventes para este estudio, los mismos que son los más utilizados a escala mundial: Etilenglicol, Propilenglicol y Glicerina.

Previo a la presentación del proyecto se realizaron varias pruebas preliminares para verificar la viabilidad del estudio, de esta manera se puede determinar parámetros y concentraciones en la

experimentación y el comportamiento que se genera, estas pruebas se realizaron en un equipo de destilación de laboratorio como se muestra en la siguiente figura.

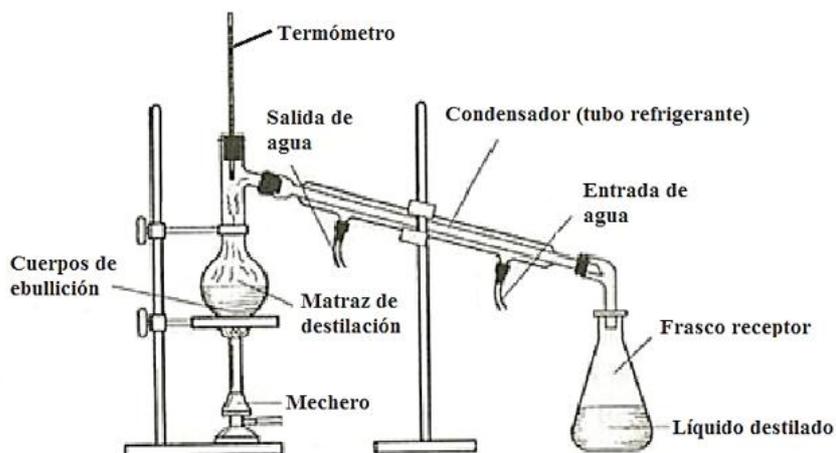


Figura 11. Equipo de destilación de laboratorio.

Fuente: (Wankat Phillip, 2008)

3.8.1 Descripción del proceso.

Basados en la Norma INEN 340-2014, se tiene un proceso para destilación extractiva:

- Se debe lavar cuidadosamente el equipo para destilación con agua destilada y proceder a armarlo como se muestra en la figura 11.
- Enjuagar el matraz de destilación con una porción de la muestra de etanol, con la finalidad de homogeneizar el material.
- En el matraz se llena con la muestra de etanol y la cantidad de solvente en estudio como se muestra en las tablas 16, 17, 18 respectivamente hasta completar la cantidad indicada, esto dependiendo de la relación entre etanol y solvente, una vez hecho esto se tapa el matraz.
- Este tipo de solventes son higroscópicos característica fundamental en el estudio debido a que adsorben el agua de otros compuestos siendo en nuestro estudio del sistema etanol-agua.



- Colocar el matraz sobre la hornilla de la cocineta eléctrica, a temperatura constante, esto dependiendo del solvente que es utilizado, siendo estas temperaturas de $120^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en el caso del etilenglicol, $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en el caso del propilenglicol y $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en el caso de la glicerina
- Destilar lentamente la muestra, recogiendo el condensado en un vaso de precipitación, hasta que se haya recogido 50-60 cm³ aproximadamente.

3.9 TAMIZ MOLECULAR

El adsorbente utilizado para este trabajo fue un tamiz molecular comercial distribuido por laboratorios MERCK 3 A. las partículas cilíndricas y esféricas se caracterizan físicamente determinando parámetros como: diámetro medio, masa media, densidad aparente, porosidad, capacidad de adsorción datos extraídos de la ficha técnica del producto obtenido.

Los ensayos se llevan a cabo en una columna de 1,15 cm de diámetro interno y una altura de 65 cm, se realizó el estudio hidrodinámico de la columna y así poder obtener el modelado de la columna, la caída de presión en la columna se controló ingresando a la columna el mismo flujo que se da a la salida, manteniendo una altura constante, se calculó la masa del tamiz molecular necesario para trabajar con cierta cantidad de alcohol la cantidad mínima de tamiz a usar cuando se trabaja con 150 ml de alcohol de 96 o GL es de 31,92 g con un diámetro de partícula que va desde 1,6 mm hasta 3,2 mm el tamiz de forma cilíndrica para cuestiones de cálculos se toma un promedio entre estas y para el tamiz de forma esférica se tomó el dato de la ficha técnica 2mm. El alcohol se hace pasar de manera continua con un flujo de 2 ml/ min para asegurar un mayor tiempo de contacto, se tomó muestras cada 20 minutos y cada 5 minutos a partir del minuto 60 para obtener las curvas de alcohol deshidratado con relación al tiempo conocidas como curvas de ruptura, mediante las cuales podemos determinar los parámetros adecuados de diseño de la columna como son el tiempo, el volumen a tratar, la cantidad mínima de tamiz a usar, el tiempo en el que la columna se satura y el volumen de alcohol.

3.9.1 Montaje experimental

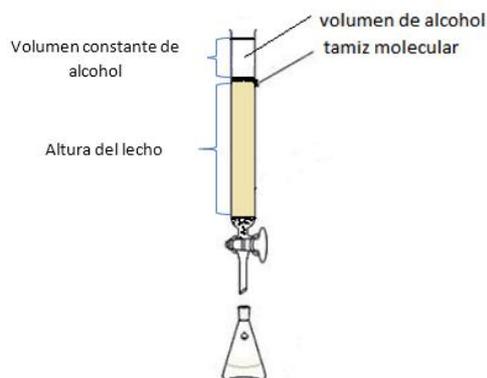


Figura 12. Esquema de montaje para la adsorción con tamiz molecular.

Fuente: Autores.

La imagen muestra el montaje experimental que se empleó para los ensayos de adsorción con el tamiz molecular.

3.9.2 Descripción del proceso

- Se utiliza una columna de vidrio vertical en la cual se coloca un soporte en la base de la columna para el tamiz molecular durante el ensayo experimental.
- El tamiz se coloca sobre este soporte hasta llegar a la altura calculada para el lecho.
- La columna comienza a llenarse con un flujo de 2 ml por minuto, humectando el tamiz molecular que se encuentra dentro de la columna, por efecto de la gravedad.
- Debido a que cada uno de los componentes de la mezcla etanol agua establecerá interacciones diferentes con la fase estacionaria se conseguirá su separación.
- Se tomarán muestras cada 20 minutos al inicio y posteriormente cada 5 minutos para elaborar las curvas dinámicas de saturación del tamiz molecular.
- Las muestras tomadas serán analizadas mediante refractometría para poder evidenciar el comportamiento del tamiz.
- Finalmente se realizará un análisis mediante cromatografía de gases para averiguar el grado alcohólico exacto al que se logró llevar el etanol.



3.9.3 Parámetros para el diseño de la columna:

El diseño de la columna de lecho fijo está basado en los siguientes parámetros.

Tabla 9. Datos.

Parámetro	Valor
ρ_{OH} (kg/L)	0.79
X_{OH}	0.96
ρ_{H2O} (kg/L)	0.99
X_{H2O}	0.04
V_{mezcla} (L)	0.15
W(%)	4
f(%)	15

Fuente: Autores

Donde:

- ρ_{OH} : densidad del etanol en kg/L tomado de tablas (Ver anexo 7)
- X_{OH} : fracción del etanol en la mezcla
- ρ_{H2O} : densidad del agua en kg/L tomado de tablas (Ver anexo 8)
- X_{H2O} : fracción del agua en la mezcla
- **W**: porcentaje de agua en kg_{H2O}/kg_{mezcla}
- **f**: factor de retención de agua en el tamiz, 15% en peso, kg_{H2O}/kg_{tamiz} tomado de la ficha técnica (Ver anexo 5)

3.9.4 Calculo de cantidad de tamiz a emplear

Densidad de la mezcla etanol-agua 96%

$$\rho_{mezcla} = \rho_{OH}X_{OH} + \rho_{H2O}X_{H2O}$$

Ecuación 25 Expresión matemática para cálculo de la densidad de la mezcla de lecho fluidizado

$$\rho_{mezcla} = 0.79(0.96) + 0.99(0.04)$$

$$\rho_{mezcla} = 0.798 \text{ kg/L}$$

Masa de la mezcla etanol-agua 96%



$$\rho_{mezcla} = \frac{m_{mezcla}}{V_{mezcla}}$$

Ecuación 26 Expresión matemática para cálculo de masa de la mezcla

$$0.798 = \frac{m_{mezcla}}{0.15 L}$$

$$m_{mezcla} = 0.1197 kg \approx 119.7 g$$

Calculo de la cantidad de tamiz molecular a emplear para un alcohol de concentración 96%

$$m_z = \frac{m_{mezcla} \times W_{4\%}}{f}$$

Ecuación 27 Expresión matemática para el cálculo de cantidad de tamiz a emplear

$$m_z = \frac{0.1197kg \times 0.04}{0.15}$$

$$m_z = 0.03192 kg \approx 31.92 g$$

Calculo del volumen del lecho en la bureta

$$\rho_z = \frac{m_z}{V_z}$$

Ecuación 28 Expresión matemática para el cálculo del volumen del lecho

$$0.75 kg/L = \frac{0.03192}{V_z}$$

$$V_z = 0.04256 L \approx 42.56 cm^3$$



Calculo de la altura del lecho en la bureta

$$V_z = r_z^2 \times \pi \times h_z$$

Ecuación 29 Expresión matemática para el cálculo de la altura del lecho

$$42.56 \text{ cm}^3 = \left(1.15 \text{ cm}/2\right)^2 \times \pi \times h_z$$

$$h_z = 40.97 \text{ cm}$$

3.10 Procedimiento para lectura en Cromatógrafo de Gases

La lectura de las muestras mediante el cromatógrafo de gases se realiza de acuerdo a los siguientes pasos:

1. Se debe de verificar las presiones de los gases de entrada al equipo: Helio 90 a 100 psi, Aire 30 psi.
2. Encender la computadora del Cromatógrafo.
3. Encender el Cromatógrafo de Gases.
4. Ingresar al Software Totalchrom Workstation.
5. Iniciar el método para análisis de gases, se escoge el método llamado GAS NATURAL.
6. Escoger supress report /plot para que no se impriman los resultados automáticamente.
7. Click en aceptar y esperar hasta que el cromatógrafo esté listo, lo que se observa en la pantalla principal del Totalchrom.
8. Se carga la muestra a través de la válvula de inyección de gases y observar que el gas sea cargado correctamente, luego cerrar la válvula de inyección de gases.
9. Correr el cromatograma: Para iniciar la corrida dar click en el ícono RUN y click en START RUN.
10. Esperar 15 minutos hasta que termine la corrida del equipo.
11. Observar los resultados en el ícono RESULTS, abrir el archivo con el nombre de la corrida y ver los resultados en menú FILE/PRINT PREVIEW REPORT.



12. Para apagar: Ir a ícono RUN y click en reléase control, luego ir al cromatógrafo y colocar el horno a 40°C y el detector en Heater OFF y quitar la corriente en current colocar 0.0 aparece OFF.
13. Apagar el cromatógrafo y seguido apagar la computadora.(Parrales et al., 2012)



CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RECTIFICACIÓN

Se tomaron muestras por triplicado en cada uno de los platos de la columna de rectificación y se determinó las concentraciones por índice de refracción.

El promedio del índice de refracción se sustituye en la ecuación de la curva de calibración correspondiente al gráfico 4, resultando la ecuación:

$$y = -5956,7x + 8220,4$$

Tabla 10. Índice de refracción del etanol en la columna al minuto 20.

PLATO	X1*	X2*	X3*	Promedio
D	1,3642	1,3642	1,365	1,36446
1	1,365	1,3651	1,365	1,36503
2	1,3652	1,365	1,365	1,36506
3	1,365	1,3652	1,3651	1,3651
4	1,3651	1,365	1,3651	1,36506
5	1,3651	1,3651	1,365	1,36506
6	1,365	1,365	1,3649	1,36496
7	1,3649	1,3649	1,3649	1,3649
8	1,3641	1,3641	1,3641	1,3641
9	1,3641	1,3641	1,3641	1,3641
10	1,3641	1,3641	1,3641	1,3641
F	1,3645	1,3642	1,3621	1,3636

Fuente: Autores.

* Siendo X1, X2 y X3 los valores de las muestras tomadas por triplicado de acuerdo a cada plato de la columna de rectificación.

Tabla 11. Índice de refracción del etanol en la columna al minuto 40.

PLATO	X1	X2	X3	Promedio
D	1,3644	1,3644	1,3644	1,3644
1	1,3644	1,3644	1,3644	1,3644
2	1,3635	1,3640	1,3640	1,3638
3	1,3640	1,3640	1,3641	1,3640



4	1,3640	1,3635	1,3640	1,3638
5	1,3640	1,3640	1,3640	1,3640
6	1,3632	1,3632	1,3632	1,3632
7	1,363	1,363	1,3625	1,3628
8	1,3625	1,3625	1,3629	1,3626
9	1,363	1,3621	1,3621	1,3624
10	1,3629	1,3621	1,3615	1,3622
F	1,363	1,363	1,3620	1,3627

Fuente: Autores.

Con estos datos se determina el enriquecimiento del etanol en cada uno de los platos de la columna de rectificación como se indica en las gráficas 5 y 6 y además se controla el tiempo en el que la columna de rectificación ya no trabaja con su máxima eficiencia.

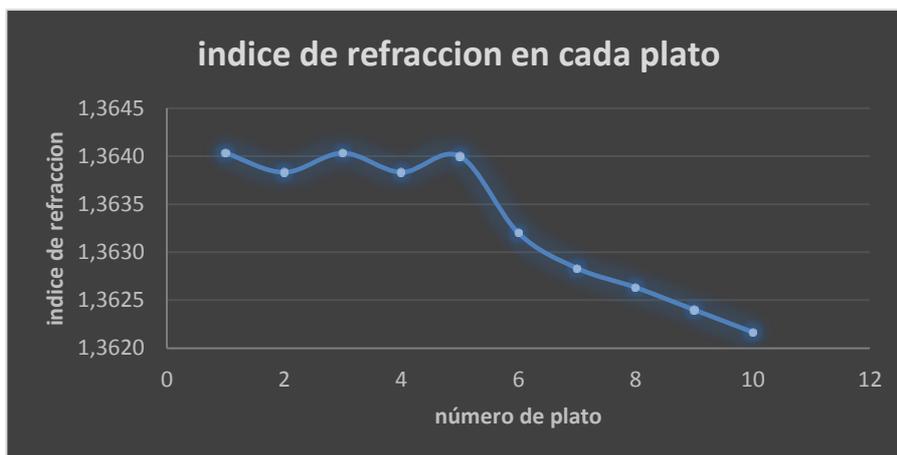


Gráfico 5. Índice de refracción en cada plato al minuto 20.

Fuente: Autores.

En la gráfica 5 se puede observar que el índice de refracción comienza a disminuir ya que los platos del 5 al 10 al ser los inferiores iniciándose en ellos el proceso de transferencia de masa. Mientras que los platos superiores que son del 1 al 5 presentan un mayor enriquecimiento debido a una mayor transferencia de masa.

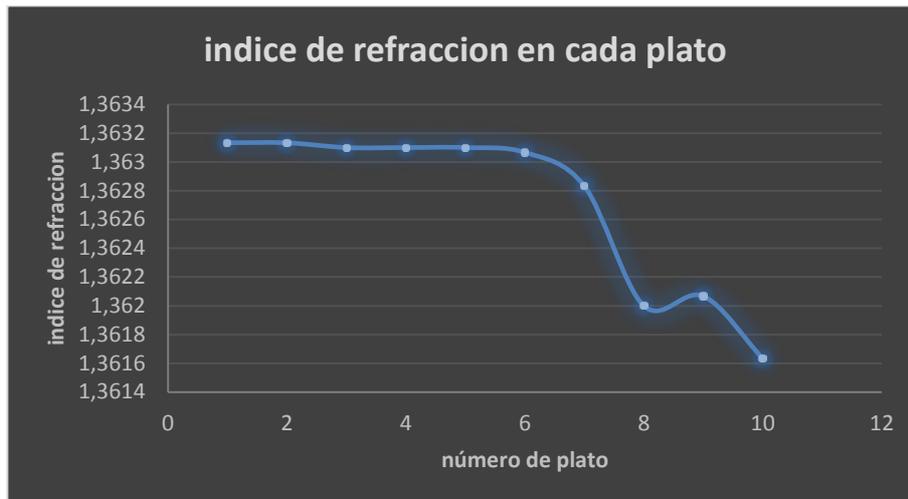


Gráfico 6. Índice de refracción en cada plato al minuto 40.

Fuente: Autores.

En la gráfica 6 se puede observar que el índice de refracción disminuye a partir del plato del 6 al 10 debido a una menor transferencia de masa, mientras que los platos superiores que son del 1 al 6 presentan un mayor enriquecimiento.

El valor promedio del índice de refracción del destilado para los dos tiempos de medición tomando en cuenta que son diferentes, presenta una variación debido a que la alimentación va disminuyendo su concentración con el paso del tiempo esto se sustentó en estudios previos en la columna de rectificación realizados por estudiantes de la Universidad de Cuenca (Yanza & Astudillo, 2018), con estos datos y mediante la curva de calibración realizada se puede estimar la concentración % V/V del destilado a los diferentes tiempos, utilizando la ecuación de nuestra curva de calibración.

Calculo de la concentración % V/V al minuto 20.

Tabla 12. Índice de refracción del destilado al minuto 20.

X1	X2	X3	Promedio
1,3642	1,3642	1,365	1,36446

Fuente: Autores.

$$y = -5956,7x + 8220,4$$

$$y = -5956,7(1,36446) + 8220,4$$

$$y = 92,72$$



Calculo de la concentración % V/V al minuto 40.

Tabla 13. Índice de refracción del destilado al minuto 40.

X1	X2	X3	Promedio
1,3644	1,3644	1,3644	1,3644

Fuente: Autores.

$$y = -5956,7x + 8220,4$$
$$y = -5956,7(1,3644) + 8220,4$$
$$y = 93,07$$

Posteriormente se calculó el volumen de etanol rectificado que fue obtenido de la columna de rectificación y se procedió a realizar una medición de su grado alcohólico con el alcoholímetro de gay Lussac y mediante refractometría, comparando los resultados obtenidos mediante estos dos métodos. El volumen total de destilado obtenido de la columna de rectificación fue de 3,40 litros.

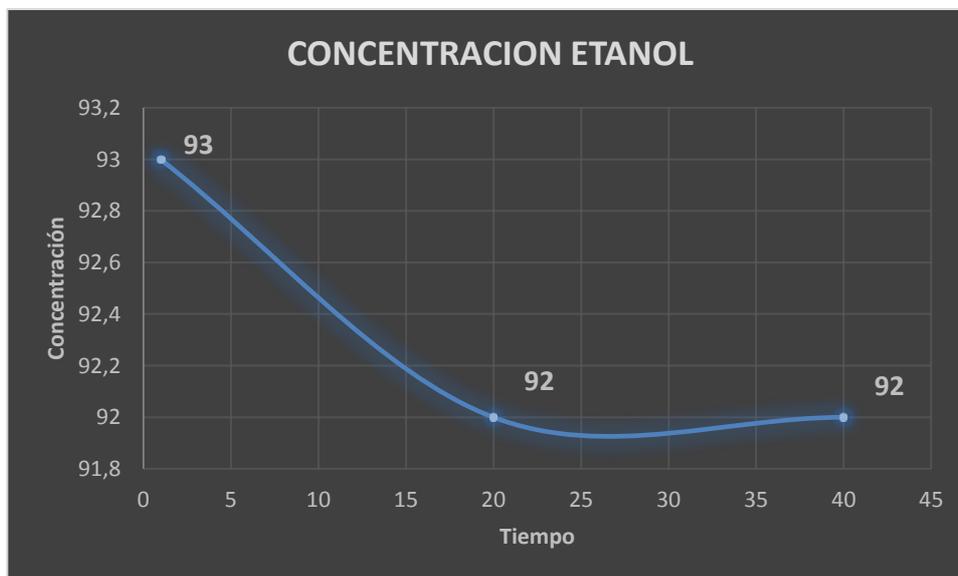


Gráfico 7. Medidas del %V/V de concentración del etanol a diferentes tiempos.

Fuente: Autores.

Mediante Refractometria se tiene las siguientes medidas, de igual manera se toman muestras por triplicado y se trabaja con el promedio.



Tabla 14. Índice de refracción del destilado final.

X1	X2	X3	Promedio
1,3644	1,3644	1,3644	1,3644

Fuente: Autores.

$$y = -5956,7x + 8220,4$$

$$y = -5956,7(1,3644) + 8220,4$$

$$y = 93,07$$

4.1.1 Cuadro resumen de la rectificación

Tabla 15. Resultados finales de las mediciones por dos métodos en la rectificación.

Método	Medida
Gay Lussac	92
Refractómetro	93,07

Fuente: Autores.

Pasado el minuto 40 la eficiencia de la columna de rectificación comienza a disminuir razón por la cual solo se trabaja hasta ese tiempo, (Yanza & Astudillo, 2018), estos tiempos fueron semejantes al estudio realizado por (Cerquera, 2010) donde trabaja con molaridades indica que una vez transcurridos 10 minutos de destilación se observó que la concentración en el calderín para el etanol disminuyó a 0.19 molar y a medida que progresa la misma, a los 40 minutos la concentración del etanol disminuyo en el calderín, razón por la cual la concentración del alcohol rectificado se obtiene de menores concentraciones.

4.1.2 Rendimiento de la columna

Rendimiento teórico

$$Rendimiento\ teorico = \frac{V\ inicial - V\ residuo}{V\ inicial} \times 100$$

Ecuación 30 Expresión matemática para el cálculo del rendimiento teórico de la columna

$$Rendimiento\ teorico = \frac{19 - 14}{19} \times 100 = 26,31\%$$



Rendimiento experimental

$$\text{rendimiento experimental} = \frac{V \text{ destilado}}{V \text{ inicial}} \times 100$$

Ecuación 31 Expresión matemática para el cálculo del rendimiento experimental de la columna

$$\text{rendimiento experimental} = \frac{3,40}{19} \times 100 = 17,89\%$$

4.2 DESTILACIÓN EXTRACTIVA CON GLICOLES

El componente añadido en este caso el solvente lo que hace es modificar el equilibrio liquido-vapor en la dirección deseada.(King, 1980)

Previamente a la presentación del proyecto se realizaron varios ensayos preliminares, esto con la finalidad de identificar el solvente que mejores resultados nos brinde en el proceso, teniendo así el siguiente cuadro resumen:

Tabla 16. Ensayos preliminares con monoetilenglicol.

TIPO DE EXPERIMENTO	PARÁMETROS			CONC. FINAL	
	Conc. Inicial	Relaciones			Temp. Trabajo
Destilación extractiva con solventes-Monoetilenglicol	63° GL	Alcohol	Monoetilen.	78 ±2°c	79° GL
		1	1		
	63°GL	9	1	78 ±2°c	85° GL
	63°GL	19	1	78 ±2°c	86° GL
	63°GL	39	1	78 ±2°c	88° GL

Fuente: Autores.

En estos ensayos con Monoetilenglicol no se obtuvieron altas concentraciones por lo que se descartó el uso de este solvente en el proceso y posteriormente se utiliza directamente etilenglicol.

Tabla 17. Ensayos preliminares con propilenglicol.

TIPO DE EXPERIMENTO	PARÁMETROS			CONC. FINAL	
	Conc. Inicial	Relaciones			Temp. Trabajo
Destilación extractiva con	63°GL	Alcohol	Propileng.	78 ±2°c	83° GL
		1	1		
	63°GL	3	1	78 ±2°c	84° GL
	63°GL	9	1	78 ±2°c	84° GL



solventes-Propilenglicol	63°GL	19	1	78 ±2°c	85° GL
---------------------------------	-------	----	---	---------	--------

Fuente: Autores.

Tabla 18. Ensayos preliminares con glicerina.

TIPO DE EXPERIMENTO	PARÁMETROS			CONC. FINAL	
	Conc. Inicial	Relaciones			Temp. Trabajo
		Alcohol	Glicerina		
Destilación extractiva con solventes-Glicerina	63 °GL	1	1	78 ±2°c	84 °GL
	63 °GL	2	1	78 ±2°c	84° GL
	63 °GL	3	1	78 ±2°c	92 ° GL
	96,5 °GL	3	1	78 ±2°c	100 ° GL

Fuente: Autores.

Los resultados que se obtuvieron a partir de los ensayos preliminares fueron determinados mediante el alcoholímetro de Gay-Lussac siguiendo el procedimiento ya descrito, en ciertos casos como en el de la mezcla de alcohol con propilenglicol y con glicerina se realizó una dilución con agua destilada a la muestra extraída en relación 50:50 para poder tener una medida más clara del resultado, esto debido a las pocas cantidades que se obtenían por la destilación extractiva.

Basados en estos ensayos previos se observa que el mejor solvente para la destilación extractiva es la glicerina, esto se ve reflejado en los valores obtenidos de concentración del etanol que es mayor a la obtenida con los otros solventes como se aprecia en las tablas 16, 17 y 18.

También se puede ver en los ensayos previos que la relación más eficiente para el proceso de destilación extractiva es 3:1, concuerda con (Albarracín et al., 2015) donde indica la posibilidad de obtener bioetanol anhidro mediante destilación extractiva empleando una relación molar glicerina: etanol igual a 3:1, en los ensayos realizados por él, donde se empleó relaciones molares de glicerina: etanol de 4:1 y 5:1 no consiguió desplazar el azeótropo formado por el etanol y el agua.

Las mezclas entre el sistema etanol-agua y los solventes en estudio según (Wankat Phillip, 2008) menciona que la cantidad de solvente que se acostumbra a utilizar es de 1, 5, 10, 20 o



hasta 30 veces, teniendo así que la concentración de solvente es mucho mayor en la alimentación.

En base a los ensayos preliminares se realizaron nuevos ensayos con cada uno de los solventes, pero partiendo del alcohol que se obtuvo del proceso de rectificación, cuyo valor es de 92°GL.

Las relaciones entre solvente y alcohol fueron:

ETILENGLICOL-ETANOL

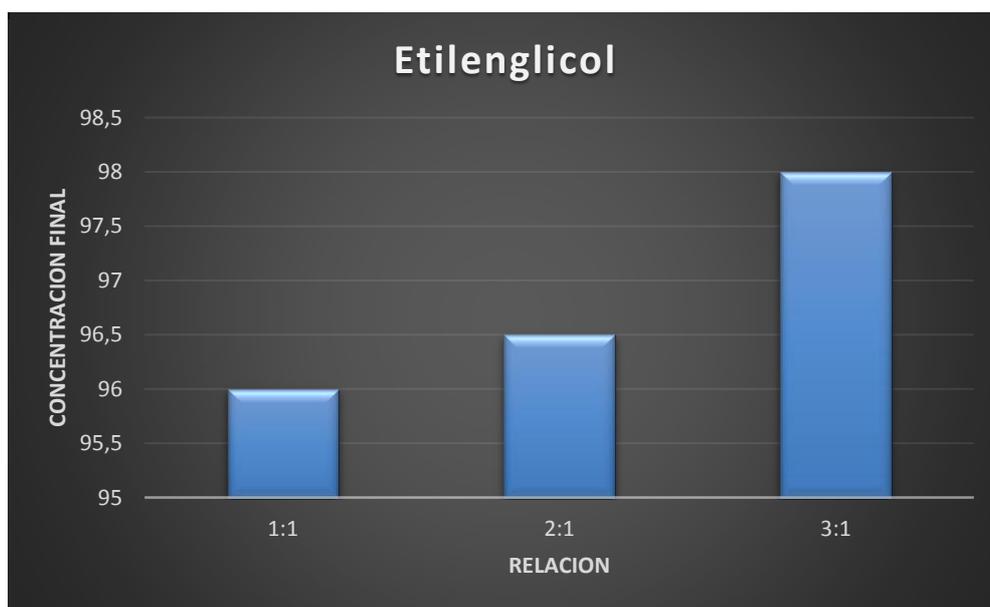


Gráfico 8. Relación de la mezcla alcohol-etilenglicol y su respectiva concentración final.

Fuente: Autores.

De la gráfica 8 podemos observar que se obtiene una mayor concentración realizando el proceso con una relación de 3:1 como se evidencio en los ensayos preliminares. Esto se corrobora con un estudio realizado por (BLACK & DITSLER, 1974) donde mencionan que industrialmente trabajar con etilenglicol acarrea un gran consumo energético.



PROPILENGLICOL-ETANOL

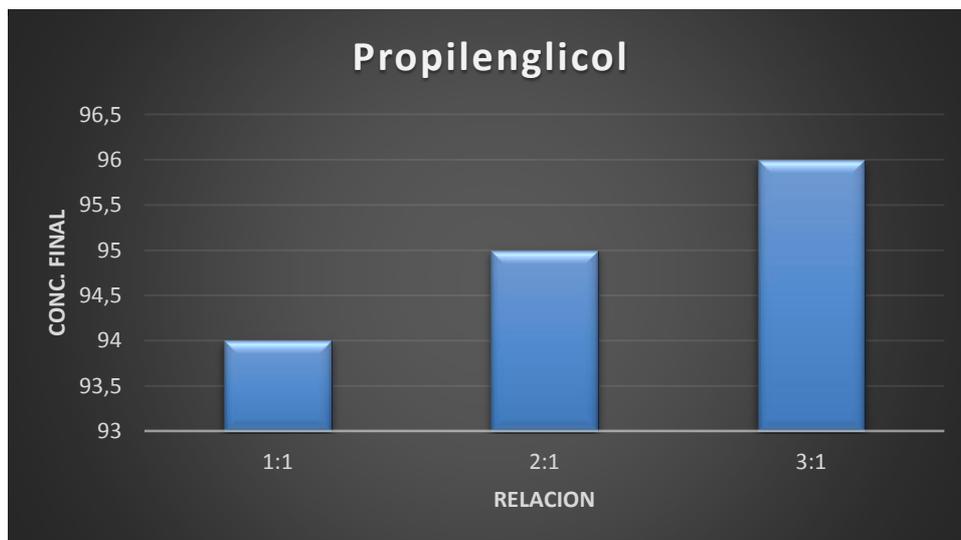


Gráfico 9. Relación de la mezcla alcohol-propilenglicol y su respectiva concentración final.

Fuente: Autores.

De la gráfica 9 podemos observar que se obtiene una mayor concentración realizando el proceso con una relación de 3:1 como se evidencio en los ensayos preliminares, siendo semejante al etilenglicol.

GLICERINA

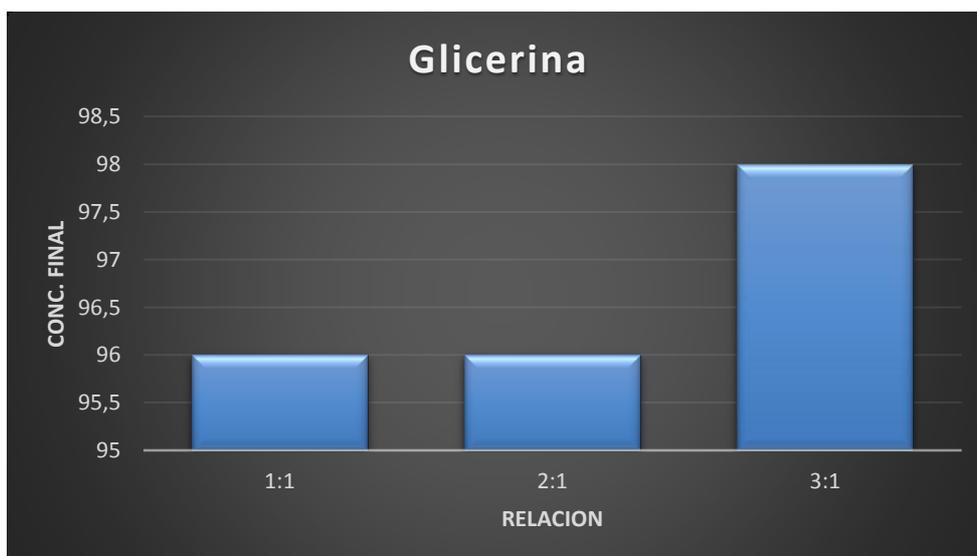


Gráfico 10. Relación de la mezcla alcohol-glicerina y su respectiva concentración final.

Fuente: Autores.



De la gráfica 10 podemos observar que se obtiene una mayor concentración realizando el proceso con una relación de 3:1 como se evidenció en los ensayos preliminares. Estudios como el de (Albarracín et al., 2015) realizaron ensayos con relaciones mayores, sin embargo la relación que mejores resultados proporcionaron fueron las de 3:1.

4.3 TAMIZ MOLECULAR

Las pruebas con el tamiz molecular fueron evaluadas mediante refractometría, posteriormente se realizaron análisis mediante cromatografía de gases y se comparan resultados.

Tabla 19 Resultados mediante índice de refracción y cromatografía de gases

Muestra	Concentración mediante refractometria(°GL)	Resultados cromatografía de gases (°GL)
1	99,9	99,66
2	99,9	98,47

Fuente: Autores.

Previo a esto se realizó medidas del índice de refracción de etanol anhidro de concentración de 99.5 y 99.6. se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 20 índice de refracción del etanol a diferentes concentraciones

Concentración	Índice de refracción
96	1,363195
99.5	1,362195
99.6	1,36219

Fuente: Autores.



Foto 8 Etanol anhidro grado analítico

Fuente: Autores.

El índice de refracción es un parámetro que se ve afectado por diferentes factores como por ejemplo: la temperatura, aproximadamente el índice de refracción se reduce en 0,00045 cuando se incrementa 1°C. Otro factor es la presión la cual al aumentar genera el incremento del índice de refracción. (Molina Suárez, 2013)

Primer ensayo.

Se parte del alcohol obtenido en el proceso previo mediante la destilación extractiva con glicerina en relación 3:1 que fue la que mejores resultados brindo.

Interpolando los resultados obtenidos con la tabla obtenida de METTLER TOLEDO para los índices de refracción tenemos:

Tabla 21 Valores de índices de refracción de la muestra obtenida con glicerina a diferentes tiempos

MINUTO	ÍNDICE REFRACCIÓN	CONCENTRACIÓN
0	1,361185	99,9
20	1,361185	99,9
40	1,361186	99,9
60	1,361184	99,9
80	1,36219	99.0125
120	1,36219	99.0125

Fuente: Autores.



En la tabla 21 se puede observar que el tamiz funciona adecuadamente hasta el minuto 60 momento en el cual el tamiz comienza a bajar su rendimiento, a partir del minuto 80 se observa que nos da un índice de refracción de 1,36219 que es igual al medido en el alcohol anhidro patrón de 99,6.

El valor obtenido es de 99,9°GL de concentración, este valor se encuentra en el rango esperado para el etanol anhidro.

Este resultado puede variar debido a:

- La temperatura en la ciudad es inferior a los 20°C. Temperatura a la cual están referidos los datos de la tabla.
- Por la calibración del equipo que se usa.
- El factor de apreciación del investigador al realizar la lectura.
- La presión en la ciudad es menor por encontrarse a 2800 msnm aproximadamente.

Segundo ensayo

Se trabaja con un alcohol de 96°GL adquirido en una distribuidora de productos químicos.

Interpolando los resultados obtenidos con la tabla obtenida de METTLER TOLEDO para los índices de refracción tenemos:

Tabla 22 Valores de índices de refracción de alcohol medidos en diferentes tiempos (segundo ensayo)

MINUTO	ÍNDICE REFRACCIÓN	CONCENTRACIÓN
0	1,36119	99,9
20	1,36119	99,9
40	1,36119	99,9
60	1,36119	99,9
80	1,36219	99,0125
85	1,36219	99,0125
90	1,36219	99,0125
95	1,36219	99,0125
100	1,36219	99,0125
105	1,362194	99,0075
110	1,36219	99,0125
115	1,36219	99,0125
120	1,36219	99,0125



125	1,36219	99.0125
130	1,36219	99.0125
135	1,36219	99.0125
140	1,36219	99.0125
145	1,36219	99.0125
150	1,362195	99.00625
155	1,362195	99.00625
160	1,362195	99.00625

Fuente: Autores.

En la tabla 22 se puede ver que el tamiz funciona adecuadamente hasta el minuto 60 momento en el cual el tamiz comienza a bajar su rendimiento, a partir del minuto 80 hasta el minuto 145 se observa que el valor determinado del índice de refracción es de 1,36219 que es igual al medido en el alcohol anhidro patrón de 99,6. Y desde el minuto 150 al 160 el valor determinado del índice de refracción es de 1,362195 que es igual al medido en el alcohol anhidro patrón de 99,5.

El valor obtenido es de 99,9°GL de concentración, este valor se encuentra en el rango esperado para el etanol anhidro. Estos valores pueden variar de acuerdo a las condiciones de trabajo expuestas en el primer ensayo.

4.3.1 Curva de ruptura

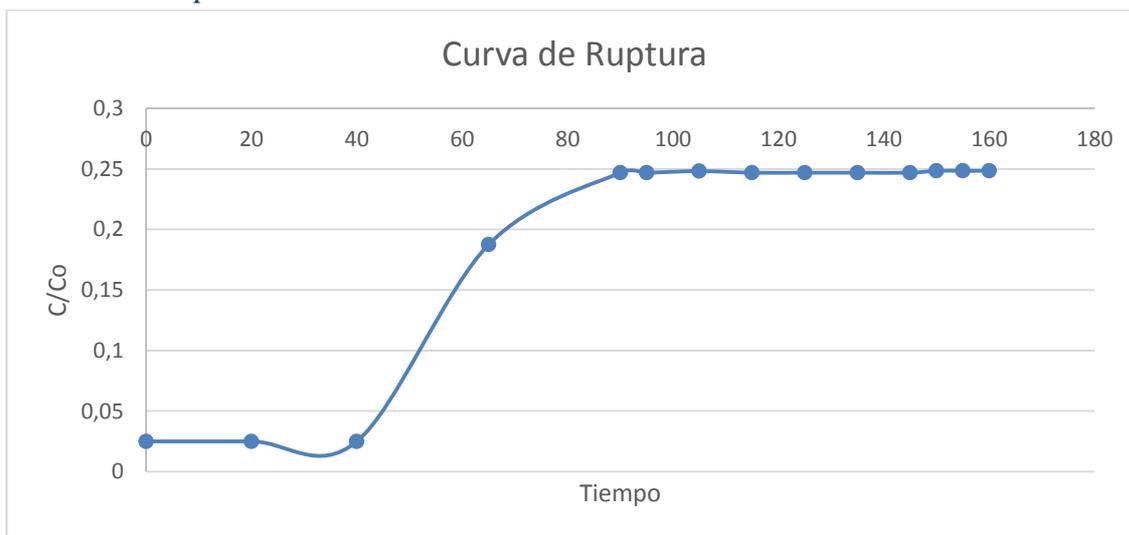


Gráfico 11 Curva de ruptura del estudio en el tamiz molecular

Fuente: Autores.



Las curvas de ruptura ideales son las que poseen una pendiente muy alta a partir del tiempo de ruptura tiempo en el cual se satura un 50% la capacidad del tamiz, mientras que, si disminuye la pendiente, la saturación del adsorbente será de un tiempo mayor.

En la gráfica 9 se observa una curva de ruptura que posee una pendiente muy alta lo cual se va a ver reflejado cuando se realice la linealización. El tiempo de ruptura para este tamiz se encuentra entre el minuto 60 a 65, posterior a este tiempo el alcohol obtenido posee una concentración menor a la requerida para ser un alcohol carburante según la (INEN 2478, 2009).

4.3.2 Modelado matemático del proceso de adsorción en columnas

En el proceso de adsorción mediante el tamiz molecular, se toma al agua como el contaminante de la mezcla etanol-agua, se consideraron los siguientes modelos cinéticos Yoon-Nelson, Thomas y Dosis-respuesta que son los que describen el comportamiento del tamiz molecular a largo del tiempo partiendo de los datos experimentales obtenidos en los ensayos, se realizara un ajuste de regresión lineal en donde se apreciara el modelo que más se ajuste a los datos.

4.2.3 Modelo de Yoon-Nelson

Una vez graficado el modelo matemático en la forma lineal podemos obtener los parámetros de operación de nuestra columna de adsorción.

$$\ln\left(\frac{C_o}{C} - 1\right) = -K_{YN} * t + K_{YN} * \tau$$

Ecuación 32 Expresión matemática linealizada del modelo de Yoon-Nelson

De la gráfica de $\ln\left(\frac{C_o}{C} - 1\right)$ contra t , de la pendiente y la ordenada en el origen se puede obtener K_{YN} y τ .

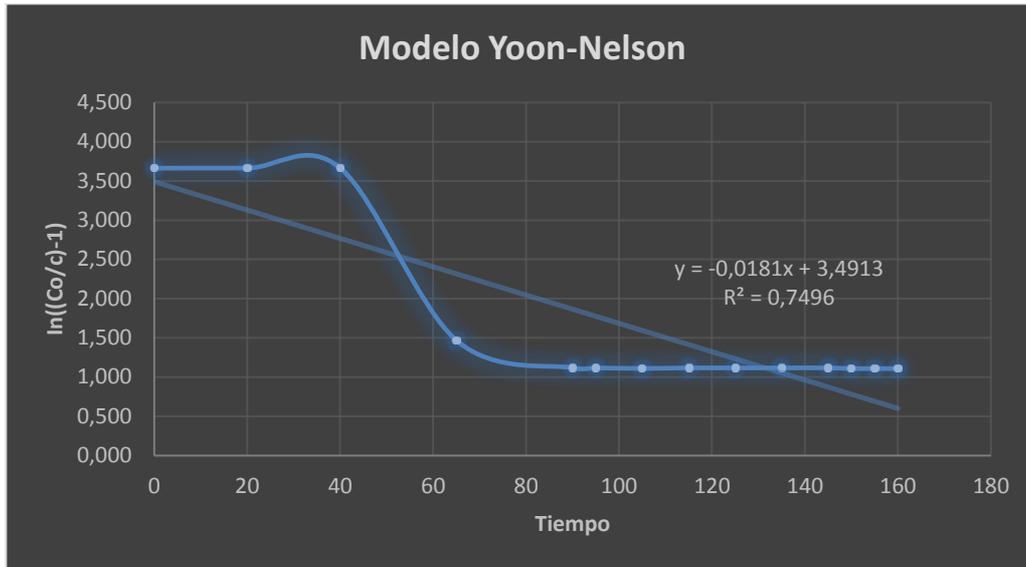


Gráfico 12 Ajuste del modelo de Yoon-Nelson para el estudio

Fuente: Autores.

Tabla 23 Resumen del modelo de Yoon-Nelson programa IBM SPSS statistics 23

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,866	0,750	0,729	0,56100

Fuente: Autores.

Tabla 24 Parámetros del ajuste del modelo de Yoon-Nelson

MODELO DE YOON-NELSON					
C_o (% de H_2O)	K_{yn}	$\tau * K_{yn}$	τ experimental	τ Teórico	R^2
4	0,0181	3,4913	62	192,8895	0,7496

Fuente: Autores.

El valor de τ experimental es diferente del τ teórico debido a que se tomó el τ experimental en el punto en donde la concentración del etanol ya no sale en grado anhidro es decir a partir de este tiempo la concentración del etanol es menor a 99,5. Y el τ teórico representa el tiempo en el que el tamiz llega a un 50 % de saturación.



4.3.4 Modelo de Thomas

De igual manera la constante de velocidad K_{th} y la capacidad de adsorción q_0 de la columna, pueden ser determinados de la gráfica en la forma lineal de:

$$\ln\left(\frac{C_o}{C} - 1\right) = -\frac{K_{Th} * C_o}{Q} * V_{ef} + \frac{K_{Th} * q_o * m_b}{Q}$$

Ecuación 33 Expresión matemática linealizada del modelo de Thomas

Si se representa $\ln\left(\frac{C_o}{C} - 1\right)$ frente a V_{ef} o frente a t para un caudal determinado, de la pendiente y la ordenada en el origen se obtiene los valores de los parámetros del modelo.

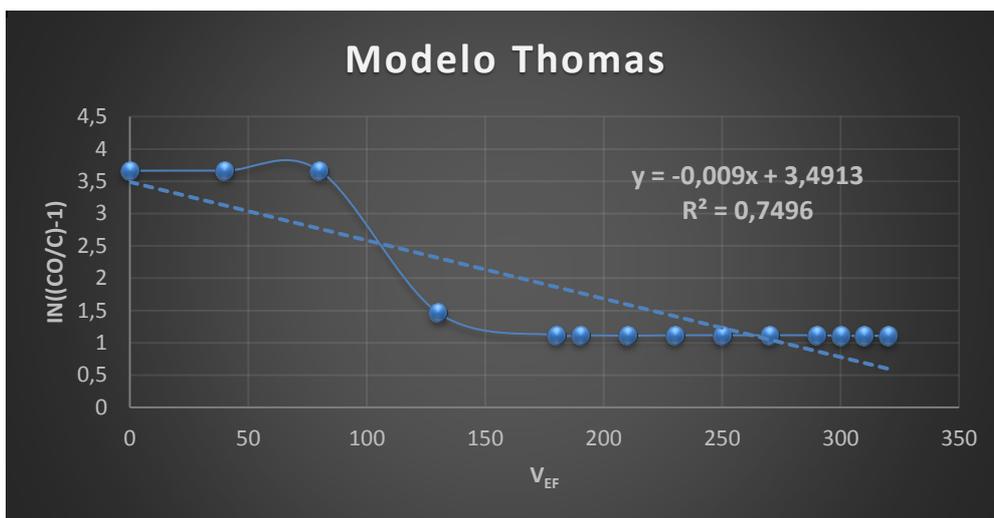


Gráfico 13 Ajuste del modelo de Thomas para el estudio

Fuente: Autores.

Tabla 25 Resumen del modelo de Thomas programa IBM SPSS statistics 23

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,866	0,750	0,729	0,56080

Fuente: Autores.



Tabla 26 Parámetros del ajuste del modelo de Thomas en función del V_{EF}

MODELO DE THOMAS EN FUNCIÓN DE V _{EF}							
Q(ml/min)	C _o (%de H ₂ O)	m _B	$\frac{K_{Th}q_om_B}{Q}$	$-\frac{K_{Th}C_o}{Q}V_{ef}$	K _{Th}	q _o	R ²
2	4	30,9	3,4913	0,009	4,5	0,05021647	0,7496

Fuente: Autores.

4.3.5 Modelo de Dosis-Respuesta

Para encontrar los parámetros de operación de la columna se debe graficar la forma lineal del modelo de acuerdo con la función en la que se encuentren, este puede ser en función de efluente o del tiempo.

- En función del volumen del efluente tenemos:

$$\ln\left(\frac{C}{C_o - C}\right) = \alpha * \ln V_{ef} - \alpha * \ln\left(\frac{q_o * m_b}{C_o}\right)$$

Ecuación 34 Expresión matemática linealizada del modelo de Dosis Respuesta en función del V_{ef}

Representando $\ln\left(\frac{C}{C_o - C}\right)$ frente al volumen, se encuentra los valores de los parámetros del modelo, a y q_o, a partir de la pendiente y la ordenada en el origen.

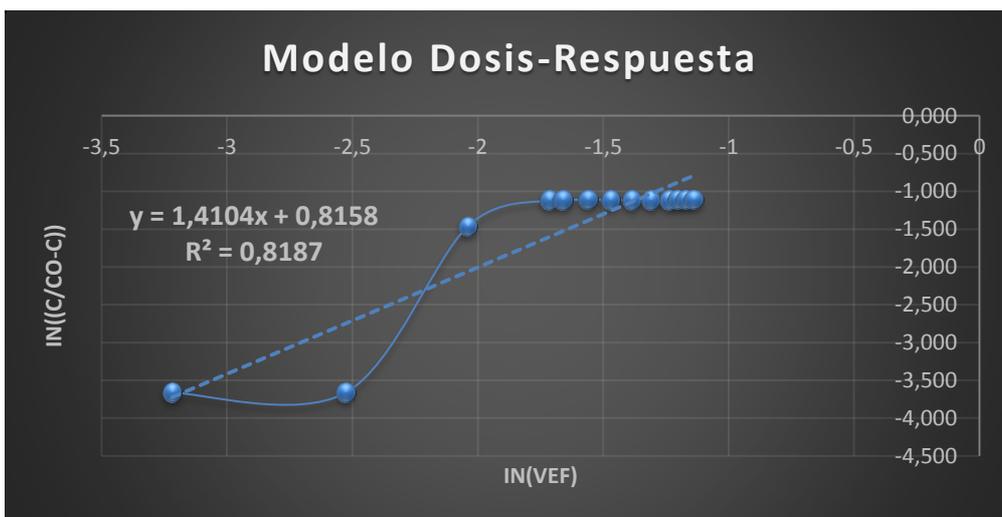


Gráfico 14 Ajuste del modelo de Dosis respuesta para el estudio en función del V_{ef}

Fuente: Autores.



Tabla 27 Resumen del modelo de Dosis respuesta programa IBM SPSS statistics 23 en función del Vef

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,905	0,819	0,802	0,42315

Fuente: Autores.

Tabla 28 Parámetros del ajuste del modelo de Dosis respuesta en función del Vef

MODELO DE DOSIS RESPUESTA EN FUNCIÓN DE V _{EF}						
Q(ml/min)	Co (%de H ₂ O)	m _B	$-\alpha \ln\left(\frac{q_0 * m_b}{C_0}\right)$	α	q ₀	R ²
2	4	30,9	-0,8158	1,4104	0,0725935	0,8187

Fuente: Autores.

- En función del tiempo:

$$\ln\left(\frac{C}{C_0 - C}\right) = \alpha * \ln(t) + \alpha * \ln\left(\frac{Q}{\beta}\right)$$

Ecuación 35 Expresión matemática linealizada del modelo de Dosis Respuesta en función del tiempo

Representando $\ln\left(\frac{C}{C_0 - C}\right)$ frente al tiempo, se encuentra los valores de los parámetros del modelo, α , β y q_0 , a partir de la pendiente y la ordenada en el origen.

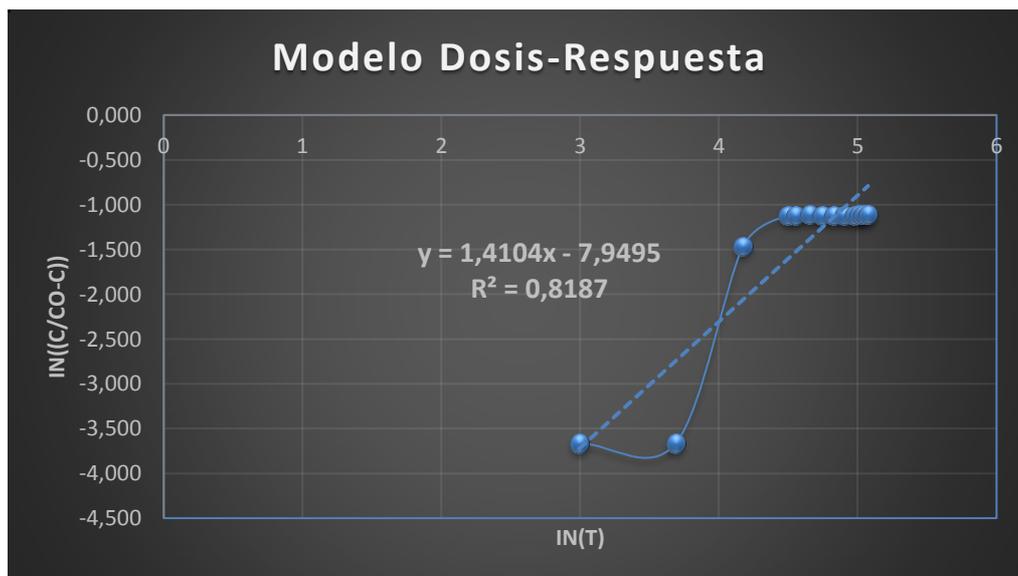


Gráfico 15 Ajuste del modelo de Dosis respuesta para el estudio en función del tiempo

Fuente: Autores.



Tabla 29 Resumen del modelo de Dosis respuesta programa IBM SPSS statistics 23 en función del tiempo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,905	0,819	0,802	0,42315

Fuente: Autores.

Tabla 30 Parámetros del ajuste del modelo de Dosis respuesta en función del tiempo

MODELO DE DOSIS RESPUESTA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO							
$Q(\text{ml}/\text{min})$	C_o (%de H_2O)	m_B	$\alpha * \ln\left(\frac{Q}{\beta}\right)$	α	β	Q_o	R^2
2	4	30,9	-7,94195	1,4104	560,871307	0,0726047	0,8187

Fuente: Autores.

4.3.6 Parámetros obtenidos de los modelos cinéticos aplicados.

Tabla 31 Resumen de los parámetros obtenidos para cada modelo

Parámetros		
Yoon – Nelson	$K_{yn} \text{ min}^{-1}$	0,0181
	$\tau \text{ exp (min)}$	62
	$\tau \text{ calc (min)}$	192,8895
	R2	0,7496
THOMAS	KTh (L.mg-1.min-1)	9,05
	qo (mg.g-1)	0,02496951
	R2	0,7496
DOSIS-RESPUESTA	α	1,4104
	β	560,871307
	qo (mg.g-1)	0,0726047
	R2	0,8187

Fuente: Autores.



Siendo el modelo DOSIS-RESPUESTA el que más se ajusta a los datos experimentales obtenidos para la curva de ruptura, ya que presenta el mejor ajuste de regresión lineal R^2 como se aprecia en la tabla 31. Los otros modelos tanto el de Yoon-Nelson como el de Thomas son los que menos se ajustan a la curva de ruptura.

4.4 Análisis de las muestras mediante cromatografía de gases

Para el análisis de las muestras en el cromatógrafo de gases se realizaron 2 corridas de etanol anhidro patrón de una concentración de 99,6°GL. De estos análisis se obtuvieron los datos de las áreas bajo la curva para cada muestra de etanol como se aprecia en los anexos 10 y 11.

Las muestras estudiadas que se compararon con los patrones fueron:

Tabla 32 Especificaciones de la procedencia de cada muestra para análisis

Muestra 1	Alcohol proveniente de la destilación extractiva con la glicerina en relación 3:1 más tamiz molecular
Muestra 2	Alcohol proveniente de una concentración de 96°GL más tamiz molecular

Fuente: Autores.

4.5 Cálculos del porcentaje de concentración de cada muestra mediante el área bajo la curva.

Se realizaron 2 corridas del alcohol patrón en el equipo, el tiempo de corrida para cada muestra fue de 12 minutos aproximadamente, en los datos se puede observar que el pico más representativo es el del etanol este se encuentra en el minuto 1,25. (Ver datos anexos 10 y 11)

De los cuales se tiene los siguientes datos

Tabla 33 Valores del área bajo la curva del etanol patrón

Alcohol patrón 1	1432571216
Alcohol patrón 2	1473219664

Fuente: Laboratorio de cromatografía de Universidad Politécnica Salesiana.

Autor: Dra. Inés Patricia Malo Cevallos.



Cromatograma del etanol patrón

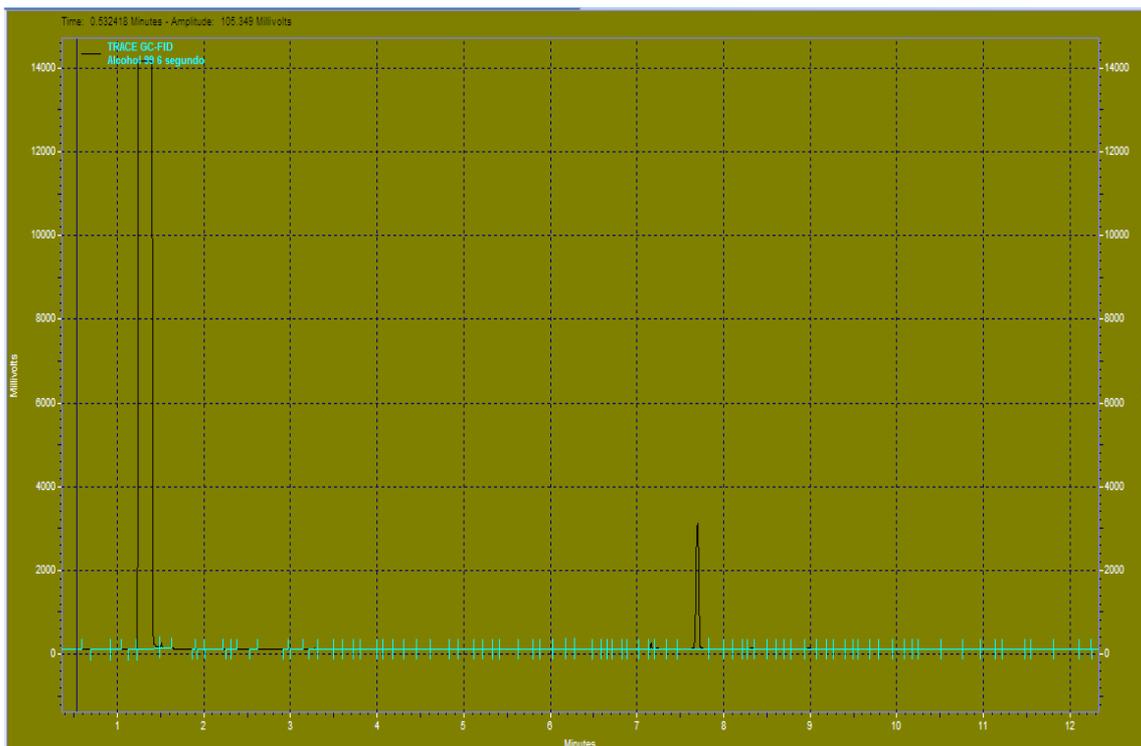


Gráfico 16 Cromatograma de etanol patrón de 99,6^aGL

Fuente: Laboratorio de cromatografía de Universidad Politécnica Salesiana.

Autor: Dra. Inés Patricia Malo Cevallos

Sacando un promedio de estas áreas tenemos 1452895440.

Esta área representa al etanol en una concentración del 99,6 ^oGL. Y en base a esta área determinaremos la concentración de cada una de las muestras enviadas a análisis.



Muestra 1

Datos Ver anexo 12

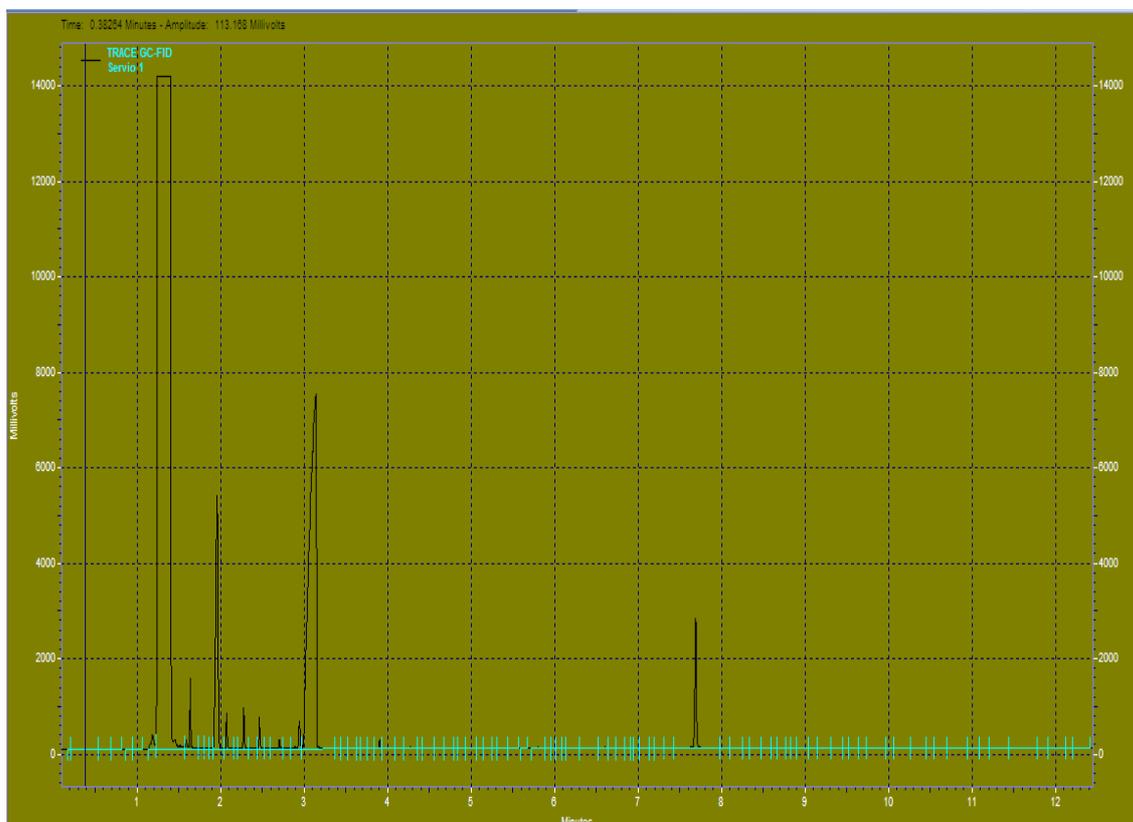


Gráfico 17 Cromatograma de muestra 1 proveniente de destilación extractiva con glicerina relación 3:1

Fuente: Laboratorio de cromatografía de Universidad Politécnica Salesiana.

Autor: Dra. Inés Patricia Malo Cevallos

Como se observa en la gráfica se obtienen otros picos representativos en el cromatograma, pero al no disponer de todos los patrones no se puede identificar a qué clase de compuestos pertenecen estos picos.

El pico de nuestro interés se encuentra al minuto 1,245 en donde tenemos un área bajo la curva de 1453819656 la cual al cotejar con el área promedio de los patrones nos indica la concentración de la muestra 1.

Tabla 34 Comparación de las áreas bajo la curva del patrón para encontrar la concentración final de la muestra 1

	Área	Concentración
Promedio área muestras patrón	1452895440	99,6
Área muestra 1	1453819656	99,66

Fuente: Autores



Muestra 2

Datos Ver anexo 13

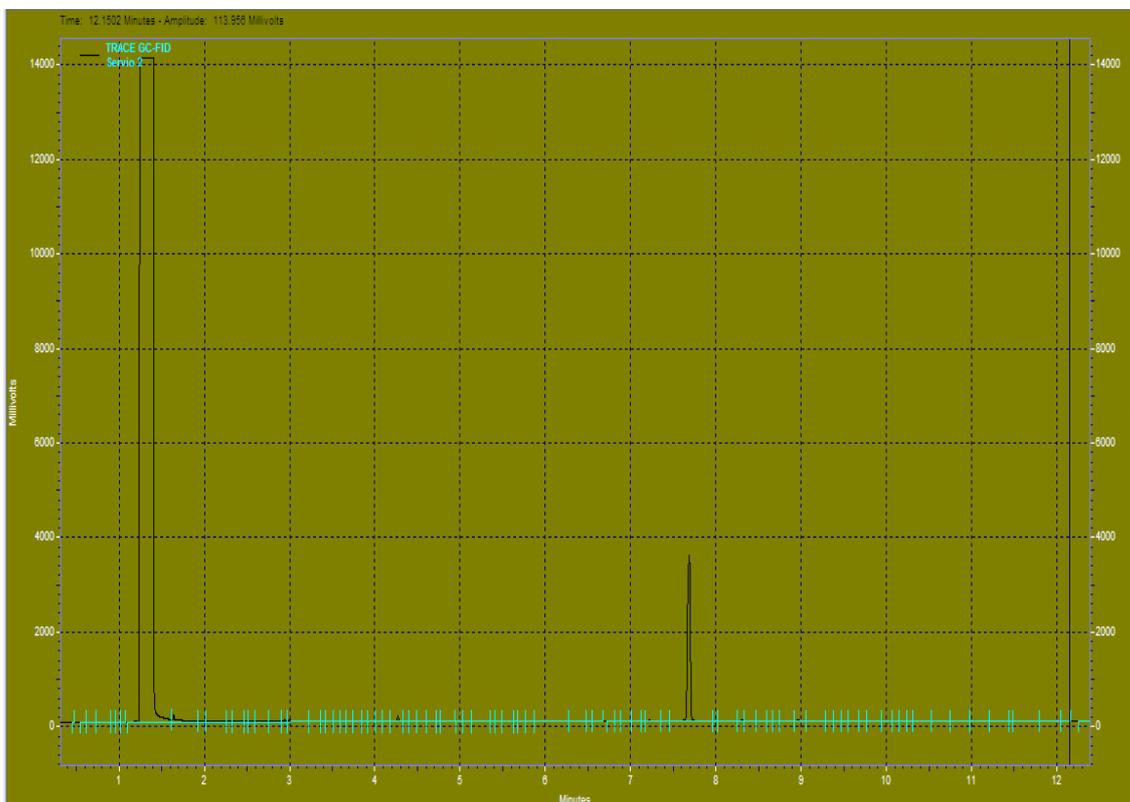


Gráfico 18 Cromatograma de muestra 2 proveniente de ensayo con alcohol de 96°GL

Fuente: Laboratorio de cromatografía de Universidad Politécnica Salesiana.

Autor: Dra. Inés Patricia Malo Cevallos

En este cromatograma podemos observar dos picos representativos el primero en el minuto 1,25 y otro en el minuto 7,68.

El primer pico representa al etanol y el segundo pico no se puede identificar debido a la falta de patrones.

El pico de nuestro interés se encuentra al minuto uno en donde tenemos un área bajo la curva de 1436418869 la cual al cotejar con el área promedio de los patrones nos indica la concentración de la muestra 2.

Tabla 35 Comparación de las áreas bajo la curva del patrón para encontrar la concentración final de la muestra 2

	Área	Concentración
Promedio área muestras patrón	1452895440	99,6
Área muestra 2	1436418869	98,47

Fuente: Autores.



CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

La columna de rectificación resulta un equipo útil para el proceso de enriquecimiento de etanol, ya que con sus 10 platos permite que la concentración del alcohol alcance los 92°GL con un tiempo máximo de 40 minutos en el cual se obtiene 3.4 L, posterior a este tiempo se produce la disminución de la concentración de etanol que no favorece las siguientes etapas.

En la etapa de destilación extractiva se incrementa la concentración de etanol hasta 98°GL, donde la glicerina resulta ser el solvente más apropiado con una relación 3:1.

La tercera etapa que es la de adsorción con tamiz molecular se desarrolló en una columna de lecho fijo, en donde se utilizó una masa de 31.9g de tamiz para tratar 150 ml de muestra proveniente de la etapa anterior y con un caudal constante de 2 ml/min para evitar canalizaciones. La concentración de etanol alcanzado en esta fase mediante refractometría fue de 99,9⁰ GL y por cromatografía de gases fue de 99,66⁰ GL

Los modelos utilizados en la etapa de adsorción arrojan valores de R² entre 0,7496 y 0,8187, esto debido a la falta de saturación completa de la columna en los 60 minutos, sin embargo, con este tiempo se garantiza la obtención de alcohol anhidro de uso carburante.



CAPÍTULO 6 RECOMENDACIONES

Realizar el proceso de destilación con diferentes porcentajes de reflujo para determinar la variación de la concentración en función de esta y mejorar el proceso de rectificación.

Las medidas de los valores en el refractómetro deben ser rápidas debido a la volatilidad de la muestra alterando de cierta manera las medidas introduciendo un error.

Realizar un diseño de experimentos para optimizar todas las variables altura de la cama, flujo, diámetro de partícula, concentración inicial, que intervienen en el proceso de adsorción con el tamiz molecular en columna a escala de laboratorio.

Se recomienda continuar con el estudio en cuanto al uso de tamices moleculares ya que este tema es muy amplio, sobre todo con respecto al estudio de saturación de la columna se recomienda prolongar los tiempos de trabajo o en tal caso reducir la cantidad de tamiz a una cuarta parte de lo estudiado en este trabajo para obtener mejores resultados y los modelos se ajusten de mejor manera.



7 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Acofarma. (2009a). Fichas de información técnica glicerina.
- Acofarma. (2009b). Fichas de información técnica propilenglicol.
- Adagio Paul. (2010). Vapeadores - ¿Qué es el Propilenglicol? Retrieved March 16, 2018, from <https://www.vapeadores.com/2010/01/que-es-el-propilenglicol/>
- Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica. (2017). Reemplazo de gasolina Extra por Ecopais. Retrieved December 5, 2017, from <http://www.andes.info.ec/es/noticias/economia/4/30234/hasta-2017-gasolina-extra-sera-reemplazada-ecopais-mas-limpia-beneficiosa-ecuador>
- Alvarez, S., Evelson, P., & Boveris, A. (2008). Etanol: El combustible del futuro. *Encrucijadas*, (45).
- Albarracín, K. G., Jaramillo, L. I., & Albuja, M. (2015). Obtención de Bioetanol Anhidro a Partir de Paja (Stipa ichu). *Revista Politécnica*, 36(1). Retrieved from http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/526
- Andrade, A. G. V. (2013). BIOADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO POR Salvinia minima EN UN SISTEMA DE COLUMNAS EMPACADAS, 66.
- Arellano y Riofrio. (2014). *Diseño y construcción de un deshidratador por absorción con tamices moleculares para la obtención de alcohol anhidro*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO.
- Ballenilla, F. (2005). Combustibles Fósiles. *Enero*, 73–75.
- Benito J. de la Cruz Santana. (2006). *Estudio de la Deshidratación de Alcoholes por Métodos de Adsorción Utilizando Tamices Moleculares*.
- Bermejo, D. (2016). *REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES MINERAS MEDIANTE BIOSORCIÓN EN COLUMNAS CON BAGAZO DE CAÑA Y CÁSCARA DE CACAO*.
- BLACK, C., & DITSLER, D. E. (1974). Dehydration of Aqueous Ethanol Mixtures by



Extractive Distillation. *Extractive and Azeotropic Distillation*, 1–15.

<https://doi.org/10.1021/ba-1972-0115.ch001>

BOADA, P. (2015). *Estudio del proceso de biosorción de contaminantes en efluentes acuosos mediante cilantro*.

Calero, M., Blázquez, G., Hernáinz, F., Ronda, A., & Martín-Lara, M. A. (2012). Biosorción de cobre con corteza de pino en columna de lecho de fijo: Optimización de las variables del proceso. *Afinidad*, 69(559), 175–184. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874531699&partnerID=tZOtx3y1>

Carla De Angelis. (2014). Refractometría, (L), 1–4.

Carrillo E, R., Aguirre G, D., & Villanueva Q, L. (2006). Intoxicación por etilenglicol. Reporte de un caso y revisión de la literatura. *Acta Médica Grupo Ángeles.*, 4(4), 243–248.

Cerpa, M. G. (2005). Producción Del Etanol Anhidro Como Aditivo Para La Gasolina a Partir De Caña De Azúcar En La Región Del Río Huallaga. *Conference Proceeding*, 1, 1–7.

Cerquera, A. S. (2010). *Separación de una mezcla binaria etanolagua en columna de destilación de platos UDCC por densimetría*.

Chemistry Lab Techniques. (2012). Using the Refractometer. Retrieved March 15, 2018, from <http://www2.ups.edu/faculty/hanson/labtechniques/refractometry/smallmovie.htm>

Decreto Ejecutivo 1303. (2012). Decreto ejecutivo 1303.

Ecuatoriana, C. (2014). Ecuatoriana Nte Inen 340, 2–3. Retrieved from www.inen.gob.ec

Enriqueta, I., & Ángel, D. (2014). Hidrodinámica.

Escrig, C. (2015). Sobre el Propilenglicol. Retrieved from <https://vaporyciencia.com/sobre-el-propilenglicol/>

García Soto, A. R. (2012). Síntesis, caracterización y evaluación de un tamiz molecular para la deshidratación de etanol azeotrópico, 162.

Gil, A. M., Aguilar, I. D., & Caicedo, G. (2006). Producción de Alcohol Carburante por destilación azeotrópica homogénea con glicerina. *Ingeniería E Investigación*, vol



26(0120–5609), p.44-50.

González, M. A. (2012). Tablas y graficos propiedades de los fluidos, 34. Retrieved from <https://marcanord.files.wordpress.com/2012/11/guia-propiedades-de-los-fluidos-industrial.pdf>

Hern, M. (2007). Alcoholes : Introducción y Nomenclatura ”. Retrieved from http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/BV/C0302/Unidad 4/ALCOHOLES_Intro_nomen.pdf

INEN 2478. NTE INEN 2478 :2009, 2506 § (2009). ECUADOR.

International - Strong growth seen in world ethanol output to 2030 – F.O. Licht - The only source of comprehensive biofuels statistics. (2018).

ISO ASTM 4806. (2017). ASTM D4806 Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for Blending with Gasolines for Use as Automotive Spark-Ignition Engine Fuel. Retrieved from <https://www.astm.org/>

King, C. J. (1980). *Procesos de separación*. Reverté.

Kumar Karna, N. (2013). Modelación matemática del proceso de biosorción de Cromo+ 6 y Ni+ 2: estudios en serie en columnas de lecho fijo con Bagazo de Caña de Azúcar., 118.

Lafuente, G. (2017). “ Glicerol : Síntesis Y Aplicaciones .”

Leon, I. (2011). *Extraccion Liquido-liquido*. Cuenca. Retrieved from http://ingenioelviejo.com/ing_etapas.aspx

McCabe, Warren., Smith, Julian C., Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en ingeniería química, séptima edición*.

Mendez Ángeles. (2010). Glicerol | La Guía de Química. Retrieved March 16, 2018, from <https://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/glicerol>

Merck. (2013). Ficha técnica tamiz molecular.

Molina Suárez, F. E. (2013). Refractometría y Polarimetría. *Análisis de Productos Agrícolas I*, 1–14. Retrieved from file:///C:/Users/Juan/Downloads/refractometria-y-polarimetria-2013-051942-1..pdf



- Montiel, W. (2017). Elaboración de jabón líquido para uso industrial a partir de glicerina , como subproducto de la obtención de biodiésel , en el laboratorio 101 del Departamento de Química de la UNAN-Managua , Agosto a Diciembre 2016 .
- Ocon Garcia, J., & Tojo Barreiro, G. (1970). Problemas de Ingeniería Química Tomo II.
- Olivares, J. C. (2013). *PROCESO DINÁMICO PARA LA BIOSORCIÓN DE Pb (II) DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO UNA COLUMNA EMPACADA CON CÁSCARA DE PIMIENTA.*
- Parrales, A., Reyes, M., William, V., & Tobar, P. (2012). Cromatografía del Gas Natural. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/91597/D-68860.pdf>
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (1997). *CHEMICAL ENGINEERS ' HANDBOOK SEVENTH Late Editor. Society.*
- PetroEcuador. (2016). Informe Estadístico, 1–113.
- PETROECUADOR. (2013). *Biocombustibles.*
- Requena, L. (2012). Propiedades Química y Físicas de los Alcoholes. Retrieved March 6, 2018, from <https://es.slideshare.net/pac95/propiedades-quimica-y-fisicas-de-los-alcoholes>
- Salaet y Roca. (2009). AGOTAMIENTO DE LOS COMBUSTIBLES FOSILES. *CIP-Ecosocial-Boletín ECOS*, 8(1), 27 citation_lastpage=62-19.
- SKOOG Douglas, A., James, H., & NIEMAN, T. A. (2001). Cromatografía de gases. *Principios de Análisis Instrumental*, 779–784.
- Textos Científicos. (2014). Etilenglicol | Textos Científicos. Retrieved March 16, 2018, from <https://www.textoscientificos.com/quimica/etilenglicol>
- Triola, M. F. (2009). *Estadística elemental.*
- Vasquez Daniel. (2014). Diseño del Proceso de Etilenglicol. Retrieved March 16, 2018, from <https://prezi.com/wwlcgpa0nt38/diseno-del-proceso-de-etilenglicol/>
- Villada-Villada, Y. A., Hormaza-Anaguano, A., & Casis, N. (2014). Uso de la cascarilla de arroz para la remoción de azul de metileno en columnas de lecho empacado. *Tecno Lógicas*, 17(33), 43–54.



Wankat Phillip. (2008). *Ingeniería de Procesos de Separación*.

Yanza, C. A., & Astudillo, J. I. (2018). *Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Ingeniería Química “ APLICACIÓN DEL SIMULADOR CHEMSEP PARA LA TECNOLÓGICO DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA .”* Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/29318>

Yu, J., Feng, L., Cai, X., Wang, L., & Chi, R. (2015). Adsorption of Cu^{2+} , Cd^{2+} and Zn^{2+} in a modified leaf fixed-bed column: competition and kinetics. *Environmental Earth Sciences*, 73(4), 1789–1798. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3529-6>



ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica etanol anhidro.

ETANOL (ANHIDRO)		ICSC: 0044
		Octubre 2000
Alcohol etílico		
CAS:	64-17-5	CH₃CH₂OH / C₂H₆O
RTECS:	KQ6300000	Masa molecular: 46.1
NU:	1170	
CE Índice Anexo I:	603-002-00-5	
CE / EINECS:	200-578-6	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Tos. Dolor de cabeza. Fatiga. Somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemazón.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Confusión. Vértigo. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Eliminar el residuo con agua abundante.	Clasificación UE Símbolo: F R: 11 S: (2-)7-16 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1170. Código NFPA: H 0; F 3; R 0;	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005



ETANOL (ANHIDRO)

ICSC: 0044

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS:

El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.

PELIGROS QUÍMICOS:

Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 1000 ppm (como TWA), A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004).
MAK: 500 ppm; 960 mg/m³; Categoría de limitación de pico: II(2), Cancerígeno: categoría 5, Mutágeno: categoría 5, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración. Ver Notas.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 79 °C
Punto de fusión: -117 °C
Densidad relativa (agua = 1): 0,8
Solubilidad en agua: miscible
Presión de vapor, kPa a 20 °C: 5,8
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,03
Punto de inflamación: 13 °C c.c.
Temperatura de autoignición: 363 °C
Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.3-19
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.32

DATOS AMBIENTALES

NOTAS

El consumo de etanol durante el embarazo puede afectar al feto. La ingesta crónica de etanol puede causar cirrosis hepática. El punto de inflamación de la disolución acuosa al 50% es 24 °C. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2013):

VLA-EC: 1000 ppm; 1910 mg/m³

Notas: Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

© IPCS, CE 2005

Activ
Ira-Cc

Anexo 2. Ficha técnica etilenglicol.

Fichas Internacionales de Seguridad Química												
MONOBUTIL ETER DEL ETILÉN GLICOL												
ICSC: 0059 Mayo 2003												
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">CAS: 111-75-2</td> <td style="width: 33%;">2-Butodietanol</td> <td rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle;"></td> </tr> <tr> <td>RTECS: KJ8575000</td> <td>Monobutil glicol éter</td> </tr> <tr> <td>NU: 2810</td> <td>Butil oxibil</td> </tr> <tr> <td>CE (Índice Anexo I): 603-014-00-0</td> <td>EGBE</td> </tr> <tr> <td>CE / EINECS: 203-905-0</td> <td>Butil oxialcohe</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><chem>C2H4O2 / CH2(CH2)2CH2OCH2CH2OH</chem> Masa molecular: 118,2</p>		CAS: 111-75-2	2-Butodietanol		RTECS: KJ8575000	Monobutil glicol éter	NU: 2810	Butil oxibil	CE (Índice Anexo I): 603-014-00-0	EGBE	CE / EINECS: 203-905-0	Butil oxialcohe
CAS: 111-75-2	2-Butodietanol											
RTECS: KJ8575000	Monobutil glicol éter											
NU: 2810	Butil oxibil											
CE (Índice Anexo I): 603-014-00-0	EGBE											
CE / EINECS: 203-905-0	Butil oxialcohe											
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS									
INCENDIO	Combustible.	Evitar las flamas.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada, dióxido de carbono.									
EXPLOSIÓN	Por encima de 60°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 60°C, sistema cerrado, ventilación.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.									
EXPOSICIÓN		(EVITAR LA FORMACIÓN DE NEBLA DEL PRODUCTO)										
Inhalación	Tos. Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Debilidad.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.									
Piel	(PUEDE ABSORBERSE) Piel seca. (Además, véase Inhalación).	Gautes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.									
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.									
Ingestión	Dolor abdominal. Diarrea. Náuseas. Vómitos. (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica.									
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO										
Protección personal: Filtro respiratorio para vapores orgánicos y gases adaptado a la concentración de la sustancia en el aire. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Eliminar el residuo con agua abundante. Eliminar toda fuente de ignición.		Hermético. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: Xn R: 202/222-35/38 S: (2)-35/37-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: III										
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO										
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-61GT1-II Código NFPA: H 2; F 2; R 0;		Separado de oxidantes fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco. Mantener en la oscuridad.										
<p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005</p> 												

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO



Fichas Internacionales de Seguridad Química

MONOBUTIL ETER DEL ETILÉN GLICOL		ICSC: 0059
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia puede formar peróxidos explosivos. Reacciona con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: (como TWA) 20 ppm; A3 (ACGIH 2004). MAK: (suma de concentraciones en el aire de 2-butoxietanol y acetato de 2-butoxietilo) 10 ppm, 49 mg/m³; H; Categoría de limitación de pico 1 (2); Carcinógeno: categoría 4; Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2002).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, sangre, riñón e hígado.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El líquido desengrasa la piel.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 171°C Punto de fusión: -75°C Densidad relativa (agua = 1): 0,90 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 0,10 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,1</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,03 Punto de inflamación: 60°C c.c. Temperatura de sublimación: 238°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1,1 a 93°C-12,7 a 135°C Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0,830</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>Antes de la destilación comprobar si existen peróxidos; en caso positivo eliminarlos. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2010: ver Límites de exposición e Ingestión-Primeros Auxilios</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 20 ppm; 98 mg/m³ VLA-EC: 50 ppm; 245 mg/m³</p> <p>Notas: vía dérmica. Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.</p> <p>VLB: 200 mg/g creatinina en orina de ácido butoxiacético. Nota: con hidrólisis.</p>		
NOTA LEGAL		<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>
© IPCS, CE 2008		

Anexo 3. Ficha técnica propilenglicol.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

PROPILÉN GLICOL n-BUTIL ÉTER		ICSC: 1614
		Octubre 2005
1-Butoxi-2-propanol n-Butoxipropanol		
CAS:	5131-66-8	
RTECS:	UA7700000	
CE Índice Anexo I:	603-052-00-8	
CE / EINECS:	225-878-4	
		<chem>C12H24O2</chem> / <chem>CH3CH(OH)CH2O(CH2)3CH3</chem> Masa molecular: 132,23

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SINTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible. En caso de incendio se despiden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Por encima de 63°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 63°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	

EXPOSICIÓN			
Inhalación		Ventilación.	Aire limpio, fresco.
Piel	Enrojecimiento. Dolor.	Gaños de protección.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gaños ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. Eliminarlo a continuación con agua abundante.	Clasificación UE Símbolo: Xi R: 36/38 S: (2)
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
	Mantener en la oscuridad. Separado de oxidantes fuertes.

      
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO



Fichas Internacionales de Seguridad Química

PROPILENO GLICOL n-BUTIL ÉTER		ICSC: 1614
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido de color claro a incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia probablemente pueda formar peróxidos explosivos. Reacciona con oxidantes fuertes.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV no establecido. MAK no establecido.</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: No puede indicarse la velocidad a la que se alcanza una concentración nociva en el aire por evaporación de esta sustancia a 20 °C.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La sustancia irrita los ojos y la piel.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 171 °C Punto de fusión: inferior a -75 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,879 a 25 °C Solubilidad en agua, g/100 ml a 6 °C: moderada Presión de vapor, kPa a 25 °C: 0,187 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,55</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,007 Punto de inflamación: 63 °C c.c. Temperatura de autoignición: 290 °C Límite de explosividad, % en volumen en el aire: 1,1 a 60 °C - 8,4 a 140 °C Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1,15 (calculado) Viscosidad, mm²/s a 25 °C: 2,9</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>Antes de la destilación comprobar si existen peróxidos; en caso positivo eliminarlos. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en febrero de 2009; ver Propiedades físicas.</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Nota legal	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2006		



Anexo 4. Ficha técnica glicerol o glicerina.

Fichas Internacionales de Seguridad Química

GLICEROL		ICSC: 0624 Abril 2006
Glicerina 1,2,3-Propanotriol 1,2,3-Trihidroxipropano		
CAS:	56-81-5	$C_3H_8O_3$ / $CH_2OH-CHOH-CH_2OH$
RTECS:	MA8050000	Masa molecular: 92,1
CE / EINECS:	200-289-5	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas.	Agua pulverizada. Espuma resistente al alcohol. Polvo. Dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

EXPOSICIÓN			
Inhalación		Ventilación.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Gaútes protectores.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos		Gaútes ajustados de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Diarrea.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes tapados. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Código NFPA: H1; F1; R0;	Separado de oxidantes fuertes.

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2006

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO



Fichas Internacionales de Seguridad Química

GLICEROL		ICSC: 0624
DATOS IMPORTANTES		
ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido viscoso, higroscópico e incoloro.		RIESGO DE INHALACIÓN: La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire por pulverización.
PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia se descompone al calentarla intensamente, produciendo humos corrosivos de acroleína. Reacciona con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión.		
LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: niebla 10 mg/m ³ como TWA; (ACGIH 2005). MAK: 50 mg/m ³ (fracción inhalable); Categoría de limitación de pico: I(2); Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2006).		
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de ebullición: 290°C Punto de fusión: 18°C Densidad relativa (agua = 1): 1,26 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, Pa a 25°C: 0,01 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3,2		Punto de inflamación: 176°C c.c. Temperatura de autoignición: 393°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2,6 - 11,3 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -1,76
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en agosto de 2007: ver Límites de exposición.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: niebla 10 mg/m ³		
Nota legal	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2006		



Anexo 5. Ficha técnica tamiz molecular.

Molecular sieves - continued																					
Temperature	Molecular sieves absorb H ₂ O whilst essentially maintaining their capacity at temperatures where both aluminium oxide and silica gel begin to release water. Between 0 and 150°C, the capacity decreases gradually from 23 to 7 % with a residual water content of 10 mg H ₂ O/l.																				
Residual water content in air	Min. 0.0001 mg H ₂ O/l at 25°C. The less loaded a molecular sieve is the more intensively it dries. The supplied original packed molecular sieve contains approx. 1 – 2 % water. This tends not to interfere with the drying process. However, if the requirements of the drying process are high, the substance must be activated as described under «regeneration».																				
Typical values for molecular sieve 0.4 nm	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Loading [g H₂O / 100 g molecular sieve]</th> <th>Residual water content [mg H₂O/l]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0.0001</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0.001</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0.5</td> </tr> </tbody> </table>	Loading [g H ₂ O / 100 g molecular sieve]	Residual water content [mg H ₂ O/l]	1	0.0001	3	0.001	6	0.01	15	0.1	20	0.5								
Loading [g H ₂ O / 100 g molecular sieve]	Residual water content [mg H ₂ O/l]																				
1	0.0001																				
3	0.001																				
6	0.01																				
15	0.1																				
20	0.5																				
Capacity	15 – 24 % at 25°C. If low residual water content is to be attained, the capacity can only be partially utilized (see table above): At a desired residual water content of 0.01 mg H ₂ O/l, the loading may not exceed 6 g H ₂ O / 100 g molecular sieve.																				
Indicator	The indicator (brown gel) changes from brown to yellowish at a H ₂ O uptake of approximately 7 – 10 g / 100 g molecular sieve.																				
Regeneration	This can be carried out as often as required; the max. regeneration temperature is 450°C. Molecular sieves can be dried in a drying oven above 250°C to a water content of 2 – 3 g / 100 g. The remaining water can be removed at 300 – 350°C using a vacuum oil pump (10-1-10-3 mbar), whereby, as is usual, a cold trap containing carbon dioxide coolant or liquid air should be connected. Water pumps, due to their high partial water vapor pressure, are completely unsuitable for this purpose. For safety reasons, molecular sieves that have been used to dry solvents should be freed from possible solvent by mixing with water prior to regeneration. Molecular sieves with moisture indicator should not be heated above 150°C.																				
Chemical and physical properties	<p>Molecular sieves are crystalline, synthetic zeolites. Their crystal gratings are similar to a cage with numerous hollow spaces. The cavities are accessible from all sides by pores of exactly defined dimensions: depending on the type of molecular sieve, these can be 0.3, 0.4, 0.5 or 1.0 nm in diameter. If, due to heating, the water in the hollow spaces is removed, the material becomes an extremely active adsorbent. However, only those molecules are adsorbed that are small enough to pass through the pores (sieve effect).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Pore diameter</th> <th>Type</th> <th>Composition</th> <th>Structure</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.3 nm</td> <td>3A</td> <td>Potassium sodium aluminium silicate</td> <td>Zeolite</td> </tr> <tr> <td>0.4 nm</td> <td>4A</td> <td>Sodium aluminium silicate</td> <td>Zeolite</td> </tr> <tr> <td>0.5 nm</td> <td>5A</td> <td>Sodium and calcium aluminium silicate</td> <td>Zeolite</td> </tr> <tr> <td>1.0 nm</td> <td>13A/X</td> <td>Sodium aluminium silicate</td> <td>Zeolite</td> </tr> </tbody> </table>	Pore diameter	Type	Composition	Structure	0.3 nm	3A	Potassium sodium aluminium silicate	Zeolite	0.4 nm	4A	Sodium aluminium silicate	Zeolite	0.5 nm	5A	Sodium and calcium aluminium silicate	Zeolite	1.0 nm	13A/X	Sodium aluminium silicate	Zeolite
Pore diameter	Type	Composition	Structure																		
0.3 nm	3A	Potassium sodium aluminium silicate	Zeolite																		
0.4 nm	4A	Sodium aluminium silicate	Zeolite																		
0.5 nm	5A	Sodium and calcium aluminium silicate	Zeolite																		
1.0 nm	13A/X	Sodium aluminium silicate	Zeolite																		
Physical properties	<p>The molecular sieve crystallites obtained by hydrothermal manufacture are formed into rods and beads using 1 – 2 % clay as a binding agent. Vibration caused by transport may bring about some abrasion which collects in the first fraction during dynamic drying.</p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Bulk density</td> <td>0.75 kg/l</td> </tr> <tr> <td>Surface (BET)</td> <td>800 m²/g</td> </tr> <tr> <td>Form supplied</td> <td>Powder, beads (~ 2 mm), rods (~ 1.6 mm, ~ 3.2 mm)</td> </tr> <tr> <td>Effective pore diameter depending on type</td> <td>0.3, 0.4, 0.5 or 1.0 nm</td> </tr> <tr> <td>Hollow space volume</td> <td>0.3 cm³/g</td> </tr> <tr> <td>Specific heat</td> <td>>0.8 KJ/kg</td> </tr> <tr> <td>Heat of absorption per kg adsorbed water</td> <td>4,200 KJ</td> </tr> </tbody> </table>	Bulk density	0.75 kg/l	Surface (BET)	800 m ² /g	Form supplied	Powder, beads (~ 2 mm), rods (~ 1.6 mm, ~ 3.2 mm)	Effective pore diameter depending on type	0.3, 0.4, 0.5 or 1.0 nm	Hollow space volume	0.3 cm ³ /g	Specific heat	>0.8 KJ/kg	Heat of absorption per kg adsorbed water	4,200 KJ						
Bulk density	0.75 kg/l																				
Surface (BET)	800 m ² /g																				
Form supplied	Powder, beads (~ 2 mm), rods (~ 1.6 mm, ~ 3.2 mm)																				
Effective pore diameter depending on type	0.3, 0.4, 0.5 or 1.0 nm																				
Hollow space volume	0.3 cm ³ /g																				
Specific heat	>0.8 KJ/kg																				
Heat of absorption per kg adsorbed water	4,200 KJ																				



Datos índices de refracción vs concentración del etanol.

Anexo 6. Índices de refracción vs concentración del etanol.

Ethanol Concentration vs. refractive index (20°C)	
% by wt.	nD
0,00	1,3330
0,50	1,3333
1,00	1,3336
1,50	1,3339
2,00	1,3342
2,50	1,3345
3,00	1,3348
3,50	1,3351
4,00	1,3354
4,50	1,3357
5,00	1,3360
5,50	1,3364
6,00	1,3367
6,60	1,3370
7,00	1,3374
7,50	1,3377
8,00	1,3381
8,50	1,3384
9,00	1,3388
9,50	1,3392
10,00	1,3395
11,00	1,3403
12,00	1,3410
13,00	1,3417
14,00	1,3425
15,00	1,3432
16,00	1,3440
17,00	1,3447
18,00	1,3455
19,00	1,3462
20,00	1,3469
22,00	1,3484
24,00	1,3498
26,00	1,3511



28,00	1,3524
30,00	1,3535
32,00	1,3546
34,00	1,3557
36,00	1,3566
38,00	1,3575
40,00	1,3583
42,00	1,3590
44,00	1,3598
46,00	1,3604
48,00	1,3610
50,00	1,3616
52,00	1,3621
54,00	1,3626
56,00	1,3630
58,00	1,3634
60,00	1,3638
62,00	1,3641
64,00	1,3644
66,00	1,3647
68,00	1,3650
70,00	1,3652
72,00	1,3654
74,00	1,3655
76,00	1,3657
78,00	1,3657
80,00	1,3658
82,00	1,3657
84,00	1,3656
86,00	1,3655
88,00	1,3653
90,00	1,3650
92,00	1,3646
94,00	1,3642
96,00	1,3636
98,00	1,3630
100,00	1,3614

Fuente METTLER TOLEDO.



SAFETY DATA SHEET

according to Regulation (EC) No. 1907/2006

Catalogue No. 107017
Product name Ethanol absolute for analysis EMPARTA® ACS

Upper explosion limit	27,7 %(V)
Vapour pressure	59 hPa at 20 °C
Relative vapour density	1,6
Density	0,790 - 0,793 g/cm ³ at 20 °C
Relative density	No information available.
Water solubility	at 20 °C completely miscible
Partition coefficient: n-octanol/water	log Pow: -0,31 (experimental) (Lit.) Bioaccumulation is not expected.
Auto-ignition temperature	No information available.
Decomposition temperature	Distillable in an undecomposed state at normal pressure.
Viscosity, dynamic	1,2 mPa.s at 20 °C
Explosive properties	Not classified as explosive.
Oxidizing properties	none

Fuente: laboratorios MERCK.



TABLE A-3 Physical Properties of Ordinary Water and Common Liquids (SI Units)

Liquid	Temp T ($^{\circ}\text{C}$)	Density ρ (kg/m^3)	Specific gravity S	Absolute viscosity μ (N s/m^2)	Kinematic viscosity ν (m^2/s)	Surface tension σ (N/m)	Isothermal bulk modulus of elasticity E_v (N/m^2)	Coefficient of thermal expansion α_T (K^{-1})
Water	0	1000	1.000	1.79 E-3	1.79 E-6	7.56 E-2	1.99 E9	6.80 E-5
	3.98	1000	1.000	1.57	1.57	—	—	—
	10	1000	1.000	1.31	1.31	7.42	2.12	8.80
	20	998	0.998	1.00	1.00	7.28	2.21	2.07 E-4
	30	996	0.996	7.98 E-4	7.12	2.26	2.94	—
	40	992	0.992	6.53	6.58	6.96	2.29	3.85
	50	988	0.988	5.47	5.48	6.79	2.29	4.58
	60	983	0.983	4.67	4.75	6.62	2.28	5.23
	70	978	0.978	4.04	4.13	6.64	2.24	5.84
	80	972	0.972	3.55	3.65	6.26	2.20	6.41
Mercury	0	13600	13.60	1.68 E-3	1.24 E-7	—	2.50 E10	—
	4	13590	13.59	—	—	—	—	—
	20	13550	13.55	1.55	1.14	37.5	2.50 E10	1.82 E-4
	40	13500	13.50	1.45	1.07	—	—	1.82
	60	13450	13.45	1.37	1.02	—	—	1.82
	80	13400	13.40	1.30	9.70 E-8	—	—	1.82
	100	13350	13.35	1.24	9.29	—	—	—
Ethylene glycol	0	—	—	5.70 E-2	—	—	—	—
	20	1110	1.11	1.99	1.79 E-5	—	—	—
	40	1110	1.10	9.13 E-3	8.30 E-6	—	—	—
	60	1090	1.09	4.95	4.54	—	—	—
	80	1070	1.07	3.02	2.82	—	—	—
Methyl alcohol (methanol)	0	810	0.810	8.17 E-4	1.01 E-6	2.45 E-2	9.35 E8	—
	10	801	0.801	—	—	2.26	8.78	—
	20	792	0.792	5.84	7.37 E-7	—	8.23	—
	30	783	0.783	5.10	6.51	—	7.72	—
	40	774	0.774	4.50	5.81	—	7.23	—
	50	765	0.765	3.96	5.18	—	6.78	—
Ethyl alcohol (ethanol)	0	806	0.806	1.77 E-3	2.20 E-6	2.41 E-2	1.02 E9	—
	20	789	0.789	1.20	1.52	—	9.02 E8	—
	40	772	0.772	8.34 E-4	1.08	—	7.89	—
Normal octane	0	718	0.718	7.06 E-7	9.83 E-7	—	1.00 E9	—
	16	—	—	5.74	—	—	—	—
	20	702	0.702	5.42	7.72	—	—	—
Benzene	25	—	—	—	—	—	8.35 E8	—
	40	686	0.686	4.33	6.31	—	7.48	—
	0	900	0.900	9.12 E-4	1.01 E-6	3.02 E-2	1.23 E9	—
	20	879	0.879	6.52	7.42 E-7	2.76	1.06	—
	40	858	0.857	5.03	5.86	—	9.10 E8	—
Kerosene	60	836	0.836	3.92	4.69	—	7.78	—
	80	815	0.815	3.29	4.04	—	6.48	—
	-18	841	0.841	7.06 E-3	8.40 E-6	—	—	—
	20	814	0.814	1.9	2.37	2.9 E-2	—	—

Fuente: (González, 2012)



Anexo 9 Valores críticos del coeficiente de correlación de Pearson

TABLA A-6		Valores críticos del coeficiente de correlación de Pearson r	
n	$\alpha = .05$	$\alpha = .01$	
4	.950	.999	
5	.878	.959	
6	.811	.917	
7	.754	.875	
8	.707	.834	
9	.666	.798	
10	.632	.765	
11	.602	.735	
12	.576	.708	
13	.553	.684	
14	.532	.661	
15	.514	.641	
16	.497	.623	
17	.482	.606	
18	.468	.590	
19	.456	.575	
20	.444	.561	
25	.396	.505	
30	.361	.463	
35	.335	.430	
40	.312	.402	
45	.294	.378	
50	.279	.361	
60	.254	.330	
70	.236	.305	
80	.220	.286	
90	.207	.269	
100	.196	.256	

NOTA: Para probar $H_0: \rho = 0$ contra $H_1: \rho \neq 0$, rechace H_0 si el valor absoluto de r es mayor que el valor crítico en la tabla.

Fuente (Triola, 2009)



Anexo 10– datos muestra patrón 1

Area % Report

Data File: E:\ChromQuest\Enterprise\Projects\Default\Data\Bioetanol\Alcohol 99 6 segundo.dat
 Method: E:\ChromQuest\Enterprise\Projects\Default\Method\Alcohol\Alcohol corrida corta.met
 Acquired: 4/24/2018 11:46:16 AM
 Printed: 5/3/2018 5:40:32 PM

TRACE GC-FID
 Results (System
 (4/27/2018
 11:36:09 AM)
 (Reprocessed))

Anexo 10 Datos obtenidos por cromatografía del etanol patrón 1

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.085	12144	0.00	3410	0.00
0.148	12314	0.00	4874	0.00
0.197	52158	0.00	3022	0.00
0.878	21015	0.00	3043	0.00
0.990	11844	0.00	4970	0.00
1.187	61475	0.00	35504	0.02
1.243	1432571216	94.14	140669314	79.00
1.512	1982714	0.13	1478613	0.83
1.878	20301	0.00	24374	0.01
1.962	35868	0.00	17894	0.01
2.032	52371	0.00	6048	0.00
2.277	117208	0.01	139964	0.08
2.350	18594	0.00	9482	0.01
2.545	11599	0.00	5122	0.00
2.932	34492	0.00	27281	0.02
3.018	24033	0.00	11697	0.01
3.282	256269	0.02	201703	0.11
3.478	22039	0.00	7700	0.00
3.572	13656	0.00	4090	0.00
3.630	47486	0.00	12607	0.01
3.755	14458	0.00	5014	0.00
3.975	34398	0.00	5808	0.00
4.043	17679	0.00	7834	0.00
4.093	29500	0.00	15829	0.01
4.273	34056	0.00	13321	0.01
4.422	15071	0.00	3736	0.00
4.535	36879	0.00	7839	0.00
4.802	90364	0.01	14858	0.01
4.858	54764	0.00	18995	0.01
5.085	130593	0.01	29671	0.02
5.168	148627	0.01	27393	0.02
5.295	176806	0.01	31044	0.02
5.383	138034	0.01	32248	0.02
5.550	396639	0.03	36953	0.02
5.758	419465	0.03	71129	0.04
5.812	215466	0.01	115051	0.06
6.002	348393	0.02	57167	0.03
6.152	769787	0.05	134820	0.08



6.202	810766	0.05	138667	0.08
6.398	1315545	0.09	131192	0.07
6.523	430516	0.03	83046	0.05
6.620	261806	0.02	115766	0.07
6.670	126072	0.01	36414	0.02
6.805	240337	0.02	46241	0.03
6.845	139270	0.01	42895	0.02
6.973	623892	0.04	105253	0.06
7.052	372319	0.02	64224	0.04
7.167	1565680	0.10	1458404	0.82
7.233	788856	0.05	231354	0.13
7.410	429414	0.03	105922	0.06
7.700	67265944	4.42	30052383	16.88
7.843	683252	0.04	103047	0.06
8.068	454149	0.03	159245	0.09
8.130	533251	0.04	114844	0.06
8.248	158541	0.01	52628	0.03
8.322	765569	0.05	395297	0.22
8.378	472871	0.03	96794	0.05
8.583	300252	0.02	82255	0.05
8.640	235692	0.02	71262	0.04
8.718	133701	0.01	34992	0.02
8.893	410695	0.03	110933	0.06
8.985	661354	0.04	275022	0.15
9.108	199413	0.01	40358	0.02
9.238	98566	0.01	23064	0.01
9.350	268949	0.02	57149	0.03
9.422	177915	0.01	43391	0.02
9.523	89146	0.01	25063	0.01
9.637	250321	0.02	47546	0.03
9.732	147185	0.01	26009	0.01
9.910	268402	0.02	39295	0.02
10.003	180089	0.01	25641	0.01
10.092	120069	0.01	23445	0.01
10.192	100563	0.01	23820	0.01
10.432	455887	0.03	57664	0.03
10.598	471539	0.03	67519	0.04
10.847	267708	0.02	27079	0.02
11.030	162978	0.01	18796	0.01
11.147	82518	0.01	17073	0.01
11.300	288875	0.02	24240	0.01
11.490	64265	0.00	16776	0.01
11.735	297155	0.02	31172	0.02
11.842	136422	0.01	14096	0.01
12.102	21456	0.00	4607	0.00
12.313	24772	0.00	3629	0.00

Totals	1521803712	100.00	178064934	100.00
--------	------------	--------	-----------	--------

Fuente: Laboratorio de cromatografía de Universidad Politécnica Salesiana.

Autor: Dra. Inés Patricia Malo Cevallos



Anexo 11 – datos muestra patrón 2

Area % Report

Data File: E:\ChromQuest\Enterprise\Projects\Default\Data\Bioetanol\Alcohol 99 6 tercero.dat
 Method: E:\ChromQuest\Enterprise\Projects\Default\Method\Alcohol\Alcohol corrida corta.met
 Acquired: 4/24/2018 1:53:12 PM
 Printed: 5/3/2018 5:41:08 PM

TRACE GC-FID
 Results (System
 (4/24/2018 2:05:52
 PM) (Original))

Anexo 11 Datos obtenidos por cromatografía del etanol patrón 2

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.072	2838	0.00	2271	0.00
0.180	1443	0.00	1012	0.00
0.243	1204	0.00	2411	0.00
0.535	5566	0.00	2040	0.00
0.598	9284	0.00	2066	0.00
0.717	7211	0.00	2651	0.00
0.943	2445	0.00	2468	0.00
1.257	1473219664	89.62	140712593	77.71
1.517	6736741	0.41	1788260	0.99
1.882	658623	0.04	206748	0.11
1.962	931729	0.06	179919	0.10
2.035	2132643	0.13	161888	0.09
2.280	596049	0.04	284184	0.16
2.355	3268523	0.20	125691	0.07
2.932	370533	0.02	89966	0.05
3.023	453602	0.03	71262	0.04
3.180	376400	0.02	62318	0.03
3.282	957312	0.06	256012	0.14
3.467	225847	0.01	56292	0.03
3.648	859798	0.05	65017	0.04
3.755	209653	0.01	55245	0.03
4.092	1096363	0.07	74417	0.04
4.245	636095	0.04	72257	0.04
4.522	1176369	0.07	72544	0.04
4.773	955604	0.06	73292	0.04
4.848	520144	0.03	75339	0.04
5.077	725433	0.04	82836	0.05
5.143	249123	0.02	74473	0.04
5.268	603423	0.04	78678	0.04
5.348	400880	0.02	78299	0.04
5.528	801542	0.05	90286	0.05



5.788	2612242	0.16	267793	0.15
5.875	593467	0.04	197386	0.11
6.057	2185983	0.13	218050	0.12
6.110	536762	0.03	208474	0.12
6.158	602512	0.04	209394	0.12
6.193	1185330	0.07	199461	0.11
6.352	2358240	0.14	245775	0.14
6.563	746631	0.05	158702	0.09
6.885	3356060	0.20	188403	0.10
7.095	1902290	0.12	1697833	0.94
7.152	1556151	0.09	360122	0.20
7.327	666366	0.04	156955	0.09
7.573	112657140	6.85	28817440	15.92
7.745	942290	0.06	135047	0.07
7.898	313169	0.02	90866	0.05
8.012	1509347	0.09	230556	0.13
8.205	1209052	0.07	621726	0.34
8.260	750787	0.05	158578	0.09
8.462	619994	0.04	129308	0.07
8.520	395319	0.02	120676	0.07
8.578	342280	0.02	67243	0.04
8.763	806355	0.05	201094	0.11
8.862	1191874	0.07	480432	0.27
8.978	354854	0.02	71077	0.04
9.102	289570	0.02	46304	0.03
9.202	489808	0.03	117700	0.07
9.283	338736	0.02	64479	0.04
9.383	121004	0.01	44605	0.02
9.492	420336	0.03	68201	0.04
9.597	267654	0.02	47920	0.03
9.763	493322	0.03	70074	0.04
9.843	317882	0.02	47504	0.03
9.947	527648	0.03	42166	0.02
10.192	93990	0.01	33172	0.02
10.280	456329	0.03	90093	0.05
10.453	575011	0.03	80608	0.04
10.687	412209	0.03	39069	0.02
10.890	259366	0.02	28706	0.02
11.108	436347	0.03	40996	0.02
11.567	555905	0.03	37717	0.02
11.710	146684	0.01	13070	0.01
11.952	42711	0.00	7960	0.00
12.198	82318	0.01	7524	0.00
12.328	3334	0.00	2813	0.00

Totals	1643916743	100.00	181065807	100.00
--------	------------	--------	-----------	--------

Fuente: Laboratorio de cromatografía de Universidad Politécnica Salesiana.

Autor: Dra. Inés Patricia Malo Cevallos

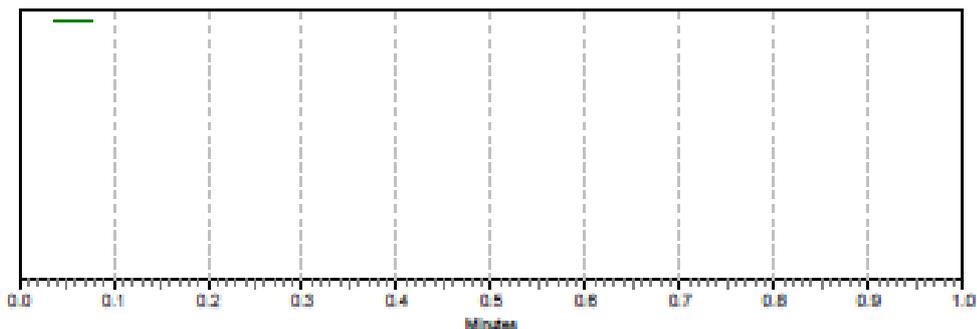


Anexo 12 – datos muestra 1

Anexo 12 Datos obtenidos por cromatografía de muestra 1 proveniente del tratamiento con glicerina

Area % Report

Data File: E:\ChromQuest\Enterprise\Projects\Default\Data\Bioetanol\Servicio 1.dat
 Method: E:\ChromQuest\Enterprise\Projects\Default\Method\Alcohol\Alcohol corrida corta.met
 Acquired: 4/20/2018 6:37:38 PM
 Printed: 3/3/2018 3:41:47 PM



TRACE GC-FID

Results (System
 (4/20/2018 6:50:37
 PM) (Original))

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.187	2695	0.00	2682	0.00
0.433	47347	0.00	4301	0.00
0.542	22414	0.00	4440	0.00
0.720	12099	0.00	3127	0.00
0.868	6375	0.00	2142	0.00
0.955	8989	0.00	4796	0.00
1.187	6970612	0.33	2847420	0.81
1.245	1453819656	69.21	140835899	40.20
1.640	13106708	0.62	14658114	4.18
1.773	1005771	0.05	251518	0.07
1.838	732282	0.03	212453	0.06
1.878	526485	0.03	236343	0.07
1.960	98492637	4.69	52984195	15.12
2.075	6715095	0.32	7292690	2.08
2.170	443325	0.02	178755	0.05
2.280	7491513	0.36	8541956	2.44
2.368	686354	0.03	157224	0.04
2.467	5924970	0.28	6649343	1.90
2.555	510489	0.02	159071	0.05
2.705	2374918	0.11	1762501	0.50
2.778	851901	0.04	240105	0.07
2.947	8216506	0.39	5809184	1.66
3.148	438467111	20.87	74271606	21.20
3.410	391047	0.02	100078	0.03
3.487	380680	0.02	103815	0.03
3.545	486176	0.02	242773	0.07
3.630	170030	0.01	76198	0.02
3.707	197038	0.01	59815	0.02
3.793	162554	0.01	54672	0.02
3.905	1502524	0.07	1672644	0.48
4.032	600019	0.03	233791	0.07



4.107	416112	0.02	201966	0.06
4.280	575427	0.03	256460	0.07
4.392	61525	0.00	26872	0.01
4.513	206987	0.01	46363	0.01
4.630	212998	0.01	78990	0.02
4.763	217689	0.01	50664	0.01
4.812	191336	0.01	137222	0.04
4.858	267914	0.01	149349	0.04
4.987	228311	0.01	89278	0.03
5.075	128161	0.01	93886	0.03
5.232	45777	0.00	15513	0.00
5.272	39950	0.00	23793	0.01
5.375	131152	0.01	60333	0.02
5.523	46244	0.00	16503	0.00
5.657	99954	0.00	45755	0.01
5.803	398706	0.02	259110	0.07
5.925	20871	0.00	11880	0.00
5.992	34616	0.00	20214	0.01
6.048	46717	0.00	17051	0.00
6.100	26853	0.00	15849	0.00
6.215	238839	0.01	64816	0.02
6.432	414298	0.02	78827	0.02
6.607	382737	0.02	229566	0.07
6.703	112113	0.01	23931	0.01
6.815	125997	0.01	28662	0.01
6.875	105511	0.01	29335	0.01
6.930	77949	0.00	54309	0.02
6.988	156012	0.01	82489	0.02
7.095	193975	0.01	37631	0.01
7.150	113288	0.01	43385	0.01
7.277	297378	0.01	54332	0.02
7.388	336872	0.02	96753	0.03
7.690	37349986	1.78	27075419	7.73
7.998	409272	0.02	74576	0.02
8.142	512987	0.02	62962	0.02
8.293	401675	0.02	153841	0.04
8.355	426445	0.02	58807	0.02
8.560	277426	0.01	51377	0.01
8.608	172351	0.01	45680	0.01
8.743	246704	0.01	41071	0.01
8.795	118062	0.01	41319	0.01
8.857	203409	0.01	56595	0.02
8.953	359618	0.02	86660	0.02
9.077	202663	0.01	34541	0.01
9.212	300671	0.01	31832	0.01
9.380	303969	0.01	44850	0.01
9.482	130537	0.01	37694	0.01
9.543	237578	0.01	41839	0.01
9.695	148356	0.01	27849	0.01
9.847	362536	0.02	29718	0.01
10.005	122900	0.01	23499	0.01
10.165	241507	0.01	22833	0.01
10.390	254067	0.01	30608	0.01
10.490	132322	0.01	23059	0.01
10.598	154611	0.01	20124	0.01
10.828	235396	0.01	19317	0.01
11.010	114261	0.01	14888	0.00



11.168	91150	0.00	14429	0.00
11.340	205414	0.01	16633	0.00
11.613	254687	0.01	15980	0.00
11.812	60013	0.00	9689	0.00
12.043	93761	0.00	9616	0.00
12.128	26350	0.00	7121	0.00
12.275	76966	0.00	11672	0.00

Totals:	2100506439	100.00	350331036	100.00
----------------	-------------------	---------------	------------------	---------------

Fuente: Laboratorio de cromatografía de Universidad Politécnica Salesiana.

Autor: Dra. Inés Patricia Malo Cevallos

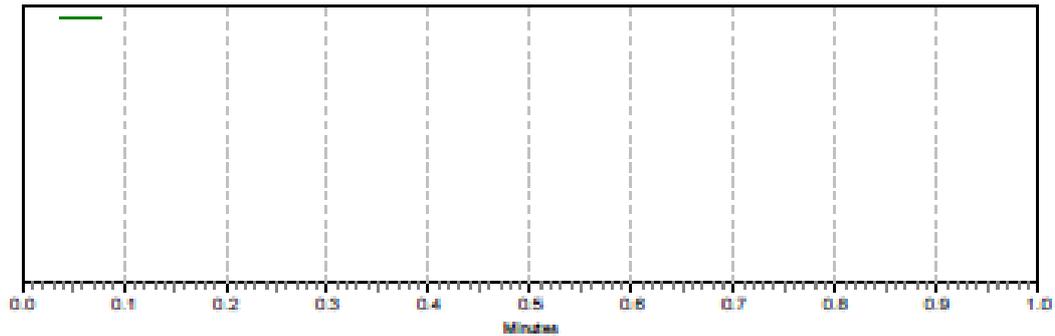


Anexo 13 – datos muestra 2

Anexo 13 Datos obtenidos por cromatografía de muestra 2 proveniente de alcohol de 96°GL

Area % Report

Data File: E:\ChromQuest\Enterprise\Projects\Default\Data\Biotanolo\Servicio 2.dat
 Method: E:\ChromQuest\Enterprise\Projects\Default\Method\Alcohol\Alcohol corrida corta.met
 Acquired: 4/24/2018 10:03:54 AM
 Printed: 5/3/2018 3:42:42 PM



TRACE GC-FID

Results (System
 4/24/2018
 10:18:35 AM)
 (Original))

Retention Time	Area	Area %	Height	Height %
0.460	1173	0.00	2553	0.00
0.563	5924	0.00	2526	0.00
0.625	11112	0.00	2723	0.00
0.805	21756	0.00	8761	0.00
0.905	5684	0.00	4174	0.00
0.962	4716	0.00	2931	0.00
1.028	6021	0.00	16452	0.01
1.243	1436418869	93.32	140498828	76.72
1.640	5835213	0.38	1512584	0.83
1.957	925027	0.06	231116	0.13
2.075	1809148	0.12	212700	0.12
2.280	376877	0.02	154519	0.08
2.353	717287	0.05	96093	0.05
2.477	203708	0.01	81093	0.04
2.562	420466	0.03	124747	0.07
2.613	657615	0.04	84337	0.05
2.765	474856	0.03	58403	0.03
2.942	516402	0.03	308367	0.17
3.000	1034309	0.07	429778	0.23
3.282	255195	0.02	38456	0.02
3.362	102828	0.01	29960	0.02
3.477	159332	0.01	31429	0.02
3.530	120355	0.01	28551	0.02
3.637	88016	0.01	27897	0.02
3.723	118516	0.01	25652	0.01
3.832	125898	0.01	22890	0.01
3.885	77049	0.01	19813	0.01
3.965	89764	0.01	19767	0.01
4.018	82094	0.01	18960	0.01
4.097	73295	0.00	15902	0.01



4.272	1102155	0.07	1178304	0.64
4.365	36284	0.00	12119	0.01
4.422	45841	0.00	12047	0.01
4.587	50280	0.00	10494	0.01
4.685	40627	0.00	8196	0.00
4.752	30335	0.00	26500	0.01
4.802	74340	0.00	10918	0.01
5.015	51129	0.00	50049	0.03
5.075	73678	0.00	17199	0.01
5.303	267355	0.02	25336	0.01
5.387	83144	0.01	26402	0.01
5.407	111814	0.01	18348	0.01
5.518	161484	0.01	23274	0.01
5.650	42612	0.00	20257	0.01
5.713	111550	0.01	23977	0.01
5.778	76150	0.00	22661	0.01
6.190	1206366	0.08	106168	0.06
6.393	851677	0.06	94739	0.05
6.525	147019	0.01	59549	0.03
6.590	228968	0.01	58438	0.03
6.788	54629	0.00	14176	0.01
6.855	50406	0.00	15007	0.01
6.975	407817	0.03	86358	0.05
7.035	227955	0.01	44779	0.02
7.155	66238	0.00	38001	0.02
7.220	790366	0.05	258614	0.14
7.375	208406	0.01	61094	0.03
7.688	76708042	4.98	35145378	19.19
8.007	159669	0.01	57685	0.03
8.118	832662	0.05	130039	0.07
8.305	738244	0.05	416361	0.23
8.360	360029	0.02	95579	0.05
8.568	272763	0.02	77610	0.04
8.622	165551	0.01	59560	0.03
8.693	84958	0.01	24124	0.01
8.873	328706	0.02	106506	0.06
8.965	651431	0.04	284460	0.16
9.093	203252	0.01	31379	0.02
9.337	146446	0.01	37867	0.02
9.393	111200	0.01	32633	0.02
9.508	63321	0.00	18112	0.01
9.572	82172	0.01	18798	0.01
9.723	42214	0.00	10832	0.01
9.888	100450	0.01	19887	0.01
9.970	38929	0.00	7326	0.00
10.110	21031	0.00	6048	0.00
10.160	23972	0.00	5713	0.00
10.255	14003	0.00	5522	0.00
10.405	164424	0.01	38799	0.02
10.603	72721	0.00	11404	0.01
10.853	78037	0.01	9833	0.01
11.012	48723	0.00	5627	0.00
11.282	87473	0.01	10676	0.01
11.462	12655	0.00	5438	0.00
11.638	120058	0.01	10745	0.01
11.830	48298	0.00	6541	0.00
12.090	11187	0.00	2474	0.00



12.338	29836	0.00	3184	0.00
Total:	1339201387	100.00	183133310	100.00

Fuente: Laboratorio de cromatografía de Universidad Politécnica Salesiana.

Autor: Dra. Inés Patricia Malo Cevallos