

EVALUACIÓN DE UN MODELO DIFUSIVO CONVECTIVO DEL
FORMALDEHIDO EN UN AMBIENTE DE TRABAJO CERRADO

MARÍA CAMILA PÉREZ MARTÍNEZ
ÁNGELA MARÍA BECERRA BAHAMÓN

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

EVALUACIÓN DE UN MODELO DIFUSIVO CONVECTIVO DEL
FORMALDEHIDO EN UN AMBIENTE DE TRABAJO CERRADO

MARÍA CAMILA PÉREZ MARTÍNEZ
ÁNGELA MARÍA BECERRA BAHAMÓN

Proyecto Integral de grado para optar por el título de
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente de Jurado
Edgar Fernando Moreno

Mauricio Calle

Juan Camilo Cely

Bogotá D.C. Marzo de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García – Peña

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 24 |
| OBJETIVOS | 26 |
| 1. GENERALIDADES | 27 |
| 1.1 FORMALDEHIDO | 27 |
| 1.2 PROPIEDADES FISICAS | 28 |
| 1.2.1 Reacciones | 31 |
| 1.2.2 Descomposición | 32 |
| 1.2.3 Polimerización | 33 |
| 1.3 OBTENCIÓN Y PRODUCCIÓN | 33 |
| 1.3.1. Proceso con catalizadores de plata | 34 |
| 1.3.2 Proceso con catalizadores de óxidos de metales | 38 |
| 1.4 USOS | 40 |
| 1.4.1 Edificación y construcción | 40 |
| 1.4.2 Aplicaciones para el cuidado de la salud | 40 |
| 1.4.3 Productos para el cuidado personal y de consumo | 40 |
| 1.4.4 Automóviles | 40 |
| 1.5 EFECTOS SOBRE LA SALUD | 41 |
| 1.5.1 Inhalación. | 42 |
| 1.5.2 Ingestión | 42 |
| 1.5.3 Piel | 42 |
| 1.5.4 Ojos | 42 |
| 1.5.5 Exposición Crónica | 43 |
| 1.6 NIVELES PERMISIBLES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL | 43 |
| 1.7 RESPUESTA A ACCIDENTES | 45 |
| 1.8 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL | 48 |
| 1.9 CONDICIONES PARA MANEJO Y ALMACENAMIENTO SEGURO, ORIENTADAS A DISMINUIR EL RIESGO A LA SALUD HUMANA | 49 |
| 1.10 USOS Y CONTROLES | 49 |
| 1.11 COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE | 52 |
| 1.12 LEGISLACIÓN Y SALUD OCUPACIONAL EN EL MUNDO | 54 |
| 1.12.1 Legislación Latinoamericana. | 55 |
| 1.12.2 Legislación y Salud Ocupacional en Colombia | 56 |
| 2. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE DIFUSIVIDAD | 59 |
| 2.1 DIFUSIVIDAD | 60 |
| 2.1.1 Cálculo del coeficiente de difusividad | 60 |
| 2.1.2 Teoría cinética de Chapman-Enskog | 61 |
| 2.1.3 Teoría cinética modificada por Brokaw para gases polares. | 65 |

| | |
|--|-----|
| 2.1.4 Método de Wilke Lee 1966 | 69 |
| 2.1.5 Método de Fuller | 72 |
| 2.2 SISTEMA FORMALDEHIDO-AIRE | 75 |
| 2.2.1 Resultados para el Sistema Formaldehido-Aire | 76 |
| 2.3 DETERMINACION DE LA PRESION DE VAPOR | 78 |
| 2.3.1 Ecuación de Antoine modificada | 79 |
| 3. DETERMINACIÓN DE MODELOS DE DIFUSIÓN | 82 |
| 3.1 LEY DE FICK | 82 |
| 3.2 MODELO 1 – FENÓMENO DIFUSIVO | 83 |
| 3.3 MODELO 2 - FENÓMENO CONVECTIVO | 87 |
| 3.4 MODELO 3 – FENÓMENO DIFUSIVO CONVECTIVO | 91 |
| 4. DESARROLLO / ESPECIFICACIONES DEL SOFTWARE | 95 |
| 4.1 REQUERIMIENTOS DE LA MAQUINA | 95 |
| 4.2 IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN | 96 |
| 4.3 ARQUITECTURA DEL SOFTWARE | 96 |
| 4.3.1 Vista usuario | 102 |
| 4.3.2 Vista administrador. | 102 |
| 4.4 FUNCIONAMIENTO DEL APLICATIVO | 102 |
| 4.5 USO DEL APLICATIVO | 103 |
| 5. VALIDACIÓN DEL SOFTWARE | 111 |
| 5.1 RESULTADOS DEL SOFTWARE | 113 |
| 5.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA | 118 |
| 5.3 ANALISIS DE RESULTADOS | 121 |
| 6. CONCLUSIONES | 126 |
| 7. RECOMENDACIONES | 128 |
| BIBLIOGRAFIA | 130 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Propiedades necesarias para el cálculo del coeficiente de difusión por Brokaw de las sustancias para el caso de estudio. | 67 |
| Tabla 2. Propiedades Físicas Iniciales | 77 |
| Tabla 3. Resultados para el cálculo de difusividad del formaldehído por diferentes métodos en cm^2/s | 77 |
| Tabla 4. Resultados para el cálculo del coeficiente de difusividad del agua de diferentes métodos en cm^2/s con su respectivo porcentaje de error teniendo en cuenta su valor experimental. | 78 |
| Tabla 5. Densidad y presión de vapor para el formaldehído y el etanol a 20°C Y 1atm. | 112 |
| Tabla 6. Resultados obtenidos de la difusividad del etanol en cm^2/s con su respectivo porcentaje de error según su valor experimental. | 113 |
| Tabla 7. Valores iniciales conocidos para el sistema etanol - agua en la ciudad de Bogotá. | 114 |
| Tabla 8. Resultados de fracciones molares a 9 horas de exposición en un sistema de etanol-aire. | 119 |
| Tabla 9. Resultados del error porcentual tanto para la concentración como para la fracción molar. | 124 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|--|-------------|
| Cuadros 1. Efectos en la salud dependiendo de la concentración del formaldehído | 42 |
| Cuadros 2. Valores límites de exposición profesional por países | 44 |
| Cuadros 3. Resultados obtenidos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, para conocer la concentración de formaldehído en aire en distintos estudios ambientales | 45 |
| Cuadros 4. Valores típicos de difusividad a temperatura ambiente. | 60 |
| Cuadros 5. Algunos potenciales de Lennard Jones | 63 |
| Cuadros 6. Volumen Especial de Volumen Atómico | 73 |
| Cuadros 7. Sumatoria de Volúmenes de difusión de moléculas simples | 73 |
| Cuadros 8. Resultados obtenidos por el software para el sistema etanol-aire | 116 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|-------------|
| Figura 1. Proceso de obtención de formaldehído a partir del metanol con catalizador de plata. | 35 |
| Figura 2. Plano de la planta de producción para el formaldehído. | 39 |
| Figura 3. Coordenadas Cubicas para balance de materia en los casos de estudio. | 83 |
| Figura 4. Representación gráfica del fenómeno difusivo en una probeta del Formaldehido en Aire en una zona de trabajo cerrada. | 85 |
| Figura 5. Representación gráfica del modelo convectivo en una probeta del formaldehido en Aire en una zona de trabajo cerrada. | 88 |
| Figura 6. Representación gráfica del formaldehido en aire del fenómeno difusivo-convectivo. | 92 |
| Figura 7. Dimensiones del laboratorio o sitio a analizar. | 115 |

LISTA DE IMÁGENES

| | pág. |
|--|-------------|
| Imagen 1. Reconocimiento del icono del aplicativo. | 96 |
| Imagen 2. Ventana Login. | 104 |
| Imagen 3. Ventana selección de sustancias | 105 |
| Imagen 4. Solicitud de parámetros Presión y Temperatura. | 106 |
| Imagen 5. Solicitud de parámetros de dimensiones. | 107 |
| Imagen 6. Pantalla presentación de Matriz de resultados. | 108 |
| Imagen 7. Ventana selección de modelos. | 109 |
| Imagen 8. Ventana selección de relación a graficar | 109 |
| Imagen 9. Ventana prototipo de grafico | 110 |
| Imagen 10. Probeta con contenido de etanol al 98%. | 118 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | pág. |
|--|-------------|
| Grafica 1. Distribución de los Oligómeros de metilenglicol, HO(CH ₂ O) _{nH} , en solución acuosa 40% en peso de CH ₂ O a 35°C | 30 |
| Grafica 2. Concentración de etanol (C) en aire con respecto al tiempo. | 117 |
| Grafica 3. Fracción molar de etanol (Y _A) en aire con respecto al tiempo. | 117 |
| Grafica 4. Concentración de etanol transferido al aire con respecto al tiempo. | 120 |
| Grafica 5. Fracción molar de etanol transferido al aire con respecto al tiempo. | 120 |
| Grafica 6. Concentración de etanol (C) en aire con respecto al tiempo. | 121 |
| Grafica 7. Fracción molar de etanol (Y _A) en aire con respecto al tiempo. | 122 |
| Grafica 8. Comparación resultados de software y resultados experimentales de la concentración versus el tiempo en un tiempo máximo de 9 horas. | 123 |
| Grafica 9. Comparación resultados de software y resultados experimentales de la fracción molar versus el tiempo en un tiempo máximo de 9 horas. | 123 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|-------------|
| Anexo A. Manual de Usuario | 133 |
| Anexo B. Ficha de datos de Seguridad de Formaldehído | 148 |
| Anexo C. Ficha de datos de Seguridad de Etanol | 147 |

LISTA DE ABREVIATURAS

ppb: Partes por billón.

ppm: Partes por millón.

mg/m³: miligramo por metro cúbico

mg/día: miligramo por día.

cm²/s: centímetro cuadrado por segundo

atm: atmosferas

g/mol: gramo por mol

cm³/mol: centímetro cúbico por mol

Å: angstrom

K: Kelvin

°C: Grados Celsius.

D_{AB}: Difusividad de A en B.

σ: Diámetro de colisión.

ε/k: Energía característica / constante de Boltzman

T: Temperatura

T_b: Temperatura de ebullición.

P_T: Presión total del Sistema.

M: Masa molecular

V_b: Volumen molar.

M_{AB}: Masa molecular combinada (sustancias a y b).

T*: Temperatura adimensional.

Ω_D: Integral de colisión

μ_p: Momento dipolar.

Ω_D*: Integral de colisión empírica

Σ_v: Sumatoria de incrementos de difusión volumen atómico

N_A: Flujo molar de la sustancia A.

C_A: Concentración de A.

N_B: Flujo molar de B.

Y_A: Fracción molar de A.

F_g : Coeficiente de transferencia de masa global
 Re : Número de Reynolds
 J_D : factor de transferencia de masa Colburn
 Sc : Numero de Smith
 St_d : Número de Stanton.
 Sh : Número de Sherwood.
 Φ : función que depende de X .
 λ : Función que depende de Z .
 H : Altura total del recipiente
 Z_1 : Altura del líquido en el recipiente.
 Z_2 : Altura del aire presente dentro del recipiente.
 V_1 : Volumen inicial.
 V_2 : Volumen final.
 C_{A0} : Concentración inicial de A.
 PM_{promedio} : Masa molecular promedio.
 M_1 : masa transferida dividida en 100.
 $N_{t \text{ aire}}$: Moles totales de aire.
 Y_{max} : Fracción molar máxima.
 A_t : Área transversal.
 ρ_L : Densidad del líquido.
 V_x : Velocidad del aire en dirección en x .
 $V_{\text{habitación}}$: Volumen de la habitación.
kJ: kilojulio
kcal/mol: kilocalorías por mol

GLOSARIO

ACGIH: es la organización profesional que participa en programas de seguridad y salud encargados de publicar, desarrollar y recomendar los límites de exposición profesional, para las sustancias químicas y agentes físicos, basados exclusivamente en criterios científicos de protección de la salud. Sus siglas tienen como significado American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

ANTIINFECCIOSOS: es una sustancia química que tiene la capacidad de eliminar agentes infecciosos o microorganismos, que se clasifican en; antibacterianos, antifúngicos, antivíricos y antiparasitarios.

CALOR DE COMBUSTIÓN: es la cantidad de energía que el elemento másico puede desprender al producir una reacción química de oxidación. Donde los reactivos que son el combustible y el comburente, al estar a temperatura y presión ideales para la combustión se transforman en productos, también puede expresarse como el calor liberado cuando se quema una sustancia.

CANCERÍGENO: son sustancias que poseen la capacidad de afectar tejidos vivos con el objetivo de producir cáncer. Existen tres tipos de carcinógenos. Por un lado, están los de origen físico, como las radiaciones ultravioletas; también están los químicos, como el arsénico, el asbesto o algunos compuestos del tabaco y finalmente los biológicos, como infecciones causadas por virus o parásitos.

IARC: es la entidad que se encarga de catalogar las sustancias cancerígenas de acuerdo a la relación directa que tienen con ciertas sustancias químicas y la incidencia con el cáncer. Lo que se hace es comprobar, por medio de la revisión de estudios científicos, la evidencia que demuestra que algún agente es sospechoso o no, de producir cáncer y lo ubican en cinco categorías específicas. Sus siglas en inglés significan International Agency for Research on Cancer.

COMPUESTOS CARBONILICOS: es un conjunto de compuestos que poseen un grupo funcional en su estructura, consiste en la unión de un doble enlace entre carbono y oxígeno ($H-C=O$).

Dicho grupo, tiene un alto grado de reactividad, debido a la diferencia de electronegatividad entre los átomos, lo que lo hace que se genere una densidad de carga positiva en el Carbono, y negativa en el Oxígeno por ser más electronegativo, algunos compuestos carbonilicos son los Aldehídos, cetonas, ácidos y sus derivados como; ésteres, amidas, cloruros de ácido, anhídridos.

CONCENTRACIÓN: es la magnitud que constituye la proporción que existe entre un determinado soluto con respecto al disolvente en una solución. Esto quiere decir que cuando la proporción de soluto sea mayor que la del disolvente mayor será la concentración de la solución.

CONDICIONES DE FRONTERA: en ecuaciones diferenciales ordinarias o en ecuaciones diferenciales parciales son valores específicos que se imponen a la solución de una ecuación diferencial que toma de la frontera del dominio y de la derivada normal a la frontera. Desde la teoría de ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden, es la solución particular que especifica el valor de la función y el valor de la derivada tomando valores iniciales o puntos de frontera.

CONTRIBUCIÓN DE GRUPOS: es una herramienta fundamental en cursos avanzados de Termodinámica y física de fluidos para la estimación de propiedades de sustancias.

CONVECCIÓN: es aquel fenómeno de transferencia de masa y calor que se caracteriza porque ocurre por medio de materiales fluidos, hacia el aire en consecuencia de su diferencia de concentración o temperatura.

COPASST: es un comité encargado del desarrollo y vigilancia de las normas en temas de seguridad y salud en el trabajo dentro de las empresas públicas y privadas. Sus siglas tienen por significado Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo).

DHHS: el Departamento de Salud y Servicios Sociales de los Estados Unidos es un Gabinete del gobierno de los Estados Unidos que tiene el objetivo de proteger la salud de todos los estadounidenses y la prestación de servicios sociales esenciales. Sus siglas son United States Department of Health and Human Services.

DIFUSIVO: es aquel que tiene la propiedad de difundir o propagar de manera física generando un gradiente de concentración, de temperatura o según sea el caso.

DISNEA: es la dificultad que se tiene al respirar, así mismo se hace referencia a la falta de aire u oxígeno.

DISPERSIÓN: es el desplazamiento de partículas de una sustancia a través del aire, como consecuencia de su difusión y transporte de masa, producida por el movimiento molecular del aire mientras va disminuyendo su concentración a causa de la entrada de nuevas moléculas de aire, que se condicionan a través de distintas variables atmosféricas.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN LABORAL: son dispositivos que tiene como propósito proteger al empleado de cualquier riesgo siendo en el ambiente laboral o manejo de sustancia peligrosas el cual este expuesto a largas jornadas laborales, estos elementos ayudan a la protección y seguridad en momentos de accidentes o lesiones. Su sigla corresponde a EPP y estos son de uso obligatorios suministrados por la empresa u organización en la cual se emplee el personal.

ENFERMEDAD PROFESIONAL: enfermedad que se produce como resultado de la exposición a factores de riesgo en la actividad laboral o puesto de trabajo. Estas se determinan de forma periódica, por el Gobierno Nacional, las cuales se encuentran dispuestas en una tabla y aquellas que no se encuentren, pero se demuestre la

relación de causalidad con los factores de riesgo ocupacionales será reconocida como enfermedad laboral, según las normas legales vigentes.

ENOL: un enol es un alqueno que se forma a partir del radical seto por la salida del hidrogeno del átomo de carbono al grupo carbonilo.

EPA: es la agencia del gobierno federal de los Estados Unidos que tiene por función proteger la salud humana y el medio ambiente. Adicionalmente hace cumplir los reglamentos sobre la base de las leyes decretadas por el Congreso. Tiene por misión, mantener y hacer cumplir las normas nacionales en una variedad de leyes ambientales, en consulta con los gobiernos estatales y locales. Sus siglas en ingles significan Environmental Protection Agency.

ESTADO ESTACIONARIO: es aquel sistema que se alcanza cuando la concentración en cada punto de una sustancia no cambia con el tiempo. En consecuencia, de esto el gradiente de concentración es contante y el flujo también. Es aquí donde se concluye que no existe difusión en un sistema de equilibrio y los flujos de difusión aumentan únicamente cuando el sistema se aleje del equilibrio.

INFLAMABILIDAD: es el porcentaje que demuestra las propiedades que un líquido tiene al estar expuesto al calor, por ejemplo, los líquidos y combustibles por si mismos no se queman, es su vapor y aire quienes los quema.

FLUX: también llamado densidad de flujo (N_A "), es el flujo de las partículas de una sustancia por unidad de área, en general, es una magnitud vectorial, ya que depende de la dirección de un espacio determinado. Si el sistema se acerca al equilibrio, existe una relación lineal entre el flujo y la fuerza impulsora.

HIGIENE INDUSTRIAL: es la profesión que se dedica específicamente a la prevención y control de los riesgos originados por las situaciones involucradas en el trabajo. Se dedica a la protección del medio ambiente y desarrollo de la salud de los trabajadores, así como también la contribución a un desarrollo seguro y sostenible. La función que tiene es asegurar que sea posible detectar, eliminar y controlar los agentes y factores peligrosos previos a que causen un efecto nocivo en el medio ambiente.

INTERPOLACIÓN: es la estimación de un valor en una función $f(x)$ para un (x) arbitrario desconocido, a partir de la construcción de una curva o superficie que une los puntos que se recolectan de mediciones y cuyo valor si se conoce. Este punto desconocido se debe encontrar dentro de los límites de los puntos de medición seleccionados a un rango cercano del valor conocido.

IARC: es la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, forma parte de la Organización Mundial de la Salud. Se encarga de coordinar, conducir investigaciones epidemiológicas y de laboratorio sobre las causas del cáncer humano. La Agencia tiene cuatro objetivos principales: monitorear la ocurrencia de cáncer global, identificar las causas del cáncer, especificar los mecanismos de carcinogénesis y desarrollar estrategias científicas para el control del cáncer.

INSHT: es el órgano especializado en la Administración General del Estado, tiene como función el análisis, estudio y apoyo de las condiciones de Seguridad y Salud en el trabajo con el objetivo de lograr mejoras en estos mecanismos.

LEUCEMIA MIELOIDE: el cáncer se origina cuando las células comienzan a crecer sin control en una parte específica del cuerpo y luego pueden convertirse en cáncer en cualquier parte del cuerpo con la capacidad de extenderse hasta causar la muerte.

MENISCO: es un parámetro que se forma en la superficie del recipiente y como resultado se obtiene una curva en la superficie del líquido que puede ser de carácter cóncavo o convexo, dependiendo de que las moléculas de la sustancia sean homogéneas o heterogéneas.

MÉTODO SEMI-EMPIRICO: es una técnica basada en la teoría y en datos obtenidos experimentalmente con el fin de formar un resultado aproximado para situaciones en condiciones similares con variables determinadas.

MEZCLA BINARIA: es una mezcla de dos compuestos o sustancias distintas entre sí, independientemente si la solución es heterogénea u homogénea, que están presentes sin ninguna impureza o componente adicional.

MULTICOMPONENTE: es un sistema con múltiples componentes ya sean elementos o compuestos diferentes entre sí que interactúan con un mismo propósito.

NIOSH: es el instituto nacional para la seguridad y salud ocupacional que desarrolla y revisa periódicamente recomendaciones para límites de exposición a sustancias en condiciones potencialmente peligrosas para el ambiente de trabajo. Estas recomendaciones son publicadas y transmitidas a los departamentos competentes de la administración para su empleo en la promulgación de normas legales. Sus siglas significan National Institute of Occupational Safety and Health.

NÚMERO DE REYNOLDS: es un número adimensional que relaciona las propiedades físicas del fluido, su velocidad y la geometría del ducto por el que fluye, también proporcionar una indicación de la pérdida de energía causada por efectos viscosos. Su nombre es en honor a su creador Osborne Reynolds.

NÚMERO DE SCHMIDT: es un número a dimensional que describe la relación del impulso (viscosidad) y coeficiente de difusión. Se utiliza para caracterizar el tipo de flujo en una sustancia con respecto al tiempo incluyendo procesos de difusión y de masas. Físicamente se refiere al espesor aproximado que existe entre la capa hidrodinámica de la sustancia y el límite de transferencia de masa.

NÚMERO DE SHERWOOD: es un parámetro adimensional que relaciona coeficientes de transferencia de masa con otros números adimensionales de Re y Sc .

NÚMERO DE STANTON: es un número adimensional que se utiliza en las operaciones de transferencia de calor y masa. Representa la relación entre el total de transferencia y la transferencia por convección. Si la convección es el único responsable de la transferencia, el número toma un valor de 1.

OSHA: (Occupational Safety and Health Administration) es el departamento de trabajo de los Estados Unidos, responsable de asegurar las mejores condiciones de trabajo mediante el establecimiento y aplicación de normas, para la capacitación, divulgación y asistencia en el trabajo.

OSHMS: (Occupational Safety and Health Management Systems) o su traducción al español, Sistema de Gestión de Salud y Seguridad Ocupacional (SGSSO) con un enfoque coordinado y sistemático para gestionar los riesgos de salud y seguridad. Los SGSSO ayudan a las organizaciones a mejorar continuamente su desempeño en materia de seguridad operacional y el cumplimiento de las leyes, normas de salud y seguridad. Y establecen ambientes de trabajo más seguros que protegen a las personas en el trabajo eliminando o mejorando los riesgos para la salud del trabajador.

PELIGROSIDAD: es el riesgo que puede llegar a ocasionar un daño, atribuido a una sustancia química por una propiedad inherente o intrínseca que las puede hacer corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables.

POLIDISPERCIÓN: es la relación que existe entre el peso molecular promedio numérico y el peso molecular promedio en peso de un polímero. La polidispersión indica el grado de variación extensión de una campana gaussiana que representa los pesos moleculares de los polímeros. Generalmente después del proceso de polimerización se obtiene una mezcla de cadenas moleculares que tienen toda la misma estructura química, pero difieren en su tamaño o grado de polimerización.

PORCENTAJE DE ERROR: es una forma de conocer el error que se alcanza en los resultados de un experimento o prueba ya que demuestra la desviación del valor medido respecto al valor real o teórico. El término error, es sinónimo de incertidumbre experimental el cual siempre existe y ayuda a mejorar el procedimiento de medición.

RÉGIMEN LAMINAR: es la clasificación que se le da a un líquido por tener un flujo unidireccional, uniforme en capas o láminas con una magnitud determinada. Se reconoce que un fluido está en régimen laminar cuando el número de Reynolds toma valores bajos, se encuentra en pequeñas velocidades, en tubos con pequeño diámetro y con fluidos muy viscosos como el aceite.

RIESGOS QUÍMICOS: es aquel incidente que puede ser producido por la exposición de agentes químicos no controlados, logrando efectos adversos y aparición de enfermedades en el trabajador.

SERIES DE FOURIER: es un método numérico avanzado que se utiliza para analizar la convergencia de una función periódica, continua o por partes en

consecuencia de la suma de funciones con una combinación de senos y cosenos con frecuencias enteras. Su nombre se debe a Jean Baptiste Joseph Fourier quien desarrollo esta teoría al estudiar ecuaciones de calor.

SOLUTO: es la sustancia que, normalmente, se encuentra en menor cantidad y que se disuelve en la mezcla. Frecuentemente, se trata de un sólido que es contenido en una solución líquida.

SOLVENTE: es la sustancia que suele aparecer en mayor cantidad y donde se disuelve el soluto. Generalmente, el solvente determina el estado físico de la solución. Este se utiliza junto con el soluto para formar soluciones.

TLV: es el valor límite umbral o valores de concentración máxima permisible ponderada en el tiempo, que hacen referencia a la concentración de sustancias que se encuentran en el aire. Representan las condiciones permitidas en las cuales un trabajador puede exponerse a la acción de estas concentraciones sin sufrir efectos adversos para la salud. Estos valores tienen una validez de un año, tiempo en el cual deben ser evaluados nuevamente para confirmar o modificar su valor. Sus siglas significan Valor Limite Permisible.

Existen dos tipos de TLV, TWA y STEL, que son los más utilizados, para calcular la concentración permitida en un tiempo determinado en la cual el trabajador puede estar expuesto sin presentar efectos adversos a la salud. El TLV-TWA es la concentración media ponderada para una jornada laboral de 8 horas diarias y una semana laboral de 40 horas mientras que el TLV-STEL es el límite de exposición a corto plazo que no debe superar un tiempo de 15 minutos ni tampoco este debe repetirse.

TOXICIDAD: es la característica que tienen todas las sustancias químicas cuando causan efectos negativos sobre la salud. Algunas de estas debido a su alta concentración se consideran un peligro para la salud y no son permitidas para el uso en ciertas condiciones de concentración o sin una medida de seguridad establecida ya sea con elementos de protección personal o ventilación en el sitio de manipulación.

TÓXICO: es el término utilizado para especificar que una sustancia artificial o natural produce efectos adversos al tener contacto sobre los seres vivos. Todas las sustancias son toxicas debido a que cada sustancia incluso el agua puede llegar a producir un efecto tóxico si no se administra en la dosis adecuada.

VENTILACIÓN: es el acto que ocurre en consecuencia de dejar que el aire atraviese un cuerpo o que circule por un ambiente determinado. Este término se utiliza en referencia a las corrientes de aire que surgen al ventilarlo, al hueco, espacio o abertura que hace posible la renovación de aire dentro de un sitio o un artefacto y a la instalación que se emplea para ventilar un lugar.

VOLATILIDAD: es la capacidad que tiene una sustancia al evaporarse con facilidad en consecuencia de que su punto de ebullición sea bajo, por ejemplo, la gasolina y el etanol.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito, realizar la evaluación de un modelo difusivo convectivo a través de un Software que le permita a las personas conocer los parámetros o medidas cuantificables de los niveles críticos de formaldehído en aire después de una jornada laboral de 8 horas, en la cual están expuestas las personas a esta sustancia; por medio de un modelo de dispersión laminar difusivo y otro convectivo para obtener la concentración de formaldehído que se dispersa en el ambiente a diferentes condiciones de exposición, teniendo en cuenta que en el modelo de dispersión convectivo el flujo del aire es una condición constante, y por lo tanto no genera algún cambio significativo al presentar los resultados obtenidos.

Inicialmente se realizó el estudio y cálculo de propiedades involucradas en la transferencia de masa como el coeficiente de difusión, densidad de la mezcla y la presión de vapor de una solución de formaldehído al 37%, en condiciones estándar de temperatura y presión, donde la temperatura registra el valor de 25°C (298,15K), y la presión se presenta en 1atm (1,01325Bar). Las cuales se utilizaron en la solución de ecuaciones planteadas para cada modelo de transferencia de masa. Esto con el fin de desarrollar el software, para simular las concentraciones de formaldehído transferido al aire en un tiempo transcurrido. Por último, con los datos obtenidos en la prueba de laboratorio se realizó una validación con el fin de comparar los modelos propuestos en el programa. Para así determinar si el programa realizado muestra un comportamiento adecuado en la transferencia de masa del formaldehído hacia el aire en las condiciones del laboratorio, y con esto generar recomendaciones a futuras investigaciones, para la propuesta de nuevos modelos de transferencia de masa a condiciones no ideales. Y de esta manera evitar posibles consecuencias adversas a la salud de los trabajadores.

Los resultados obtenidos por el software describen que el formaldehído al 37% en una probeta de 1 litro, un volumen de laboratorio de 48 m³ y un tiempo de 9 horas de exposición tiene una concentración de 9,5340X10⁻⁵ ppm en el modelo difusivo y 1,2101X10⁻⁶ ppm en el modelo convectivo. Con esto se evidencia que en el modelo convectivo la influencia de la velocidad constante del aire, hace que la concentración sea menor ya que en este la transferencia de masa ocurre más rápido, a comparación del modelo difusivo.

En 17 años, el formaldehído al 37%, llega al equilibrio, sin generar algún efecto negativo al trabajador expuesto, ya que llega a una concentración de 0,0203ppm y la concentración máxima permitida es de 0,08ppm.

Palabras clave: Modelos de transferencia de masa, enfermedad profesional, software, presión de vapor, coeficiente de difusión.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia se han presentado desastres en plantas químicas que han generado catástrofes irreversibles atentando contra la vida de los trabajadores y poblaciones aledañas, causando miles de muertes que se podían prevenir por el uso adecuado de elementos de seguridad y salud ocupacional en la planta.

Una de las catástrofes que marco la historia fue el accidente de Bhopal India, que ocurrió por una fuga de gas isocianato de metilo de una planta de pesticidas que dejó alrededor de 6000 a 8000 personas muertas en la primera semana después del escape del gas tóxico, que no solo dejó consecuencias temporales, sino que a largo plazo aún se mantienen en el lugar.

Por esta razón en la actualidad las empresas buscan generar más control y seguridad en las plantas industriales, desde la parte técnica del diseño de plantas hasta la parte ocupacional referente al sitio de trabajo de los empleados, a partir de acreditaciones que aseguren un ambiente de trabajo con menores factores de riesgo ocupacional, como las buenas prácticas de laboratorio que representan un sistema de calidad relacionadas con la organización de procesos bajo condiciones sanitarias y medio ambientales que son planificados, controlados e informados.

Sin embargo, todas las empresas bajo el sistema de gestión de calidad se rigen por el principio de satisfacción al cliente a través de la mejora continua que busca facilitar la demanda en la producción de materia prima para determinadas industrias, como es caso del formaldehído. Según FormCare una empresa que pertenece al grupo de consejo europeo de la industria química (CEFIC) dedicada a la producción de formaldehído donde publicaron una noticia, informando que la unión europea es el segundo mayor productor de formaldehído después de Asia, que produce anualmente más de 3.6 millones de toneladas que corresponde a un 30% de la producción mundial aproximadamente, al ser un producto de amplia variedad en aplicaciones especialmente en el sector de la construcción en producción de resinas gracias a sus excelentes propiedades adhesivas esenciales para la producción.

Esta misma necesidad del cliente genera que las empresas productoras se preocupen por satisfacer a sus clientes asegurándoles la más alta calidad en los procesos de producción que incluyen los paramentos de seguridad de toda persona que maneje esta sustancia.

De esta forma es que surge la preocupación de la alta peligrosidad que ha demostrado el formaldehído. Según la NCI se observó que 25619 trabajadores de sectores industriales con exposiciones que aumentan respecto a los niveles máximos son más propensos al riesgo de muerte por leucemia mielóide que los de exposición acumulada los cuales no tuvieron relación con esta enfermedad.

Por lo anterior, en 1987 la OSHA estableció una norma federal que redujo de 3 ppm a 1ppm de la cantidad de formaldehído al que el trabajador podría estar expuesto y en 1999 esta norma fue modificada para reducir aún más la exposición límite de formaldehído a 0,75ppm.

Por esta razón en este trabajo se propuso realizar un software que represente perfiles de concentración del formaldehído en aire ayudando a la empresa a determinar los límites de concentración de formaldehído a diferentes condiciones de operación con el fin de comparar estos valores con los valores estipulados por la OSHA.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar un modelo de dispersión difusivo-convectivo para la exposición formaldehído en aire en un ambiente de trabajo cerrado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Calcular los parámetros que inciden en la dispersión del formaldehído en aire en un ambiente de trabajo cerrado.
2. Aplicar un modelo de dispersión difusivo-convectivo para formaldehído dispersa en un ambiente de trabajo cerrado.
3. Simular las diferentes condiciones de exposición para formaldehído dispersa en el aire en un ambiente de trabajo cerrado.
4. Validar el modelo de dispersión difusivo-convectivo para formaldehído en un ambiente de trabajo cerrado.

1. GENERALIDADES

El formaldehído es un producto muy usado en la industria química, por sus diversas aplicaciones como desinfectante, estabilizante o conservante en los centros hospitalarios, al igual que en la producción de resinas y adhesivos para la madera, pulpa, papel, lana de vidrio y lana de roca. Además, se utiliza en la producción de revestimientos plásticos en acabados textiles, en la fabricación de sustancias químicas industriales incluso, en el medio ambiente que se encuentra de forma natural dado que la mayoría de los organismos vivos lo producen en pequeñas cantidades como parte de los procesos metabólicos normales.

Numerosas investigaciones llevadas a cabo por los organismos encargados de velar por la salud en el trabajo han evidenciado cómo una exposición repetida y prolongada al formaldehído puede ser causa de trastornos cancerígenos, como los resultados arrojados por la investigación realizada desde la década de 1980 por Instituto Nacional del Cáncer (NCI), el cual reveló un aumento del riesgo de muerte por leucemia, en particular, leucemia mieloide en los trabajadores expuestos al formaldehído porque se asoció a un aumento de los niveles máximos y promedios de la exposición, así como a la duración de la misma, pero no se relacionó con la exposición acumulada, estos resultados han proporcionado a la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) y a la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) información necesaria para evaluar los posibles efectos en la salud de la exposición al formaldehído en el lugar de trabajo.

En consecuencia, las compañías no quieren afrontar el riesgo de problemas de salud en sus empleados, considerando el largo tiempo de exposición al producto, de manera que buscan alternativas para mitigar esta problemática desde la salud y seguridad en el trabajo, que tiene por objeto la aplicación y el desarrollo de las actividades o medidas necesarias para la prevención de riesgos que resultan de la actividad laboral.

1.1 FORMALDEHIDO

El formaldehído (CH_2O) es un compuesto orgánico volátil, también conocido con una variedad de nombres dentro los cuales se encuentra el Aldehído Fórmico, Metanal Oxido de Metileno, Oximetileno, Metanol, Oxometano, Metilaldehído, Formol, Metilenglicol, Metanal; es el primer miembro de las series de los aldehídos alifáticos.

El formaldehído fue preparado por primera vez por el químico ruso Aleksandr Mijáilovich Bútlarov en 1828 como el producto de un ensayo, al parecer no muy exitoso, para sintetizar el glicol metilénico por hidrólisis del diacetato de metileno por error de fórmula. Aunque Bútlarov no supo que no había obtenido el formaldehído, su descripción de las propiedades físicas y químicas del compuesto, incluyendo el aislamiento del paraformaldehído y la síntesis de la hexametileno tetramina son obra

de él. Sin embargo, no fue sino hasta 1869 que August Wilhelm Von Hofmann quien lo identificó correctamente por la reacción del metanol y el aire en presencia de un catalizador de platino cuando ponía en contacto una corriente de aire cargada de alcohol metílico con un espiral de platino incandescente.

En 1886 Oscar Loew inventó el método de obtención con catalizador de cobre, y en 1910 Joseph Black patentó el procedimiento del catalizador de plata. En 1888 comenzó la producción industrial de formaldehído en Alemania y en 1901 en EEUU. No obstante, la producción se hizo solamente de forma limitada antes que aparecieron las resinas fenólicas comerciales en 1910.

1.2 PROPIEDADES FISICAS

Existen diferentes formas de encontrar el formaldehído, entre estos se encuentra el formaldehído anhidro, es decir; en estado puro, formaldehído en solución que presentan variaciones en sus propiedades físicas.

Por ejemplo, el formaldehído anhidro representa al formaldehído puro como un gas incoloro que posee olor fuertemente picante y muy irritante para las mucosas de los ojos, nariz y garganta.

“Podemos encontrarlo en estado gaseoso a presión atmosférica a una temperatura de $-19,2^{\circ}\text{C}$. Es un gas inflamable siendo su calor de combustión a 25°C de $561,5 \text{ kJ/mol}$ y su temperatura de ignición 430°C . Mezclado con el aire es explosivo, a 20°C los límites entre los que el formaldehído mezclado con el aire explota son 7% y 72% en volumen. A bajas temperaturas es miscible en cualquier proporción con solventes no polares como el tolueno, cloroformo, etc.”¹

“Se encuentra en estado líquido entre los -118°C y los -20°C por lo tanto a menores temperaturas se solidifica. Es menos denso que el agua ($0,8153 \text{ g/cm}^3$ a -20°C y $0,9172 \text{ g/cm}^3$ a -80°C). También se polimeriza en este estado siendo este proceso afectado por la presencia de humedad y pequeñas cantidades de ácido fórmico.”²

El formaldehído gaseoso se disuelve fácilmente en agua, alcoholes, glicoles, amidas y otros disolventes polares, con lo que forma soluciones, y reaccionan para formar una mezcla en equilibrio del monohidrato disuelto, metanodiol, y una serie de hidratos polímeros de peso molecular bajo, que tienen una fórmula del tipo $\text{HO}(\text{CH}_2\text{O})_n\text{H}$. Incluso a bajas temperaturas es miscible en cualquier proporción con solventes no polares como el tolueno, cloroformo, etc.

¹ TEXTOSCIENTIFICOS. Formaldehído. 2005. Disponible en <https://www.textoscientificos.com/quimica/formaldehido> [Consultado 18 Feb. 2017].

² Ibid.

Así mismo, encontramos el formaldehído en solución, es decir en estado acuoso en las que sus propiedades van a depender del estado en el cual esta disuelto, si en estado polimerizado o en estado hidratado.

Ya que el uso en solución suele manejarse en gran medida, la composición y las propiedades del sistema formaldehído-agua tiene especial importancia. Las investigaciones realizadas han demostrado que el formaldehído disuelto es básicamente una mezcla en equilibrio. Pese a esto, el espectro de absorción ultravioleta indica que existen cantidades pequeñas del monómero no hidratado en algunas condiciones de temperatura y concentración.

Es en este estado de equilibrio que la temperatura y concentración muestran una dependencia, es por esto que en concentraciones menores al 2% el formaldehído está prácticamente de forma de glicol metilénico, en concentraciones mayores, la solución contiene proporciones crecientes de polímeros hidratados, y aumenta el grado de polimerización al aumentar la concentración del formaldehído disuelto. Es así como, la rapidez con que se alcanza el equilibrio después de un cambio de temperatura o concentración, es pequeña a temperaturas bajas y exige más de dos días a 0°C.

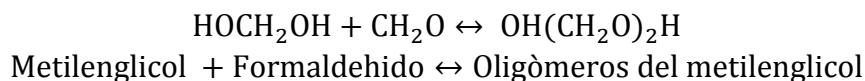
Las soluciones concentradas en particular con una concentración mayor a 30% de formaldehído, tienen que conservarse calientes si lo que se busca es evitar la precipitación. Es así como los alcoholes, como el metanol aumentan la estabilidad de la solución, porque forman hemiacetales que hacen que la presión parcial del formaldehído sea baja y en consecuencia genera que sea una función de la concentración del glicol metilénico más que del contenido total del formaldehído.

Las moléculas de formaldehído están en cierto grado asociadas al estado gaseoso y la presión parcial del gas puede considerarse como la presión de descomposición del hidrato disuelto. Estos factores explican porque las soluciones de formaldehído pueden concentrarse por evaporación al vacío a temperatura baja, mientras que la destilación a presión y temperatura elevada hace posible obtener destilados concentrados partiendo de soluciones diluidas.

Por destilación a presiones ordinarias sin rectificación, el residuo en el destilador está siempre más concentrado que la solución inicialmente destilada y la condensación fraccionada de los vapores de solución en ebullición da como resultado un aumento de formaldehído en el vapor no condensado, puesto que el agua es el componente menos volátil de la mezcla.

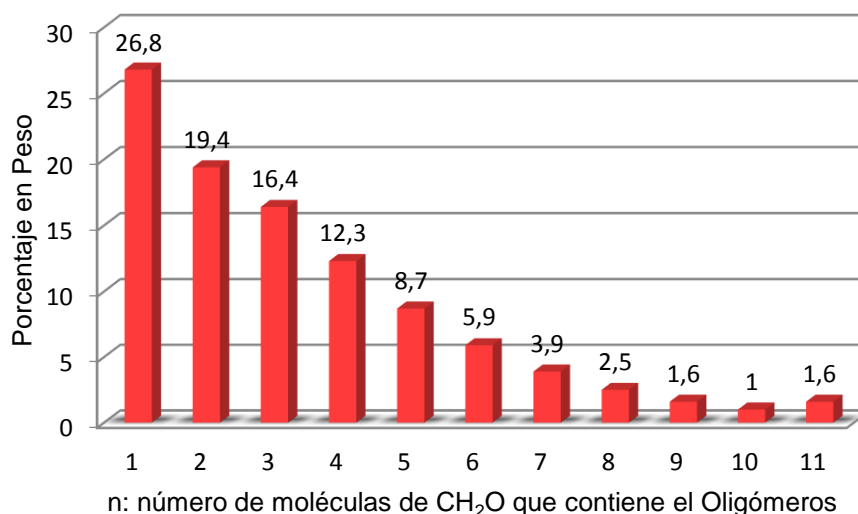
“El formaldehído monomérico físicamente disuelto (CH₂O) está solo presente en soluciones acuosas a concentraciones de hasta el 0,1% en peso.

Las soluciones de formaldehído en agua contienen formaldehído en la forma de glicoles (Oligómeros del metilenglicol) de acuerdo a la siguiente reacción de polimerización:



Si la solución se encuentra a temperatura y presión ambiente, dentro de los glicoles el metilenglicol (HOCH₂OH) es el que se encuentra en mayor proporción (Nótese que el metilenglicol es una molécula de formaldehído a la que se le ha adicionado una molécula de agua) y los glicoles de mayor número de moléculas de formaldehído incorporadas se encuentran en menor proporción.”³ El siguiente gráfico ilustra lo recién explicado:

Gráfica 1. Distribución de los Oligómeros de metilenglicol, HO (CH₂O)_nH, en solución acuosa 40% en peso de CH₂O a 35°C



Fuente: TEXTOSCIENTIFICOS. Formaldehído. 2005. Disponible en <<https://www.textoscientificos.com/quimica/formaldehido>> [Consultado 4 Marzo 2017].

La **Gráfica 1** concierne a que “la barra a la cual le corresponde (n = 1), indica que en una solución acuosa al 40% en peso de formaldehído a 35°C, el 26,8% del peso

³ TEXTOSCIENTIFICOS. Formaldehído.2005. Disponible en <<https://www.textoscientificos.com/quimica/formaldehido>> [Consultado 21 Feb. 2017].

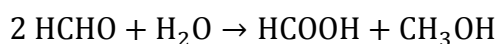
de formaldehído agregado al agua se encuentra como metilenglicol, HOCH₂OH. La barra a la cual le corresponde (n = 2), indica que en una solución acuosa al 40% en peso de formaldehído a 35°C, el 19,4% del peso de formaldehído agregado al agua se encuentra como HO (CH₂O)₂H.

“El formaldehído al 37% presenta características completamente diferentes ya que el punto de ebullición varía entre 93°C y 96 °C a 1,013 hPa, punto de inflamación es de 62°C, densidad a 20°C es de 1,09 g/cm³, temperatura de ignición es de aproximadamente 300°C” Anexo B

Lo que hace que el formaldehído en esta solución presente características más aplicables en condiciones ambientales al permanecer en estado líquido a pesar de un aumento de temperatura de 90°C a 1atm; sin embargo, a esta temperatura ya es inflamable pero aún no llega al punto de mantener su llama ya que esta se genera hasta los 300°C.

1.2.1 Reacciones. El formaldehído es sumamente reactivo y se combina químicamente con casi todos los tipos de compuestos orgánicos a excepción de las parafinas.

Por reducción el formaldehído se transforma en metanol, por oxidación en ácido fórmico o gas carbónico. La reacción de Stanisla Cannizzaro, en solución acuosa da ácido fórmico y metanol en proporción equimolares a partir de formaldehído en solución, como indica la siguiente reacción⁴⁵:



Sólo los aldehídos que no pueden formar un enolato pueden experimentar esta reacción en condiciones ideales, puesto que reaccionan vía condensación aldólica, por ejemplo el formaldehído y aldehídos aromáticos como el benzaldehído.

Esta reacción no necesita catalizador dado que es muy rápida debido a los álcalis presentes, lo que explica el aumento gradual en la acidez de las soluciones comerciales cuando su almacenamiento es prolongado.

⁴ Cannizzaro, S. (1853). «Ueber den der Benzoësäure entsprechenden Alkohol». Liebigs Annalen 88: 129-130.

⁵ List, K.; Limpricht, H. (1854). «Ueber das sogenannte Benzoëoxyd und einige andere gepaarte Verbindungen». Liebigs Annalen 90 (2): 190-210.

También el formaldehído reacciona consigo mismo en condensación de tipo aldol para formar hidroxialdehídos inferiores, hidroxicetonas y hexosas. Lo que quiere decir que esta reacción es autocatalítica y es favorecida por condiciones alcalinas. Generalmente, las reacciones químicas más importantes del formaldehído con otros compuestos implican la formación de derivados de metilol o metileno, como las policondensaciones que conducen a la formación de resinas de elevado peso molecular en las cuales las moléculas del otro reactivo están enlazadas por los grupos metilenos. Los catalizadores alcalinos favorecen la formación de derivados del metilol, mientras que los ácidos suelen favorecer la producción de metileno pues conducen a una policondensación inmediata y en general no permiten el aislamiento de los derivados del metilol sencillos.

Los derivados del metilol son probablemente los productos primarios de la reacción, pero en muchos casos son muy activos y sufren reacciones de condensación para formar derivados metilénicos incluso en condiciones alcalinas.

La alta reactividad del Formaldehído hace que se presenten peligros químicos en muchos tipos de circunstancias y con muchos tipos de compuestos. En soluciones acuosas del 40% de concentración se comporta como un agente reductor poderoso de reacción violenta con aminas, compuestos azoicos, ditiocarbamatos, metales alcalinos y alcalinotérreos, sulfuros, compuestos alifáticos insaturados, peróxidos orgánicos y agentes oxidantes fuertes como el ácido perclórico.

Cuando el Formaldehído reacciona con ácido clorhídrico o con otros cloruros orgánicos se forma el compuesto clorometil metil éter, que es una sustancia considerada como cancerígena.

“Reacciona explosivamente con dióxido de nitrógeno a 180°C (356°F), violentamente con ácido perclórico y mezcla de ácido perclórico anilina y nitrometano. Reacciona con ácido clorhídrico, puede formar clorometil metil éter”.⁶

1.2.2 Descomposición. El formaldehído puro se descompone por acción del calor, es decir que a temperaturas mayores de 150 °C se descompone en Dióxido de Carbono y Metanol. También se lleva a cabo en presencia de luz solar, donde sufre oxidación hasta Dióxido de Carbono. Es muy inflamable y forma mezclas explosivas.

A temperaturas mayores de 350 °C se descompone en monóxido de Carbono e Hidrógeno. Por esta vía y en presencia de catalizadores metálicos como el Aluminio, Platino, Cobre y Cromo, se puede obtener Metanol, formiato de metilo, ácido fórmico y metano.

⁶ SYSTEM, A. Formaldehído Solución 37 % (Formol).2017. Disponible en: <<https://www.bescience.com/products/formaldehido-solucion-37-formol>>[Consultado 22 Febrero 2017].

1.2.3 Polimerización. La polimerización del Formaldehído ocurre a temperaturas que normalmente se encuentran por debajo de 100 °C; este proceso ocurre tanto en forma gaseosa pura como en sus soluciones, entre los 80°C y los 100°C se polimeriza poco a poco, pero comportándose como un gas ideal. La polimerización se cataliza con sustancias polares como ácidos, álcalis o agua. Los productos de la polimerización corresponden a paraformaldehído en fase gaseosa y polioximetilenos en solución con agua.

De forma general, los compuestos básicos catalizan de una manera marcada la polimerización del Formaldehído, debido a que con bases fuertes provocan polimerizaciones peligrosas por la cantidad de energía liberada y por el riesgo de explosión que esto trae consigo.

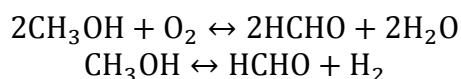
A temperaturas bajas se condensan en un líquido transparente y móvil, que con el tiempo se convierte en un polímero sólido reversible, es decir en polioximetileno, calentando el líquido hasta una temperatura ordinaria en un tubo cerrado logrando que se polimerice rápidamente con producción de energía de 15 Kcal/mol.

1.3 OBTENCIÓN Y PRODUCCIÓN

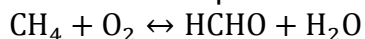
La síntesis industrial del Formaldehído se basa en la oxidación parcial del metanol (H₃COH) sobre catalizadores sólidos como la plata y óxidos de metales; habitualmente una mezcla de óxido de hierro, molibdeno y vanadio.

Sin embargo, antiguamente se producía a través de la oxidación de tipo no catalítico de los compuestos propano y butano, pero al realizar este proceso se observaron problemas al obtener residuos y productos secundarios que debían ser retirados a través de procesos muy costosos, por lo que se llegó a la conclusión que la mejor manera de la obtención es por medio del metanol.

Cuando el proceso de síntesis se realiza a través del metanol y aire su proceso inicia cuando se produce el gas síntesis que es el alcohol a partir de las siguientes reacciones.



Es importante señalar, que el camino más apropiado e indicado para su elaboración debería ser la oxidación directa de metano que se muestra en la siguiente reacción.



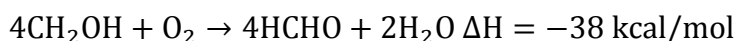
Sin embargo, por el momento no se tiene al alcance ningún catalizador lo suficientemente selectivo como para llevar a cabo un proceso comercial que compita con los de oxidación de metanol.

Los procesos industriales utilizados en la actualidad se pueden dividir en:

- Proceso con catalizador de plata, basado en la oxidación parcial y deshidrogenación con aire.
- Proceso Formox, en el que se utiliza un óxido de metal (Fe/Mo) para la conversión de metanol a formaldehído

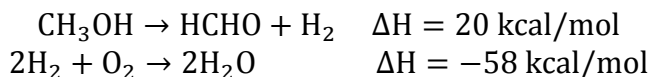
1.3.1. Proceso con catalizadores de plata. “Los procesos realizados para operar con catalizadores de plata son responsables de no más del 8% de la producción de formaldehído”⁷. El catalizador se usa en forma de mallas de plata metálica o bien de pequeños cristales de 0.5 a 3 mm depositados o no en algún soporte. En ambos casos se requieren altas temperaturas para superar los problemas de equilibrio, operándose en el orden de los 500°C con mallas y más de 600°C con cristales.

“La reacción catalítica de oxidación que se muestra a continuación sucede a presión atmosférica”⁸.



La oxidación de metanol es fuertemente exotérmica y se produce haciendo circular una mezcla de metanol y aire sobre catalizador. Aún no se conoce el grupo de reacciones que suceden en el sistema, ni sobre los mecanismos de oxidación, que por otra parte dependen de las condiciones operativas y del tipo de catalizador utilizado.

En este caso, el metanol sufriría primero una deshidrogenación seguida de oxidación del hidrógeno liberado



La reacción global es exotérmica y controlada por el equilibrio de la etapa de deshidrogenación, siendo necesario operar a temperaturas altas para incrementar la conversión por paso.

Existe la posibilidad entre el 50% y el 60% que sea formado el formaldehído en la primera reacción, que es exotérmica, y el excedente por la segunda reacción, que es endotérmica. Sin embargo, el resultado neto entre estas reacciones es una reacción de tipo exotérmico. Cabe aclarar que en estas reacciones causan la aparición de subproductos como el monóxido y dióxido de carbono.

“En el proceso ocurren pérdidas físicas y pequeñas cantidades de metanol en el producto final por lo que el rendimiento global del metanol está entre el 86% y 90%

⁷ TEXTOSCIENTIFICOS. Obtención de formaldehído Disponible en:

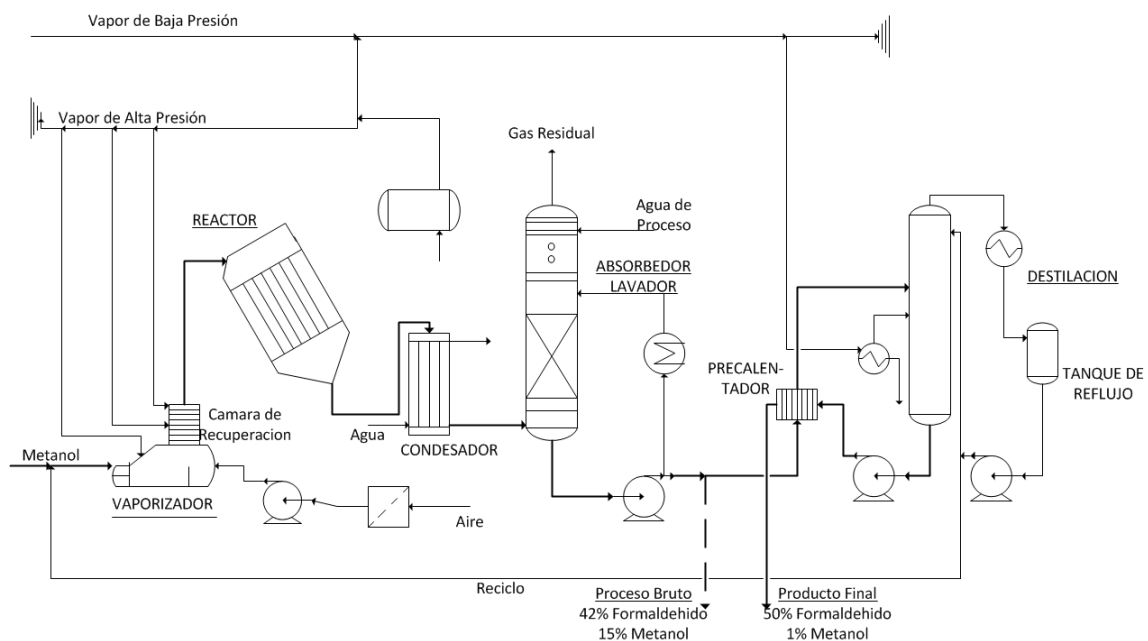
<<https://www.textoscientificos.com/quimica/formaldehido/obtencion> >[Consultado 22 Febrero 2017].

⁸ Ibid.

en peso, lo que quiere decir que el metanol que ingresa a la planta, entre un 86% a un 90% en peso se transforma en formaldehído”⁹.

Como se ve en la **Figura 1** se genera una mezcla de alimentación agregando aire en un recipiente con metanol calentado, generando así gases que se mezclan después con vapor de agua, esta mezcla pasa por un sobrecalentador hasta el catalizador de plata donde se genera la reacción anterior y produce una mezcla de gases que contiene metanol, hidrogeno y gases inertes que provienen del aire y otros subproductos presentes, pero en menor proporción.

Figura 1. Proceso de obtención de formaldehído a partir del metanol con catalizador de plata.



Fuente: MOLINA, E. Monografía Producción de Formaldehído. 2017. Disponible en <https://www.academia.edu/22764236/Monograf%C3%ADa_Producci%C3%B3n_de_Formaldehido> [Consultado 26 Feb. 2017].

Esta mezcla es enfriada en un generador de vapor de agua y luego en un intercambiador de calor con agua con el fin de ingresar después por la parte inferior de una torre de absorción, donde el formaldehído y el metanol pasan por agua que fluye en contracorriente, separándose de los gases inertes del aire, hidrógeno y otros que se encuentran en pequeñas proporciones.

La mezcla líquida formada por el formaldehído junto con el metanol en agua es enviada a una torre de destilación fraccionada, donde el metanol es recuperado

⁹ TEXTOSCIENTIFICOS. Obtención de formaldehído. 2005. Disponible en <<https://www.textoscientificos.com/quimica/formaldehido/obtencion>> [Consultado 22 Feb. 2017].

para ser reutilizado en el reactor y se obtiene el formaldehído en solución acuosa a una concentración del 55% en peso. Esta es enfriada en un intercambiador de calor con circulación de agua y luego atraviesa un equipo de intercambio iónico donde se limita el ácido fórmico residual a las admisibles, especificadas por el productor.

El control de la temperatura es influenciado por balance térmico debido al exceso de metanol o exceso de vapor de agua, o ambos, en la alimentación. Si la planta busca obtener un producto entre el 50% y el 55% de formaldehído y no más del 1,5% de metanol, la cantidad de vapor de agua que puede agregarse a la mezcla es limitada.

El gas eliminado en la torre de absorción contiene un 20% en moles de hidrógeno y tiene un poder calorífico de 2420 kJ/m³. Con el incremento del costo de los combustibles y el impacto ambiental, este gas es quemado con dos propósitos: generación de vapor y la eliminación de emanaciones de compuestos orgánicos y de monóxido de carbono a la atmósfera.

El formaldehído acuoso corroe los aceros al carbono, lo que no sucede con el formaldehído en estado gaseoso puro. Por consiguiente, todas las partes de los equipos en contacto con soluciones calientes de formaldehído deben estar fabricadas con aceros inoxidable. Teóricamente el reactor y los equipos anteriores pueden estar fabricados de acero al carbono, pero en la práctica son usadas aleaciones para proteger el catalizador, que es muy sensible a la contaminación de los metales.

Una de las variantes de este proceso es reutilizar el gas eliminado en la torre de absorción enviándolo al reactor. Este adicional de gas junto con vapor provee la masa necesaria para el balance térmico evitando la combustión del metanol, logrando así la reacción de todo el metanol en el catalizador para formar formaldehído, disminuyendo la posibilidad de exceso de metanol. Con este proceso se obtiene un producto con un 50% de formaldehído y 1% de metanol sin necesidad de la torre de destilación.

La alimentación contiene gran exceso de metanol, sosteniendo la mezcla por encima del límite superior de inflamabilidad. El defecto de oxígeno alimentado permite moderar la temperatura del proceso global, regulando el avance de la reacción de combustión de hidrógeno para que aporte solamente el calor que necesita la reacción de deshidrogenación. La reacción global se maneja en forma atérmica, por lo que el reactor opera adiabáticamente.

El ligero exceso de calor se retira del reactor con los efluentes, aprovechando la capacidad calorífica del metanol alimentado en exceso. Además, se sustituye parte del metanol en exceso por vapor, para mejorar la transferencia de calor en la zona de reacción y evacuar calor de la misma.

Esta forma de operar conlleva a conversiones por paso relativamente baja (60-80%), con rendimientos globales de 85-90% y reciclo de metanol sin reaccionar.

A la salida del reactor se obtiene formaldehído, metanol, hidrógeno, gases inertes provenientes del aire y otros subproductos en menor proporción. Esta es rápidamente enfriada en un generador de vapor y luego en un intercambiador de calor con agua. Posteriormente ingresa una torre de absorción donde se ponen en contacto con agua que circula en contracorriente, y se divide todo el formaldehído y el metanol no convertido.

Esta corriente se somete a destilación para separar y reciclar parte del metanol. El contenido de ácido fórmico al final es muy bajo, aún en soluciones de alta concentración de formaldehído, por lo que no resultan necesarios tratamientos posteriores por intercambio iónico para lograr un producto de baja acidez.

El catalizador de plata tiene una vida útil de tres a ocho meses y luego de esta, puede ser recuperado. Se contamina fácilmente con azufre.

Si es aceptable un producto diluido (conteniendo de 40% al 45% de formaldehído y de 1% a 1,5% de metanol), el vapor en la mezcla de alimentación puede ser aumentado de manera tal que la relación metanol aire sea mayor a la del límite superior de inflamabilidad y todo el metanol presente reaccione formando formaldehído. De esta manera no se requiere la torre de destilación lográndose un ahorro:

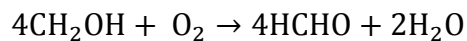
- Energético (la torre de destilación necesita ser calentada con vapor).
- En la inversión requerida para instalar la planta.

Reutilizar el gas eliminado en la torre de absorción enviándolo al reactor, ya que junto con el vapor proveen la masa necesaria para el balance térmico. Con este proceso se obtiene un producto con un 50% de formaldehído y 1% de metanol sin necesidad de la torre de destilación.

La recuperación del metanol puede ser obviada en un sistema de oxidación de dos etapas donde, por ejemplo, parte del metanol es transformado en un catalizador de plata, el producto es enfriado, se agrega exceso de aire, y el metanol restante es transformado en un catalizador con óxidos de ciertos metales. En este caso el primer catalizador (de plata) trabaja por encima del límite de inflamabilidad superior y el segundo catalizador (de óxidos de metales), gracias al exceso de aire, trabaja por debajo del límite inferior de inflamabilidad.

1.3.2 Proceso con catalizadores de óxidos de metales. La oxidación de metanol a formaldehído con catalizador de pentóxido de vanadio fue el que se usó, inicialmente. Luego se patentó un catalizador de Hierro-óxido de molibdeno, el cual es el más usado actualmente. Estos catalizadores han sido mejorados por el agregado de óxido de otros metales, métodos de activación y preparación. Se estima que el 85% de la capacidad productiva instalada usa estos procesos.

En presencia de óxidos metálicos liberadores de oxígeno como catalizador, el metanol sufriría deshidrogenación y oxidación simultánea tomando oxígeno reticular del catalizador (deshidrogenación oxidativa):



El catalizador así reducido, se reoxida con oxígeno gaseoso de alimentación en etapa posterior, por lo que no existen en este caso problemas de control de equilibrio termodinámico. La conversión es casi total, opera a presión atmosférica y la temperatura de operación se limita al rango de 400°C a 425°C, porque por encima de los 425°C los catalizadores pierden sus componentes activos.

El catalizador contiene molibdato de hierro ($\text{Fe}(\text{MoO}_4)_3$) como fase activa, con óxidos de cobalto, cromo y otros metales como soporte. Estos necesitan altas presiones parciales para mantener su actividad debido a que operan en forma redox. Consecuentemente, operan con un gran exceso de aire manteniendo la mezcla reaccionante por debajo del límite inferior de inflamabilidad.

La conversión por paso es casi total (95-98%), con rendimientos globales en formaldehído del 90-95%. La cantidad de calor liberada por la reacción es muy elevada, siendo necesaria la refrigeración del reactor. EL catalizador (en cilindros) se carga en el interior de los tubos de un reactor multitubular operando isotérmicamente por refrigeración externa, generalmente con aceite que produce vapor a alta presión por intercambio.

La mezcla de metanol/aire es vaporizada (también se alimenta el gas eliminado de la torre de absorción) e ingresa en el reactor donde atraviesa los tubos del catalizador y se produce la reacción química. El calor liberado en la reacción es utilizado para evaporar el fluido de transmisión de calor, luego este es condensado para generar vapor. De esta forma se controla la temperatura del reactor.

El producto abandona el reactor por la parte inferior y es enfriado antes de ingresar a la torre de absorción.

La concentración final de formaldehído en el producto es controlada por el caudal de agua que ingresa a la torre. Se llega a obtener una concentración superior al

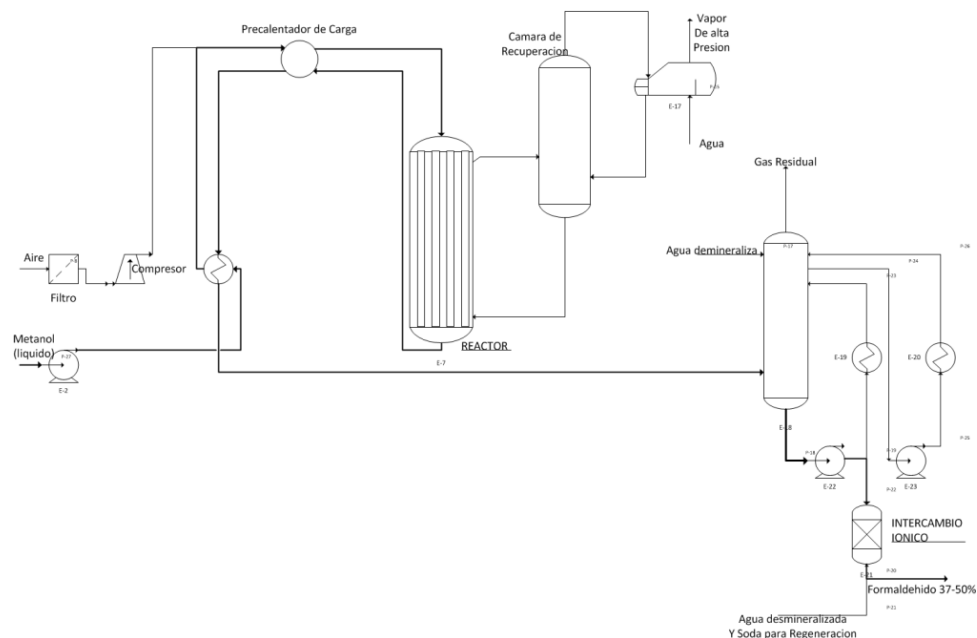
55% y menos del 1% de metanol. El ácido fórmico es removido por intercambio iónico.

Por las elevadas conversiones alcanzadas, los procesos con óxidos metálicos no necesitan separar ni reciclar el metanol no convertido.

Los catalizadores con óxidos de metales tienen una vida útil que varía entre 12 y 18 meses. Son más resistentes a los contaminantes que los catalizadores de plata. Se requiere un cambio menos frecuente, pero el tiempo necesario para cambiarlos es mayor.

Debido a la baja temperatura de reacción utilizada en el proceso Formox, que permite lograr una alta selectividad a formaldehído, y la facilidad en cuanto a la regeneración de vapor, se reducen los costos, y hacen que éste proceso sea fácil de controlar y más atractivo desde el punto de vista industrial. Por esta razón, las plantas más comunes (más del 70 %) emplean la oxidación de metanol mediante FORMOX. Sin embargo, los catalizadores de hierro - molibdato se vuelven menos activos en presencia de metanol en exceso y por lo tanto requieren una presión parcial de oxígeno relativamente alta para permanecer activos. Este proceso es posible observarlo en la **Figura 2**.

Figura 2. Plano de la planta de producción para el formaldehído.



Fuente: MOLINA, E. Monografía Producción de Formaldehído. 2017. Disponible en <https://www.academia.edu/22764236/Monograf%C3%ADa_Producci%C3%B3n_de_Formaldehido> [Consultado 26 Feb. 2017].

1.4 USOS

El formaldehído es una sustancia química fundamental en la producción de una gran variedad de artículos que mejoran la vida de las personas.

1.4.1 Edificación y construcción. Las resinas a base de formaldehído se emplean para la fabricación de productos de madera compuestos y de ingeniería usados en armarios, encimeras, molduras, muebles, estanterías, sistemas de escaleras, suelos, revestimiento de paredes, vigas y en muchos otros muebles para el hogar. Los pegamentos que hacen con formaldehído como sustancia principal, se catalogan como de alta calidad proporcionando un gran desempeño siendo a su vez muy económico.

1.4.2 Aplicaciones para el cuidado de la salud. El formaldehído se ha usado desde hace varios años para la fabricación de vacunas de manera muy segura, de igual forma se producen medicamentos antiinfecciosos y capsulas duras de gel. Por ejemplo, el formaldehído se utiliza para inactivar los virus que causan enfermedades, como el virus de la gripe en la elaboración de la vacuna antigripal.

Algunos ejemplos de medicamentos, son aquellos que se usan para inactivar los virus que causan enfermedades tales como la gripe, lo cual funciona para la elaboración de la vacuna para este tipo de enfermedades.

1.4.3 Productos para el cuidado personal y de consumo. El formaldehído es esencial para la producción de artículos de consumo y cuidado personas (Donde se usa como preservante en jabones, detergentes y agentes de limpieza industrial; en la industria de los cosméticos se usa como preservativo en jabones, desodorantes, champús y en productos para la higiene oral), estos productos en su gran mayoría contienen ingredientes que liberan formaldehído, este actúa como conservante combatiendo microorganismos y evita la propagación de bacterias y otros agentes los cuales pueden dañar los productos, su función principal es que los productos tengan una larga vida útil.

1.4.4 Automóviles. Gracias a los componentes que tiene el formaldehído permite que los vehículos sean más livianos y eficientes en cuanto al uso de energía. Las resinas bases de formaldehído se usan para la fabricación de diferentes moldes para los interiores y varias partes que se ubican debajo del capo, los cuales deben resistir las altas temperaturas a las cuales son sometidas. Así mismo estas resinas son muy usadas para la fabricación de exteriores resistentes, adhesivos para los neumáticos, recubrimientos transparentes, pastillas para frenos y varios componentes del sistema de combustible.

1.5 EFECTOS SOBRE LA SALUD

El formaldehído puede ingresar al cuerpo rápidamente cuando se inhala o se ingiere, en cambio, cuando entra en contacto con la piel se absorbe en cantidades muy pequeñas.

Una vez dentro del cuerpo, el formaldehído es degradado rápidamente gracias a que la mayoría de los tejidos del cuerpo tienen la capacidad de convertirlo a un componente no tóxico llamado formiato, que se excreta en la orina y también puede ser degradado con el fin de que el cuerpo lo use para fabricar moléculas más grandes necesarias en los tejidos o puede ligarse al ácido desoxirribonucleico (ADN), o a proteínas, además, el formaldehído no se almacena en la grasa.

Estudios de control del NCI (National Cancer Institute) analizó los casos de los trabajadores del sector funerario que estaba en constante exposición al formaldehído, el cual halló una asociación con la mortalidad a causa de leucemia mieloide. Este estudio se realizó con personas que fallecieron entre 1960 y 1986, los investigadores hicieron una comparación a quienes habían muerto por cánceres hematopoyéticos y linfáticos o tumores cerebrales con quienes habían muerto por otras causas.

Este análisis mostró que quienes habían realizado más embalsamamientos y aquellos con una mayor exposición estimada al formaldehído presentaron el mayor riesgo de leucemia mieloide. No se encontró relación con otros cánceres del sistema linfático o hematopoyético, ni tampoco con el cáncer de cerebro¹⁰.

Llegados a este punto es importante conocer los niveles a los cuales se están siendo expuestos los trabajadores, esto se define en el **Cuadro 1**. la cual se dan a conocer los diferentes niveles de concentración al cual se puede estar expuesto, mostrando las diferentes causas y daños que sufre el cuerpo.

¹⁰ HAUPTMANN M, Stewart PA, JH Lubin. Mortality from lymphohematopoietic malignancies and brain cancer among embalmers exposed to formaldehyde. Journal of the National Cancer Institute.2009. 1696–1708.

Cuadros 1. Efectos en la salud dependiendo de la concentración del formaldehído

| Concentración de vapor de formaldehído | Efecto |
|---|--|
| 0,06-1,23 mg/m ³ (0,05-1.0 ppm) | Detección de olor (desarrolla alguna tolerancia) |
| 0,61-3,68 mg/m ³ (0,5-3 ppm) | Irritación ligera de los ojos y del tracto respiratorio superior |
| 3,68-12,3 mg/m ³ (3-10 ppm) | Irritación moderada de los ojos y del tracto respiratorio superior |
| 6,13-37 mg/m ³ (5-30 ppm) | Dolor del pecho, disnea, tos, náuseas y vómitos |
| 61-123 mg/m ³ (50-100 ppm) >123 mg/m ³ (> 100 ppm) | Neumonitis tóxica y edema pulmonar Mortal |

Fuente: CONSEJO DE SANIDAD. RIESGO QUÍMICO 2007. Disponible en <<https://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/104464-Formaldehido.pdf>> [Consultado 24 Feb. 2017]

Por esta razón, se darán a conocer los efectos adversos, los cuales generaran problemas en la salud tanto a los empleados como a las personas que tienen una exposición directa con la sustancia.

1.5.1 Inhalación. El formaldehido puede causar tos, falta de respiración y dolor de garganta, produciendo irritación y sensibilización del tracto respiratorio. En concentraciones peligrosas (**Cuadro 1**) causan lesiones graves en el tracto respiratorio causando enfermedades como neumonía y edema pulmonar. Por otra parte, en concentraciones altas pueden ser fatales para los empleados.

1.5.2 Ingestión. Puede causar dolor de cabeza, dolor abdominal, vómito y diarrea. En dosis elevadas (Tabla 1) pueden producir hipotermia, dolor en el tracto digestivo, dificultad respiratoria, pulso débil e irregular y hasta la muerte.

1.5.3 Piel. El formaldehído al ser una sustancia toxica puede ocasionar irritación de la piel, mostrando señales de enrojecimiento llegando a presentar quemaduras. Esta sustancia se absorbe de forma similar a la ingestión, siendo irritante y sensibilizador cutáneo fuerte. El contacto directo con la piel produce decoloración, escamas y prurito grietas.

1.5.4 Ojos. Al tener contacto directo con el formaldehído en estado gaseoso produce fuerte irritación en los ojos llegando a sentir dolor, enrojecimiento y teniendo la visión borrosa. Las concentraciones altas de la sustancia pueden afectar la visión dejando a las personas en ceguera temporal con daños irreversibles.

1.5.5 Exposición Crónica. La exposición constante con la sustancia puede generar en las personas dermatitis por contacto con el formaldehído, así mismo la exposición constante con la sustancia puede generar reacciones alérgicas en los empleados o personas allegadas.

Frecuentemente se encuentra el formaldehido en diferentes espacios, principalmente en el aire y gracias a su estado gaseoso las personas están en constante exposición con la sustancia dentro de los edificios o sus hogares. Es por ello que se recomienda el uso constante de ventiladores o que las ventanas permanezcan abiertas, esto ayuda al constante flujo de aire fresco al interior, estas son las maneras más fáciles para disminuir los niveles de la sustancia dentro de los hogares, así mismo evitar fumar ayudan con esta disminución de la sustancia evitando posibles enfermedades para las personas.

1.6 NIVELES PERMISIBLES DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

Son valores de concentración para sustancias químicas que nos permiten tener una referencia acerca de las condiciones en las cuales la mayoría de los empleados están expuestos durante toda su vida laborando sin presentar efectos negativos en su salud.

Muchos de los trabajadores que tienen manejo sobre la sustancia a utilizar pueden experimentar molestias a concentraciones inferiores a los VLA (Valores Límite Ambientales), esto depende de factores que pueden ser genéticos, fisiológicos y de estilo de vida.

“Los VLA se establecen teniendo en cuenta la información disponible, procedente de la analogía físico-química de las sustancias químicas, de estudios in vitro, de los estudios de experimentación animal y de exposición controlada con voluntarios, de los estudios epidemiológicos y de la experiencia industrial llevando a conocer datos coherentes frente a la exposición de los trabajadores en ambientes contralados.”¹¹

Simultáneamente implementadas las medidas preventivas tanto para los empleados como para el espacio donde se manipula la sustancia, se debe llevar a cabo una evaluación de la exposición a formaldehido mediante mediciones que permita la comparación de la exposición personal con el valor límite de exposición de corta duración (VLA-EC). Es por ello que en el **cuadro 2** se presentan los valores límite de exposición profesional admitidos en diferentes Países.

¹¹ INSHTWEB. Límites de exposición profesional para agentes químicos. 2017. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/LEP%20_VALORES%20LIMITE/Valores%20limite/Limites2016/LEP%202016.pdf> [Consultado el 15 Marzo. 2017].

Cuadros 2. Valores límites de exposición profesional por países

| País u Organización | VLA-ED (ppm) | VLA-EC (ppm) | C (ppm) |
|----------------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| Alemania | 0,3 | 0,6 | 1 |
| Reino Unido | 2 | 2 | - |
| Hungría | 0,5 | 0,5 | - |
| Francia | 0,5 | 1 | - |
| Japón | 0,1 | - | - |
| España | - | 0,3 | - |
| EEUU (OSHA) | 0,75 | 2 | - |
| EEUU (NIOSH) | 0,016 | - | 0,1 |
| EEUU (ACGIH) | - | - | 0,3 |

VLA-EC: Valor límite ambiental de corta duración.

VLA-ED: Nivel de exposición en 8 horas.

Fuente: SCIELO 2017. Valores límites de exposición profesional para el formaldehído. Disponible en http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2013001100008 [Consultado 7 Mar. 2017.]

“Se puede comprobar cómo en ningún caso se toleran valores de exposición superiores a 2 ppm. Varios de los organismos de referencia indican, que, en dosis inferiores a 1 ppm, los efectos tóxicos del formaldehído en el material genético (efecto genotóxico) sólo juega un papel mínimo. Sin embargo, valores de exposición crónica superiores a los 2 ppm pueden convertirse en un factor de riesgo principal.”¹²

Simultáneamente la comparación de los diferentes niveles de exposición va relacionados a los espacios en los cuales se tiene uso del formaldehído, del mismo modo es importante conocer los principales sectores y los niveles de concentración a los que los empleados están expuestos. Ahora se presenta la tabla 3 en la cual se indican los resultados obtenidos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, para conocer la concentración de formaldehído en aire en distintos estudios ambientales.

¹² Medicina y Seguridad del Trabajo. (2013). 1st ed. Bilbao, España: Med Segur Trab (Internet), pp.114 - 115. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v59n230/revision1.pdf> [Consultado 26 Feb. 2017].

Cuadros 3. Resultados obtenidos del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, para conocer la concentración de formaldehído en aire en distintos estudios ambientales

| Actividad / Empresa | Margen de Concentración (ppm) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Curtidos | 0,09 – 4,00 |
| Soldadura térmica | 0,02 – 0,03 |
| Resina fenólica | 0,05 – 0,30 |
| Fundiciones | 0,09 – 1,25 |
| Fabricación de Muebles | 0,20 – 0,33 |
| Oficinas (Decoraciones) | 0,19 – 0,33 |
| Edificios (Reformas) | 0,60 – 1,20 |
| Hospitales (Limpieza / Desinfección) | 0,01 – 1,62 |
| Hospitales Laboratorio | 0,08 – 6,90 |
| Hospitales Archivos de Muestra | 0,22 – 0,36 |
| Hospitales Endoscopias | 0,01 – 0,08 |
| Hospitales Autopsia (Sala) | 0,07 – 8,40 |
| Hospitales Autopsia (Archivo Muestra) | 1,10 – 1,60 |
| Práctica disección de cadáveres | 0,38 – 2,94 |
| Aire Urbano | 0,02 – 0,04 |

Fuente: FREIXA BLANXART, A. y TORRADO DEL REY, S. Centro Nacional De Condiciones De Trabajo. 2010 p.2. Disponible en <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/873w.pdf>> [Consultado 28 Feb. 2017.]

Los datos que se muestran en el **Cuadro 3**, dan lugar a conocer la concentración máxima permisible en el aire de las diferentes zonas de trabajo en las que se pueden exponer los empleados en una jornada laboral de 8 horas.

Es bien conocido que las manifestaciones no son inmediatas, por el contrario, se dan a conocer a largo plazo por medio de una enfermedad o desviación del estado normal de salud que se detecta gracias a diferentes exámenes médicos o síntomas que por lo general es el resultado de graves enfermedades causando hasta a la muerte.

1.7 RESPUESTA A ACCIDENTES

Las empresas que tienen contacto con el formaldehido, en muchas ocasiones se ven involucradas con accidentes generalmente ocasionados por derrames o fugas de algunos de sus procedimientos. Es por esto que a continuación se citan algunos

de los pasos a seguir cuando se presentan estos incidentes ya sea formaldehído puro o en solución:

“Paso 1: Si el Formaldehído está en forma gaseosa, detener si es posible el flujo de gas. Si la fuente de la fuga es un cilindro y no se puede detener la fuga, retirar el cilindro a un área segura fuera del alcance inmediato de personas donde se pueda reparar el daño o se permita vaciar el cilindro.

Paso 2: Retirar todas las posibles fuentes de ignición de las zonas aledañas.

Paso 3: Ventilar el área de fuga o derrame.

Paso 4: Para derrames pequeños de soluciones que contengan Formaldehído se puede absorber el material derramado en un medio adecuado como toallas de papel que luego se pueden disponer en un contenedor para posterior tratamiento, que puede incluir su incineración o evaporación en una campana extractora.

Paso 5: Grandes cantidades de líquidos que contengan Formaldehído en solución se pueden absorber en vermiculita, arena seca, tierra o materiales similares no combustibles y luego se ubican en un contenedor para tratamiento posterior. Para realizar una neutralización del Formaldehído se puede emplear hidróxido de amonio diluido, carbonato de sodio o sulfito de sodio”¹³

Cabe resaltar que el personal que no porte equipo completo de seguridad se debe retirar de la zona de escape o fuga hasta que concluyan los procedimientos de limpieza.

Por otro lado, se recomienda que se mantengan informados a todos los empleados sobre los efectos, riesgos y la gran importancia de conocer las operaciones adecuadas para las posibles emergencias que existan, esto ayuda a evitar un accidente de mayor magnitud.

Con el fin de prevenir estos incidentes las compañías, laboratorios o cualquier lugar donde se maneje esta sustancia debe contar con equipos de primeros auxilios, que se encargan de que las víctimas implicadas en accidentes con formaldehído sean retiradas con prontitud de la zona de peligro, ya que el área afectada experimenta una contaminación aguda por lo que va a requerir descontaminación inmediata y tratamientos médicos a las víctimas implicadas considerando que presentan la siguiente sintomatología:

¹³ Occupational Safety & Health Administration (OSHA). Occupational Safety and Health Guideline for Formaldehyde, Potential Human Carcinogen [en línea]. 1988 [citado mayo 15 de 2003]. Disponible en <http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/0293.pdf>

“Inhalación: Sería amenaza a la salud si se inhala, ingiere, o llega al contacto con la piel.

Ingestión: Si se ingiere causa quemadura del esófago, náusea, vómito, diarrea, acidosis hasta inconciencia, convulsión, colapso y muerte.

Contacto con los ojos: Produce irritación y lagrimeo desde concentraciones tan bajas como 0,4% para algunas personas. Dependiendo de la concentración, las soluciones de Formaldehído pueden causar incomodidad temporal e irritación o efectos más severos, incluyendo opacidad y ulceraciones en la córnea, muerte de las células en la superficie del ojo, perforaciones de los lentes oculares y pérdida permanente de la visión; estos efectos son retardados en algunos casos y se pueden presentar en el lapso de hasta 12 horas.

Contacto con la piel: El producto es corrosivo y si llega al contacto con la piel, causa quemaduras, ya que destruye totalmente el grosor del tejido de la piel. Síntomas: conjuntivitis, quemadura de la córnea, dermatitis, urticaria, erupciones vesiculares pústulas, faringitis, laringe espasmos, traqueítis, bronquitis, edema pulmonar

Efectos sobre exposición aguda: Este producto es tóxico teniendo exposiciones agudas al mismo y posee una seria amenaza a la salud si se inhala, ingiere, o llega al contacto con la piel.

Condiciones agravadas con la exposición: Exposiciones frecuentes o prolongadas pueden causar hiper sensibilidad, dermatitis alérgica y asma.”¹⁴

Y para todos aquellos síntomas que se puedan presentar dependiendo el uso que se le da a la sustancia, se pueden generar varias recomendaciones según el accidente ocurrido, cabe resaltar que si es de menor grado se puede reaccionar y solucionar con mayor rapidez, por el contrario, si es un accidente de alto grado, siempre se debe acudir a la ayuda y asesoría de personas expertas.

En consecuencia, las respuestas inmediatas por parte del personal de salud o primeros auxilios se centran en:

- A través de la inhalación: Realizar ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.
- Por medio del contacto con la piel: Usar guantes aislantes del frío.
- A través del contacto con los ojos: Usar gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con la protección respiratoria.
- Por medio de ingestión: No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Además, se toman medidas ante una intoxicación con la sustancia
- En caso de inhalación: Se recomienda respirar aire limpio y guardar reposo, además de adoptar una posición de semi-incorporación. Si estuviese indicado,

¹⁴ Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Managing Hazardous Material Incidents, Formaldehyde [en línea]. Fecha de publicación desconocida, actualizado mayo de 2003 [Citado 22 feb. 2017]. Disponible en <http://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mmg111.pdf>

sería conveniente aplicar respiración artificial. Se debe proporcionar asistencia médica.

- En caso de contacto con la piel: Se procederá a quitar las ropas contaminadas. Después se debe limpiar la piel con agua abundante o ducharse. Se indica proporcionar asistencia médica.
- En caso de contacto con los ojos: Es conveniente enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Después se proporciona asistencia médica.¹⁵

1.8 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

La formación del personal es un aspecto esencial en la prevención de riesgos profesionales para evitar la pérdida de la salud de los trabajadores como consecuencia de su trabajo. Por esta razón es que se vuelve trascendental, necesario y obligatorio capacitar a los empleados con el fin de que amplíen su conocimiento, de que adquieran aptitudes y actitudes necesarias para desarrollar su actividad de forma segura.

“Además, esa formación debe ser: suficiente, tanto en calidad como en duración o intensidad, suficientemente medida, en razón del objetivo de seguridad que se persigue; adecuada, la exigida según el tipo de riesgo y de trabajo, o según el tipo de trabajador y sus características personales o profesionales; en materia preventiva, esto es, no sólo en la faceta de tratamiento de los riesgos cuando se materializan o actualizan, sino en la perspectiva de su evitación o atenuación; centrada específicamente en el puesto de trabajo o función de cada trabajador es decir, concreta, personal y particularizad; adaptada a la evolución de los riesgos, actualizada y teniendo en cuenta tanto los cambios del tipo y naturaleza de los riesgos como las nuevas técnicas de abordarlos.”¹⁶

Con respecto a la exposición del formaldehído por parte del personal ha llegado consigo que el trabajador acepte la presencia del contaminante en el ambiente como algo inherente al trabajo, seguramente por la larga tradición en los trabajos en la utilización del formaldehído en sus variados usos. Esta aceptación es una acción inaceptable por parte de los trabajadores, ya que quita el primer impulso que conduce a adoptar medidas correctivas. Es de esta forma que se encuentra necesario que el personal adquiera conciencia de que es factible el peligro a

¹⁵ Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). «Fichas Internacionales de Seguridad Química: Formaldehído» (En Línea)

<<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/201a300/nspn0275.pdf>>. Consultado el 17 de febrero de 2017.

¹⁶JUNTA DE ANDALUCIA, and OISS, Gestión de la seguridad y Salud laboral en las PYMES. Disponible en:

<http://www.diba.cat/documents/467843/96195101/Gestion_seguridad_saludlaboral_PYMES.pdf/32cc3263-8186-4431-a915-a705a9936457> [Consultado 5 Mar. 2017].

contraer ciertos riesgos en la práctica por la acción del contaminante, si no es adoptada una serie de medidas correctivas que aquí se deben ir implementando. Según lo anterior, la dotación y equipos de seguridad presentes en una compañía deben ser obligatorios; como por ejemplo, estas deben contar con fuentes de lava ojos, en número suficiente y ubicación adecuada, con el fin de que cualquier persona accidentada acceda con prontitud y facilidad hasta la fuente, así como también los descontaminantes y neutralizantes, material apropiado para recoger vertidos lo cuales se deben situar en un lugar accesible, con el fin de proceder con prontitud a la recolección de vertidos o derrames.

También se deben utilizar los equipos de protección personal como gafas, pantallas faciales, batas y guantes. Cabe añadir, los adaptadores faciales equipados con filtros adecuados para la retención del formaldehído, a fin de ser usados en caso de accidente, recogida de vertidos, etc. Estas protecciones deben de situarse en lugares visibles, accesibles para todo el personal.

1.9 CONDICIONES PARA MANEJO Y ALMACENAMIENTO SEGURO, ORIENTADAS A DISMINUIR EL RIESGO A LA SALUD HUMANA

Las características de las soluciones de formalina son muy dependientes de la temperatura y teniendo en cuenta las necesidades específicas se debe almacenar a una temperatura específica. La forma de transporte y almacenamiento más común de soluciones de Formaldehído se da en contenedores de acero inoxidable, aluminio, contenedores con recubrimiento de esmalte o resinas de poliéster¹⁷.

Se requieren lugares de almacenamiento ventilado y seco, lejos de fuentes de ignición y de la acción directa de los rayos solares. El área de almacenamiento de Formaldehído debe estar lo más separada posible de sus materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Evitar el deterioro de los contenedores. Mantenerlos cerrados cuando no están en uso. Almacenar las menores cantidades posibles. Los contenedores vacíos deben ser separados. Inspeccionar regularmente la bodega para detectar posibles fugas o corrosión. El almacenamiento debe estar retirado de áreas de trabajo. Solo se podrá permitir el acceso al personal autorizado a las áreas de almacenamiento.

1.10 USOS Y CONTROLES

Es común el hecho de que popularmente se etiquete al equipo de protección personal (EPI) como la principal medida de control, y en algunas ocasiones la única medida, ante el riesgo que genera la exposición a un agente que pueda resultar perjudicial para la salud humana. Si bien es cierto el EPI resulta de vital importancia

¹⁷ Editores: Elvers B, Hawkins S y otros; Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry; Volumen 11; Quinta edición completamente revisada; Editorial VCH; New York, U.S.A.; 1989.

para la prevención de un daño a la salud provocado por la formalina, existe una serie de medidas que se mencionarán a continuación, que pueden adoptarse para lograr un mejor abordaje en materia preventiva con respecto a esta sustancia y que a la vez en su mayoría podrían aplicarse para otros agentes potencialmente dañinos; ya sea químicos, físicos o biológicos.

- **Identificación de tareas y áreas con mayor riesgo de exposición a formalina:** Dentro de los diferentes espacios laborales y de mayor uso, se debe tener en cuenta que existen personas con mayor vulnerabilidad y su exposición a la formalina puede complicar de manera acelerada su salud, es por ello que resulta conveniente realizar una evaluación del riesgo para el cual se recomienda ejecutar una adecuada distribución de tareas las cuales tengan una rotación periódica, estos puestos deben contar con opciones alternativas de labores para disminuir la exposición de la sustancia. “La evaluación del riesgo resultará más precisa si se cuenta con mediciones ambientales del químico (monitoreo ambiental) y mediciones de la cantidad de la formalina que es absorbida y metabolizada por el personal expuesto (monitoreo biológico). Ambos parámetros no sólo son importantes para la identificación del riesgo sino también para dar un seguimiento periódico con el objetivo de comprobar la efectividad de los mecanismos de control.”¹⁸
- **Adecuada Organización del Trabajo:** Por una parte, la exposición innecesaria al formaldehído es un factor importante para no entrar en contacto con la sustancia, así mismo la rotación de los puestos es un elemento fundamental con lo cual se logra disminuir los riesgos a posibles enfermedades que se obtengan por medio de la exposición seguida al formaldehído.
- **Educación del Personal:** Se debe tener un conocimiento por parte del personal que manipula la sustancia, conocer el formaldehído tanto físico como químico, como factor importante es necesario estar al tanto de las consecuencias en la salud tanto a la exposición aguda como crónica, así mismo el personal encargado debe tener fundamentos en primeros auxilios en caso de accidentes con la sustancia. Este proceso es importante para el personal, ya que se adoptan las medidas adecuadas para el manejo del formaldehído asegurándose de que todos los rubros sean comprendidos por la empresa o personas que están en constante exposición con la sustancia.
- **Instalaciones y materiales adecuados:** Son lugares especialmente diseñados para la manipulación y conservación del formaldehído, preferiblemente estas condiciones físicas para la planta, deben de contar con ventilación siempre y cuando el aire extraído sea reintegrado a la planta. Por otra parte, debe contar con el espacio adecuado para la manipulación y su correcto almacenaje, sin producir desperdicios o fugas. Los envases que contengan esta sustancia deben

¹⁸ Formalina: características y mecanismos de control ante la exposición del personal en los servicios de anatomía patológica a nivel hospitalario. (2012). 1st ed. Costa Rica: REVISTA MEDICA DE COSTA RICA Y CENTROAMERICA, pp.237.

de estar con sus rótulos correspondientes y con cierres herméticos evitando de esta forma accidentes.

- Sistemas de ventilación activa adecuados: Es de suma importancia contar con sistemas de ventilación activa (extracción) que permitan la renovación del aire necesaria en los lugares donde se manipula la formalina, disminuyendo así la exposición a esta. Se debe de disponer de sistemas de extracción localizada,¹⁹ que cumplan con los criterios técnicos de requerimiento de caudal de aire para el control de este químico. Puesto que como es de conocimiento, en todo lugar abierto o cerrado, se presentan corrientes de aire contaminado con diferentes gases tóxicos, que son necesarias cambiar o renovar, para evitar exposiciones elevadas que a largo plazo pueden generar efectos negativos a la salud. Por lo que es de importancia contar con sistemas de ventilación o extracción, que realicen esta función. Se entiende por ventilación la sustitución de una porción de aire, que se considera indeseable, por otra que aporta una mejora en pureza, temperatura, humedad, etc.

La ventilación de máquinas o de procesos industriales permite controlar el calor, la toxicidad de los ambientes o la explosividad potencial de los mismos, garantizando en muchos casos la salud de los operarios que se encuentran en dichos ambientes de trabajo.

Al haber tantos lugares de trabajo a diferentes condiciones, se recomiendan que se realicen renovaciones de aire o también llamados corrientes de ventilación por hora (ACH) de exposición al aire contaminado, dependiendo del lugar de trabajo y de la actividad que se realiza, como por ejemplo, se realizan cambios de aire pequeños, desde 2 veces hasta 20 veces por hora, en lugares cerrados como áreas de producción sin o con contaminantes dos veces por semana, almacenes de alimentos, muebles y químicos, bibliotecas, bodegas con montacargas, cines, baños, habitaciones residenciales, hospitales y clínicas, o en lugares abiertos como cafeterías, centros comerciales, escaleras con bajo y alto tránsito.

Otros cambios de aire más grandes desde 30 veces por hora hasta 600 veces por hora, se recomienda realizar en lugares de mayor actividad como lugares cerrados donde se utiliza pintura a base de polvo o solvente, al igual es recomendado mantener esta misma rutina de renovación de aire por tasa de tiempo en industrias con hornos que generen diferenciales térmicos mayores de 40°C e invernaderos de 14°C a 38°C, esto con el propósito de despejar las atmosfera de trabajo, la cual debido a las actividades en esta área y a la temperatura presentada, es más factible la presencia de residuos en el ambiente de laboral.

¹⁹ Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR), Curso de Toxicología para Comunidades. Módulo II Rutas de Exposición. Recuperado de http://www.atsc.gov/es/training/toxicology_curriculum/modules/2/es_module2.html

Sin embargo, hay lugares dispuestos para la manipulación de sustancias peligrosas y altamente volátiles, como campanas para ácidos, humo, polvo, restaurantes grandes, donde se presenta mayor contaminación por lo que sería necesario hacer cambio de aire desde 1000 veces por hora hasta 6000 veces por hora, para garantizar la seguridad y salud en el sitio de trabajo.

Además, con el objetivo de lograr un largo tiempo de vida útil de estos equipos es importante darles el mantenimiento correspondiente a estos sistemas de ventilación.

- Sustitución de la formalina por sustancias con potencial daño menor: El cambio por otra sustancia de menor impacto tanto ambiental como de salud, siempre se ha considerado, es de esta forma que varios estudios han arrojado que sustancias tales como líquidos iónicos son respuesta de alta calidad, son alternativas que las compañías deben considerar a futuro, por sus características como preservantes y poco volátiles, aunque lo recomendable es tener más conocimientos de las sustancias para entender y conocer los efectos en la salud humana.
- Equipo de protección personal: Es un equipo que es requerido por las compañías para el manejo y control del formaldehído, por ello se considera importante entregar al personal la siguiente indumentaria:
 - Protección respiratoria: Respirador con el filtro adecuado según criterio técnico en relación con la concentración ambiental del químico.
 - Protección ocular: Lentes de seguridad para evitar salpicaduras
 - Protección para las manos: Si el contacto es pleno se recomienda guantes de caucho nitrilo con espesor mínimo de 0,40 mm para un tiempo de penetración aproximado a los 480 minutos. Para casos de salpicaduras se recomienda guantes de policloropreno con un espesor de 0,65 mm para un tiempo de penetración aproximado a los 240 minutos.
 - Ropa adecuada: Preferiblemente desechable.
 - Medidas de higiene particulares: Lavado de cara y manos, evitar comer ni beber en el lugar donde se manipule la formalina²⁰.

1.11 COMPORTAMIENTO EN EL AMBIENTE

El formaldehído tiene diferentes reacciones dentro del ambiente, en algunas ocasiones se evapora rápidamente evitando daños tanto en personas como en la naturaleza; así mismo cuando el calentamiento de soluciones de formalina provoca desprendimiento del formaldehído contenido en una solución, una vez en la atmósfera, esta sustancia se convierte en un agente irritante fuerte para cualquier

²⁰ Formalina: características y mecanismos de control ante la exposición del personal en los servicios de anatomía patológica a nivel hospitalario. (2012). 1st ed. Costa Rica: REVISTA MÉDICA DE COSTA RICA Y CENTROAMERICA, pp.235-339.

persona cercana. Esto puede generar peligros con altos riesgos de explosión, por causa del calentamiento excesivo de este tipo de soluciones cuando alcanza la temperatura de auto inflamación²¹. Es de esta forma que se dan a conocer los comportamientos que la sustancia posee frente a los diferentes ambientes en los cuales se manipula la sustancia.

“Agua: Debido a su gran solubilidad, alrededor del 99 % de todo el formaldehído que es liberado al medio ambiente se encuentra en el agua.

Aire: Alrededor del 1% del formaldehído emitido al medio ambiente llega a la atmósfera, pero es rápidamente arrastrado a tierra por las precipitaciones. Debido al tiempo de persistencia relativamente corto, no es transportado a grandes distancias. Cuando el formaldehído bajo presión se expande, forma nieblas frías, estas nieblas son más densas que el aire, se evaporan fácilmente y forman con el aire mezclas agresivas y explosivas (incluso sobre los espejos de agua.

Suelo: Se desconocen los efectos del formaldehído en el suelo y hasta el momento no se ha constatado bioacumulación. La infiltración en los cuerpos de agua subterráneos es de menor importancia porque el formaldehído tiende a evaporarse del suelo.

Tiempo de Vida Media: El tiempo de vida media en el aire (aire urbano en días soleados) es de 1-2 horas; cuando participan radicales OH, el período de persistencia se extiende a 12 horas.

Degradación, Productos de la Descomposición: La degradación está a cargo de microorganismos que se encuentran en el suelo y en el agua. A temperaturas superiores a los 150°C, el formaldehído se descompone formando metanol y monóxido de carbono. Debido a su corto tiempo de vida media, su estabilidad en la atmósfera es escasa. Al entrar en contacto con ácidos y álcalis, el formaldehído se polimeriza espontáneamente. Reacciona con agua formando polimetilenos. Con HCl forma bis (clorometil) éter, que es altamente carcinógeno y cataliza aminas secundarias, formando compuestos N-nitrosos/nitrosaminas que también son carcinógenos.

Es evidente que ni en todos los hogares y/o empresas se encuentran niveles significativamente elevados de formaldehído, ni las concentraciones que se pueden hallar requieren medidas urgentes sabiendo que esta sustancia se encuentra en una gran variedad de objetos que usamos como tejidos, mobiliario, pintura, recubrimientos, productos cosméticos, limpieza, papel, etc.

²¹ Organización Mundial de la Salud (OMS). Environmental Health Criteria 89, Formaldehyde [en línea]. 1989 [citado mayo 20 de 2017]. Disponible en <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc89.htm>

Sin embargo, si existen alternativas, y algunos hábitos que pueden mejorar la calidad del interior de nuestras casas y/u oficinas, lo más lógico e incluso lo más prudente es actuar en consecuencia. Con nuestras elecciones determinamos las condiciones de salubridad en los diferentes sitios en los cuales nos encontramos. Es por ello que se recomienda tener conocimiento sobre la sustancia y el cómo se hace uso de ella, teniendo un refugio libre de tóxicos evitando generar accidentes tanto dentro como fuera de los sitios en los cuales se hace uso del formaldehído.”²²

1.12 LEGISLACIÓN Y SALUD OCUPACIONAL EN EL MUNDO

La legislación para las empresas en relación a la Seguridad y Salud Ocupacional es un punto muy importante para mantener la integridad de los empleados al momento de desempeñar sus labores, al igual que al momento de permanecer en las instalaciones; es por ello que las empresas de todo el mundo están cada vez más involucradas en el alcance y la demostración de un sólido desempeño de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) a través del control de sus riesgos, de acuerdo con su política y objetivos de SST. Lo llevan a cabo en un contexto legislativo cada vez más exigente, con el desarrollo de políticas económicas y otras medidas para fomentar las buenas prácticas de SST, y de una mayor ocupación de las partes interesadas en este tema.

La norma OHSAS 18001 es la encargada en detalle de los requisitos para un sistema de gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), destinados a facilitar que una empresa domine sus riesgos y mejore su desempeño de la SST. Esta norma británica ha sido optada por Colombia a la hora establecer los requisitos para la implementación de un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud Ocupacional en organizaciones que así lo consideren. Este Sistema de Gestión de Seguridad y Salud Laboral que está dirigido a la identificación y control de riesgos y a la ejecución de acciones imprescindibles para poder prevenir accidentes.

Implementando los Sistemas de Gestión de Salud Ocupacional en el trabajo, OHSAS trae consigo muchos beneficios para las empresas, iniciando con la reducción de aquello que es inicu o es maligno, ya que los empleados cuentan con mayores beneficios y control sobre los accidentes que se pueden presentar, sin importar el tipo de compañía, esto genera seguridad sobre el empleado, así mismo, se cuenta con entornos con altos índices de confianza sobre su puesto de trabajo, aumentando el bienestar y satisfacción por parte de los implicados. Estos beneficios son importantes para evitar cualquier tipo de accidente, generando mayor productividad y compromiso por parte de los empleados.

Por otra parte, algunos países optan con tener sus propias leyes, algunos casos son el de España, que cuenta con una legislación muy desarrollada en materia de

²² Wgbis.ces.iisc.ernet.in. (Sin datos Formaldehído. Disponible en: <<http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol328.htm>> [Consultado 25 Feb. 2017].

prevención de riesgos laborales, principalmente mediante las siguientes Leyes y Reales Decretos:

- Ley 31/1995 y Ley 54/2003 de Prevención de Riesgos Laborales
- Real Decreto 39/1997
- Real Decreto 604/2006

1.12.1 Legislación Latinoamericana. Países como Ecuador, Perú, Chile o Colombia han logrado normativizar procedimientos de carácter preventivo y correctivo, además han logrado concientizar acerca de la prevención, a través del desarrollo de leyes específicas.

- Legislación ecuatoriana: El Reglamento SART (Sistema de Auditoría de Riesgos del Trabajo) conoce sobre el mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo a través de la evaluación de los riesgos laborales de cada sector gracias a auditorías documentales, auditorías de verificación y la implicación de la Dirección de las organizaciones y los trabajadores. La ley SART recoge cuestiones de integración de riesgos laborales mediante procedimientos de implantación.
- Legislación peruana: La Ley 29783 sitúa a Perú en situación de vanguardia, dentro de los países de la región, en materia de SST. Es una normativa creada para intentar disminuir la elevada cifra de accidentes laborales en los últimos años. Esta Ley valora que el principal instrumento clave en materia de prevención consiste en fomentar la concientización de todos los integrantes de una organización. Por este motivo, se persigue que las empresas se identifiquen, evalúen, prevengan y comuniquen los posibles riesgos a todos los trabajadores. Actualmente, esta ley ha sufrido diferentes modificaciones en ciertos artículos a través de la Ley 30222.
- Legislación colombiana: En el decreto 1443 del 2014²³ “se definen requisitos de obligatorio cumplimiento que conlleva a que las organizaciones implementen un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).” La organización debe sustituir o reemplazar su Programa de Salud Ocupacional (PSO) definido en la Resolución 1016 de marzo de 1989 y comenzar a desarrollar el nuevo modelo basado en un SG-SST. Dicho decreto se aplica a cualquier tipo de organización, ya sea pública o privada, con cualquier número de trabajadores, que contraten personal bajo modalidad de contrato civil, comercial o administrativo, etc.
- Legislación chilena: Uno de los aspectos más destacados de la Ley 16744 chilena es la contemplación de un seguro social obligatorio a cargo del empresario que protege a los empleados contra los riesgos de accidentes sufridos a causa o con ocasión del trabajo. Dicho seguro cubre también las

²³ DECRETO NÚMERO 1443 DE 2014. (2014). Bogotá D.C.: MinTrabajo. Disponible en: <<http://file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Decreto%201443.pdf>> [Consultado 24 Feb. 2017].

enfermedades provocadas de forma directa por el ejercicio de la profesión o la labor que realice el empleado.

1.12.2 Legislación y Salud Ocupacional en Colombia. A lo largo de los años la Legislación Colombiana ha sufrido varios cambios que han contribuido a situarla en una alta posición y está catalogada como una de las mejores en América Latina, esta se ha ubicado como una Nación de proyección en la protección de trabajadores.

Los problemas, accidentes y/o enfermedades ha llevado a que las empresas a nivel nacional sean más consientes con la seguridad del empleado, así mismo, el gobierno nacional ha favorecido con la causa y han cambiado este tema siendo más exigentes en todos los controles dentro de los diferentes puestos de trabajo y las empresas, ayudando a tener mayor control sobre todas las acciones promoviendo el cuidado dentro de las empresas, es por ello que se dan a conocer los diferentes decretos, resoluciones o artículos que rigen a las compañías a tener un mayor control y protección sobre los empleados, para ello están:

- En el decreto 1072 de la legislación colombiana define los requisitos de obligatorio cumplimiento que conlleva a que las organizaciones implementen un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). La organización debe sustituir o reemplazar su Programa de Salud Ocupacional (PSO) definido en la Resolución 1016 de marzo de 1989 y comenzar a desarrollar el nuevo modelo basado en un SG-SST. Dicho decreto se aplica a cualquier tipo de organización, ya sea pública o privada, con cualquier número de trabajadores, que contraten personal bajo modalidad de contrato civil, comercial o administrativo, etc.
- Al mismo tiempo en la Resolución 2400 de 1979²⁴, “por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo”. Esto ha permitido a los empleados y las diferentes ARP’s relacionar la productividad dentro del trabajo con la calidad y la seguridad dentro de él mismo, permitiendo ser un solo complemento para las compañías. Es por esta razón, no se puede tener relación entre la productividad sin seguridad y de igual forma diseñar productos o tener algún servicio de calidad a costa de la salud e integridad de los trabajadores. Esta resolución cuenta con diferentes artículos los cuales van ligados al compromiso de los dueños de compañías con los empleados, teniendo deberes y derechos los cuales se llevan evitando accidentes, enfermedades, etc.

Los resultados en seguridad van en aumento a medida que se tienen trabajadores y compañías comprometidas, pues al trabajar en excelentes condiciones laborales,

²⁴ MARÍN BERNAL RODRIGO, JACOME ILLERA CARLOS EMIRO, (2017). Recuperado en: <<http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/Res.2400-1979.pdf>>[Citado 22 Feb. 2017].

el resultado que se tiene es una responsabilidad para desarrollar de manera eficaz las diferentes labores impuestas por las compañías.

Se debe agregar que el Decreto 1832 de 1994²⁵ establece “Que se adopta la Tabla de Enfermedades Profesionales”. Este decreto menciona las diferentes enfermedades profesionales definidas por el Gobierno.

Es por ello que el Artículo 2 del presente Decreto menciona “En los casos que una enfermedad no figure en la tabla de enfermedades profesionales, pero se demuestre la relación de causalidad con los factores de riesgo ocupacional, será reconocida como enfermedad profesional.”

Para determinar la relación de causalidad en patologías no incluidas en el artículo 1º de este Decreto, “es profesional la enfermedad que tenga relación de causa-efecto, entre el factor de riesgo y la enfermedad.” Es de esta forma que las compañías optan por sistemas de seguridad, la más utilizada es OSHMS; OHSAS 18001 2007, ILO-OHS 2001 o Control de Pérdidas son esquemas para optar a implantar y certificar en materia de seguridad y salud ocupacional bajo OSHMS. Otros esquemas desarrollados Nacionalmente asisten igualmente en la reducción de riesgo mediante seguridad y salud (sin necesidad de certificar).

Las siguientes actividades incluyen avanzar / implantar un sistema de gestión de Seguridad y salud efectivo:

- Análisis de Bases (incluye análisis de brechas, pero su alcance y provisiones son mayores) - punto de partida que asiste en identificación de riesgos.
- Identificación de los riesgos y estrategia para reducir los mismos.
- Definir la política (o políticas) y los objetivos para un lugar de labor seguro y saludable.
- Identificar puntos críticos de riesgo y actuar.
- Documentar prácticas y métodos (en forma ágil y a su vez un sistema integral robusto con otros esquemas si así se considera necesario).
- Implantación de un sistema de gestión en seguridad y salud.
- Auditoría de la gestión para conocer su nivel de efectividad.
- Tomar acción con miras preventivas

Es de esta forma que las empresas acuden a diferentes organismos para el control adecuado de la seguridad industrial conformando el COPASST (Comité Paritario de seguridad y salud en el trabajo) dentro de las compañías el cual se encarga de vigilar las actividades de la rama de seguridad y salud en el trabajo, desarrolladas dentro de la compañía, gracias a este comité dentro de la empresa se evitan accidentes de menor o mayor grado. Por este medio se permite un mayor control

²⁵ Consulta de la Norma: (2017). [online] Alcaldiabogota.gov.co. Recuperado en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=8802> [En Línea 22 Feb. 2017].

de sustancias químicas como el formaldehído, teniendo mayor seguridad en su uso, implementar la respectiva indumentaria para el trabajo y cuidado a la integridad del empleado.

Por último, la Ley 1562 del 2012²⁶, “por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional”; define que el accidente laboral es, todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, una invalidez o la muerte. También define enfermedad profesional, la cual es la contraída como resultado de la exposición a factores de riesgo inherentes a la actividad laboral o del medio en el que el trabajador se ha visto obligado a trabajar. Por lo cual sus artículos y parágrafos están dedicados a la erradicación de estos riesgos y enfermedades laborales.

²⁶ PARDO RUEDA, R. LEY 1562. 2012. Disponible en <<http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/Res.2400-1979.pdf>> [Citado 22 Feb. 2017].

2. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE DIFUSIVIDAD

En la actualidad las empresas buscan generar fuentes más confiables de seguridad en la actividad diaria laboral como hemos visto, a partir de diferentes métodos de salud y seguridad ocupacional. De esta manera, en el presente trabajo lo que se busca es describir a partir de modelos matemáticos de transferencia de masa la difusión que presenta el formaldehído al ser vertido en una probeta en determinadas condiciones.

Por lo que el cálculo de sus propiedades toma importancia y se describen a lo largo de este capítulo, entre esta se encuentra la difusividad que es un valor que describe la facilidad con que una sustancia en una fase específica se mueve a otra.

Es así que este ítem busca encontrar ¿Cuál es el modelo más adecuado para calcular la difusividad para el sistema de formaldehído aire en un ambiente de trabajo cerrado?

El formaldehído es una sustancia que se usa principalmente como desinfectante en las industrias. Esta se produce comercialmente en soluciones al 37% de volumen, debido a que este compuesto es demasiado reactivo por encima de este porcentaje, tanto así que puede reaccionar consigo mismo en un proceso de autopolimerización. Anexo a esto las soluciones con concentraciones mayores al 40% funcionan como agentes reductores muy fuertes y reaccionan de una forma violenta con compuestos como aminas, ditiocarbamatos, peróxidos orgánicos, y agentes oxidantes fuertes. Esta sustancia también se encuentra catalogada como cancerígena y en las fichas de seguridad de las soluciones con un porcentaje mayor al 25% siempre se indica que debe ser usada en lugares con buena ventilación.

Esto para las empresas puede ser un gran problema ya que un trabajador que pasa 8 horas diarias en su puesto de trabajo se enfrenta a la posibilidad de contraer cáncer al haber realizado la limpieza de su zona con este compuesto y no contar con una ventilación adecuada para disipar sus gases. Por esto mismo toma importancia el analizar este sistema, con el objetivo de simular el comportamiento de esta sustancia en un ambiente cerrado y el riesgo del trabajador al pasar tanto tiempo conviviendo con estos vapores. Así de esta manera las empresas pueden generar una consciencia de seguridad laboral donde prime la salud de sus trabajadores y se implementen ambientes más abiertos con ventilación apropiada que limpie rápidamente el aire que está respirando el empleado durante su estancia en la empresa.

2.1 DIFUSIVIDAD

Como se hace referencia inicialmente el sistema formaldehído-aire, demuestra el fenómeno de transferencia de masa, al evaporarse el formaldehído genera un gradiente de concentración entre el punto de dispersión y un punto distante del punto de dispersión, lo que se define como difusividad de A en B. Ya que para muchos sistemas líquido-vapor, no se encuentran valores teóricos de la difusividad, es importante calcularlo, y para este sistema se encuentran 4 métodos posibles para dicho cálculo y se explicaran a lo largo de este capítulo.

Los rangos típicos de valores para la difusividad varían ampliamente dependiendo del estado físico, como se muestra en el **Cuadro 4**. En la que se evidencia que la difusividad en gases es mayor que la difusividad en líquidos y sólidos, siendo la difusividad de sólidos menor que la difusividad en líquidos.

Cuadros 4. Valores típicos de difusividad a temperatura ambiente.

| Estado | Velocidad de Difusividad por área (cm ² /s) |
|----------|--|
| Gases | Aproximadamente 0.1 (el más alto es 1.7 para H ₂ - He) |
| Líquidos | La mayoría es aproximadamente 1X10 ⁻⁵ (excepto solutos de alto peso molecular que pueden ser hasta aproximadamente 1X10 ⁻⁷) |
| Sólidos | Es aproximadamente menor de 1X10 ⁻¹⁰ (hasta 1X10 ⁻³⁰ para Al en Cu) |

Fuente: TECNO CRUZFIERRO. Algunos Métodos de Estimación para Difusividad. 2010. Disponible en <<http://tecno.cruzfierro.com/formularios/difusividad>> [Consultado 2 enero 2017].

2.1.1 Cálculo del coeficiente de difusividad. Para el cálculo del coeficiente de difusividad se tuvo en cuenta 4 métodos principales tales como; la “Teoría cinética de Chapman-Enskog”, “Teoría cinética modificada por Brokaw para gases polares”, “Método de Wilke Lee” y por último el método de Fuller”. Se escogieron estos métodos debido a que el sistema que se está representando en el presente trabajo corresponde a una mezcla ideal en la cual se manejan presiones bajas y moderadas de aproximadamente 1 atmósfera.

En los gases, la difusividad aumenta con la temperatura, y disminuye cuando la presión aumenta, también disminuye al aumentar el peso molecular. Por tanto, es una propiedad que depende de la temperatura, presión y naturaleza de los

componentes. En un gas a baja presión (1atm), la difusividad cuando la concentración es constante se cumple que “DAB = DBA”

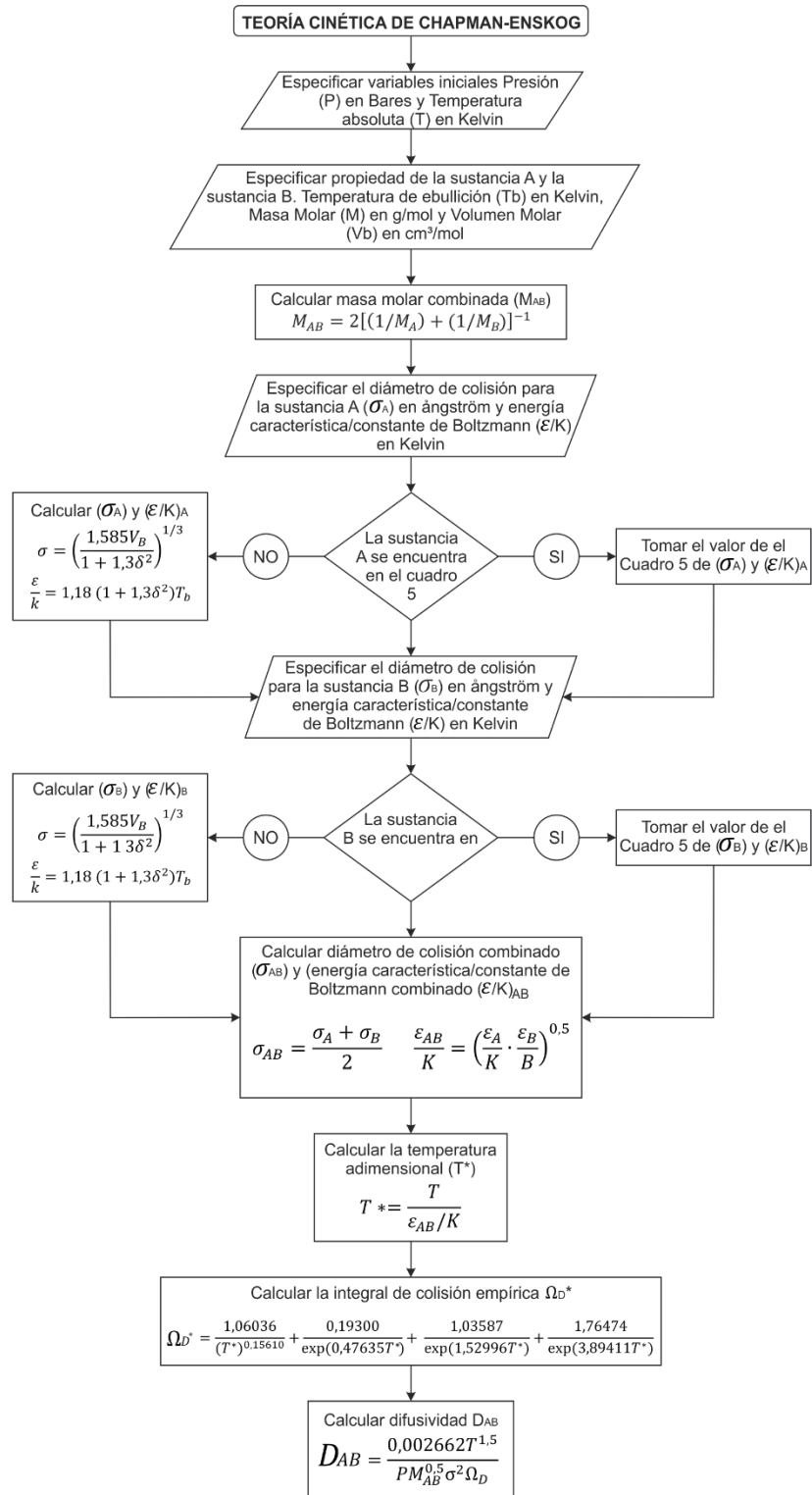
2.1.2 Teoría cinética de Chapman-Enskog. Las expresiones para calcular la difusividad cuando no se cuenta con datos experimentales, están basadas en la teoría cinética de los gases descrita por Chapman y Enskog, esta es mostrada en el **Diagrama 1**.

Esta ecuación nace a partir de la ecuación de Boltzmann. Para solucionar dicha ecuación, Chapman y Enskog describieron un caso en donde la ecuación de Boltzmann era restringida en algunos casos mediante la perturbación de la función de distribución f por una pequeña cantidad del equilibrio descrito por Maxwellian²⁷. La ecuación resultante relaciona las masas relativas de las dos sustancias, la presión total (kPa), la longitud característica (parámetro de Lennard Jones), la integral de colisión y la constante de Boltzmann²⁸ valores que se pueden observar en el **Cuadro 5**.

²⁷ Bird, G. (2003). *Molecular gas dynamics and the direct simulation of gas flows*. 1st ed. Oxford: Clarendon Press, https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpMGDDSGF3/viewerType:toc/root_slug:molecular-gas-dynamics.

²⁸ Murzin, D. (2013). *Engineering Catalysis*. 1st ed. Turku, Finland: De Gruyter, p. https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpEC000012/viewerType:toc/root_slug:engineering-catalysis.

Diagrama 1. Algoritmo de la teoría cinética de Chapman-Enskog.



Esta ecuación posee dos limitaciones, la primera de ellas es la fuerte dependencia con la temperatura en el modelo, esta dependencia influye en como el diámetro de colisión (σ) disminuye al aumentar la temperatura. El segundo problema que enfrenta la ecuación es la dificultad de encontrar los valores de diámetro de colisión (σ) para varias sustancias y que el valor no puede ser usado en rangos muy amplios de temperatura por la dependencia mencionada anteriormente²⁹.

Cuadros 5. Algunos potenciales de Lennard Jones

| Sustancia | | b_0^+ cm ³ / g- mol | σ , Å | ϵ / k, K |
|-----------------------------------|---------------------|--|--------------|-------------------|
| Ar | Argón | 56.08 | 3.542 | 93.3 |
| He | Helio | 20.95 | 2.551 | 10.22 |
| Kr | Kriptón | 61.62 | 3.655 | 178.9 |
| Ne | Neón | 28.30 | 2.820 | 32.8 |
| Xe | Xenón | 83.66 | 4.047 | 231.0 |
| Air | Aire | 64.50 | 3.711 | 78.6 |
| AsH ₃ | Arsina | 89.88 | 4.145 | 231.0 |
| BCl ₃ | Cloruro de Bromo | 170.1 | 5.127 | 337.7 |
| BF ₃ | Trifluoruro de boro | 93.55 | 4.198 | 186.3 |
| B(OCH ₃) ₃ | Borato de trimetilo | 210.3 | 5.503 | 396.7 |
| Br ₂ | Bromo | 100.1 | 4.296 | 507.9 |
| CCl ₄ | Cloruro de Carbono | 265.5 | 5.947 | 322.7 |
| CF ₄ | Fluoruro de Carbono | 127.9 | 4.662 | 134.0 |
| CHCl ₃ | Cloroformo | 197.5 | 5.389 | 340.2 |
| CH ₂ Cl ₂ | Cloruro de Metileno | 149.3 | 4.898 | 356.3 |
| H ₂ O | Agua | 23,25 | 2,641 | 809,1 |

Fuente: POLING Bruce E. PRAUSNITZ John M. O'CONNELL John P. The properties of Gases and Liquids. Appendix B. New York, 2001. Traducción al español.

Por otro lado, se puede considerar el siguiente caso de estudio en el cual se estima el coeficiente de difusión para el sistema Nitrógeno (N₂) - Dióxido de carbono, a una temperatura de 590K y 1bar, donde el coeficiente de difusividad es de 0,583cm²/s.

Para la solución de este problema, se tiene en cuenta el **Diagrama 1.**, donde inicialmente se especifica la masa molecular de la mezcla, $M_{CO_2} = 44 \frac{g}{mol}$ y $M_{N_2} = 28 \frac{g}{mol}$, luego se calcula la masa mola combinada de la siguiente manera:

²⁹ NEW METHOD FOR PREDICTION OF BINARY GAS-PHASE DIFFUSION COEFFICIENTS. Edward N. Fuller, Paul D. Schettler, and J. Calvin. Giddings. Industrial & Engineering Chemistry 1966 58 (5), 18-27. DOI: 10.1021/ie50677a007

$$M_{\text{CO}_2-\text{N}_2} = 2 \left[\left(\frac{1}{44} + \frac{1}{28} \right)^{-1} \right] = 34,22 \text{ g/mol}$$

Se toman los valores del diámetro de colisión y la energía característica de Boltzman, extraídos del **Cuadro 5.**, para cada sustancia.

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{CO}_2} &= 3,941 \text{ \AA} & \frac{\varepsilon}{k_{\text{CO}_2}} &= 195,2 \text{ K} \\ \sigma_{\text{N}_2} &= 3,798 \text{ \AA} & \frac{\varepsilon}{k_{\text{N}_2}} &= 71,4 \text{ K} \end{aligned}$$

Ahora se calcula el diámetro de colisión combinado y la energía característica de Boltzman combinada, así:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{CO}_2-\text{N}_2} &= \frac{3,941 + 3,798}{2} = 3,8695 \text{ \AA} \\ \frac{\varepsilon}{k_{\text{CO}_2-\text{N}_2}} &= (195,2 \times 71,4)^{0,5} = 118,06 \text{ K} \end{aligned}$$

Luego se calcula la temperatura adimensional:

$$T^* = \frac{590}{118,06} = 5,0 \text{ K}$$

A continuación, se calcula la integral de colisión que depende de la temperatura adimensional

$$\begin{aligned} \Omega_D &= \frac{1,06036}{(5)^{0,15610}} + \frac{0,19300}{\exp(0,47635 \times 5)} + \frac{1,03587}{\exp(1,52996 \times 5)} + \frac{1,76474}{\exp(3,89411 \times 5)} \\ &= 0,842 \end{aligned}$$

Por último, se estima el coeficiente de difusividad de dióxido de carbono en nitrógeno.

$$D_{\text{CO}_2-\text{N}_2} = \frac{(0,00266)(590)^{3/2}}{(1)(34,22)^{1/2}(3,8695)^2(0,842)} = 0,5169 \text{ cm}^2/\text{s}$$

El porcentaje de error es del 11%, esto se debe a que la ecuación para el cálculo de coeficiente de difusividad por Chapman-Enskog, tiene en cuenta una disolución de gases no polares, esféricos y con moléculas monoatómicas, Un tratamiento más detallado indica que puede haber un efecto pequeño en los casos en que las masas moleculares M_A y M_B difieren significativamente.

En un estudio específico de este efecto realizado por Yabsley, en el año de 1973, el sistema binario a baja presión, demostró un valor del coeficiente de difusión para el sistema He-CClF₃ de aproximadamente 0,416 a 0,430 cm²/s sobre los extremos de la composición.

En la literatura es posible encontrar diversas parejas de mezcla de gases binarios a partir de métodos experimentales y a partir de estos se realizó los ejemplos y cálculos en el presente trabajo.

2.1.3 Teoría cinética modificada por Brokaw para gases polares.³⁰ Esta teoría tiene en cuenta cuando uno o ambos de los gases involucrados en la mezcla son polares, con lo que se pueden obtener mejores estimaciones de la difusividad. Esta modificación emplea la ecuación de Chapman-Enskog para calcular la difusividad, sin embargo, los parámetros se obtienen de forma diferente. La resolución de este método se presenta en la **Diagrama 2**. El término $\frac{\epsilon_{AB}}{k}$, se calcula de la misma manera que en la teoría cinética de Chapman-Enskog.

La modificación realizada por Borkaw emplea los potenciales de Stockmayer por lo cual el término de la integral de colisión varía y no es suficiente el emplear los valores de Lennard-Jones³¹.

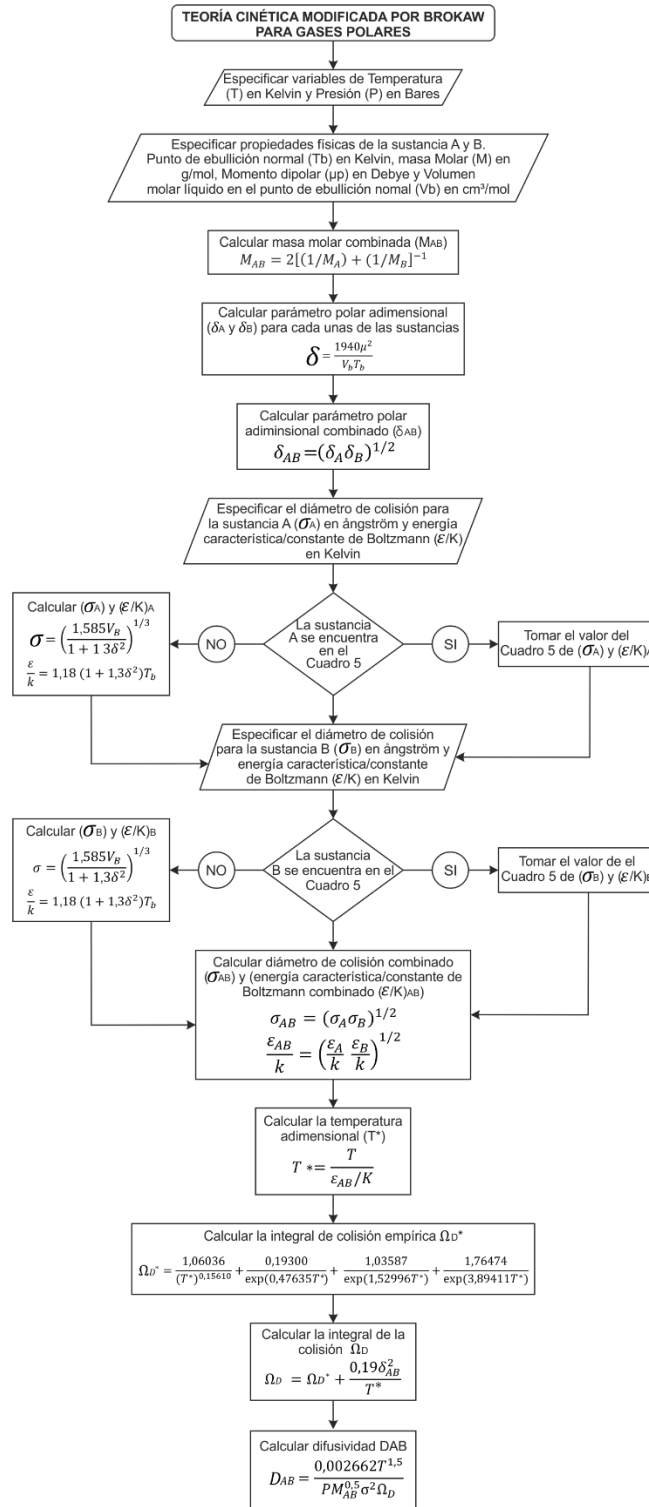
Este modelo presenta un error promedio de 6,4% dependiendo de la complejidad de las parejas de gases que se realicen, un ejemplo de esto es la mezcla (CH₃)₂O – CH₃Cl, y en algunas combinaciones entre la mezcla, la presión y la temperatura el error puede subir hasta el 9%³².

³⁰ Prausnitz, John M.; Poling, Bruce E.; O'Connell, John P. Properties of Gases and Liquids. En: New York, Mc Graw Hill, 2001

³¹ Poling, B., Prausnitz, J. and O'Connell, J. (2000). The properties of gases and liquids. 5th ed. New York: McGraw-Hill, (En Línea). http://accessengineeringlibrary.com.ez.uamerica.edu.co/browse/properties-of-gases-and-liquids-fifth-edition/p2000ad2b99711_1001?s.num=4&q=+Wilke+and+Lee%2C+Ind.+Eng.+Chem.%2C+47%2C+1253+%281955%29.

³² Ibid. p. 11.14

Diagrama 2. Algoritmo de la teoría cinética modificada por Brokaw para Gases Polares.



En este siguiente caso se realiza un ejemplo para determinar el coeficiente de difusión para la mezcla de Cloruro de Metileno CH₃Cl y Dióxido de Azufre SO₂, teniendo en cuenta que la presión del espacio donde se realiza el estudio es de 1bar y a una temperatura de 323K. Los datos necesarios para realizar este estudio, se establecen en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Propiedades necesarias para el cálculo del coeficiente de difusión por Brokaw de las sustancias para el caso de estudio.

| | Cloruro de metilo CH₃Cl | Dióxido de Azufre SO₂ |
|--------------------------------------|---|---|
| Momento dipolar (Debye) | 1,9 | 1,6 |
| Volumen molar (cm ³ /mol) | 50,1 | 44,03 |
| Temperatura de Ebullición (K) | 248,95 | 263,13 |

Para la solución de este problema, se tiene en cuenta el diagrama de flujo **Figura 2**. inicialmente conociendo las masas moleculares de las dos sustancias, se calcula la masa molar combinada, de la siguiente manera:

$$M_{\text{CH}_3\text{Cl}} = 50,49 \text{ g/mol} \qquad M_{\text{SO}_2} = 64,066 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{CH}_3\text{Cl-SO}_2} = 2 * \left(\frac{1}{50,49} + \frac{1}{64,066} \right)^{-1} = 56,47 \text{ g/mol}$$

A continuación, se calcula el parámetro polar adimensional para cada sustancia y después el parámetro polar adimensional combinado:

$$\delta_{\text{CH}_3\text{Cl}} = \frac{1,94 \times 10^3 \times 1,9^2}{50,1 \times 248,95} = 0,56$$

$$\delta_{\text{SO}_2} = \frac{1,94 \times 10^3 \times 1,6^2}{44,03 \times 263,13} = 0,43$$

$$\delta_{\text{CH}_3\text{Cl-SO}_2} = (0,56 \times 0,43)^{0,5} = 0,4907$$

Los valores del diámetro de colisión y la energía característica de Boltzman son los siguientes en calcularse.

$$\sigma_{\text{CH}_3\text{Cl}} = \left(\frac{1,585 \times 50,1}{1 + 1,3(0,56)^2} \right)^{1/3} = 3,84 \text{ \AA}$$

$$\frac{\epsilon}{k_{\text{CH}_3\text{Cl}}} = 1,18[1 + 1,3(0,56)^2](248,95) = 414 \text{ K}$$

$$\sigma_{\text{SO}_2} = \left(\frac{1,585 \times 44,03}{1 + 1,3(0,43)^2} \right)^{1/3} = 3,83 \text{ \AA}$$

$$\frac{\varepsilon}{k_{\text{SO}_2}} = 1,18[1 + 1,3(0,43)^2](263,13) = 385 \text{ K}$$

Ahora se realiza el cálculo para el diámetro de colisión combinado y la energía característica de Boltzman combinada, de la siguiente manera:

$$\sigma_{\text{CH}_3\text{Cl-SO}_2} = \frac{3,84 + 3,83}{2} = 3,84 \text{ \AA}$$

$$\frac{\varepsilon}{k_{\text{CH}_3\text{Cl-SO}_2}} = (414 \times 385)^{0,5} = 399 \text{ K}$$

Luego se calcula la temperatura adimensional:

$$T^* = \frac{323}{399} = 0,81 \text{ K}$$

La integral de colisión depende de la temperatura adimensional y se calcula teniendo en cuenta la **Figura 2**.

$$\Omega_D^* = \frac{1,06036}{(0,81)^{0,15610}} + \frac{0,19300}{\exp(0,47635 \times 0,81)} + \frac{1,03587}{\exp(1,52996 \times 0,81)} + \frac{1,76474}{\exp(3,89411 \times 0,81)} = 1,6$$

$$\Omega_D = 1,6 + \frac{(0,19)(0,49)^2}{0,81} = 1,66$$

Una vez calculados todos los parámetros, se calcula el coeficiente de difusividad del sistema.

$$D_{\text{CH}_3\text{Cl-SO}_2} = \frac{(0,00266)(323)^{3/2}}{(1)(56,47)^{1/2}(3,84)^2(1,66)} = 0,084 \text{ cm}^2/\text{s}$$

El valor experimental, calculado por Brokaw en 1969, es de 0,078 cm²/s, con respecto al valor calculado, tiene un porcentaje de error del 8%. Un estudio de Ravindran, en 1979 ha utilizado la ecuación para el cálculo del coeficiente de difusividad de Brokaw para correlacionar difusividades de compuestos orgánicos de baja volatilidad en gases ligeros.

2.1.4 Método de Wilke Lee 1966.³³ La ecuación para este método se reescribe como se muestra en la ecuación mostrada en el **Diagrama 3**, la cual es útil para mezclas de gases polares y no polares, el cálculo es simple y muy parecido a la teoría cinética de Chapman-Enskog, pero el resultado es más alejado del valor real de difusividad del formaldehído en aire. Sin embargo, tiene un comportamiento adecuado al que se espera, cuando uno de los gases de la mezcla binaria es aire.

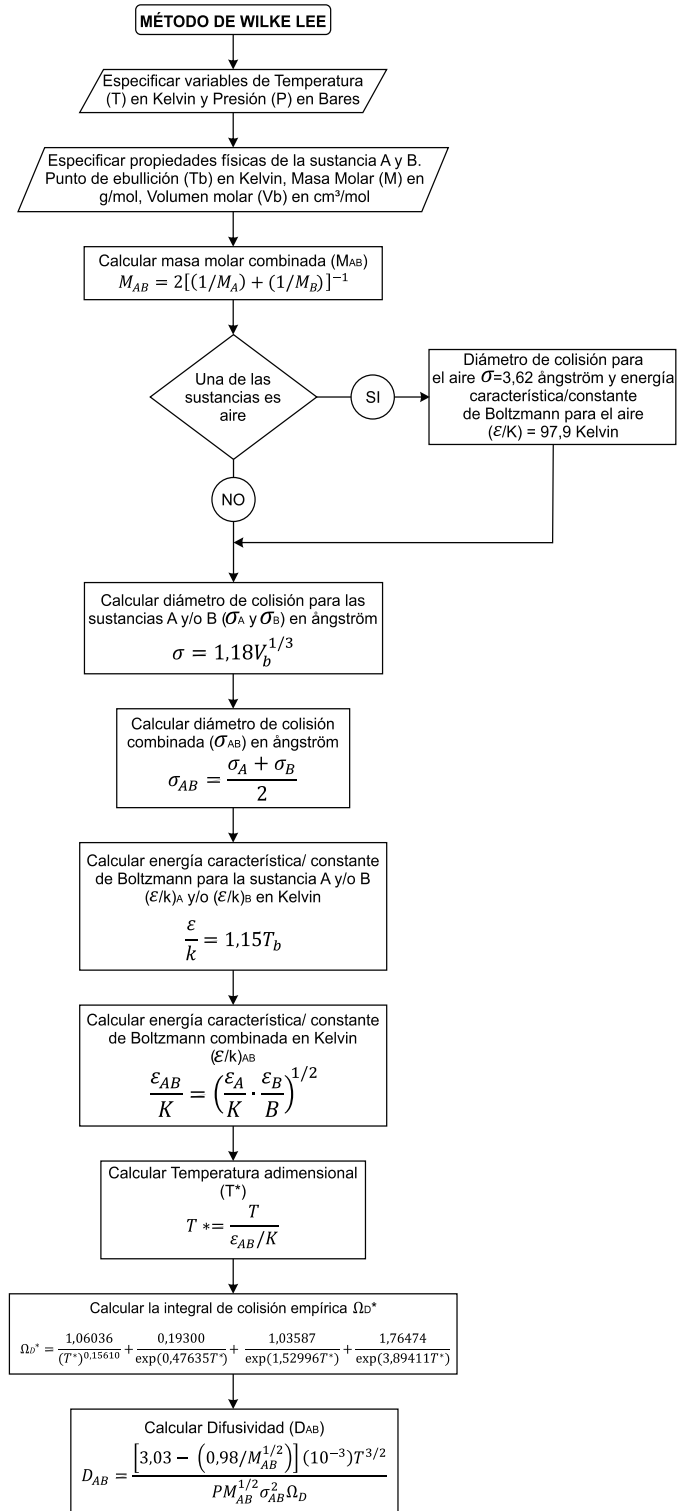
La modificación realizada por Wilke Lee consiste en un ajuste de la relación en la difusividad para los componentes de bajo peso molecular. Esta ecuación provee resultados muy buenos hasta para mezclas de gases binarias con temperaturas por encima de 1000K y presiones máximas de 70atm. Sin embargo, considera que en presiones más altas la difusividad de A en B se mantiene constante³⁴³⁵.

³³ Prausnitz, John M.; Poling, Bruce E.; O'Connell, John P. Properties of Gases and Liquids. En: New York, Mc Graw Hill, pág. 644. 2001

³⁴ Pepper, D. and Carrington, D. (2009). Modeling Indoor Air Pollution. 1st ed. Singapore: World Scientific, p. https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpMIAP0003/viewerType:toc/root_slug:modeling-indoor-air-pollution.

³⁵ Green, D. and Perry, R. (2008). Perrys's chemical engineers' handbook. 8th Ed. New York: McGraw-Hill, pp. http://accessengineeringlibrary.com.ez.uamerica.edu.co/browse/perrys-chemical-engineers-handbook-eighth-edition/p200139d89975_43001?s.num=1&q=%22Wilke+Lee%22+AND+%22Mass+Transfer%22#p200139d89825_51002.

Diagrama 3. Algoritmo del método de Wilke and Lee.



Para el siguiente caso de estudio, se debe calcular el coeficiente de difusividad para el sistema de cloruro de alilo $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}$ en aire el cual se encuentra en condiciones de 298K a una presión de 1bar, partiendo del valor experimental reportado por Lugg en 1968 el cual es de $0,098 \text{ cm}^2/\text{s}$

Para la solución de este problema, se tiene en cuenta el **Diagrama 3**. Conociendo la masa molecular de cada una de las sustancias, se calcula la masa molar combinada, de la siguiente manera:

$$M_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}} = 76,5 \text{ g/mol} \quad M_{\text{aire}} = 29 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl-aire}} = 2 \times \left(\frac{1}{76,5} + \frac{1}{29} \right)^{-1} = 42 \text{ g/mol}$$

Como se muestra en el **Diagrama 3**. Cuando uno de las dos sustancias es aire, los datos del diámetro de colisión y la energía característica de Boltzman, son constantes, y toman valores:

$$\sigma_{\text{aire}} = 3,62 \text{ \AA}$$

$$\frac{\mathcal{E}}{k_{\text{aire}}} = 97 \text{ K}$$

Para la sustancia de cloruro de alilo, es necesario encontrar, $T_b = 318,3 \text{ K}$ y $V_b = 84,7 \text{ cm}^3/\text{mol}$. Para continuar con el cálculo del diámetro de colisión y la energía característica de Boltzman, para esta sustancia:

$$\sigma_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}} = (1,18)(84,7)^{1/3} = 5,18 \text{ \AA}$$

$$\frac{\mathcal{E}}{k_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}}} = (1,15)(318,3) = 366 \text{ K}$$

Ahora se realiza el cálculo para el diámetro de colisión combinado y la energía característica de Boltzman combinada, así:

$$\sigma_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl-aire}} = \frac{5,18 + 3,62}{2} = 4,40 \text{ \AA}$$

$$\frac{\mathcal{E}}{k_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl-aire}}} = (366 * 97)^{0,5} = 188 \text{ K}$$

Luego se calcula la temperatura adimensional:

$$T^* = \frac{298}{188} = 1,59 \text{ K}$$

La integral de colisión depende de la temperatura adimensional y se calcula así:

$$\Omega_D = \frac{1,06036}{(1,59)^{0,15610}} + \frac{0,19300}{\exp(0,47635 \times 1,59)} + \frac{1,03587}{\exp(1,52996 \times 1,59)} + \frac{1,76474}{\exp(3,89411 \times 1,59)}$$

$$= 1,17$$

Una vez calculados todos los parámetros, se estima el coeficiente de difusividad del sistema:

$$D_{\text{CH}_3\text{Cl-SO}_2} = \frac{\left\{3,03 - \left[\frac{0,98}{(42)^{1/2}}\right]\right\}(10^{-3})(298)^{3/2}}{(1)(42)^{1/2}(4,40)^2(1,17)} = 0,10 \text{ cm}^2/\text{s}$$

El porcentaje de error toma un valor del 2%, para este método Wilke-Lee, dispone de revisiones de datos experimentales de coeficientes de difusión binarios, como los estudios de Gordon en el año 1977; Marrero y Mason, en 1972 y Massman en el año 1998, los cuales presentan una revisión de difusividades de los componentes que se encuentran comúnmente en el aire.

2.1.5 Método de Fuller³⁶. Este método semi-empírico se utiliza con mucha frecuencia. Fue realizado por Fuller en 1966, esta ecuación se da mediante un análisis de regresión a partir de 340 coeficientes experimentales de difusión para 152 sistemas binarios y es válida tanto para gases no polares como polares. Su principal diferencia con el resto de los modelos es que se basa en la sumatoria de los volúmenes atómicos de difusión y anexo a esto se indica que el método presenta un error absoluto alrededor del 4%. Este método se expresa en el **Diagrama 4**.³⁷³⁸

Los valores de $\sum v$ se obtienen por contribución de grupos de acuerdo a la **Cuadro 7**. Para algunas moléculas simples se recomienda emplear los valores especiales indicados en la **Cuadro 8**.

³⁶ Prausnitz, John M.; Poling, Bruce E.; O'Connell, John P. Properties of Gases and Liquids. En: New York, Mc Graw Hill, pág. 644. 2001

³⁷ Green, D. and Perry, R. (2008). Perrys's chemical engineers' handbook. 8th Ed. New York: McGraw-Hill, pp. http://accessengineeringlibrary.com.ez.uamerica.edu.co/browse/perrys-chemical-engineers-handbook-eighth-edition/p200139d89975_43001?s.num=1&q=%22Wilke+Lee%22+AND+%22Mass+Transfer%22#p200139d89825_51002.

³⁸ Prausnitz, John M.; Poling, Bruce E.; O'Connell, John P. Properties of Gases and Liquids. En: New York, Mc Graw Hill, pág. 644. 2001

Cuadros 6. Volumen Especial de Volumen Atómico

| Incrementos de difusión volumen atómico y estructurales (v) | | | |
|--|-------|----|------|
| C | 15,9 | F | 14,7 |
| H | 2,31 | Cl | 21,0 |
| O | 6,11 | Br | 21,9 |
| N | 4,54 | I | 29,8 |
| Anillos aromáticos | -18,3 | S | 22,9 |
| Anillos heterocíclicos | -18,3 | - | - |

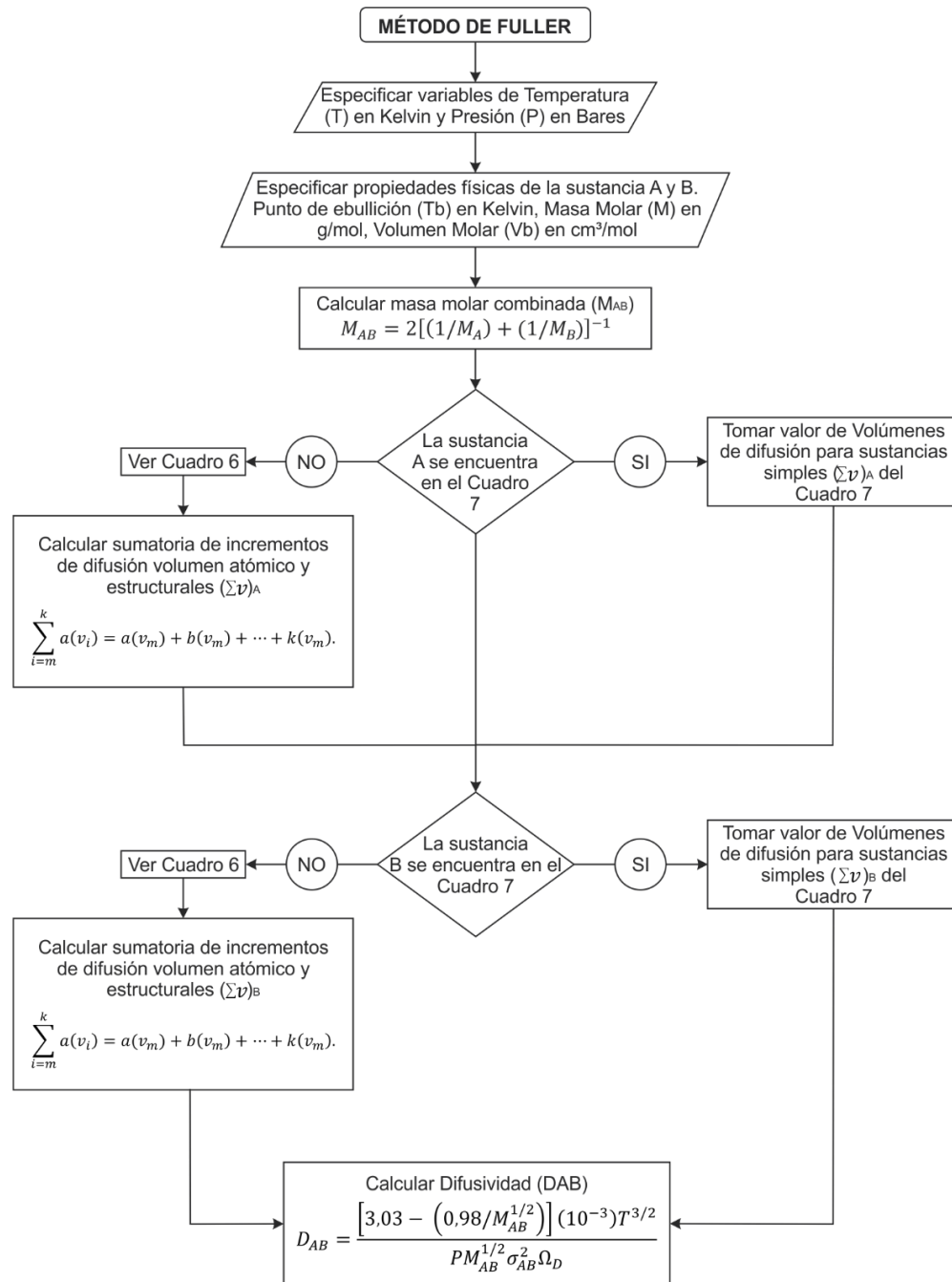
Fuente: PRAUSNITZ, John M.; POLING, Bruce E.; O'CONNELL, John P. Properties of Gases and Liquids. New York, Mc Graw Hill. 2001. pág. 11.11.

Cuadros 7. Sumatoria de Volúmenes de difusión de moléculas simples

| Los volúmenes de difusión de moléculas simples (v) | | | |
|---|------|--------------------|------|
| He | 2,67 | Aire | 19,7 |
| Ne | 5,98 | CO ₂ | 26,9 |
| Ar | 16,2 | N ₂ O | 35,9 |
| Kr | 24,5 | NH ₃ | 20,7 |
| (Xe) | 32,7 | H ₂ O | 13,1 |
| H ₂ | 6,12 | (SF ₆) | 71,3 |
| D ₂ | 6,84 | (Cl ₂) | 38,4 |
| N ₂ | 18,5 | (Br ₂) | 69,0 |
| O ₂ | 16,3 | (SO ₂) | 41,8 |

Fuente: PRAUSNITZ, John M.; POLING, Bruce E.; O'CONNELL, John P. Properties of Gases and Liquids. New York, Mc Graw Hill, pág. 2001. 11.11.

Diagrama 4. Algoritmo del método de Fuller.



Para el siguiente caso de estudio, se debe calcular el coeficiente de difusividad para el sistema de cloruro de alilo $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}$ en aire el cual se encuentra en condiciones de 298K a una presión de 1bar, partiendo del valor experimental reportado por Lugg en 1968 el cual es de $0,098 \text{ cm}^2/\text{s}$

Para la solución de este problema, se tiene en cuenta el **Diagrama 4**. Inicialmente conocemos que la masa molecular de las dos sustancias es:

$$M_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}} = 76,5 \text{ g/mol} \quad M_{\text{aire}} = 29 \text{ g/mol}$$

$$M_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl-aire}} = 2 * \left(\frac{1}{76,5} + \frac{1}{29} \right)^{-1} = 42 \text{ g/mol}$$

Ahora con el objetivo de calcular la sumatoria de la contribución del volumen molar se tiene en cuenta la **Cuadro 8**, teniendo en cuenta la estructura química de la sustancia. Para el cloruro de alilo la fórmula química condensada es $\text{C}_3\text{H}_5\text{Cl}$

$$\Sigma V_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl}} = 3(15,9) + (21) + 5(2,31) = 80,25$$

Teniendo en cuenta que la sustancia es aire, se toma el valor de **Tabla 2** del volumen molecular $\Sigma V_{\text{aire}} = 19,7$. Una vez calculados todos los parámetros, se calcula el coeficiente de difusividad del sistema:

$$D_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{Cl-aire}} = \frac{(0,00143)(298)^{1,75}}{(1)(42)^{1/2}[(19,7)^{1/3} + (80,25)^{1/3}]^2} = 0,096 \text{ cm}^2/\text{s}$$

El porcentaje de error toma un valor del 2%, demostrando ser uno de los métodos y más acertados para sistemas de mezclas con gases binarios.

2.2 SISTEMA FORMALDEHIDO-AIRE

El sistema que se va a evaluar a lo largo del desarrollo de este documento consiste en una mezcla binaria de formaldehído – aire en un ambiente cerrado. Esta mezcla se dará debido a la dispersión del vapor de formaldehído en el aire presente en la habitación y se establecerá la concentración de dicho vapor a lo largo de un tiempo de 8 horas siendo este el tiempo que pasa diariamente un trabajador en su puesto de trabajo luego de utilizar esta sustancia.

El formaldehído y otros compuestos carbonílicos están recibiendo atención tanto por ser sustancias tóxicas como por favorecer la formación fotoquímica de ozono en el aire. En las viviendas, el contrachapado de madera, el conglomerado, el material aislante, las instalaciones de combustión, el humo del tabaco y varios productos de consumo diario son generadores de aldehídos. Los aldehídos se liberan a la atmósfera, quedando las partículas estáticas en el aire, acumulando la concentración del compuesto tóxico, que genera enfermedades al trabajador expuesto.

El formaldehído en estado líquido al ser expuesto a temperatura ambiente, se evapora formando un gas incoloro que se polimeriza lentamente hasta meta formaldehído $(\text{HCHO})_3$ o trioxano, un sólido blanco de estructura cíclica y que funde a 67°C . Es muy soluble en el agua y muchos disolventes orgánicos.

Entre los síntomas y efectos de la exposición a diferentes concentraciones de Formaldehído en el aire, se encuentran; a una concentración de 1,0 ppm olor irritante; entre 1,0 ppm y 2,0 ppm hay irritación de los ojos y la garganta; entre 5,11 ppm y 20,0 ppm produce máxima lacrimación y disnea (con tos); más de 20,0 ppm edema pulmonar y disnea.

La EPA (Environmental Protection Agency), consideró que este aldehído es un probable cancerígeno humano (Grupo B2) basada en estudios experimentales y epidemiológicos. Los estudios epidemiológicos sugirieron un aumento en la incidencia de tumores en el cerebro, leucemia y cirrosis hepática entre trabajadores. Por otro lado, los estudios de laboratorio mostraron que el Formaldehído causaba cáncer nasal en ratas, mutaciones en bacterias, levaduras y células de mamíferos y humanos³⁹.

Para el estudio de los modelos de dispersión presentados en el capítulo 2 del formaldehído en aire, se necesita conocer o calcular unas propiedades que ayudan a la transferencia de masa que se presenta en este sistema, estas propiedades son la difusividad (usada para simular los modelos), que es una propiedad de la mezcla, esta describe la proporcionalidad de dispersión de la sustancia A en la sustancia B. Otra propiedad a calcular es la presión de vapor, esta es implícita ya que solo se calcula con el fin de conocer la volatilidad del formaldehído y con ello conocer la peligrosidad que presenta la sustancia al evaporarse y acumularse en el medio.

2.2.1 Resultados para el Sistema Formaldehído-Aire. Para el cálculo se tuvieron en cuenta las propiedades físicas iniciales mostradas en la Tabla 8, los cuales son propiedades constantes que dependen de cada sustancia, con sus respectivas unidades, teniendo en cuenta que la sustancia A es el Formaldehído al 37% y la sustancia B es el Aire. También se conoce que se realiza el cálculo para 4 métodos que se ejecutan a condiciones estándar, es decir a 25°C y 1 atm.

³⁹ SÁNCHEZ, Juan Fernando, *“Exploración de un método para la inactivación de formaldehído en el anfiteatro de la facultad de salud de la universidad del valle”*, 2011, Universidad del Valle. pdf

Tabla 2. Propiedades Físicas Iniciales

| Propiedades físicas | Sustancia a (Formaldehido) | Sustancia b (Aire) | Unidades |
|--|-------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Punto de ebullicion (Pb) | 253,95 | 78,8 | K |
| Masa molar (M) | 30,026 | 28,97 | g/mol |
| Volumen molar (Vb) | 36,8 | 29,9 | cm ³ /mol |
| Constante de Boltzman(k) | 1,8E-16 | | ergios/K |
| Pesos moleculares combinados (M _{AB}) | 29,48 | | g/mol |

Partiendo que el valor experimental de la difusividad a condiciones estándar anteriormente indicadas del sistema formaldehido-aire es cercano a 0,19 cm²/s, se realizó el cálculo para este sistema de acuerdo con los métodos anteriormente mencionados, y se calculó el porcentaje de error de cada método. De la misma manera, se realizó el procedimiento cambiando el formaldehído agua, esto debido a que el formaldehído se encuentra en estado gaseoso en las condiciones estándar establecidas antes. Por consiguiente, se tiene inicialmente una solución de formaldehido al 37% estos valores se observan en la **Tabla 2**.

Tabla 3. Resultados para el cálculo de difusividad del formaldehido por diferentes métodos en cm²/s

| Método | Difusividad | %error |
|--|-------------|--------|
| Valor Experimental | 0,1878 | - |
| Teoría Cinética de Chapman-Enskog | 0,1522 | 18,94 |
| Método de Fuller | 0,1727 | 8,035 |
| Teoría Cinética modificada por Brokaw para gases polares | 0,1294 | 31,10 |
| Método de Wilke and Lee | 0,1667 | 11,24 |

Con los resultados presentados en la **Tabla 3** y teniendo en cuenta el valor de difusividad experimental se puede concluir que el método de Fuller presenta una mayor exactitud en comparación con los otros modelos; en cuanto al modelo de Brokaw, a pesar de estar diseñado para gases polares como sería el formaldehído, muestra el mayor error absoluto y con esto permite descalificarlo como uno de los métodos de cálculo de difusividad para el sistema que se está manejando. Retomando el método de Fuller, se puede asumir que su exactitud es debida a que el procedimiento llevado a cabo para el desarrollo de la ecuación representa un método muy confiable ya que tuvo en cuenta varios datos experimentales y varios sistemas binarios a la hora de establecer una ecuación definitiva.

Para el agua, el producto de la difusividad con la presión experimental debe ser de 0,292 cm²/s a una temperatura de 313 K, para esta condición de temperatura y a una presión de 1,01325 bar se realizaron los cálculos de difusividad para el agua por los distintos métodos, proporcionando los resultados de la **Tabla 3**.

Tabla 4. Resultados para el cálculo del coeficiente de difusividad del agua de diferentes métodos en cm²/s con su respectivo porcentaje de error teniendo en cuenta su valor experimental.

| Método | DAB | %ERROR |
|--|--------|--------|
| Valor experimental | 0,292 | - |
| Teoría Cinética de Chapman-Enskog | 0,2382 | 18,41 |
| Método de Fuller | 0,2775 | 4,946 |
| Teoría Cinética modificada por Brokaw para gases polares | 0,2452 | 16,02 |
| Método de Wilke and Lee | 0,2584 | 11,51 |

En el segundo caso, donde se analizó el sistema entre agua y aire confirma que la ecuación de Fuller es la más acertada a la hora de calcular la difusividad de una mezcla binaria; nuevamente es el método con menor error porcentual siendo un error de casi 5% similar al que había establecido Fuller durante su desarrollo experimental que formuló dicha ecuación. Sin embargo, la ecuación que sí presentó un mayor porcentaje de error a diferencia del sistema pasado fue la ecuación de Chapman-Enskog, aun así, la ecuación de Brokaw sigue mostrando errores bastante altos permitiendo que siga sin tenerse en cuenta para el cálculo de difusividad en el desarrollo de este trabajo de grado.

2.3 DETERMINACION DE LA PRESION DE VAPOR

Debido a que la presión de vapor es la presión que está presente en la fase gaseosa sobre la fase líquida y refleja el cambio de fase sin necesidad de ser sometido a una fuente de calor, de aquí radica la importancia de estimar este parámetro ya que es el parámetro que describe la rapidez de cambio de fase en un área determinada.

La presión de vapor es la mayor presión ejercida por un componente puro durante la fase de equilibrio líquido-vapor. Esta existe a lo largo de la línea entre el punto triple, la máxima presión y temperatura crítica. También se considera que la presión ejercida durante el equilibrio sólido-vapor se llame presión de vapor, sin embargo, esta se encuentra únicamente como valor experimental y para aquellas sustancias que pueden sublimarse fácilmente⁴⁰.

⁴⁰ Lange, N. and Speight, J. (2005). Lange's handbook of chemistry. 1st ed. New York: McGraw-Hill, pp. <http://accessengineeringlibrary.com.ez.uamerica.edu.co/browse/langes-handbook-of-chemistry-sixteenth-edition/ch01lev1sec11?q=%22Vapor+pressure%22>.

Las presiones de vapor se han medido para muchas sustancias. Cuando algunas mediciones fiables están disponibles, son preferibles a los resultados de los métodos de estimación teóricas. Existen numerosas tabulaciones adicionales de la presión de vapor "experimental". Sin embargo, a veces, estas presiones de vapor se calculan en lugar de los datos originales y, por tanto, existe la posibilidad de que los errores se han introducidos en el ajuste, la interpolación, o extrapolación de estos datos⁴¹.

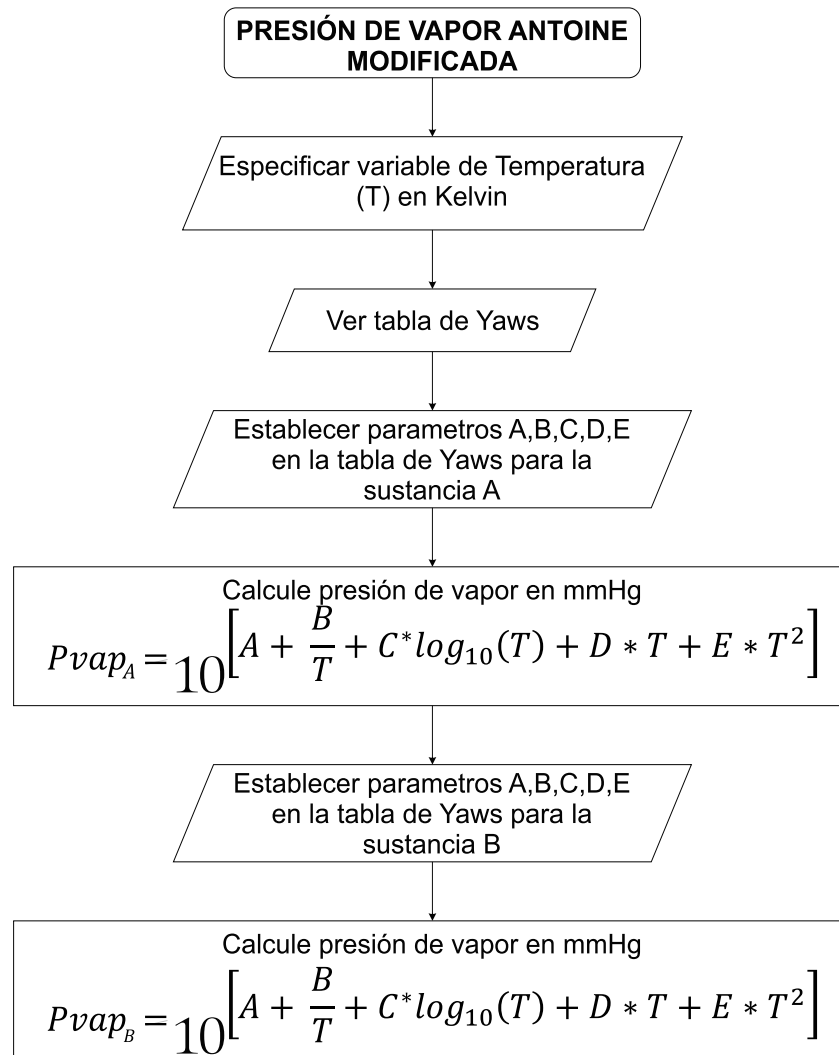
Muchas ecuaciones diferentes se han presentado para correlacionar presiones de vapor como una función de la temperatura. Una de ellas es la ecuación de Antoine modificada.

2.3.1 Ecuación de Antoine modificada. A pesar de que la ecuación de Antoine, ha demostrado buenas aproximaciones en el cálculo de la presión de vapor, se ha establecido una modificación a esta ecuación para obtener valores más aproximados para cada sustancia, esta es una ecuación muy usada y está en función de las constantes A, B, C, D y E.

El algoritmo que se tiene en cuenta para el cálculo de la presión de vapor es el mostrado en el **Diagrama 5**.

⁴¹Prausnitz, John M.; Poling, Bruce E.; O'Connell, John P. Properties of Gases and Liquids. En: New York, Mc Graw Hill, 2001

Diagrama 5. Ecuación de Antoine modificada.



Donde A, B, C, D y E, son los coeficientes de Antoine y valores experimentales estimados por Carl L. Yaws para la sustancia deseada, en este caso el formaldehído⁴². Se realiza el mismo procedimiento para la sustancia agua, con sus respectivas constantes, y por último se realiza un promedio según la solución para obtener un solo valor de la presión de vapor.

Se tiene conocimiento de que para la predicción de un modelo difusivo-convectivo para cualquier sustancia se necesitan de algunas propiedades que se explicaron en el capítulo 1, haciendo énfasis en la difusividad del sistema formaldehído al 37% en aire siendo el ejemplo desarrollado en todo el trabajo. La presión de vapor que se

⁴²Carl L. Yaws, Coeficientes de Antoine para sustancias organicas, Yaws' Handbook of thermodynamic and Physical Properties of chemical compounds. En: 1978

calcula para el formaldehído en las condiciones estándar presentadas anteriormente permite concluir que esta sustancia se encuentra en estado gaseoso al estar pura y no podría ser empleada en este trabajo sino en su forma diluida únicamente.

3. DETERMINACIÓN DE MODELOS DE DIFUSIÓN

El presente capítulo tiene el objetivo de aplicar modelos de dispersión difusivo-convectivo a través de modelos matemáticos de fenómenos de transporte con transferencia de masa y adaptarlos a tres modelos de estudio específicos que se definen como; modelo difusivo, convectivo y difusivo-convectivo, con el fin de describir el comportamiento que tiene la sustancia a través del tiempo en un espacio definido o en este caso un el lugar de trabajo cerrado.

La importancia de este capítulo parte de que gracias a la descripción de las ecuaciones realizadas podremos predecir el tiempo y perfiles de concentración aproximados para condiciones iniciales de temperatura y presión ambiental del sitio de trabajo con el propósito de generar una visión más clara a la persona encargada de las condiciones en que realmente se encuentran las personas expuestas ante la solución de formaldehído al 37% y así tomar medidas de protección en el sitio de trabajo.

3.1 LEY DE FICK

Fick fue uno de los fundadores del estudio de la difusión molecular. En 1855 dio a conocer los resultados su estudio en el que se reconocía que la difusión de masa seguía esencialmente la misma ley que la difusión de calor (Ley de Fourier) y el flujo de electricidad (Ley de Ohm). La ley de Fick es el modelo matemático que representa la transferencia de masa molecular, en sistemas donde puede ocurrir difusión, convección o ambas.

Es así como se explica que, si en un sistema termodinámico existe un gradiente de concentración, se origina un flujo de materia desde una zona de alta concentración a una de baja concentración. Este flujo tiene por nombre difusión, que es aquella variable que a través del tiempo tiende a volver su estado de equilibrio. “La ley de Fick para una mezcla binaria dice que el flujo difusivo que atraviesa una superficie es directamente proporcional al gradiente de concentración está dada por la **ecuación 1**”⁴³:

$$N_A = -D_{AB}\nabla C_A = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial z} \quad (1)$$

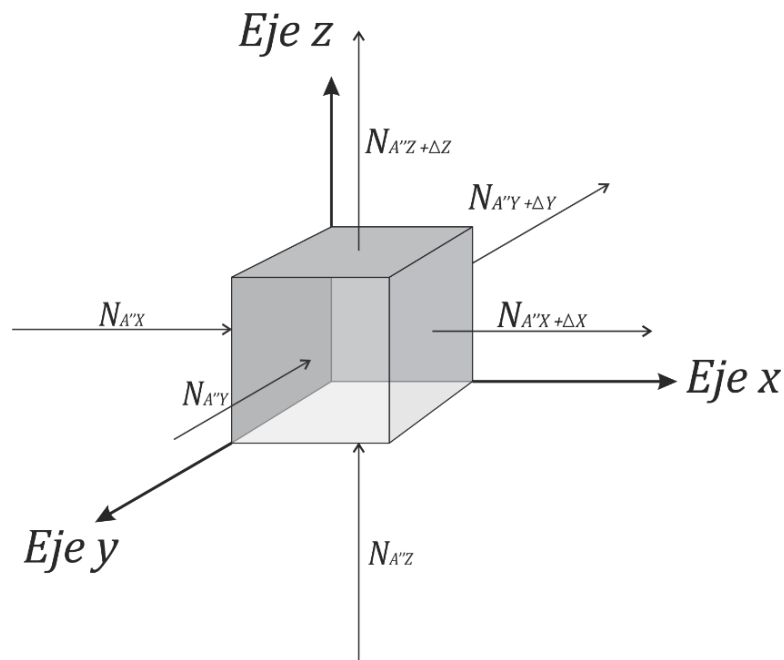
Donde (N_A) es el flux o velocidad de transferencia de masa, que depende de forma proporcional a la diferencia de concentración $\left(\frac{\partial C_A}{\partial z}\right)$ y una resistencia que está indicando el impedimento que tienen las moléculas para transferirse en un medio. Esta se enuncia como una constante de proporcionalidad entre la velocidad de transferencia y la diferencia de concentraciones denominado Difusividad de masa

⁴³ TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa, segunda edición, México. McGraw-Hill, p. 25.

D_{AB} , C_A es la concentración de la sustancia A que emigra hacia la otra fase y Z es la posición en donde ocurre la difusión y se aprecia el cambio de concentración.

Por otro lado, con el fin de dar a conocer y evitar ambigüedades acerca de las variables y las direcciones que se tendrán en cuenta a lo largo del desarrollo de este capítulo, se muestran en la **Figura 3**. Las cuales se dan en tres diferentes direcciones cubicas: la altura (Z), el ancho (X) y la profundidad (Y), escogido ya que se utiliza para casos en los que se involucren recipientes, como son los casos del presente trabajo. Sin embargo, cabe aclarar que en los modelos que se explican a continuación la dirección de la profundidad (Y) se considera que al ser una dimensión tan pequeña en el recipiente escogido, que es una probeta, los cambios en la concentración son muy pequeños durante el proceso por lo que podemos entrar a despreciarlo, y la atención se enfoca sobre la difusión en dirección perpendicular a la superficie de contacto entre las fases (Z) y la velocidad del aire que se presenta en dirección paralela (X).

Figura 3. Coordenadas Cubicas para balance de materia en los casos de estudio.



3.2 MODELO 1 – FENÓMENO DIFUSIVO

Este primer modelo, tiene como objetivo analizar el fenómeno de difusión que está presente al interior del recipiente sin tener en cuenta los fenómenos externos que puedan presentarse como las corrientes de aire, cambios en la temperatura, humedad, etc.

Ahora bien, con el fin de iniciar el planteamiento de las ecuaciones se realiza el balance de materia.

Luego, teniendo en cuenta la **Figura 3** se organiza la ecuación, uniendo términos semejantes y realizando las respectivas operaciones llegamos a la ecuación 2.

$$D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial X^2} + D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial Y^2} + D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial Z^2} - N_{A^{RX}} = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (2)$$

Los términos de la **ecuación 2** se pueden simplificar debido a que la concentración en cualquier punto de la superficie del líquido es constante, desde el centro a la pared de la probeta, por lo que siempre es la misma y se dice que $\frac{\partial^2 C_A}{\partial X^2} = 0$. Como se dijo antes, el cambio en la concentración en el eje (Y) es muy pequeña por lo que podemos despreciarlo y $\frac{\partial^2 C_A}{\partial Y^2} = 0$, es decir que, $\frac{\partial^2 C_A}{\partial Z^2}$ mantiene su gradiente de concentración, ya que en esta dirección si hay cambios de concentración considerables. Debido a que el aire (B) no es un componente que reaccione con la solución de formaldehído (A), consideramos que $N_{A^{RX}} = 0$, y que no existe acumulación en este proceso con el paso del tiempo $\frac{\partial C_A}{\partial t} = 0$. De esta manera llegamos a la **ecuación 3**. Adicionalmente este modelo tiene en cuenta que la sustancia A se evapora mientras la sustancia B es soluble en A y permanece en estado estacionario por lo que presenta un flujo laminar sin agregar corrientes de aire al sistema.

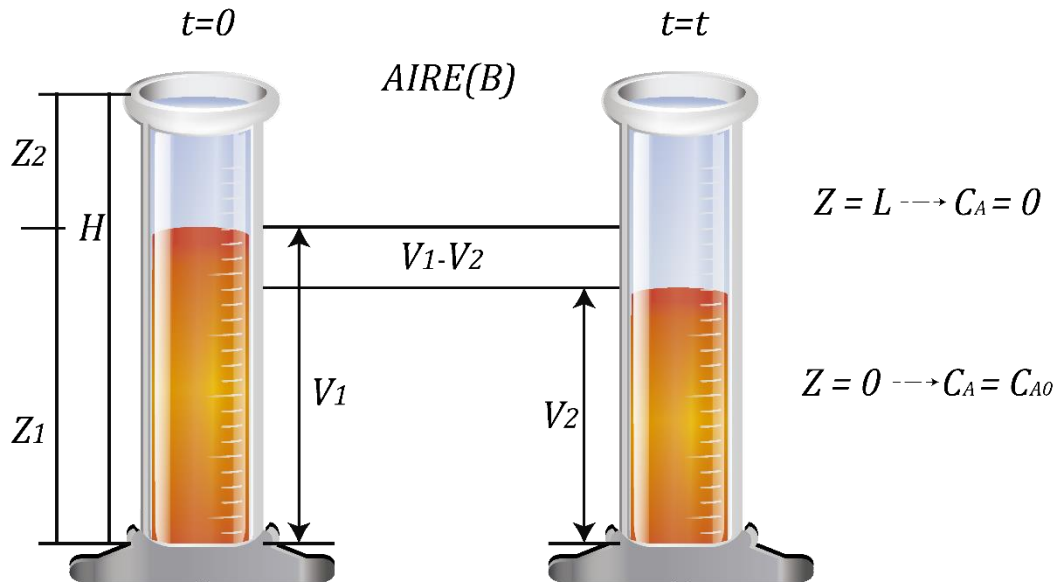
$$-D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial Z^2} = 0 \quad (3)$$

Esta ecuación representa el cambio de concentración de la sustancia que se difunde por la unidad de longitud de la normal (perpendicular) entre dos superficies. El signo negativo (-) indica que la difusión molecular siempre ocurrirá en dirección contraria, con tendencia a disminuir la concentración que la transfiere.

Conociendo que en el punto de difusión sin diferencia de altura siempre el valor de concentración es el mismo, se espera que al variar la altura la concentración en cada punto disminuya a medida que se va alejando del punto de difusión, ya que la cantidad de partículas que se difunden son menores a las iniciales.

Se siendo esto cierto, la condición de frontera del sistema se centra desde el punto de difusión ($Z = 0$) que corresponde a la superficie del líquido, hasta la boquilla del recipiente ($Z = 1$) como se muestra en la **Figura 4**.

Figura 4. Representación gráfica del fenómeno difusivo en una probeta del Formaldehído en Aire en una zona de trabajo cerrada.



Debido a que el formaldehído se dispersa en el aire en dirección (Z), pero el aire se encuentra en estado estacionario; es decir que existe cuando el gradiente de concentración mantiene un suministro continuo de los componentes de baja y alta concentración, por lo que posee un flujo que equivale a $N_B = 0$, sabiendo esto se llega a la **ecuación 4** y a la ecuación 5 al realizar estas simplificaciones⁴⁴.

$$-D_{AB} \frac{d}{dz} \left(\frac{dC_A}{dz} \right) = 0 \quad (4)$$

$$N_{A(z)} = (N_A + 0) \frac{C_A}{c} - D_{AB} \frac{dC_A}{dz} \quad (5)$$

Enseguida se realiza separación de términos con el fin de organizar la integración de la ecuación 5 y se obtiene la **ecuación 6**.

$$\int_{C_{A1}}^{C_{A2}} \frac{-dC_A}{N_A - C_A(N_A + N_B)} = \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{D_{AB}C} \quad (6)$$

El resultado de la integración es la **ecuación 7**.

$$\frac{1}{N_A + N_B} * \text{Ln} \frac{N_A C - C_{A2}(N_A + N_B)}{N_A C - C_{A1}(N_A + N_B)} = \frac{Z}{CD_{AB}} \quad (7)$$

⁴⁴ TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa, segunda edición, México. McGraw-Hill, p. 30.

A partir de la **ecuación 7**, se despeja el flux de la sustancia A en la dirección (Z).

$$N_{A(Z)} = \frac{N_A D_{AB} C}{(N_A + N_B) Z} * \text{Ln} \left(\frac{\frac{N_A}{(N_A + N_B)} - y_{A2}}{\frac{N_A}{(N_A + N_B)} - y_{A1}} \right) \quad (8)$$

Ahora, la **ecuación 8** se expresa en términos de fracción molar (y_A) y organizando la ecuación se obtiene la ecuación 9 que es la que nos permite calcular la velocidad de difusión con respecto al cambio de alturas en dirección (Z) con respecto a un gradiente de concentración de media logarítmica $\text{LN} \left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}} \right)$.

$$N_{A(Z)} = \frac{D_{AB} P}{R Z T} * \text{Ln} \left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}} \right) \quad (9)$$

Y donde, P es la presión total del sistema, R es la constante de los gases ideales, T es la temperatura del sistema.

Ahora bien, para el cálculo de la fracción molar (y_A), se debe tener en cuenta que el sistema es ideal lo que nos permite llegar a la ecuación 10, que indica la fracción de dicha sustancia cuando llega al equilibrio con la sustancia B.

$$Y_{\max} = \frac{\frac{M_1}{PM \text{ promedio}}}{\frac{M_1}{PM \text{ promedio}} + N_{t \text{ aire}}} \quad (10)$$

Así mismo, se debe tener en cuenta que en la difusión se presenta una diferencia de volumen porque a medida que el líquido realiza este fenómeno el nivel o altura del líquido en el recipiente va disminuyendo, es por esto que a partir de la **ecuación 11** que representa el volumen del recipiente y la **ecuación 12** que incorpora las distancias en (Z) del recipiente y del líquido según se muestran en la **Figura 4** con el fin de realizar las derivadas implícitas posteriormente.

$$V = A_t \times h \quad (11)$$

$$H = z + h \quad (12)$$

Se puede reescribir la **ecuación 13** para realizar las derivadas parciales, con el fin de hallar el cambio de volumen con respecto al tiempo $\frac{dV}{dt}$, el cambio de posición con respecto al tiempo $\frac{dz}{dt}$ y encontrar la **ecuación 19** que relacione estas dos variables.

$$N_{A(Z)} = \frac{-\rho_L}{PM A_t} \frac{dV}{dt} \quad (13)$$

$$\frac{dV}{dt} = A_t \frac{dh}{dt} = -A_t \frac{dz}{dt} \quad (14)$$

Finalmente, se reemplaza la **ecuación 13** en la **ecuación 12**, obteniendo el flujo resultante en dirección (Z) que se muestra en la **ecuación 15** dado que el área transversal se cancelaría para esta situación

$$N'_A = -\frac{\rho_L}{PM} \frac{dz}{dt} \quad (15)$$

Todavía cabe señalar que como el formaldehído se va difundiendo en el aire con respecto al tiempo, podemos considerar que lo que pierda el líquido como consecuencia de su transferencia de masa, será en la misma proporción lo que gane el gas, consiguiendo la **ecuación 17**⁴⁵ por medio de la igualación con la **ecuación 16**

$$N_{A(Z)} = -\frac{\rho_L}{PM_A * A_t} \frac{dZ}{dt} \quad (16)$$

$$\frac{D_{AB} P_T}{RZT} \times \text{Ln} \left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}} \right) = -\frac{\rho_L}{PM_A * A_t} \frac{dZ}{dt} \quad (17)$$

De esta manera la **ecuación 17** es una ecuación diferencial que se resuelve por separación de variables y luego puede integrarse para obtener la **ecuación 21** que describe el cambio del tiempo con respecto a la distancia dZ/dt .

$$\frac{D_{AB} P_T}{RT} \times \text{Ln} \left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}} \right) dt = \frac{Z \rho_L dz}{PM} \quad (18)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{D_{AB} P_T}{RT} \times \text{Ln} \left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}} \right) dt = \int_{z_1}^{z_2} \frac{z \rho_L dz}{PM} \quad (19)$$

$$\frac{D_{AB} P_T}{RT} \times \text{Ln} \left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}} \right) \Delta t = \frac{\rho_L (z_2^2 - z_1^2)}{2 * PM} \quad (20)$$

$$\Delta t = \frac{\frac{\rho_L (z_2^2 - z_1^2)}{2 * PM}}{\frac{D_{AB} P_T}{RT} \times \text{Ln} \left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}} \right)} \quad (21)$$

Haciendo uso de la **ecuación 9** y la **ecuación 21**⁴⁶, se pueden obtener los perfiles de concentración respecto al tiempo que transcurre mientras las partículas de formaldehído se dispersan desde el recipiente hacia el aire, esta afirmación se valida en el capítulo 5, una vez simulado en el software y comparado con datos experimentales a las mismas condiciones planteadas para el sistema.

3.3 MODELO 2 - FENÓMENO CONVECTIVO

La transferencia de masa por convección es un fenómeno de transporte que ocurre entre una superficie límite de dos fluidos en movimiento que no son miscibles, por lo tanto, la convección siempre se llevará a cabo a través de la transferencia de masa entre dos fases de propiedades distintas.

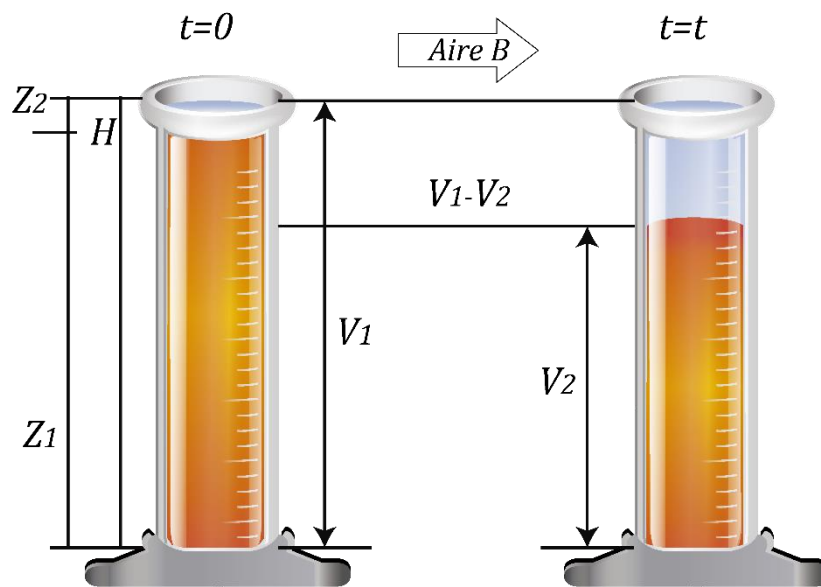
⁴⁵ GEANKOPOLIS, Procesos de transporte, tercera edición, México, 1998, p. 436

⁴⁶ Ibid. p. 436

Este segundo modelo, tiene la finalidad de analizar el fenómeno de convección que ocurre al exterior del recipiente, razón por la cual suponemos que el recipiente se encuentra ocupado en su totalidad por la sustancia, de esta manera aseguramos que la superficie del líquido está en contacto con el aire de la habitación o lugar de análisis.

Además, suponemos que la velocidad de al aire que está en contacto con el fluido es contante y con una velocidad tan pequeña que posee un flujo laminar y unidireccional por lo que no se presentan corrientes de aire en diferentes direcciones como se ve en el **Figura 5**, como se dijo antes estas dos sustancias no presentan reacción química y no se va a generar una acumulación apreciable en el sistema y es unidireccional.

Figura 5. Representación gráfica del modelo convectivo en una probeta del formaldehído en Aire en una zona de trabajo cerrada.



Este modelo ahora tiene en cuenta el coeficiente de transferencia de masa global por convección denominado (F_g), que establece el grado en que se trasfiere masa de un medio a otro. Este coeficiente es de gran importancia porque regula la rapidez en se alcanza el equilibrio.

Por consiguiente, el modelo presenta un mecanismo más complejo porque depende de condiciones hidromecánicas definidas como la velocidad del flujo, la magnitud de la turbulencia en el movimiento molecular, la hidrodinámica del medio que condiciona la velocidad de transferencia. A causa de esto se considera con fines prácticos que la cantidad de masa que es transferida por unidad de tiempo desde la fase que entrega el componente que se transfiere (Formaldehído (A)), a la interfase

o de la interfase a la fase que toma dicho componente (Aire (B)) es proporcional a la superficie y a la diferencia de concentraciones parciales del componente distribuido en la fase, esto se ve reflejado en la **ecuación 22**

$$N_A = F_g \times A \times \Delta C_Z \quad (22)$$

Donde, N_A es el flujo molar de transferencia de masa por unidad de tiempo, A es la superficie de transferencia y ΔC_Z es la fuerza motriz para la fase gaseosa y F_g es el coeficiente de transferencia o coeficiente de emisión de masa de la fase gaseosa (Aire (B)).

Sin embargo, antes de continuar con el proceso de desarrollo de la **ecuación 22** es necesario hallar el coeficiente de transferencia de masa por convección (F_g), teniendo en cuenta que cuando se calcula este coeficiente se supone que la interface de separación se encuentra en condiciones de equilibrio por lo que la resistencia a la transferencia de masa en el punto de la interfase puede despreciarse y se dice que la resistencia total de la transferencia es la suma de las resistencias individuales, es decir de F_g y F_l , que se obtienen iniciando con la **ecuación 23**

$$x = \frac{y}{m} \quad (23)$$

Dónde m es la masa transferida entre las fases. Sustituyendo la **ecuación 23** en la **ecuación 22**.

$$N_A = F_g \times A \times (1 - y_A) \quad (24)$$

Ahora expresando el gradiente de concentración en términos de media logarítmica con el fin de obtener el cambio según la fracción molar en cada punto del recipiente se tiene la **ecuación 25**.

$$N_{A(Z)} = F_g \times \text{LN} \left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}} \right) \quad (25)^{47}$$

De esta manera se puede hallar el coeficiente de transferencia de masa a partir de números adimensionales tales como el número de Reynolds, el número de Schmidt, número de Stanton en la, número de Sherwood nombrados en honor a los ingenieros químicos que trabajaron en el estudio de estas ecuaciones.

Por ejemplo; “el ingeniero británico Osborne Reynolds demostró la existencia de dos tipos de flujo viscoso en tuberías. A velocidades bajas, las partículas del fluido siguen las líneas de corriente (flujo laminar), y los resultados experimentales coinciden con las predicciones analíticas. A velocidades más elevadas, surgen fluctuaciones en la velocidad del flujo, o remolinos (flujo turbulento), en una forma que ni siquiera en la actualidad se puede predecir completamente. Reynolds

⁴⁷ TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa, segunda edición, México. McGraw-Hill, p. 77.

también determinó que la transición del flujo laminar al turbulento era función de un único parámetro, que desde entonces se conoce como número de Reynolds⁴⁸, que se muestra en la **ecuación 26**.

$$Re = \frac{lu\rho}{\mu} \quad (26)^{49}$$

El número de Schmidt es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido por el coeficiente de difusión, que se utiliza para caracterizar flujos en los que hay procesos convectivos de transferencia de masa descrita en la **ecuación 27**.

$$Sc = \frac{\mu}{\rho * D_{AB}} \quad (27)$$

El número de Stanton mide el cociente entre el factor de masa de Colburn y número de Schmidt a los dos tercios representa por la ecuación 28 que se usa para caracterizar la transferencia de calor en flujos de convección forzada.

$$St_D = \frac{J_D}{S_c^{2/3}} \quad (28)$$

Sherwood es utilizado en transferencia de masa por convección y representa el cociente entre el coeficiente de transferencia de masa global por convección por la longitud de la tubería y la concentración del fluido por el coeficiente de difusión que se muestra en la **ecuación 29**.

$$Sh = \frac{F_g L}{c D_{AB}} \quad (29)$$

También es usado el factor (J_D) de transferencia de masa Colburn desarrollado inicialmente por Chilton y Colburn con el fin de relaciona datos de transferencia de masa entre un fluido y la pared plana de la tubería o de cualquier geometría a partir de la **ecuación 30** para fluido en movimiento de esta superficie.

$$J_D = 0,664 \times Re^{-0,5} \quad (30)$$

Cabe aclarar que este modelo solo funciona cuando el flujo sea laminar, es decir cuando el número de Reynolds sea menor a 50 000⁵⁰. Así como también las formulas establecidas en la biografía son para un flujo paralelo con respecto a placas planas.

⁴⁸ Cordón Villarejo, M. Régimen laminar y turbulento.2015. Disponible en <<http://rabfis15.uco.es/MecFluidos/1024/Untitled-30.htm>> [Consultado 6 Mar. 2017].

⁴⁹ TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa, segunda edición, México. McGraw-Hill, p. 52.

⁵⁰ Ibid. p. 83.

Finalizado el proceso de cálculo del coeficiente F_g , retomamos la **ecuación 22** y se iguala a la **ecuación 23** despejando previamente N''_A que relaciona el cambio de posición del fluido con respecto al tiempo. Por lo tanto, podemos escribir la **ecuación 27** y con esta acción decimos que la cantidad que pierda el líquido como consecuencia de su transferencia de masa, será en la misma proporción lo que gane el gas.

$$F_g \text{Ln} \left(\frac{(1-y_{A2})}{(1-y_{A1})} \right) = \frac{-\rho_L}{PM} \frac{dZ}{dt} \quad (31)$$

Separando variables se obtiene la **ecuación 32**.

$$\int_{t_1}^{t_2} F_g \times \text{Ln} \left(\frac{(1-y_{A2})}{(1-y_{A1})} \right) dt = \int_{z_1}^{z_2} \frac{\rho_L}{PM} dZ \quad (32)$$

Integrado llegamos a la **ecuación 33**.

$$F_g \times \text{Ln} \left(\frac{(1-y_{A2})}{(1-y_{A1})} \right) \Delta t = \frac{\rho_L(z_2-z_1)}{PM} \quad (33)$$

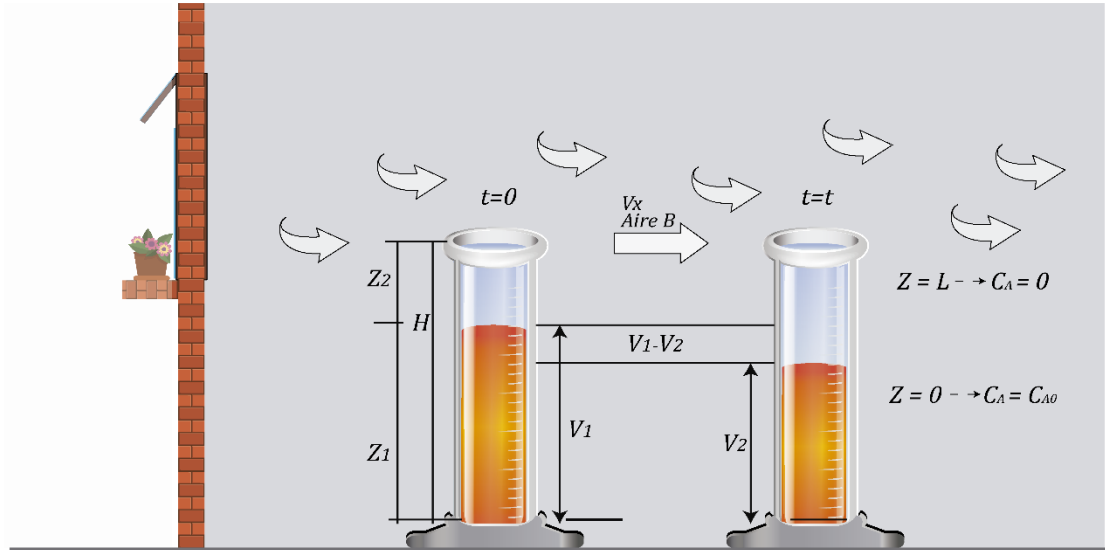
Finalmente, despejamos el cambio en el tiempo del proceso de transferencia de masa por convección en flujo laminar de la **ecuación 34**.

$$\Delta t = \frac{\frac{\rho_L(z_2-z_1)}{PM}}{F_g * \text{Ln} \left(\frac{(1-y_{A2})}{(1-y_{A1})} \right)} \quad (34)$$

3.4 MODELO 3 – FENÓMENO DIFUSIVO CONVECTIVO

Este modelo nace como consecuencia de unir el análisis realizado en modelo de transferencia de masa por difusión y por convección. De esta manera lo que quiere describir es el comportamiento de la probeta tanto en el interior del recipiente como en el exterior del mismo como se muestra en la **Figura 6**, donde se aprecia

Figura 6. Representación gráfica del formaldehído en aire del fenómeno difusivo-convectivo.



Partiendo del balance de materia, podemos simplificarla debido a que en este modelo suponemos que el cambio de la concentración en la dirección (Y) tan pequeño que $\frac{\partial^2 C_A}{\partial Y^2} = 0$, sin embargo esto no es posible para la dirección en (X), debido a que en esta dirección se tiene en cuenta que hay un flujo constante de Aire que afecta que la concentración continúe constante, del mismo modo se mantiene un cambio de concentración en la dirección (Z) debido a los perfiles de concentración del Formaldehído. Por lo tanto, podemos escribir la **ecuación 2** como la **ecuación 35**.

$$N_A'' = -D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial Z^2} + v_X \frac{\partial C_A}{\partial X} \quad (35)$$

Para comenzar con el desarrollo de la ecuación 35 es necesario saber que partir del mecanismo de transferencia de materia se espera que la concentración del fluido o de la especie (A) dependan del cambio que exista en la posición del plano (Z) y del plano (X), donde tanto el coeficiente de difusividad de formaldehído en aire (D_{AB}), como la velocidad del aire (v_X) influyen directamente sobre estas variables. Así mismo, se espera que la forma de interfase influya sobre el proceso y deberá de existir una relación diferente para esta forma y por ello la **ecuación 36** se cumple para este proceso.

$$C_A = f\left(Z, \frac{v_X}{D_{AB}}, X\right) \quad (36)$$

Ahora haciendo uso la **ecuación 36** podemos realizar un análisis dimensional, teniendo en cuenta que el sistema es ideal, la velocidad del aire es constante y la

difusividad depende de la sustancia y sus propiedades de transporte a temperatura y presión dadas según las condiciones de la zona de trabajo, por lo que el valor de $\frac{v_X}{D_{AB}}$, es constante.

Dado que el cociente entre velocidad en la dirección (v_X) y el coeficiente de difusividad de formaldehído en aire (D_{AB}) es constante, podemos decir que Φ es una magnitud escalar constante que depende de la posición del plano en (X), λ es una magnitud escalar constante que depende de la posición del plano en (Z), y como resultado de esto podemos obtener la **ecuación 37** que resulta del producto de estas constantes en función de sus respectivas variables.

$$C_A = \Phi(X)\lambda(Z) \quad (37)$$

Derivando de forma parcial con respecto a x se obtiene la **ecuación 38**, con respecto a (Z) la **ecuación 39**

$$\frac{dC_A}{dX} = \Phi'(X)\lambda(Z) \quad (38)$$

$$\frac{dC_A}{dZ} = \Phi(X)\lambda'(Z) \quad (39)$$

Con el fin de obtener la segunda derivada necesaria para obtener el primer término de la **ecuación 35** se deriva nuevamente con respecto a (Z) y se llega a la **ecuación 40**.

$$\frac{d^2C_A}{dZ^2} = \Phi(X)\lambda''(Z) \quad (40)$$

Con las respectivas derivadas, se reemplaza en la **ecuación 35** para obtener la **ecuación 41**.

$$D_{AB} \frac{\Phi(X)\lambda''(Z)}{\Phi(X)} = v_X \frac{\Phi'(X)\lambda(Z)}{\lambda(Z)} \quad (41)$$

A continuación, es necesario plantear las siguientes condiciones de frontera:

- Cuando $X = 0$ entonces, $\frac{\partial C_A}{\partial X} = 0$
- Cuando $Z = 0$ entonces, $C_A = C_{AZ_0}$
- Cuando $Z = H$ entonces, $C_A = C_{AZ_1}$

Donde la primera condición plantea que cuando $X = 0$, no hay cambio en la concentración de la sustancia A, la segunda indica que cuando $Z = 0$ la concentración de la sustancia A será la concentración inicial cuando el líquido es vertido en la probeta C_{AZ_0} y la tercera indica que cuando $Z = H$ la concentración de la sustancia A será la que presente el líquido en una posición Z_1 .

De esta manera, se deduce que la **ecuación 41** es posible solucionarla por medio del método numérico de series de Fourier, que es la base para un trabajo de investigación más profundo donde los conocimientos de pregrado son limitados.

4. DESARROLLO / ESPECIFICACIONES DEL SOFTWARE

La tecnología juega un rol cada vez más importante en el mundo globalizado, con su avance constante provee soluciones cada vez más efectivas para muchas problemáticas del mundo actual. Partiendo de esta premisa este aplicativo se desarrolló pensando en dar soluciones a problemas que se presentan actualmente en varias industrias. La mayoría usan sustancias químicas con altos índices de peligrosidad y generalmente no tiene la protección adecuada. Este desarrollo inicialmente está enfocado hacia el formaldehído en solución al 37% en peso, una sustancia muy peligrosa que en poco tiempo causa problemas respiratorios, irritación de ojos, piel, nariz y boca, y a largo plazo puede ocasionar cáncer o hasta la muerte, además puede causar problemas de tipo industrial como explosiones e incendios debido a su alta reactividad, daño de equipos, entre otras.

De esta manera el programa enfatiza la importancia que tienen algunas propiedades para determinar la peligrosidad de esta sustancia y los modelos planteados demuestran la concentración respecto al tiempo de esta sustancia en el ambiente, generando una respuesta ante el peligro para la persona que está expuesta y así realizar una serie de recomendaciones para que la empresa le preste una atención más efectiva ante actividades que aunque no se muestren peligrosas con la protección que se tiene en la actualidad pero que puede que no sea suficiente ante el peligro que se presente realmente.

Por esto el programa emplea una interfaz usable y amigable con el usuario por lo que se ha desarrollado en la plataforma Java y puede ejecutarse en cualquier sistema operativo que tenga instalada la Máquina Virtual Java.

Este aplicativo se realiza con el objetivo de comparar los TLV`s del formaldehído con los resultados del software, establecidos por la NIOSH y la ACGIH, con eso realizar las respectivas recomendaciones a la empresa y las personas que están expuestos durante su trabajo sin necesidad de la forma tradicional de experimentar, lo que genera mayor tiempo y peligro sin tener conocimiento exacto de sustancia la magnitud de peligrosidad de la sustancia para el personal expuesto, lo que ahorraría tiempo y una respuesta más inmediata de las acciones a tomar.

4.1 REQUERIMIENTOS DE LA MAQUINA

Para la instalación del software desarrollado se debe contar con un mínimo de especificaciones técnicas de la máquina, así:

- 1 GB RAM
- 500 MB espacio libre en disco duro

Adicionalmente se debe contar con los siguientes requisitos de software

- JAVA VIRTUAL MACHINE (JVM)
- Recomendable versión 8 o superior

4.2 IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN

Cumplidos los anteriores requisitos para la implementación del aplicativo el siguiente paso es copiar y ejecutar el software, en la siguiente imagen se visualiza el icono que caracteriza el aplicativo

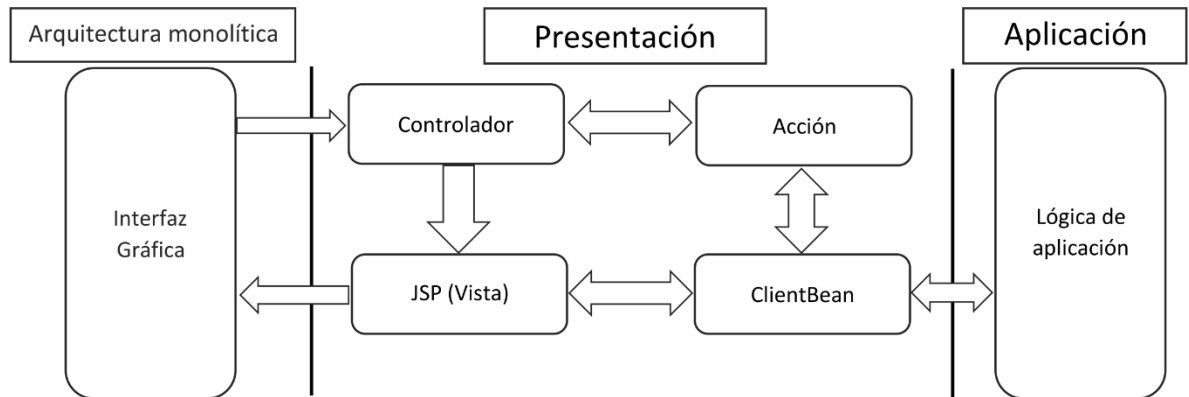
Imagen 1. Reconocimiento del icono del aplicativo.



4.3 ARQUITECTURA DEL SOFTWARE

Esta aplicación fue construida a partir de la premisa de hacer un aplicativo usable y simple, por ende, no se incorporó una capa de persistencia en el mismo. El siguiente diagrama representa la arquitectura principal del desarrollo, las dos capas principales de la aplicación es la capa de presentación y la capa de lógica de la aplicación, la capa de presentación tiene como fin servir de puente entre la lógica y el usuario final para permitir la interacción del mismo con el software, la capa de lógica de aplicación contiene todos los procedimientos y métodos necesarios para la correcta ejecución del software.

Diagrama 6. Arquitectura en dos capas.



Previo al desarrollo del aplicativo se realizó el diseño del software, a continuación, se muestra el diagrama de clases que busca abstraer los objetos del mundo real para modelarlos en el desarrollo.

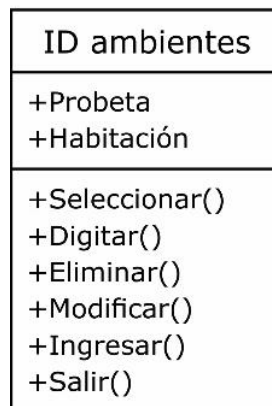
Este diagrama representa las clases que fueron modeladas en el desarrollo, cada clase cuenta con sus atributos y métodos necesarios para cada proceso, así como las relaciones de los objetos.

Para el modelamiento de los principales componentes del aplicativo se identificaron y crearon dos clases, la clase sustancia y la clase ambiente, estas clases son las que modelan los principales factores que se van a tener en cuenta para el cálculo de las formulas ya establecidas. Por herencia, de estas clases se desprenden otras clases más específicas, que heredan los mismos atributos y métodos de las clases padres, pero que adicionalmente tienen cierto nivel de especificación adicional, por ejemplo, el etanol y el formaldehído que heredan de la clase sustancia

Diagrama 8. Representación de Clase sustancia.



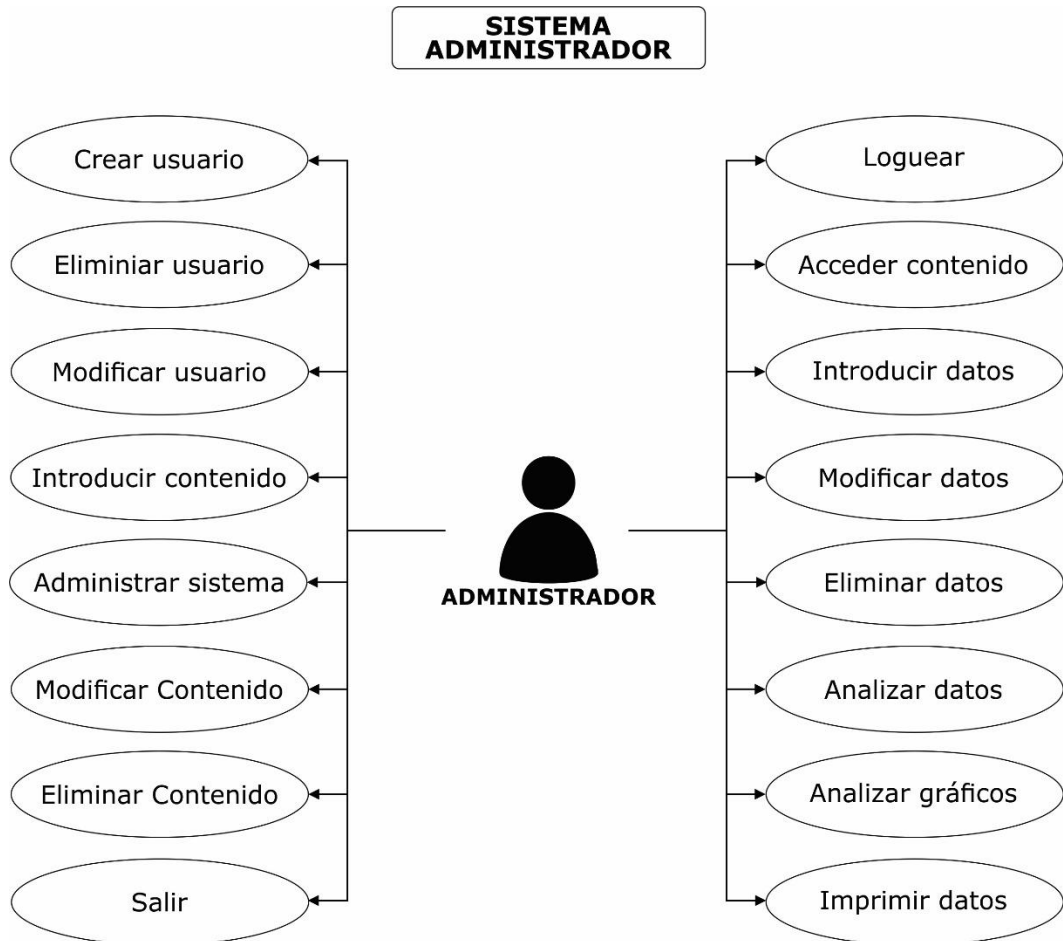
Diagrama 9. Representación de Clase ambiente



Luego de modelar las clases es necesario aclarar los roles que se manejan en el aplicativo, en este caso puntual tenemos dos roles que son los principales, el rol de usuario final y el rol de administrador, este último está orientado a realizar las tareas de mantenimiento necesarias para que el aplicativo funcione correctamente y pueda ser ajustado de ser necesario.

En la clase ambientes se debe tener en cuenta que el recipiente seleccionado para el análisis fue una probeta, instrumento de laboratorio que incorpora la geometría analizada para la evaluación de cada uno de los modelos.

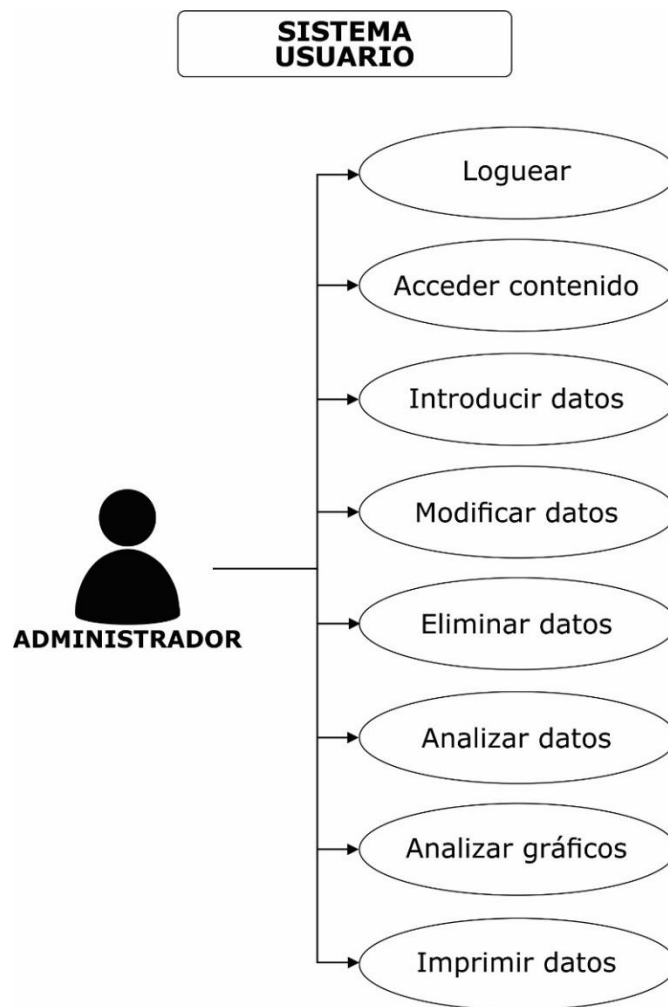
Diagrama 10. Actores del Sistema (Rol Administrador)



En el rol de administrador el usuario podrá realizar una serie de tareas propias del proceso de mantenimiento y funcionamiento de la aplicación, como por ejemplo la gestión de los usuarios de la aplicación, que está compuesta por la creación, modificación y eliminación de usuarios que van a tener acceso al aplicativo.

Es importante aclarar que este rol de administrador es diferente al proceso de desarrollo de la aplicación, este rol solo incluye tareas básicas, cualquier ajuste propio al funcionamiento del aplicativo debe ser realizado por el equipo de desarrollo.

Diagrama 11. Actores del Sistema (Rol Usuario)



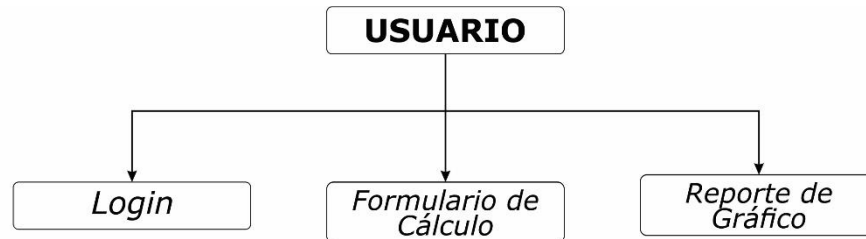
El rol de usuario final o simplemente usuario es el que va a hacer uso del aplicativo, las actividades principales que puede hacer este rol consisten en ingresar las parametrizaciones necesarias para que el sistema pueda hacer el análisis de los datos y posteriormente pueda hacer la impresión de los mismos.

Es importante resaltar que la actividad de Login es requerida antes de hacer cualquiera de las otras actividades, sin esta actividad el usuario final no podrá tener acceso a las demás.

En el aplicativo hay dos vistas principales, dichas vistas están orientadas para separar las funciones del usuario final con las funciones propias de administración y mantenimiento del aplicativo.

4.3.1 Vista usuario. Cuando se ejecuta el aplicativo el usuario final puede acceder a los flujos que se muestran en el siguiente diagrama:

Diagrama 12.Elementos que visualiza el usuario



Las credenciales para que el usuario pueda acceder al aplicativo son:

- usuario ADMIN
- contraseña ADMIN

4.3.2 Vista administrador.

Diagrama 13. Elementos que visualiza el administrador



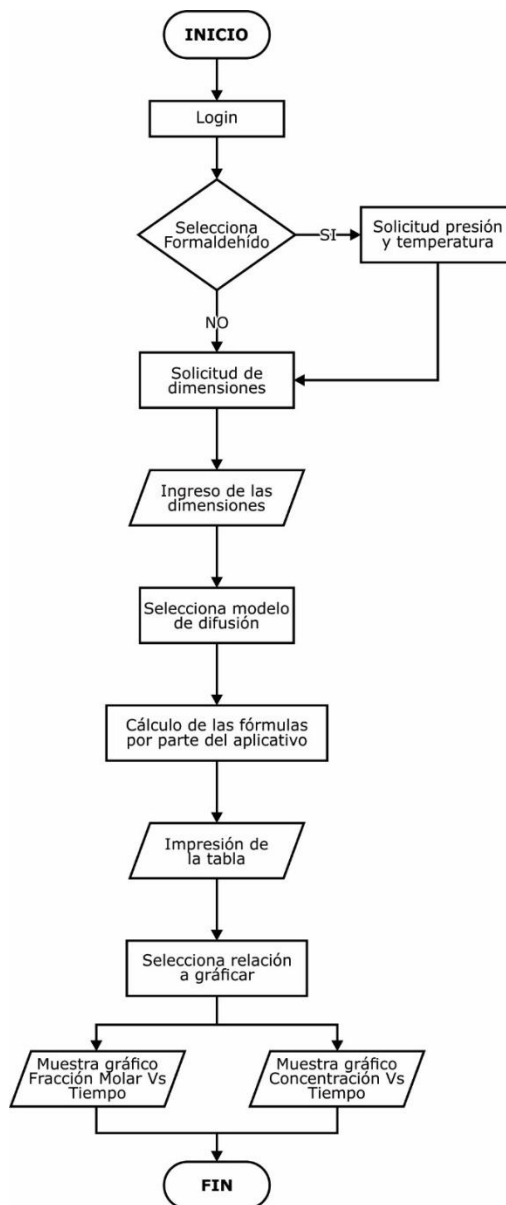
El administrador podrá acceder al programa con el usuario REGISTRADO por los propietarios del software, donde tendrá acceso a:

- Login.
- Formulario de cálculo.
- Reporte gráfico.
- Administrador de fórmulas y sustancias.

4.4 FUNCIONAMIENTO DEL APLICATIVO

El siguiente es un diagrama de flujo que representa el funcionamiento básico del aplicativo visto desde el rol de un usuario final. Es importante resalta que en el caso de seleccionar la sustancia Etanol, está ya tiene predefinidos unos valores por defecto para sus condiciones, por lo que no son solicitados dichos valores por el aplicativo.

Diagrama 14. Flujo principal del programa.

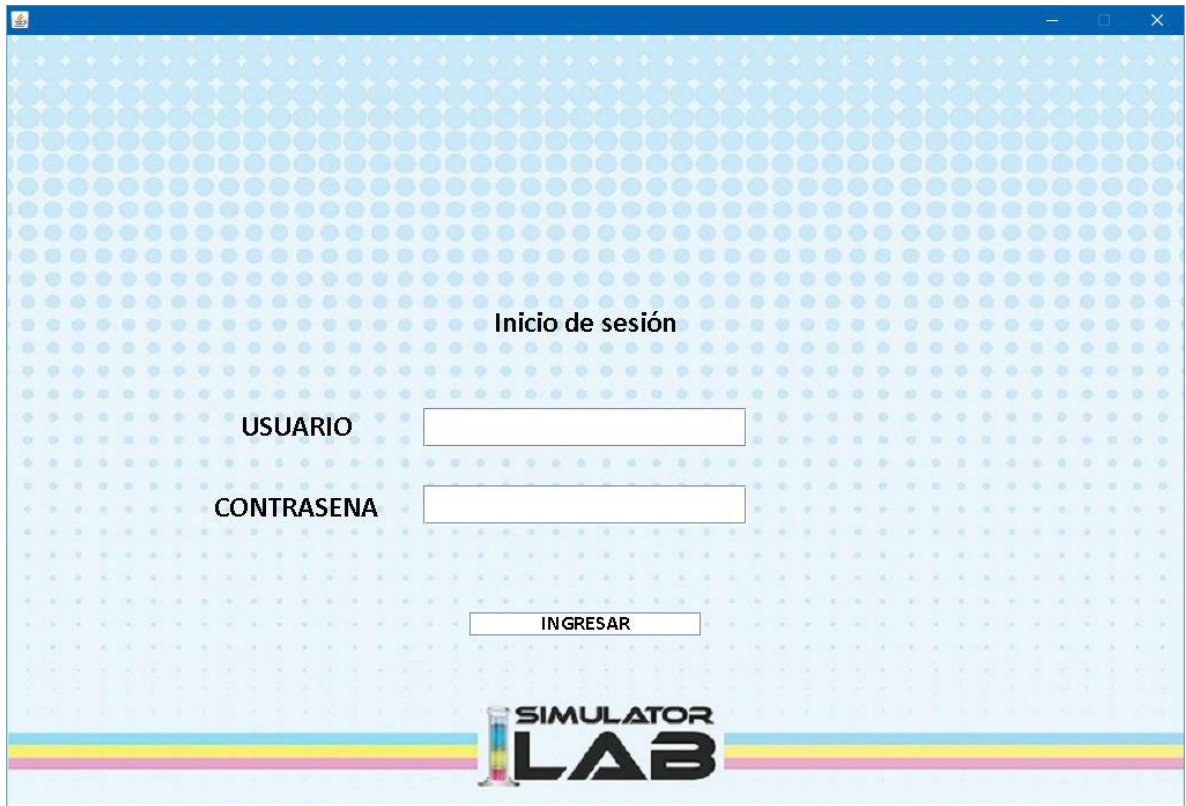


Fuente: SIMULATOR LAB. 2017. Bogotá D.C.: Universidad de América.

4.5 USO DEL APLICATIVO

En la pantalla inicial el usuario debe ingresar el usuario y contraseña del aplicativo según sea el rol que ejerza sea usuario genérico o administrador y luego presione el botón ingresar. Para ello el aplicativo cuenta con ciertas credenciales que se definieron en el proceso de desarrollo del software y que pueden ser modificadas en el módulo de administración.

Imagen 2. Ventana Login.




Inicio de sesión

USUARIO

CONTRASENA

INGRESAR



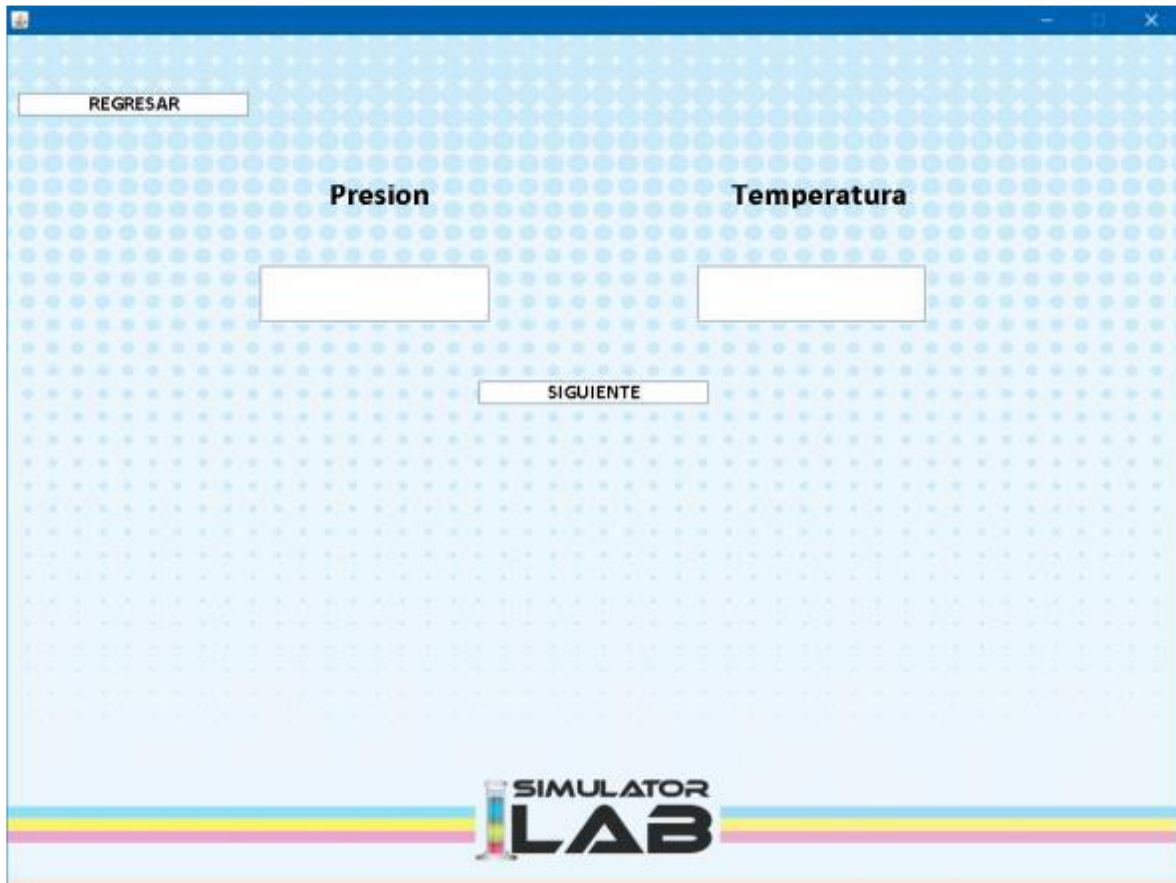
Después de que las credenciales sean aceptadas el aplicativo solicita la información necesaria para la ejecución de las formulas planteadas.

Imagen 3. Ventana selección de sustancias



En el caso de que la selección sea Etanol el programa fue diseñado para tener un flujo alterno, en el que se evita solicitar los valores de presión y temperatura debido a que el aplicativo tiene definidos estos valores por defecto. Sin embargo, si la selección es formaldehido se continúa el flujo del aplicativo normalmente.

Imagen 4. Solicitud de parámetros Presión y Temperatura.



The image shows a software window with a light blue background and a grid of small dots. At the top left, there is a button labeled "REGRESAR". In the center, there are two input fields: the left one is labeled "Presion" and the right one is labeled "Temperatura". Below these fields is a button labeled "SIGUIENTE". At the bottom center, there is a logo for "SIMULATOR LAB" featuring a stylized test tube icon. The window has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons.

En esta pantalla el usuario debe registrar la temperatura, presión y escoger la sustancia, estos valores registrados en esta pantalla son almacenado en unas variables temporales, que hace que persistan para el cálculo de la formula durante la ejecución del programa. Sin embargo, el alcancé del aplicativo no tiene contemplado que dicha información persista para posteriores ejecuciones.

Luego el aplicativo solicita al usuario ingresar los valores de las dimensiones para cada caso específico, estos valores tienen especificada la unidad de medida que se espera recibir. Cuando el usuario inserta los valores estos se almacenan en variables temporales que persisten durante la ejecución del aplicativo para ser invocadas más adelante por el método que calcula las ecuaciones. Las variables que se solicitan son VOLUMEN TOTAL, VOLUMEN INICIAL, ANCHO, PROFUNDIDAD y ATURA, para continuar con el flujo es necesario dar clic en CALCULAR y ACEPTAR.

Imagen 5. Solicitud de parámetros de dimensiones.

REGRESAR

SELECCIONE LAS DIMENSIONES

PROBETA

V1

V2

VOLUMEN TOTAL (V1) m³

VOLUMEN INICIAL (V2) m³

HABITACIÓN

L

A

Z

ANCHO (L) m

PROFUNDIDAD (A) m

ALTURA (Z) m

SIGUIENTE

SIMULATOR
LAB

Cuando se da clic en el botón calcular se lanza un evento que invoca un método encargado de hacer los cálculos de las ecuaciones, partiendo de los valores que tienen las variables que fueron almacenadas previamente. El método es un método público que se puede acceder desde otras clases, este método llena una matriz de dimensiones n por n , dicha matriz es la que se imprime cuando se selecciona la opción mostrar tabla.

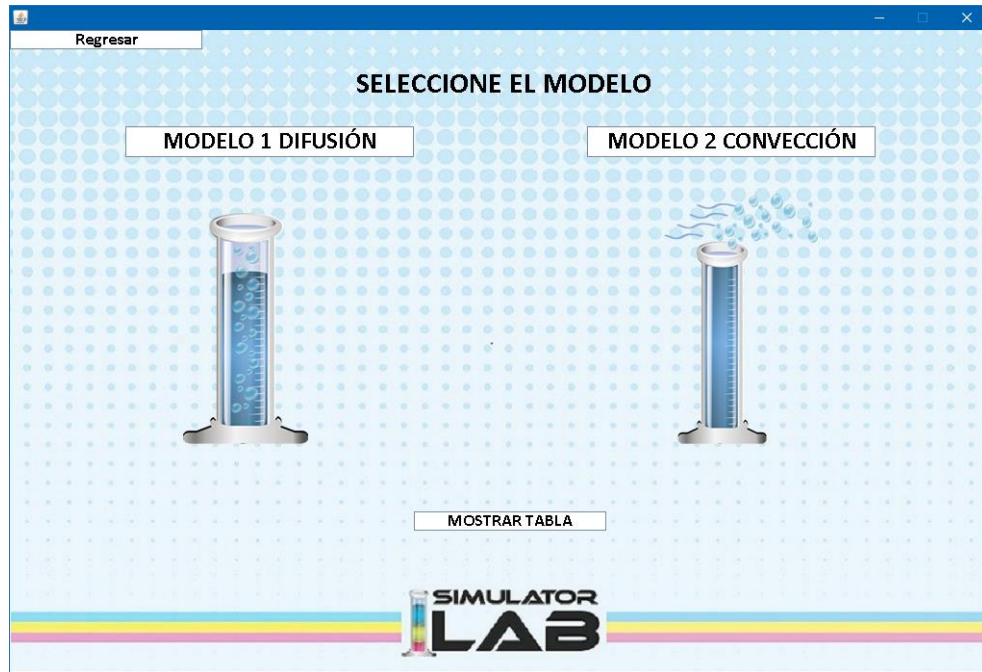
Imagen 6. Pantalla presentación de Matriz de resultados.

| Masa tr. | M1 | Y2 PRO | C1 (ppm) | Y2M2 | Z2 | z2M2 | T2 | Vol (m³) | C1 (mol) | C1 PPM | FG | T2M2 | TM60 |
|----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 3760.5 | 376050.0 | 0.0 | 0.0 | 0.012 | 0.012 | 0.0 | 345.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.01 | 1.6666... | 583336... |
| 7521.0 | 1.0791 | 3.3900... | 3.7408... | 0.0145 | 0.022 | 26365... | 0.9E-4 | 4.0775... | 8.4015... | 5.5840... | 3.5000... | 3.1158... | 544481... |
| 11281.5 | 1.068309 | 6.7801... | 7.4816... | 0.017 | 0.032 | 58898... | 0.801E-4 | 8.1550... | 1.6803... | 1.1168... | 3.2668... | 3.1158... | 527661... |
| 15042.0 | 1.0576... | 1.0170... | 0.0011... | 0.0195 | 0.042 | 97981... | 9.7029... | 1.2232... | 2.5204... | 1.6752... | 3.1658... | 3.1158... | 519310... |
| 18802.5 | 1.0470... | 1.3560... | 0.0014... | 0.022 | 0.0520 | 144035... | 9.6059... | 1.6310... | 3.3606... | 2.2336... | 3.1158... | 3.1158... | 514341... |
| 22563.0 | 1.0365... | 1.6950... | 0.0018... | 0.0244 | 0.0620 | 197519... | 9.5099... | 2.0387... | 4.2007... | 2.7920... | 3.0860... | 3.0860... | 511048... |
| 26323.5 | 1.0262... | 2.0340... | 0.0022... | 0.0269 | 0.0720 | 258932... | 9.4149... | 2.4465... | 5.0409... | 3.3504... | 3.0662... | 3.0662... | 508709... |
| 30084.0 | 1.0159... | 2.3730... | 0.0026... | 0.0294 | 0.082 | 328917... | 9.3206... | 2.8542... | 5.9811... | 3.9088... | 3.0522... | 3.0522... | 506965... |
| 33844.5 | 1.0057... | 2.7120... | 0.0029... | 0.0319 | 0.092 | 407773... | 9.2274... | 3.2620... | 6.7212... | 4.4672... | 3.0417... | 3.0417... | 505617... |
| 37605.0 | 0.9957... | 3.0510... | 0.0033... | 0.0344 | 0.102 | 496450... | 9.1351... | 3.6697... | 7.5614... | 5.0256... | 3.0337... | 3.0337... | 504545... |
| 41365.5 | 0.9857... | 3.3900... | 0.0037... | 0.037 | 0.1119 | 595568... | 9.0438... | 4.0775... | 8.4015... | 5.5840... | 3.0272... | 3.0272... | 503674... |
| 45126.0 | 0.9759... | 3.7290... | 0.0041... | 0.0395 | 0.1219 | 705916... | 8.9533... | 4.4852... | 9.2417... | 6.1424... | 3.0220... | 3.0220... | 502953... |
| 48886.5 | 0.9661... | 4.0680... | 0.0044... | 0.042 | 0.1319 | 828365... | 8.8638... | 4.8930... | 0.0010... | 6.7008... | 3.0177... | 3.0177... | 502349... |
| 52647.0 | 0.9564... | 4.4070... | 0.0048... | 0.0445 | 0.142 | 963879... | 8.7752... | 5.3007... | 0.0010... | 7.2591... | 3.0140... | 3.0140... | 501835... |
| 56407.5 | 0.9469... | 4.7460... | 0.0052... | 0.0470 | 0.152 | 111352... | 8.6874... | 5.7085... | 0.0011... | 7.8175... | 3.0110... | 3.0110... | 501395... |
| 60168.0 | 0.9374... | 5.0850... | 0.0056... | 0.0495 | 0.162 | 127850... | 8.6005... | 6.1162... | 0.0012... | 8.3759... | 3.0083... | 3.0083... | 501013... |
| 63928.5 | 0.9280... | 5.4240... | 0.0059... | 0.0520 | 0.1720 | 146012... | 8.5145... | 6.5240... | 0.0013... | 8.9343... | 3.0060... | 3.0060... | 500680... |
| 67689.0 | 0.9188... | 5.7630... | 0.0063... | 0.0545 | 0.1820 | 165988... | 8.4294... | 6.9317... | 0.0014... | 9.4927... | 3.0040... | 3.0040... | 500388... |
| 71449.5 | 0.9096... | 6.1020... | 0.0067... | 0.0570 | 0.1920 | 187944... | 8.3451... | 7.3394... | 0.0015... | 1.0051... | 3.0023... | 3.0023... | 500129... |
| 75210.0 | 0.9005... | 6.4410... | 0.0071... | 0.0595 | 0.2020 | 212068... | 8.2616... | 7.7472... | 0.0015... | 1.0609... | 3.0007... | 3.0007... | 499900... |
| 78970.5 | 0.8915... | 6.7800... | 0.0074... | 0.0620 | 0.2120 | 238572... | 8.1790... | 8.1549... | 0.0016... | 1.1167... | 2.9994... | 2.9994... | 499695... |
| 82731.0 | 0.8825... | 7.1190... | 0.0078... | 0.0645 | 0.2220 | 267696... | 8.0972... | 8.5627... | 0.0017... | 1.1726... | 2.9981... | 2.9981... | 499512... |
| 86491.5 | 0.8737... | 7.4580... | 0.0082... | 0.0670 | 0.2320 | 299716... | 8.0163... | 8.9704... | 0.0018... | 1.2284... | 2.9970... | 2.9970... | 499348... |
| 90252.0 | 0.8650... | 7.7970... | 0.0086... | 0.0695 | 0.2420 | 334945... | 7.9361... | 9.3782... | 0.0019... | 1.2843... | 2.9960... | 2.9960... | 499200... |
| 94012.5 | 0.8563... | 8.1360... | 0.0089... | 0.0720 | 0.2520 | 373744... | 7.8567... | 9.7859... | 0.0020... | 1.3401... | 2.9952... | 2.9952... | 499066... |
| 97773.0 | 0.8478... | 8.4750... | 0.0093... | 0.0745 | 0.2620 | 416531... | 7.7782... | 1.0193... | 0.0021... | 1.3959... | 2.9943... | 2.9943... | 498945... |
| 101533.5 | 0.8393... | 8.8140... | 0.0097... | 0.0770 | 0.2720 | 463791... | 7.7004... | 1.0601... | 0.0021... | 1.4518... | 2.9936... | 2.9936... | 498835... |
| 105294.0 | 0.8309... | 9.1530... | 0.0101... | 0.0795 | 0.2820 | 516091... | 7.6234... | 1.1009... | 0.0022... | 1.5076... | 2.9930... | 2.9930... | 498736... |
| 109054.5 | 0.8226... | 9.4920... | 0.0104... | 0.0820 | 0.2920 | 574100... | 7.5471... | 1.1418... | 0.0023... | 1.5635... | 2.9924... | 2.9924... | 498645... |
| 112815.0 | 0.8144... | 9.8310... | 0.0108... | 0.0845 | 0.3020 | 638606... | 7.4717... | 1.1824... | 0.0024... | 1.6193... | 2.9918... | 2.9918... | 498563... |
| 116575.5 | 0.8062... | 1.0170... | 0.0112... | 0.0870 | 0.3120 | 710556... | 7.3970... | 1.2232... | 0.0025... | 1.6751... | 2.9913... | 2.9913... | 498488... |
| 120336.0 | 0.7982... | 1.0509... | 0.0115... | 0.0895 | 0.3220 | 791084... | 7.3230... | 1.2640... | 0.0026... | 1.7310... | 2.9909... | 2.9909... | 498418... |

Fuente: SIMULADOR LAB. 2017. Bogotá D.C.: Universidad de América.

Luego se presentan las opciones de modelos, según la opción seleccionada se lanza uno de los dos métodos de graficar, dichos métodos también heredan de un método principal, pero extienden para llegar a la especificidad que requiere cada gráfico.

Imagen 7. Ventana selección de modelos.



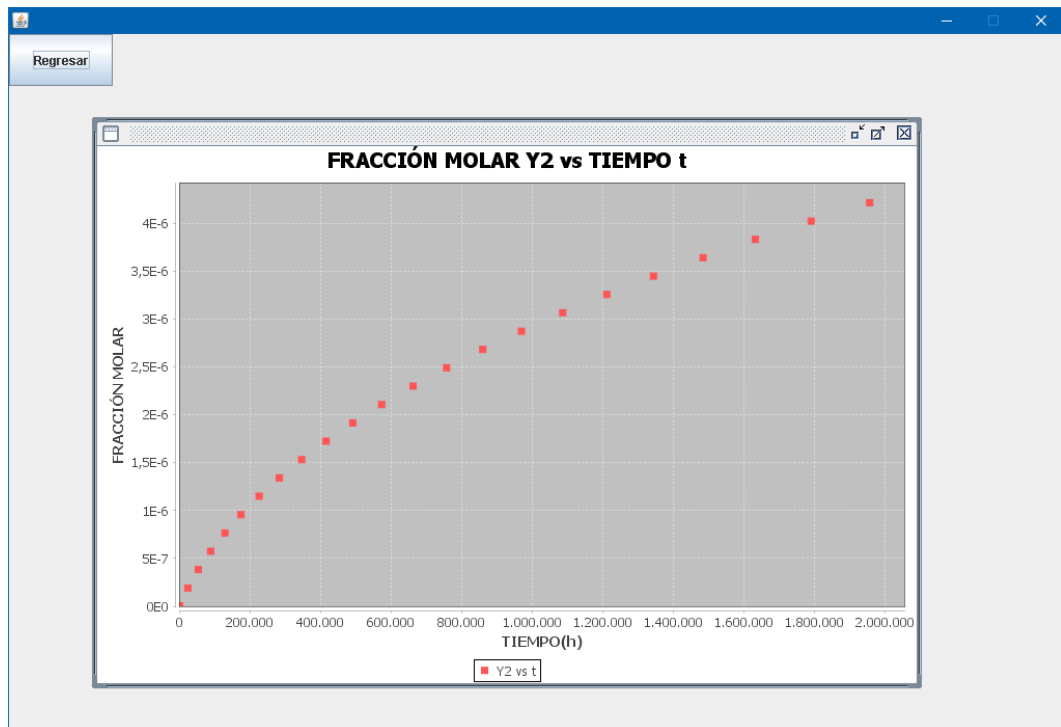
En la siguiente pantalla se debe seleccionar la relación a graficar, para realizar la gráfica se utilizan métodos que vienen embebidos dentro de la lógica del lenguaje de java.

Imagen 8. Ventana selección de relación a graficar



El siguiente es un ejemplo del grafico pintado a partir de las parametrizaciones anteriores.

Imagen 9. Ventana prototipo de grafico



Fuente: SIMULATOR LAB. 2017. Bogotá D.C.: Universidad de América.

Finalmente, cuando se muestran gráficas resultantes que el usuario puede observar evidencian los perfiles de concentración y se puede establecer recomendaciones a través de los datos obtenidos para evitar posibles efectos adversos en la persona expuesta.

5. VALIDACIÓN DEL SOFTWARE

La validación del software es un proceso necesario para proveer un alto grado de confianza y seguridad ante los resultados presentados cuando son aplicados a un medio práctico, por esta razón la validación del software es un requisito que debe ser desarrollado y cumplido.

Cuando se habla de validez informática sobre una medición de interés, especialmente nos referimos a ensayos que involucran procesos complejos, que utilizan diversidad de mecanismos y diseños con el fin de crear un sistema informático que facilite a las organizaciones disminuir errores, costos y compartir datos de diferentes componentes de guías prácticas para proveer procesos aún más eficientes.

De esta manera el presente capítulo muestra la validación del software de forma experimental ya que por este método podremos aceptar o rechazar si el modelo planteado se comporta de forma aproximada a la realidad de la prueba experimental.

Por consiguiente, es escogido el modelo 1 como aquel que representa mayor cantidad de variables controlables que incontrolables en el sitio de prueba con la intención de obtener un menor error porcentual al final del procedimiento. Una de las variables controlables es la velocidad del aire porque podemos asegurar que en el sitio de prueba no existirá entrada ni salida de corrientes de aire por ductos de ventilación o por ventanas abiertas durante el experimento por lo que podemos suponer de igual forma al modelo que la velocidad del aire presente es muy baja.

De esta manera obtenemos un flujo laminar y contante como lo expresa el modelo 1, lo que no ocurre con el modelo 2 que es difícil de observar de forma experimental lo sucedido en la interfase del líquido y más aún si se flujo turbulento en consecuencia de no asegurar condiciones de idealidad en flujo laminar porque dificulta tanto el análisis del proceso de transformación de masa como la opción de manejarlo de modo práctico.

Es así que la mejor forma de abordar estos problemas es iniciar con mediciones experimentales de zonas donde es posible que esto ocurra; asegurando condiciones de idealidad, donde las ecuaciones presentan más cercanía a la realidad, y luego postular modelos que describan las partes donde es difícil la medición.

Así mismo, la unión de estos análisis de resultados entre los modelos y experimentación pueden verificar si el modelo propuesto se asemeja a la realidad. El objetivo principal del modelo seleccionado es establecer una relación entre lo que se observa en el fluido y lo que ocurre alrededor de la interfase.

El modelo propuesto parte de la suposición de que la resistencia a la transferencia de masa se limita a una zona próxima de la interfase y en esta región explicar el fenómeno de transferencia de masa.

Por otro lado, cabe aclarar que antes de realizar la validación se tuvo en cuenta que la peligrosidad del formaldehído podía llevar a exposiciones de 8 horas con la protección inadecuada o medidas insuficientes que no aseguran que las personas durante el experimento estén completamente seguras. Es por esto que con el objetivo de evitar que las personas fuesen expuestas al formaldehído se propuso trabajar con una sustancia de propiedades similares y arrojaran resultados similares para demostrar que el formaldehído puede comportarse de manera similar.

Es de esta manera que se comparan las propiedades de ambas sustancias con la finalidad de establecer un puente para la validación para el software realizado. Las propiedades analizadas en la **Tabla 5** fueron seleccionadas con respecto al análisis respectivo y al capítulo 2, que son la presión de vapor y la difusividad, propiedades que dependen directamente sobre el modelo seleccionado.

Tabla 5. Densidad y presión de vapor para el formaldehído y el etanol a 20°C Y 1atm.

| Propiedades | Sustancia | | | |
|------------------|-----------|--------------------|--------------|--------------------|
| | Etanol | | Formaldehído | |
| | Valor | Unidades | Valor | Unidades |
| Presión de vapor | 0,050 | bar | 0,0199 | bar |
| Difusividad | 0,135 | cm ² /s | 0,1878 | cm ² /s |

A partir de la **Tabla 5** observamos que la presión de vapor del etanol es mayor que la del formaldehído por lo que deducimos que cuando ocurra la transferencia de masa el etanol tendrá valores de concentración más elevadas con respecto al formaldehído, además da entender que la diferencia con respecto al etanol es mínima al comparar no solo la presión de vapor sino su difusividad ya que su diferencia es de 0,053.

Tabla 6. Resultados obtenidos de la difusividad del etanol en cm^2/s con su respectivo porcentaje de error según su valor experimental.

| Método | D_{AB} | %error |
|--|-----------------------|---------------|
| Valor Experimental | 0,135 | - |
| Teoría Cinética de Chapman-Enskos-modificada por Hirschfelder-Bird-Pratz | 1,420 | 951,7 |
| Teoría Cinética modificada por Brokaw para gases polares | 0,1125 | 16,69 |
| Método de Fuller | 0,1231 | 8,8 |
| Método de Wilke and Lee (1995) | 0,1213 | 10,13 |

Consideremos ahora el cálculo de la difusividad a partir de los modelos presentados en el capítulo 2, con el propósito de observar si los modelos propuestos presentan una similitud y si el modelo escogido para el formaldehído es el mismo.

Los resultados de estos cálculos se muestran en la **Tabla 6** en la que se observa que al realizar el cálculo para el etanol el modelo de Fuller continúa presentando una mayor exactitud en comparación con los otros modelos; en cuanto al modelo de Brokaw, a pesar de que para el formaldehído mostraba el mayor error absoluto para el etanol es el modelo de Chapman-Enskos- modificada por Hirschfelder-Bird-Pratz quien también presentó un error significativo, lo que permite descalificarlo como uno de los métodos de cálculo de difusividad para el sistema en general.

Retomando el método de Fuller, se puede asumir que su exactitud se debe a que el procedimiento que se lleva a cabo para el desarrollo de la ecuación puesto que contiene datos experimentales de numerosos sistemas binarios.

5.1 RESULTADOS DEL SOFTWARE

Las condiciones que se requieren para comparar las pruebas y el software se llevan a cabo en la ciudad de Bogotá donde la presión y la temperatura toman valores de ($P=0,6467\text{Bar}$ y $T=290,15\text{K}$). Se utiliza la concentración de la solución, las dimensiones cúbicas del laboratorio donde se tomaron los datos, el volumen del líquido y de la probeta utilizada, que toman valores que se muestran en la

Tabla 7. Valores iniciales conocidos para el sistema etanol - agua en la ciudad de Bogotá.

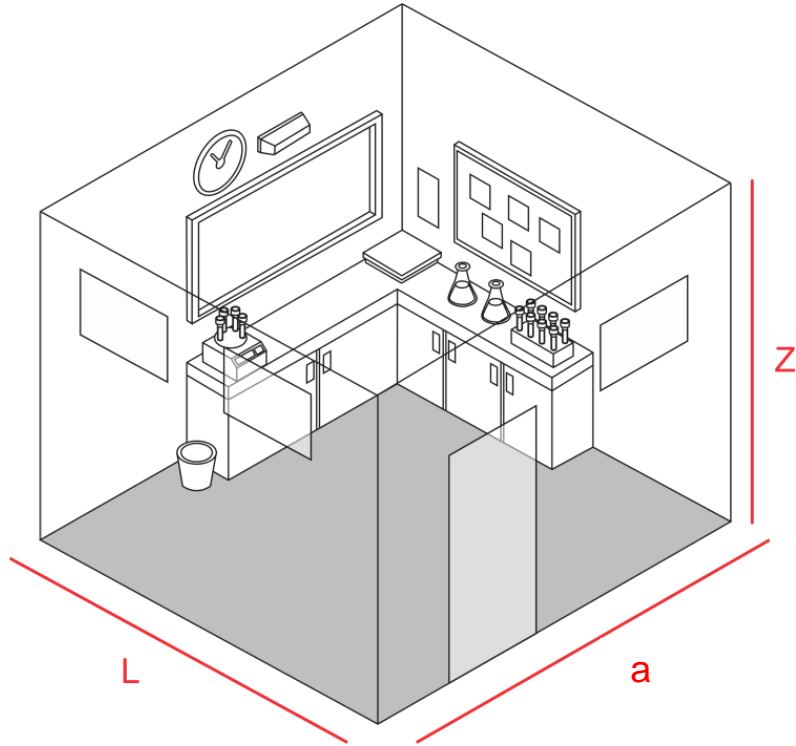
| Parámetro | Valor | Unidades |
|-------------------------------------|--------------|-----------------|
| Presión (P) | 0,6467 | Bar |
| Temperatura (T) | 290,15 | K |
| Fracción molar del etanol (X_1) | 0,98 | - |
| Fracción molar del agua (X_2) | 0,02 | - |
| Volumen de la probeta (V) | 0,0005 | m ³ |
| Longitud de la habitación (L) | 9,91 | m |
| Profundidad de la habitación (a) | 5,9 | m |
| Altura de la habitación(Z) | 2,51 | m |

Donde, P es la presión total de operación del sistema, T es la temperatura total, X_1 y X_2 son las fracciones molares del líquido donde el número 1 indica que se refiere al soluto y el número 2 para el solvente, las cuales se calculan a partir de la concentración inicial de la sustancia; para este caso se tiene que la concentración inicial de etanol es de 98% v/v, y se dice que 0,98 será la fracción para el soluto o etanol y por medio de la **ecuación 47**, la fracción del solvente o agua será del 0,02.

$$X_1 + X_2 = 1 \quad (47)$$

L, a y Z corresponden a las dimensiones de la habitación como se representan en la **Figura 7**.

Figura 7. Dimensiones del laboratorio o sitio a analizar.



Sin embargo, con el fin de obtener el **Cuadro 8**, se realizaron los cálculos representados por la **ecuación 48 a 55**, adicionales al capítulo 3. La **ecuación 49** muestra el volumen de la habitación dado que es un cubo se obtiene multiplicando sus lados.

$$V_{\text{habitacion}} = L \times a \times Z \quad (48)$$

Para la **ecuación 49** se obtuvo las moles totales que corresponden a las presentes en aire, la **ecuación 50** se refiere a la fracción molar del formaldehído durante la transferencia de masa.

$$N_{\text{t aire}} = \frac{P \cdot V_{\text{habitacion}}}{R \cdot T} \quad (49)$$

$$Y_A = \frac{\frac{m_i}{PM_{\text{prom}}}}{PM_{\text{prom}} N_{\text{t aire}}} \quad (50)$$

La **ecuación 51** corresponde al cálculo de la masa que se trata del producto entre la densidad ρ_{solucion} y el volumen del recipiente $V_{\text{recipiente}}$, mientras que la **ecuación 52** se refiere a la masa transferida o aquella masa que pierde y el número 100 indica a las partes que se divide la probeta para que exista un cambio en el volumen o que se supone se tendrá una variación de volumen.

$$M_1 = \rho_{\text{solucion}} \times V_{\text{recipiente}} \quad (51)$$

$$\text{Masa transferida} = \frac{M_1}{100} \quad (52)$$

La **ecuación 53** muestra la fracción molar promedio en el gas donde, PM_{prom} es el peso molecular promedio que tiene la solución a analizar.

$$Y_{A \text{ promedio f}} = \frac{\frac{\text{Masa transferida}}{PM_{\text{prom}}} + Y_{A \text{ promedio i}}}{\frac{\text{Masa transferida}}{PM_{\text{prom}}} + N_{t \text{ aire}}} \quad (53)$$

La **ecuación 54** representa la concentración que existe en el sistema donde el peso molecular promedio debe estar en unidades del sistema internacional para que se obtenga la conversión a partes por millón (ppm)

$$C_{1 \text{ ppm}} = \frac{Y_{z \text{ promedio i}} \times N_{t \text{ aire}}}{V_{\text{habitacion}}} \times PM_{\text{prom}} \times 1000 \quad (54)$$

La **Ecuación 55** representa el volumen final cada cierto porcentaje (1%), que representa la reducción del volumen inicial

$$V = V_0 - (V_0 \times 0,01) \quad (55)$$

Cuadros 8. Resultados obtenidos por el software para el sistema etanol-aire

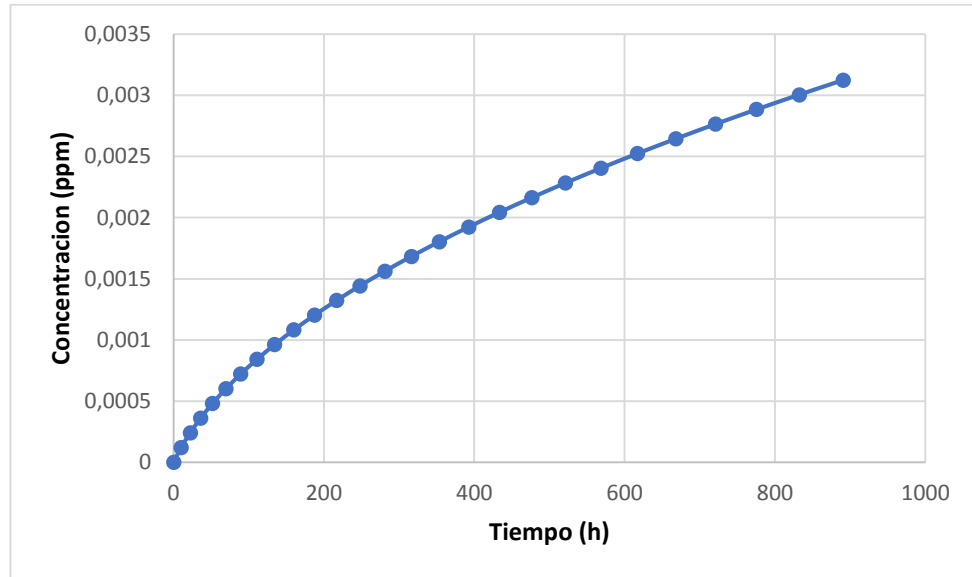
| Masa transferida (kg) | M ₁ (kg) | Y _A promedio | C (ppm) | V (m ³) | Z ₂ (m) | Tiempo (h) |
|------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------|
| 3,945x10 ⁻³ | 0,3945 | 0 | 0 | 5x10 ⁻⁴ | 1,2x10 ⁻² | 0 |
| 7,89x10 ⁻³ | 0,3906 | 3,538x10 ⁻⁵ | 1,202x10 ⁻⁴ | 4,95x10 ⁻⁴ | 1,5x10 ⁻² | 10,08 |
| 1,184x10 ⁻² | 0,3867 | 7,077x10 ⁻⁵ | 2,405x10 ⁻⁴ | 4,9x10 ⁻⁴ | 1,7x10 ⁻² | 22,08 |
| 1,578x10 ⁻² | 0,3828 | 1,062x10 ⁻⁴ | 3,607x10 ⁻⁴ | 4,852x10 ⁻⁴ | 2x10 ⁻² | 35,00 |
| 1,973x10 ⁻² | 0,3790 | 1,416x10 ⁻⁴ | 4,809x10 ⁻⁴ | 4,803x10 ⁻⁴ | 2,2x10 ⁻² | 51,83 |
| 2,367x10 ⁻² | 0,3757 | 1,770x10 ⁻⁴ | 6,012x10 ⁻⁴ | 4,755x10 ⁻⁴ | 2,5x10 ⁻² | 69,58 |
| 2,762x10 ⁻² | 0,3714 | 2,123x10 ⁻⁴ | 7,214x10 ⁻⁴ | 4,707x10 ⁻⁴ | 2,7x10 ⁻² | 89,26 |
| 3,156x10 ⁻² | 0,3677 | 2,477x10 ⁻⁴ | 8,416x10 ⁻⁴ | 4,660x10 ⁻⁴ | 3x10 ⁻² | 110,86 |
| 3,551x10 ⁻² | 0,3640 | 2,830x10 ⁻⁴ | 9,618x10 ⁻⁴ | 4,613x10 ⁻⁴ | 3,2x10 ⁻² | 134,40 |
| 3,945x10 ⁻² | 0,3604 | 3,184x10 ⁻⁴ | 1,082x10 ⁻³ | 4,568x10 ⁻⁴ | 3,5x10 ⁻² | 159,86 |
| 4,340x10 ⁻² | 0,3568 | 3,538x10 ⁻⁴ | 1,202x10 ⁻³ | 4,522x10 ⁻⁴ | 3,7x10 ⁻² | 187,26 |

Fuente: SIMULATOR LAB. 2017. Bogotá D.C. Universidad de América.

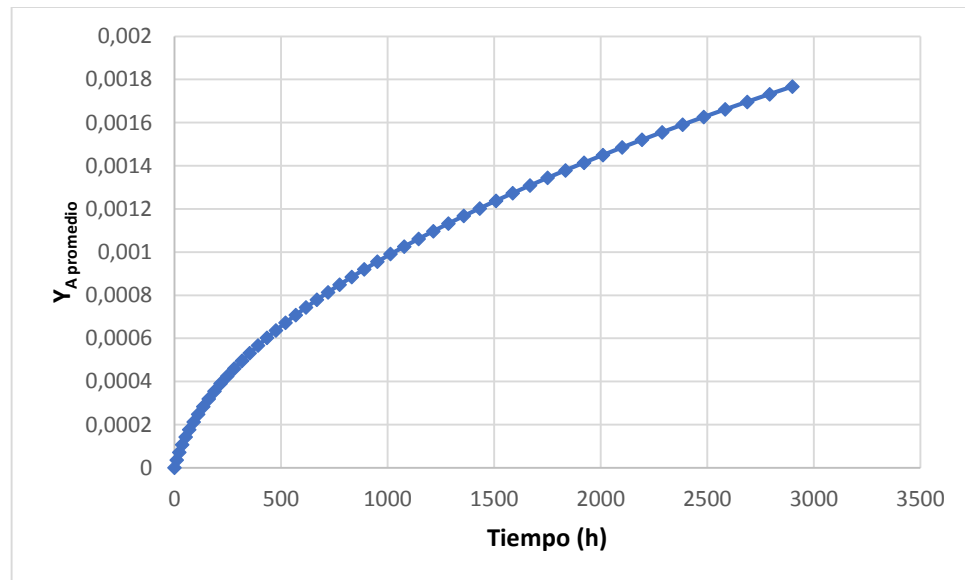
Según la **Cuadro 8** se puede analizar que el software arroja valores coherentes, porque los datos de las concentraciones y la fracción molar aumentan con respecto al tiempo, y el comportamiento descrito a partir de la hipótesis planteada según las

ecuaciones planeadas al afirmar que a medida que el formaldehído se aleja del recipiente como consecuencia de su evaporación la concentración presente en el aire con respecto al tiempo va a aumentar y en la **Grafica 2**.

Grafica 2. Concentración de etanol (C) en aire con respecto al tiempo.



Grafica 3. Fracción molar de etanol (Y_A) en aire con respecto al tiempo.



De acuerdo con las **Gráficas 2 y 3** se puede observar que la concentración y la fracción molar del etanol difundiéndose al aire tiene un comportamiento logarítmico,

porque inicialmente se muestra un aumento en la fracción molar y la concentración con una razón de cambio mayor en el tiempo transcurrido, hasta que el sistema llega al equilibrio con su máximo valor de concentración en el aire, finalizando la transferencia de masa del etanol al aire, generando una posible acumulación de las partículas del formaldehído en el aire, transmitiendo esta concentración a la persona expuesta. A partir de la **Gráfica 2** se observa que la concentración máxima es de $3,1 \times 10^{-3}$ ppm y se alcanza en 1 mes y 2 días y en la **Gráfica 3** se observa que la fracción de vapor máxima es de $1,76 \times 10^{-3}$ se alcanza en 1 mes y dos semanas por lo que podemos decir que este líquido a estas condiciones no se va a difundir por completo porque primero alcanza el equilibrio.

5.2 RESULTADOS DE LA PRUEBA

Los materiales y reactivos que se utilizaron para esta prueba son los siguientes:

- 1 balanza de laboratorio
- 1 probeta de 500 ml.
- 1 cronometro
- Etanol al 98%

El procedimiento consiste en pesar una probeta de 500ml en una balanza de laboratorio, con el fin de medir la masa de etanol transferida al aire estático dentro del laboratorio. Luego, con la ayuda de un cronometro que inicia al terminar de verter el líquido se realiza la toma de datos. Como se muestra en la **Imagen 10**.

Imagen 10. Probeta con contenido de etanol al 98%.



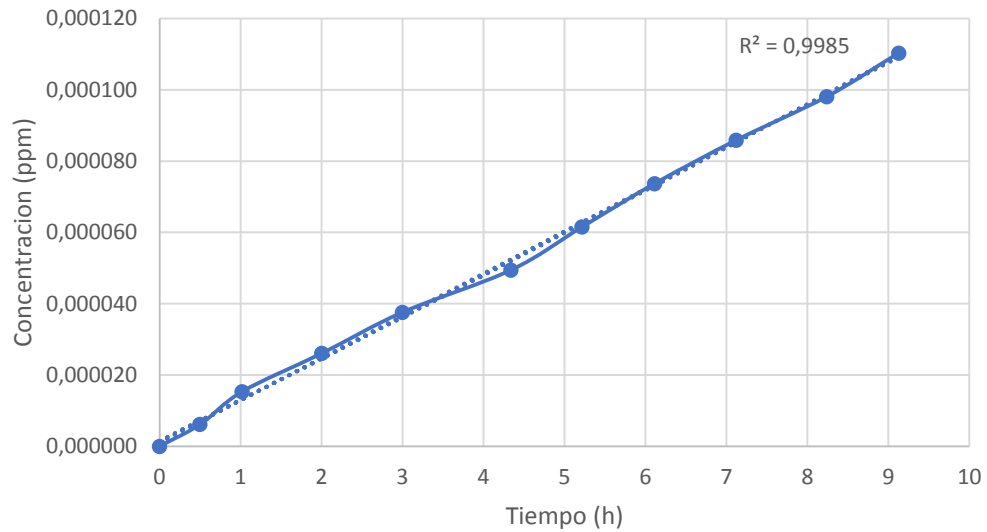
Por consiguiente, después la toma de datos se realizó los respectivos cálculos usando la **ecuación 52** para masa transferida, la **ecuación 53** para la fracción molar promedio y por último la **ecuación 54** para la concentración en unidades de partes por millón (ppm). Una vez realizados los cálculos con la muestra de datos se muestran los resultados en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Resultados de fracciones molares a 9 horas de exposición en un sistema de etanol-aire.

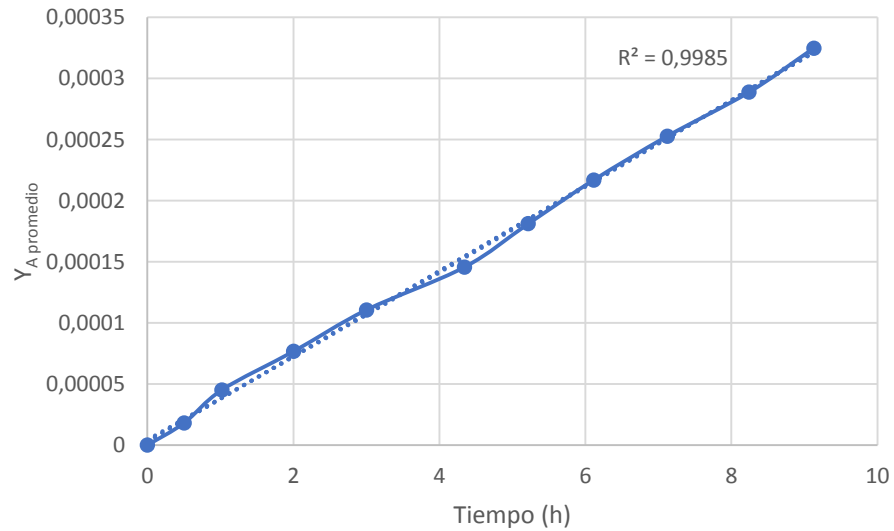
| Tiempo (h) | Masa transferida (Kg) | Y _A promedio | C (ppm) |
|------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,500 | 4,029x10 ⁻³ | 1,807 x10 ⁻⁵ | 6,1406 x10 ⁻⁶ |
| 1,020 | 8,056 x10 ⁻³ | 4,517 x10 ⁻⁵ | 1,53479 x10 ⁻⁵ |
| 2,003 | 1,2082 x10 ⁻² | 7,678 x10 ⁻⁵ | 2,60866 x10 ⁻⁵ |
| 3,000 | 1,6107 x10 ⁻² | 1,106 x10 ⁻⁴ | 3,75892 x10 ⁻⁵ |
| 4,342 | 2,0131 x10 ⁻² | 1,456 x10 ⁻⁴ | 4,94716 x10 ⁻⁵ |
| 5,217 | 2,4153 x10 ⁻² | 1,811 x10 ⁻⁴ | 6,15404 x10 ⁻⁵ |
| 6,113 | 2,8174 x10 ⁻² | 2,169 x10 ⁻⁴ | 7,37006 x10 ⁻⁵ |
| 7,122 | 3,2194 x10 ⁻² | 2,528 x10 ⁻⁴ | 8,59044 x10 ⁻⁵ |
| 8,242 | 3,6213 x10 ⁻² | 2,888 x10 ⁻⁴ | 9,81281 x10 ⁻⁵ |
| 9,128 | 4,0231 x10 ⁻² | 3,248 x10 ⁻⁴ | 1,103597 x10 ⁻⁵ |

Según la **Tabla 8** se observa que a medida que aumenta el tiempo la masa transferida, la fracción molar y la concentración también, porque la masa perdida por el líquido lo gana la masa del gas. A partir de la **Tabla 8** se realizaron las **Gráficas 4 y 5** que muestran este comportamiento. Así mismo, se muestra que la concentración después de nueve horas de exposición es de 1,1036X10⁻⁴ ppm.

Grafica 4. Concentración de etanol transferido al aire con respecto al tiempo.



Grafica 5. Fracción molar de etanol transferido al aire con respecto al tiempo.



Cada hora se observó que disminuye el volumen de la probeta y la pérdida de masa como se esperaba. Desde el inicio de la transferencia de masa hasta el tiempo en el que se interrumpe este proceso; es decir, de 9 horas, dado que es común que las personas estén expuestas a sustancias peligrosas diariamente durante 8 horas.

Las **Gráficas 4 y 5**, muestran que el comportamiento de la concentración y de la fracción molar es lineal creciente, lo que indica que aumenta esta, a medida que

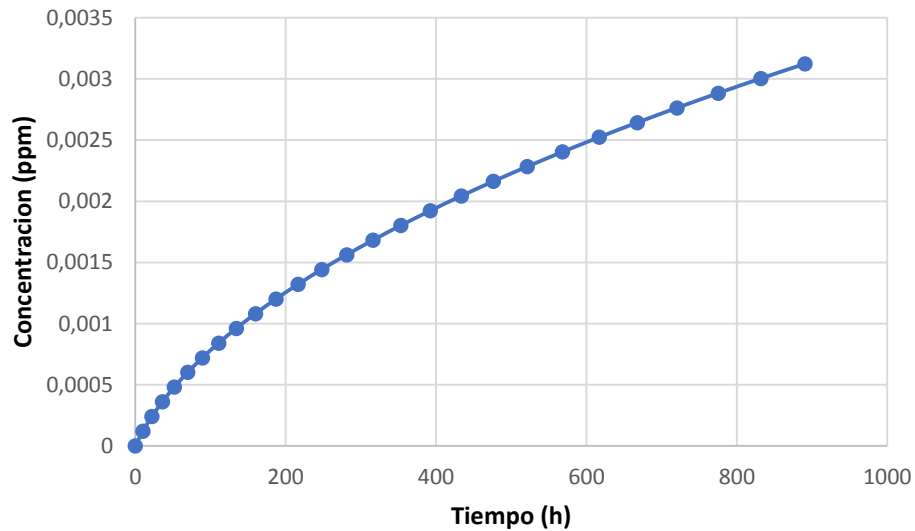
transcurre el tiempo. Además, se calculó el coeficiente de correlación (R^2), el cual para este caso toma un valor de 0,9985, lo que indica que la relación entre los datos es la adecuada.

5.3 ANALISIS DE RESULTADOS

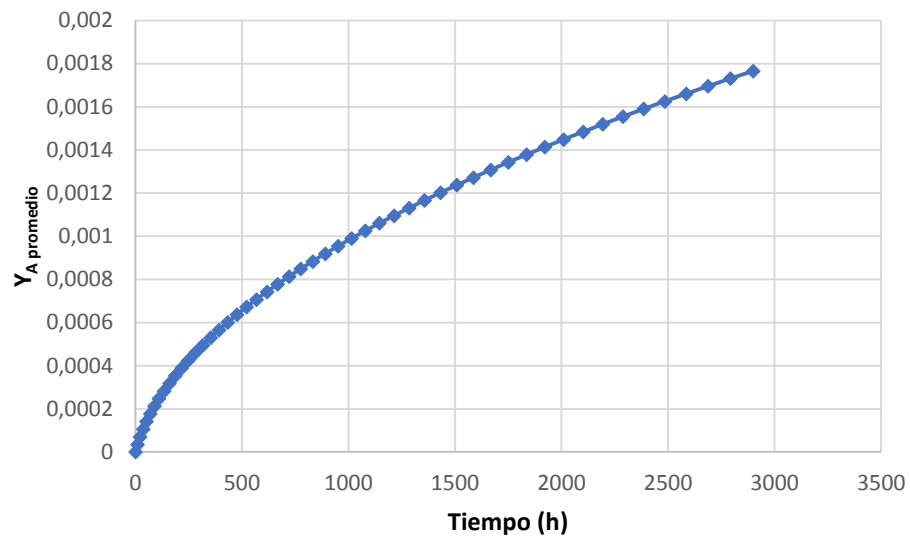
Una vez obtenidos los resultados de la prueba y del software se realizan las respectivas comparaciones y se calcula el porcentaje de error, para así determinar qué tan cerca está este modelo de la realidad.

En la **Tabla 8**, se observa que para que se muestre una disminución en el volumen del líquido, tiene que transcurrir aproximadamente 9 horas, demostrando un cambio considerable en la transferencia de masa hasta estas horas.

Grafica 6. Concentración de etanol (C) en aire con respecto al tiempo.



Grafica 7. Fracción molar de etanol (Y_A) en aire con respecto al tiempo.

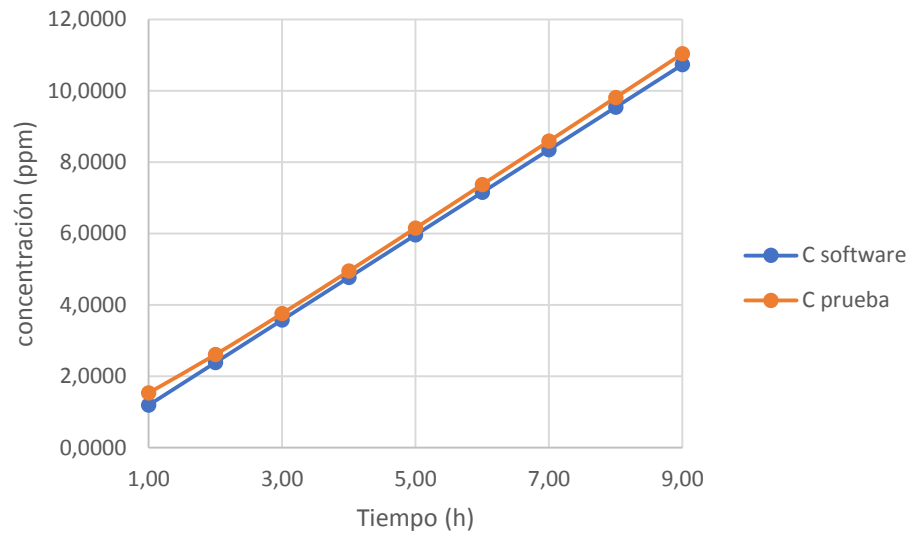


La **Grafica 6 y 7**, reiteran que a medida que transcurre el tiempo la fracción molar y la concentración aumentan, hasta un punto donde el sistema alcanza la idealidad, siendo la concentración constante, tendiendo a acumularse en el entorno, presentando posibles peligros ante su exposición.

La **Tabla 8**, muestra que la fracción molar de la sustancia de etanol aumenta conforme pasa el tiempo, pero a una velocidad más rápida, ya que se muestra que, a partir de la segunda hora, muestra una variación ascendente con tendencia a aumentar.

Se puede hacer una comparación con respecto a los resultados obtenidos que se muestran en la **Grafica 8 y 9**. Realizando una interpolación entre los datos de la **Tabla 8**, de 0 a 10 horas, para obtener valores de $Y_{A \text{ Promedio}}$ respecto a las horas que se obtuvieron los datos de $Y_{A \text{ Prueba}}$. De igual manera, se realizó el procedimiento para los datos de la concentración y también hallar un % de error para evidenciar que tan desviado están los valores resultantes de los valores reales.

Grafica 8. Comparación resultados de software y resultados experimentales de la concentración versus el tiempo en un tiempo máximo de 9 horas.



Grafica 9. Comparación resultados de software y resultados experimentales de la fracción molar versus el tiempo en un tiempo máximo de 9 horas.

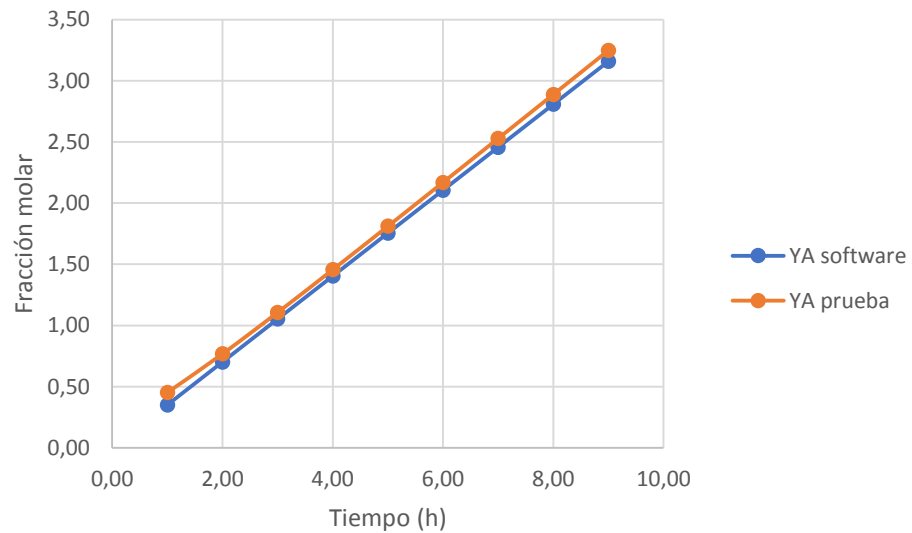


Tabla 9. Resultados del error porcentual tanto para la concentración como para la fracción molar.

| Tiempo | %Error YA | %Error C |
|--------|-----------|----------|
| 1 | 28,71 | 28,70 |
| 2 | 9,381 | 9,368 |
| 3 | 5,074 | 5,070 |
| 4 | 3,717 | 3,712 |
| 5 | 3,215 | 3,210 |
| 6 | 3,008 | 3,004 |
| 7 | 2,913 | 2,908 |
| 8 | 2,863 | 2,857 |
| 9 | 2,830 | 2,825 |

Según la **Tabla 9**, podemos observar que el porcentaje de error para este modelo es de 2,82%, que demuestra que durante 9 horas la concentración en el aire es de $1,1 \times 10^{-4}$ ppm, por consiguiente, el modelo representa una descripción similar a las condiciones logradas en el laboratorio, sin embargo, este porcentaje es considerable y se debe a que hubo factores como la humedad relativa que puede influenciar el cálculo de la del coeficiente de Difusividad y la velocidad del aire.

Conviene subrayar que la humedad relativa se refiere a la relación entre cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que esta podría tener, adaptado a las condiciones de laboratorio este valor debe ser a las condiciones de ambiente en la ciudad de Bogotá donde la humedad relativa oscila entre 77 y 83%⁵¹. Esta fracción de vapor de agua se incluiría en el cálculo para el coeficiente de difusividad porque representa un porcentaje del sistema etanol - aire, de esta manera el cálculo de este coeficiente cambia de un cálculo de mezcla binaria a uno multicomponente.

Según ella **Cuadro 1**, donde se encuentran los niveles máximos permitidos en que las personas sufren efectos negativos en su salud, así mismo se encuentra que según la concentración máxima del formaldehído que es de $3,1 \times 10^{-3}$ ppm no se encuentran efectos negativos en la salud, cabe aclarar que esta concentración se alcanza únicamente al mes y dos semanas, después de este tiempo en el sistema analizado no continua con la transferencia de masa, además según el decreto 1832 de 1994 no se considera una enfermedad profesional ya que a esta concentración los efectos no son nocivos para la salud teniendo en cuenta que las empresas

⁵¹ Ideam. Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. Disponible en <<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>> [Consultado 15 Feb. 2017]. p. 4

cuentan con sistemas de seguridad como, OHSAS o la OSHMS para el cuidado y protección de los empleados y que estos no tengan algún efecto negativo en su salud que pueda causar la sustancia.

Es importante mencionar que todas las organizaciones deben de tener un Sistema de Seguridad y Salud ocupacional, siendo más que una obligación que lo cobija el decreto 1443 del 2014, es una necesidad por parte de las empresas para cuidar y velar por la seguridad de los empleados, allí es donde el personal a cargo de estos sistemas, se encarga de darle la suficiente protección a los empleados, inducción y capacitación frente a las sustancia que puede manipular dentro de los diferentes espacios.

Por otra parte, es importante que los empleados tengan una relación directa y conocimiento suficiente de los riesgos que se tienen al momento de manipular el formaldehído, como se observa en el **Cuadro 1**, es por ello que estos empleados deben de contar con seguros como se menciona en la resolución 2400 de 1979 esto ayuda y aporta al interés de las empresas por el cuidado de los empleados, es por ello que dentro de este acompañamiento se debe ampliar el conocimiento a la era digital, apoyándose de software como el que se presenta para que los empleados tengan el conocimiento suficiente a cerca de los niveles de exposición al cual ellos pueden estar expuestos.

6 CONCLUSIONES

- Según lo investigado para el cálculo del coeficiente de difusividad, se determinó que es de vital importancia las variables de presión y temperatura para el ambiente en el cual se va a realizar el análisis y las condiciones de la sustancia entre las cuales se encuentra la presión de vapor, la naturaleza de la sustancia como factores determinantes para la selección de los métodos semi-empíricos y en específico se encontró que para el sistema de formaldehído aire y etanol aire, que el modelo más acertado con respecto al porcentaje de error, es el método de Fuller con un rango de error porcentual de aproximadamente entre 4 y 8% y por medio del cálculo de la presión de vapor con la ecuación modificada de Antoine se pudo establecer que solo podía existir transferencia de masa cuando el formaldehído estuviese en solución, porque en este estado se presenta cambio de fase y da lugar a que se presente el fenómeno de la difusión en el sistema analizado.
- Teniendo en cuenta que la concentración inicial siempre es la misma en el punto de difusión cuando aún no existe diferencia de volumen en la probeta, se verifico que cuando su volumen comenzaba a variar por el proceso de transferencia de masa esta iba disminuyendo debido a que la cantidad de partículas que se difunden son menores a las iniciales como resultado de la pérdida de masa del líquido y a partir de esto es que se pudo obtener perfiles de concentración respecto al tiempo que transcurre mientras las partículas de formaldehído se dispersan desde el recipiente hacia el aire.
- A partir del desarrollo del software se logró analizar la sustancia en diferentes dimensiones de un ambiente de trabajo cerrado como la temperatura, la presión y las dimensiones de la misma, así como también las dimensiones del recipiente definiendo su volumen inicial y volumen total de la probeta, para que las organizaciones que manipulen esta sustancia pueden tener un acercamiento a los niveles de toxicidad de la sustancia sin necesidad de realizar largos y costosos estudios experimentales, siendo la concentración mínima para el sistema analizado de 0,05ppm, obteniendo resultados tanto en tablas como en gráficas que permiten analizar de forma cuantitativa los perfiles de concentración con respecto al tiempo y cuando el sistema llega a su punto de equilibrio o se disuelve la sustancia, se puede concluir que se ha terminado el proceso y de esta manera la concentración y el y el tiempo es máxima en el ambiente, lo que da lugar a recomendar medidas de protección para la salud y seguridad ocupacional del sitio de trabajo.
- A partir de la prueba realizada en el laboratorio que cumplió el objetivo de validar el modelo seleccionado de transferencia de masa por difusión con las condiciones ideales logradas en el laboratorio y el planteado por el software, dio a conocer que el error porcentual es de 2,8% en un periodo de 9 horas, dando a

conocer que el trabajador no presenta efectos negativos en la salud debido a que la concentración que se alcanza es de $1,1 \times 10^{-4}$ ppm concentración en la cual el trabajador apenas y lo percibe mientras está expuesto a la sustancia peligrosa diariamente en consecuencia de su labor.

7 RECOMENDACIONES

- Para obtener un porcentaje de error menor en el desarrollo del modelo, se deben considerar las condiciones del aire como la velocidad, el caudal y la humedad relativa, que inciden en la transferencia de masa, pero en la forma que la densidad, el coeficiente de difusividad y a la presión de vapor.
- Se plantea que se evalúe la variación que tiene la temperatura y la presión durante la transferencia de masa, pero esta no siendo constante para el proceso, con el fin de analizar la magnitud en que estas se ven afectadas.
- Para posteriores cálculos respecto al tema se sugiere en el capítulo 3 la resolución de la ecuación que combine los dos modelos con el fin de comparar los resultados obtenidos con los de este trabajo.
- Es importante tener un conocimiento amplio frente a los espacios a los cuales se manipula la sustancia, ya que es allí donde los sistemas de gestión de seguridad y salud hacen frente para tomar medidas preventivas para evitar accidentes o causar daños negativos en el ambiente
- Definir políticas dentro de los espacios laborales para la manipulación de la sustancia
- El personal encargado del software debe de recibir la correcta asesoría y capacitación con la manipulación de él mismo y de la sustancia para evitar cálculos incorrectos.
- Es importante dar a conocer que las empresas y organizaciones las cuales manipulan cualquier tipo de sustancia deben tener un Sistema de gestión y Salud Ocupacional, esto está estipulado por la Norma OHSAS 18001, la cual cuida y vela por la seguridad de los empleados
- Es importante realizar estudios dentro de las empresas para tener una correcta prevención para evitar accidentes, esto se da y realiza para el correcto cumplimiento de las leyes tanto locales como internacionales
- Todas las organizaciones deben de concientizar a los empleados y darles la correcta capacitación para evitar accidentes, esto se ve reflejado en las cifras que se presentan anualmente por cada compañía.
- Por medio de decretos y leyes dentro del contexto local, se menciona la importancia y obligación de la implementación de un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

- A partir de la evaluación de los 3 modelos principales de transferencia de masa, se pudo encontrar que el modelo difusivo convectivo solo es posible solucionarlo por medio del método numérico de series de Fourier, que es la base para un trabajo de investigación más profundo ya que los conocimientos de pregrado son limitados.

BIBLIOGRAFIA

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Resumen de Salud Pública Formaldehído. 1999. Disponible en <<http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts111.htm>> [Consultado 5 de septiembre de 2016].

BIRD R. Byron, STEWART E. Warren, LIGHTFOOT N. Edwin. Fenómenos de Transporte. 2nd ed. México: Lumia Wiley. 2006.

COULSON, J. and RICHARDSON, J. Ingeniería química. 1st ed. Barcelona: Revertei.1979.

CROWL. Daniel, LOUVAR Joseph F. Chemical Process Safety Fundaments with Applications. 3 ed. Boston. Prentice Hall, 2011.

DEEN, W. Analysis of transport phenomena. 2nd ed. New York: Oxford University Press.2012.

GEANKOPLIS, C.J. Transport processes and separation process principles. 4 ed. 2003.

IDEAM INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Formaldehído. 2003. Disponible en <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia15.pdf>> [Consultado 5 marzo 2017].

HAMILTON, Adams. Fomaldehyde. 2002 disponible en: <<http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad40.htm>> [Consultado 07 Mar. 2017].

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. Determinación de formaldehído en aire. Método Espectrofotométrico mediante la sal disódica del ácido 4,5 dihidroxinaftaleno-2,7-disulfónico (ácido cromotrópico). Método de toma de muestras y análisis. Madrid 1989.

LOGAÑA, A. Convección de masa. 2014. Disponible en <<https://prezi.com/-2z7zhm9lq2x/conveccion-de-masa/>> [Consultado 04 noviembre 2016].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación NTC 1486 Sexta Actualización Bogotá: el instituto, 2008. p. 110.

_____. Referencia bibliográfica, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá. El Instituto, 2008. p. 12.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el instituto, 1998. p. 8.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. Formaldehyde Method N° 2016 Manual of Analytical Methods (NMAM). 1998. 4 ed. NIOSH, Cincinnati Oh, USA.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO (OIT). Chemical Safety Training Modules, Annex 4. List of Classified Chemicals. 1999. disponible en <<http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/safetytm/clasan4.htm>> [Citado febrero 25 de 2017].

PORTELA E. Aura y SANABRIA M. Diego. Objeto de aprendizaje para la enseñanza de transferencia de masa. Santander ,2009. Trabajo de Grado. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Química. Departamento de ingenierías.

POLING Bruce E., PRAUSNITZ John M. O'CONNELL John P. The properties of Gases and Liquids. New York, 2001.

REGLAMENTO N° 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. Clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas. Bogotá. 2008. (CE).
RUSSO DE MÉNDEZ, Tereza. Efectos Tóxicos Crónicos del Formaldehído. Medula, Revista de Facultad de Medicina. Universidad de Los Andes. Vol. 9 N° 1-4. 2000. Mérida. Venezuela.

WELTY, J., WICKS, C. and WILSON, R. Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa. 2011. 1 ed. México: Limusa.

ZWART A, WOUTERSEN RA, WILMER JWGM, SPIT BJ, FERON VJ. Cytotoxic and adaptive effects in rat nasal epithelium after 3-day and 13-week exposure to low concentrations of formaldehyde vapour. 1988.

ANEXOS



ANEXO A

MANUAL DE USUARIO

Simulator LAB es un software basado en **JAVA** para calcular el nivel de peligrosidad de una sustancia.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| JAVA PLATFORM, STANDARD EDICIÓN O JAVA SE | 134 |
| PAQUETES DE PROPÓSITO ESPECIAL | 134 |
| JAVA.BEANS | 134 |
| JAVA.AWT | 134 |
| JAVA.RMI | 134 |
| JAVA.SECURITY | 134 |
| ORG.OMG.CORBA | 135 |
| JAVAX.SWING | 135 |
| JAVAX.SWING.TEXT.HTML.PARSER | 135 |
| JFREECHART | 135 |
| ECLIPSE | 136 |
| LA PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS (POO, U OOP SEGÚN SUS SIGLAS EN INGLÉS) | 136 |
| JAVA RUNTIME ENVIRONMENT | 137 |
| COMPONENTES | 137 |
| ¿CÓMO PUEDO DESCARGAR E INSTALAR JAVA EN UN EQUIPO CON WINDOWS DE FORMA MANUAL? | 137 |
| DESCARGA E INSTALACIÓN | 137 |
| DETECTAR VERSIONES ANTERIORES (8U20 Y VERSIONES POSTERIORES). | 142 |
| NOTIFICACIONES SOBRE JAVA DESACTIVADO Y RESTAURACIÓN DE PETICIONES DE DATOS | 139 |
| PROBAR LA INSTALACIÓN | 139 |
| INTRODUCCIÓN | 140 |
| MODO DE USO | 141 |

AVA PLATFORM, STANDARD EDICIÓN O JAVA SE

(Conocido anteriormente hasta la versión 5.0 como Plataforma Java 2, Standard Edición o J2SE), es una colección de APIs del lenguaje de programación Java útiles para muchos programas de la Plataforma Java. La Plataforma Java 2, Enterprise Edición incluye todas las clases en el Java SE, además de algunas de las cuales son útiles para programas que se ejecutan en servidores sobre Workstation.

PAQUETES DE PROPÓSITO ESPECIAL

JAVA.BEANS

Incluidos en el paquete `java.beans` hay varias clases para desarrollar y manipular beans, componentes reutilizables definidos por la arquitectura JavaBeans. La arquitectura suministra mecanismos para manipular propiedades de componentes y lanzar eventos cuando esas propiedades cambian.

La mayoría de las APIs en `java.beans` están pensadas para su uso en herramientas de edición de beans, en la cual los beans puedan combinarse, personalizarse y manipularse. Un tipo de editor bean es el diseñador GUI en un entorno de desarrollo integrado (IDE).

JAVA.AWT

La Abstract Window Toolkit contiene rutinas para soportar operaciones básicas GUI y utiliza ventanas básicas desde el sistema nativo subyacente. Muchas implementaciones independientes de la API Java implementan todo excepto AWT, el cual no es usado por la mayoría de las aplicaciones de lado de servidor. Este paquete también contiene la API de gráficos Java 2D.

JAVA.RMI

El paquete `java.rmi` suministra invocación a métodos remotos Java para soportar llamadas a procedimientos remotos entre dos aplicaciones Java que se ejecutan en diferentes JVM. Esto es esencial para tener en cuenta en la certificación

JAVA.SECURITY

Soporte para seguridad, incluyendo el algoritmo de resumen de mensaje, está incluido en el paquete `java.security`.

ORG.OMG.CORBA

Suministra el soporte para comunicación remota entre aplicaciones usando general inter ORB protocol y soporta otras características de common object request broker architecture. Igual que RMI y RMI-IIOP, este paquete es para llamar métodos remotos de objetos en otras máquinas virtuales (normalmente por la red). De todas las posibilidades de comunicación CORBA es la más portable entre varios lenguajes. Sin embargo, es también un poco difícil de comprender.

JAVAX.SWING

Swing es una colección de rutinas que se construyen sobre java.awt para suministrar un toolkit de widgets independiente de plataforma. Swing usa las rutinas de dibujo 2D para renderizar los componentes de interfaz de usuario en lugar de confiar en el soporte GUI nativo subyacente del Sistema operativo.

Swing es un sistema muy rico por sí mismo, soportando pluggable looks and feels (PLAFs) para que los controles (widgets) en la GUI puedan imitar a aquellos del sistema nativo subyacente. Los patrones de diseño impregnan el sistema, especialmente una modificación del patrón modelo-vista-controlador, el cual afloja el acoplamiento entre función y apariencia. Una inconsistencia es que (para J2SE 1.3) las fuentes son dibujadas por el sistema nativo subyacente, limitando la portabilidad de texto. Mejoras, tales como usar fuentes de mapas de bits, existen. En general, las layouts(disposiciones de elementos) se usan y mantienen los elementos dentro de una GUI consistente a través de distintas plataformas.

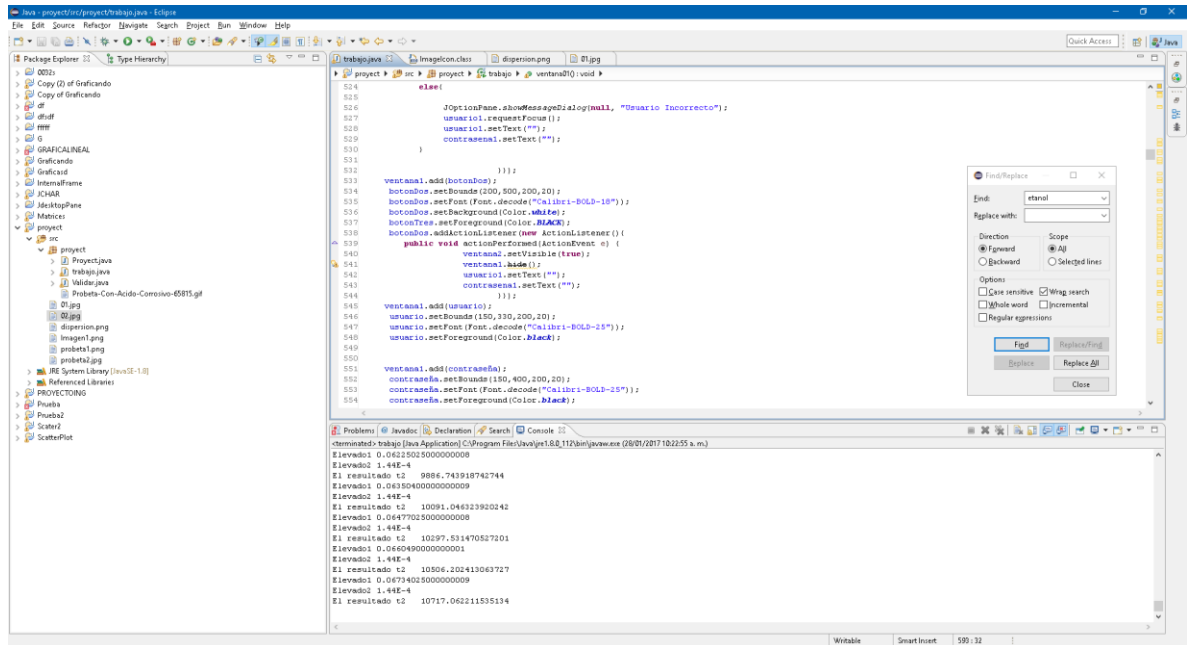
JAVAX.SWING.TEXT.HTML.PARSER

Suministra el parser de HTML tolerante a errores que se usa para escribir varios navegadores web y web bots.

JFREECHART

Es un marco de software open source para el lenguaje de programación Java, el cual permite la creación de gráficos¹ complejos.

ECLIPSE



Es una plataforma de software compuesto por un conjunto de herramientas de programación de código abierto multiplataforma para desarrollar lo que el proyecto llama "Aplicaciones de Cliente Enriquecido", opuesto a las aplicaciones "Clienteliviano" basadas en navegadores. Esta plataforma, típicamente ha sido usada para desarrollar entornos de desarrollo integrados (del inglés IDE, como el IDE de Java llamado Java Development Toolkit (JDT) y el compilador (ECJ) que se entrega como parte de Eclipse) (y que son usados también para desarrollar el mismo Eclipse). Sin embargo, también se puede usar para otros tipos de aplicaciones cliente, como BitTorrent o Azureus.

LA PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS (POO, U OOP SEGÚN SUS SIGLAS EN INGLÉS)

Es un paradigma de programación que viene a innovar la forma de obtener resultados. Los objetos manipulan los datos de entrada para la obtención de datos de salida específicos, donde cada objeto ofrece una funcionalidad especial.

Muchos de los objetos pre-diseñados de los lenguajes de programación actuales permiten la agrupación en bibliotecas o librerías, sin embargo, muchos de estos lenguajes permiten al usuario la creación de sus propias bibliotecas.

Está basada en varias técnicas, incluyendo herencia, cohesión, abstracción, polimorfismo, acoplamiento y encapsulamiento.

Su uso se popularizó a principios de la década de 1990. En la actualidad, existe una gran variedad de lenguajes de programación que soportan la orientación a objetos.

JAVA RUNTIME ENVIRONMENT

Java Runtime Environment o **JRE** es un conjunto de utilidades que permite la ejecución de programas Java.

COMPONENTES

En su forma más simple, el entorno en tiempo de ejecución de Java está conformado por una Máquina Virtual de Java o JVM, un conjunto de bibliotecas Java y otros componentes necesarios para que una aplicación escrita en lenguaje Java pueda ser ejecutada. El JRE actúa como un "intermediario" entre el sistema operativo y Java.

La JVM es el programa que ejecuta el código Java previamente compilado (bytecode) mientras que las librerías de clases estándar son las que implementan el API de Java. Ambas JVM y API deben ser consistentes entre sí, de ahí que sean distribuidas de modo conjunto.

Un usuario sólo necesita el JRE para ejecutar las aplicaciones desarrolladas en lenguaje Java, mientras que para desarrollar nuevas aplicaciones en dicho lenguaje es necesario un entorno de desarrollo, denominado JDK, que además del JRE (mínimo imprescindible) incluye, entre otros, un compilador para Java.

¿CÓMO PUEDO DESCARGAR E INSTALAR JAVA EN UN EQUIPO CON WINDOWS DE FORMA MANUAL?

Este artículo se aplica a:

- **Plataformas:** Windows 2008 Server, Windows 7, Windows 8, Windows XP, Windows Server 2012, Windows Vista, Windows 10
- **Versiones de Java:** 7.0, 8.0

El procedimiento de instalación de Java consiste, a grandes rasgos, en:

1. Descargar e instalar
 2. Probar la instalación
- » Requisitos del sistema Windows

Nota: la instalación de Java necesita que pueda acceder a Windows como administrador en su computadora.

Descarga e Instalación

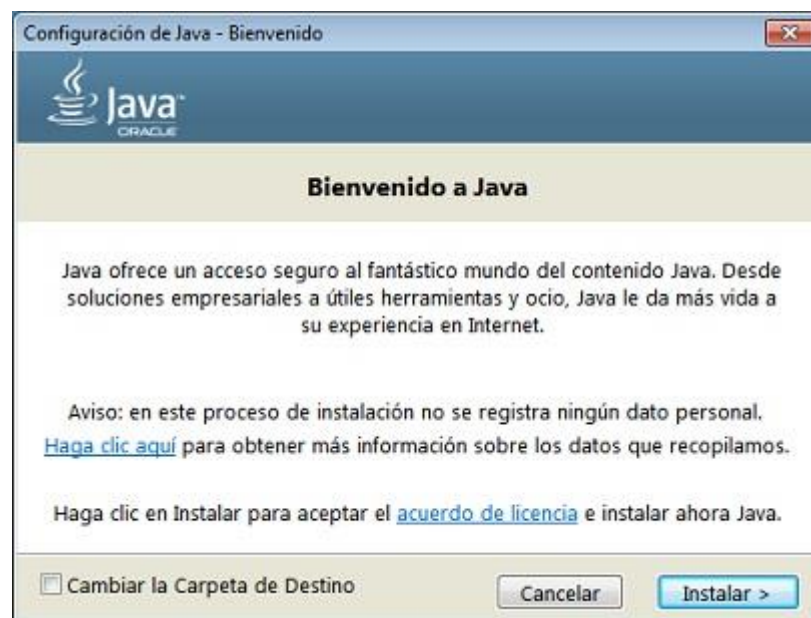
Se recomienda, antes de proceder con la instalación en línea, desactivar el cortafuego de Internet. En algunos casos, la configuración del cortafuego

predeterminado se establece para rechazar todas las instalaciones automáticas o en línea, como la instalación en línea de Java. Si el cortafuego no se configura correctamente, podría impedir la operación de descarga/instalación de Java en determinadas circunstancias. Consulte las instrucciones del manual específico del cortafuego de Internet para desactivarlo.

- Vaya a la página de descarga del manual.
- Haga clic en **Windows en línea**.
- Aparecerá el cuadro de diálogo Descarga de archivos y le pedirá que ejecute o guarde el archivo descargado.
- Para ejecutar el instalador, haga clic en **Ejecutar**.
- Para guardar el archivo y ejecutarlo más tarde, haga clic en **Guardar**. Seleccione la ubicación de la carpeta y guarde el archivo en el sistema local.
Sugerencia: guarde el archivo en una ubicación conocida de su equipo; por ejemplo, en el escritorio.

Haga doble clic en el archivo guardado para iniciar el proceso de instalación.

- Se iniciará el proceso de instalación. Haga clic en el botón **Instalar** para aceptar los términos de la licencia y continuar con la instalación.



- Oracle colabora con empresas que ofrecen distintos productos. Es posible que el instalador le ofrezca la opción de instalar estos programas como parte de la instalación de Java. Una vez seleccionados los programas que desee, haga clic en el botón **Siguiente** para proseguir con el proceso de instalación.

- Se abrirán varios cuadros de diálogo con información para completar las últimas etapas del proceso de instalación; haga clic en **Cerrar** en el último cuadro de diálogo. Con esta acción se completará el proceso de instalación de Java.



DETECTAR VERSIONES ANTERIORES (8U20 Y VERSIONES POSTERIORES).

A partir de Java 8 Update 20 (8u20), en los sistemas Windows, la herramienta de desinstalación de Java está integrada con el instalador para contar con una opción para eliminar las versiones anteriores de Java del sistema. El cambio se aplica a plataformas Windows de 32 bits y 64 bits.

NOTIFICACIONES SOBRE JAVA DESACTIVADO Y RESTAURACIÓN DE PETICIONES DE DATOS

Installer le notifica si el contenido de Java está desactivado en los exploradores web y proporciona instrucciones para activarlo. Si había elegido ocultar algunas peticiones de datos de seguridad para applets y aplicaciones de Java Web Start, Installer ofrece una opción para restaurar las peticiones de datos. Puede que el instalador le pida reiniciar la computadora si, cuando se le solicitó, optó por no reiniciar el explorador de Internet.

PROBAR LA INSTALACIÓN


Para comprobar que Java se ha instalado y funciona correctamente en el equipo, ejecute este applet de prueba.

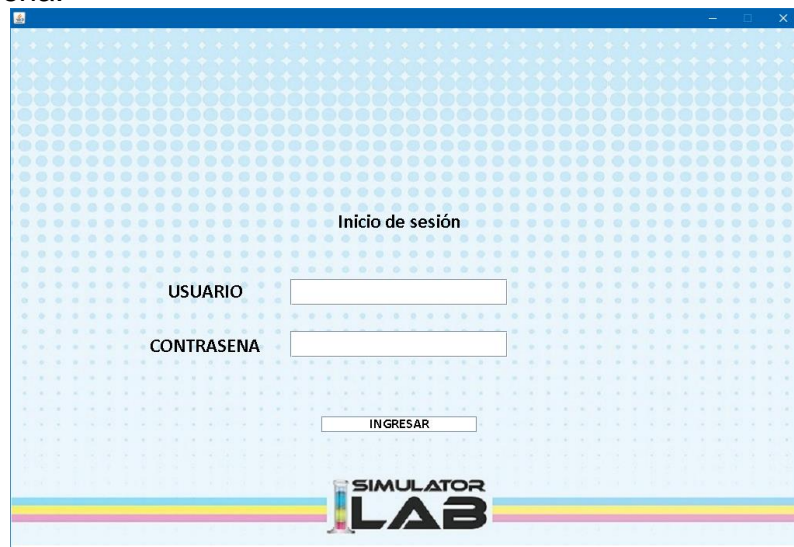
NOTA: Quizá deba reiniciar (cerrar y abrir) su navegador para habilitar la instalación de Java en su navegador.

INTRODUCCIÓN

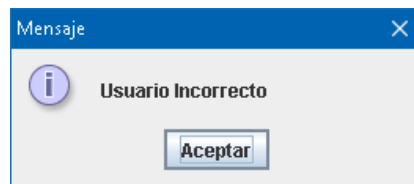
Este manual le permitirá aprender a utilizar todas las funcionalidades básicas de Simulator LAB.

¿Cómo acceder a Simulator LAB?

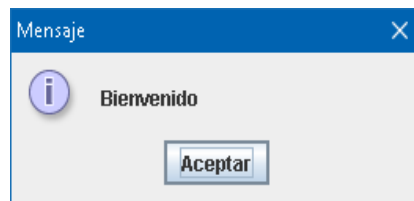
1. Haga clic en el botón en  el escritorio.
2. Acceda al aplicativo introduciendo su “Usuario” y Contraseña.



3. Usuario Admin y contraseña: Q61M1C4*+*, si ingresa la contraseña de manera incorrecta generara el error.



4. Si ingresa la contraseña de manera correcta saldrá el siguiente mensaje seguido presionar ACEPTAR.

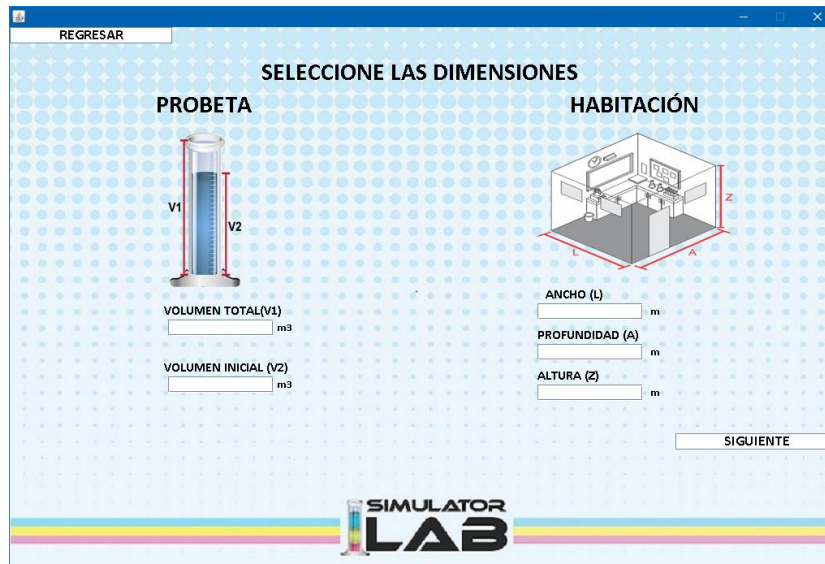


MODO DE USO

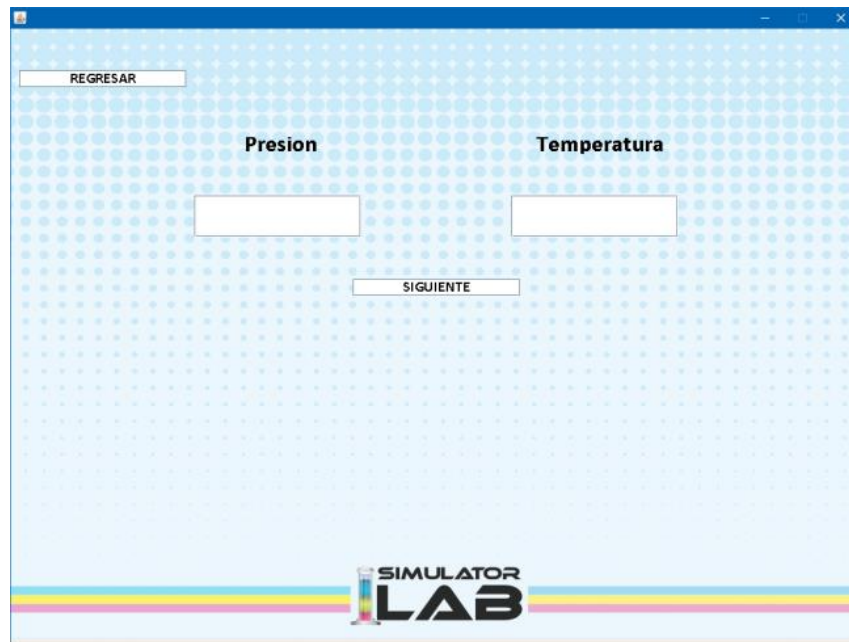
5. El siguiente paso es seleccionar la sustancia a la cual se le hallara el índice de peligrosidad, haciendo clic izquierdo en la que desea elegir.



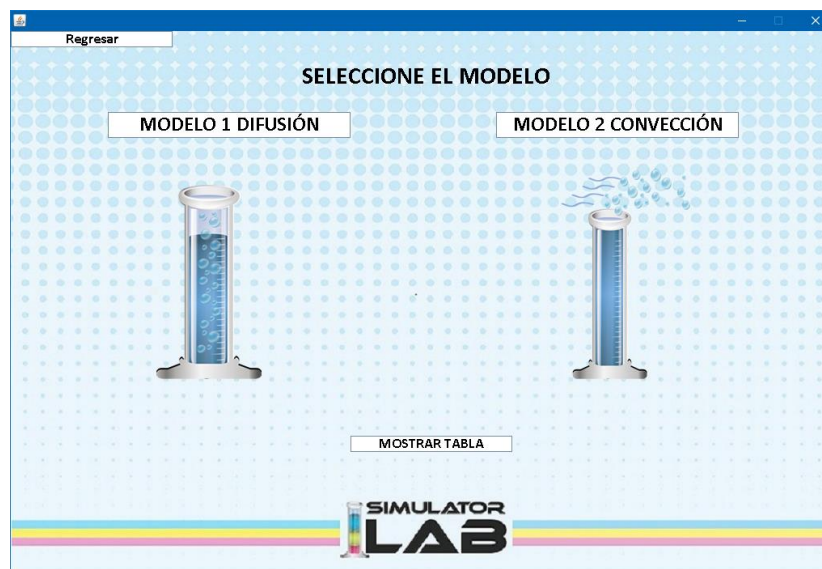
6. Si selecciona FORMALDEHIDO debe ingresar la temperatura y la presión seguida presionar siguiente.



7. Luego debe ingresar el VOLUMEN TOTAL, VOLUMEN INICIAL, ANCHO, PROFUNDIDAD y altura del líquido seguido presionar CALCULAR y ACEPTAR



8. Debes hacer clic en el modelo a visualizar (Modelo 1 DIFUSIÓN) o (Modelo 2 CONVECCIÓN) y si desea ver la tabla presione Mostrar Tabla.

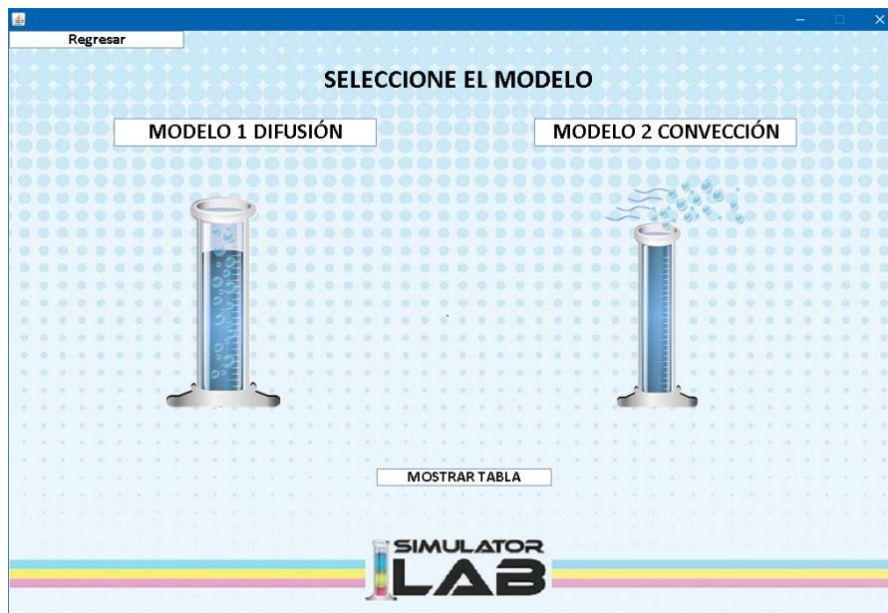


9. Para volver presione el botón regresar.

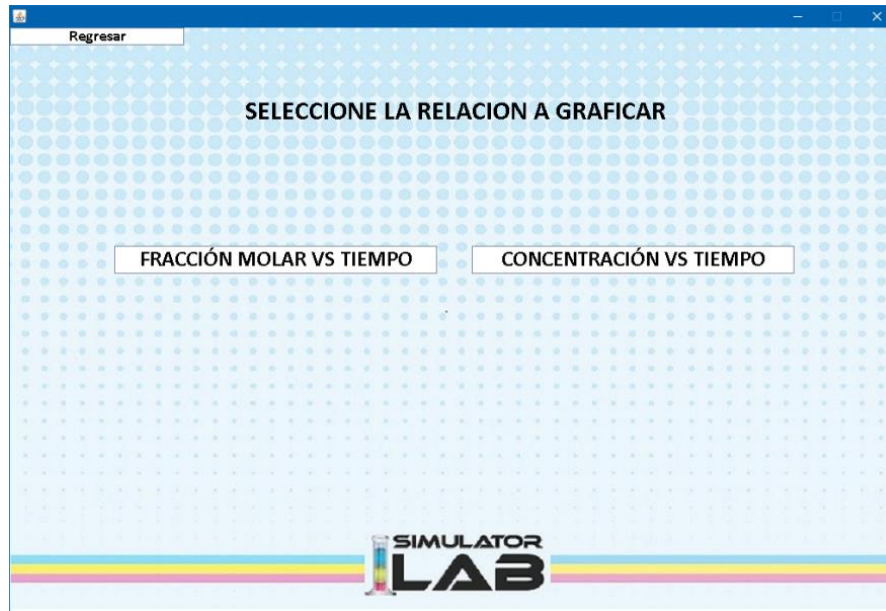
Regresar

| Masa tr. | M1 | Y2 PRO. | C1 (ppm) | Y2M2 | Z2 | Z2M2 | T2 | Vol (m³) | C1 (mol) | C1 PPM | FG | T2M2 | TMS0 |
|----------|----------|---------|----------|------|--------|--------|--------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|
| 3760.5 | 376050.0 | 0.0 | | | 0.012 | 0.012 | 0.0 | 345.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.01 | 1.666 |
| 7521.0 | 1.0791 | 3.3900 | 3.7408 | | 0.0145 | 0.022 | 26365 | 9.9E-4 | 4.0775 | 8.4015 | 5.5840 | 3.5000 | 583338 |
| 11281.5 | 1.068309 | 6.7801 | 7.4816 | | 0.017 | 0.032 | 58898 | 9.801E-4 | 8.1550 | 1.6803 | 1.1168 | 3.2668 | 544481 |
| 15042.0 | 1.0576 | 1.0170 | 0.0011 | | 0.0195 | 0.042 | 97981 | 9.7029 | 1.2232 | 2.5204 | 1.6752 | 3.1659 | 527661 |
| 18802.5 | 1.0470 | 1.3560 | 0.0014 | | 0.022 | 0.0520 | 144035 | 9.6059 | 1.6310 | 3.3606 | 2.2336 | 3.1158 | 519310 |
| 22563.0 | 1.0365 | 1.6950 | 0.0018 | | 0.0244 | 0.0620 | 197519 | 9.5099 | 2.0387 | 4.2007 | 2.7920 | 3.0860 | 514341 |
| 26323.5 | 1.0262 | 2.0340 | 0.0022 | | 0.0269 | 0.0720 | 258932 | 9.4148 | 2.4465 | 5.0409 | 3.3504 | 3.0662 | 511048 |
| 30084.0 | 1.0159 | 2.3730 | 0.0026 | | 0.0294 | 0.082 | 328817 | 9.3206 | 2.8542 | 5.9811 | 3.9088 | 3.0522 | 509709 |
| 33844.5 | 1.0057 | 2.7120 | 0.0029 | | 0.0319 | 0.092 | 407773 | 9.2274 | 3.2620 | 6.7212 | 4.4672 | 3.0417 | 506965 |
| 37605.0 | 0.9957 | 3.0510 | 0.0033 | | 0.0344 | 0.102 | 496450 | 9.1351 | 3.6697 | 7.5614 | 5.0256 | 3.0337 | 505617 |
| 41365.0 | 0.9857 | 3.3900 | 0.0037 | | 0.037 | 0.1119 | 595568 | 9.0438 | 4.0775 | 8.4015 | 5.5840 | 3.0272 | 504545 |
| 45126.0 | 0.9759 | 3.7290 | 0.0041 | | 0.0395 | 0.1219 | 705916 | 8.9533 | 4.4852 | 9.2417 | 6.1424 | 3.0220 | 503674 |
| 48886.5 | 0.9661 | 4.0680 | 0.0044 | | 0.042 | 0.1319 | 829395 | 8.8638 | 4.8930 | 10.0010 | 6.7008 | 3.0177 | 502953 |
| 52647.0 | 0.9564 | 4.4070 | 0.0048 | | 0.0445 | 0.142 | 963979 | 8.7752 | 5.3007 | 0.0010 | 7.2591 | 3.0140 | 502349 |
| 56407.5 | 0.9468 | 4.7460 | 0.0052 | | 0.0470 | 0.152 | 111352 | 8.6874 | 5.7085 | 0.0011 | 7.8175 | 3.0110 | 501835 |
| 60168.0 | 0.9374 | 5.0850 | 0.0056 | | 0.0495 | 0.162 | 127850 | 8.6005 | 6.1162 | 0.0012 | 8.3759 | 3.0083 | 501395 |
| 63928.5 | 0.9280 | 5.4240 | 0.0059 | | 0.0520 | 0.1720 | 146012 | 8.5145 | 6.5240 | 0.0013 | 8.9343 | 3.0060 | 501013 |
| 67689.0 | 0.9188 | 5.7630 | 0.0063 | | 0.0545 | 0.1820 | 165988 | 8.4294 | 6.9317 | 0.0014 | 9.4927 | 3.0040 | 500680 |
| 71449.5 | 0.9096 | 6.1020 | 0.0067 | | 0.0570 | 0.1920 | 187944 | 8.3451 | 7.3394 | 0.0015 | 1.0051 | 3.0023 | 500388 |
| 75210.0 | 0.9005 | 6.4410 | 0.0071 | | 0.0595 | 0.2020 | 212068 | 8.2616 | 7.7472 | 0.0015 | 1.0609 | 3.0007 | 500139 |
| 78970.5 | 0.8915 | 6.7800 | 0.0074 | | 0.0620 | 0.2120 | 238972 | 8.1790 | 8.1549 | 0.0016 | 1.1167 | 2.9994 | 499945 |
| 82731.0 | 0.8826 | 7.1190 | 0.0078 | | 0.0645 | 0.2220 | 267696 | 8.0972 | 8.5627 | 0.0017 | 1.1726 | 2.9981 | 499695 |
| 86491.5 | 0.8737 | 7.4580 | 0.0082 | | 0.0670 | 0.2320 | 299716 | 8.0163 | 8.9704 | 0.0018 | 1.2284 | 2.9970 | 499512 |
| 90252.0 | 0.8650 | 7.7970 | 0.0086 | | 0.0695 | 0.2420 | 334945 | 7.9361 | 9.3782 | 0.0019 | 1.2843 | 2.9960 | 499348 |
| 94012.5 | 0.8563 | 8.1360 | 0.0089 | | 0.0720 | 0.2520 | 373744 | 7.8567 | 9.7859 | 0.0020 | 1.3401 | 2.9952 | 499200 |
| 97773.0 | 0.8478 | 8.4750 | 0.0093 | | 0.0745 | 0.2620 | 416531 | 7.7782 | 1.0193 | 0.0021 | 1.3959 | 2.9943 | 499066 |
| 101533.5 | 0.8393 | 8.8140 | 0.0097 | | 0.0770 | 0.2720 | 463791 | 7.7004 | 1.0601 | 0.0021 | 1.4518 | 2.9936 | 498945 |
| 105294.0 | 0.8309 | 9.1530 | 0.0101 | | 0.0795 | 0.2820 | 516091 | 7.6234 | 1.1009 | 0.0022 | 1.5076 | 2.9930 | 498835 |
| 109054.5 | 0.8226 | 9.4920 | 0.0104 | | 0.0820 | 0.2920 | 574100 | 7.5471 | 1.1416 | 0.0023 | 1.5635 | 2.9924 | 498736 |
| 112815.0 | 0.8144 | 9.8310 | 0.0108 | | 0.0845 | 0.3020 | 638606 | 7.4717 | 1.1824 | 0.0024 | 1.6193 | 2.9918 | 498645 |
| 116575.5 | 0.8062 | 1.0170 | 0.0112 | | 0.0870 | 0.3120 | 710556 | 7.3970 | 1.2232 | 0.0025 | 1.6751 | 2.9913 | 498563 |
| 120336.0 | 0.7982 | 1.0509 | 0.0115 | | 0.0895 | 0.3220 | 791084 | 7.3230 | 1.2640 | 0.0026 | 1.7310 | 2.9909 | 498488 |

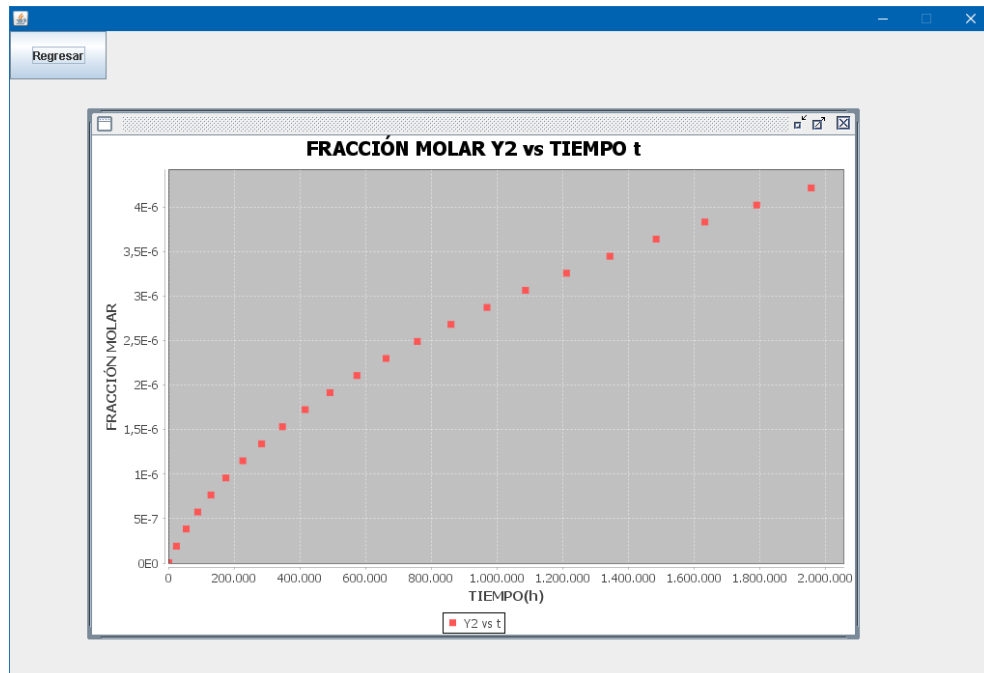
10. Al regresar podrá ver la opción de seleccionar dos modelos **MODELO 1 DIFUSIÓN** O **MODELO 2 CONVECCIÓN**



11. Deberá seleccionar la relación a graficar.



12. Podrá visualizar la gráfica del modelo, una vez sea visualizada presionar **REGRESAR**.



13. Si desea seleccionar otra sustancia debe presionar regresar hasta volver al menú de selección de sustancia.



14. Ahora debe hacer clic izquierdo en la sustancia a seleccionar en éste caso Etanol.



15. Presione siguiente para continuar.

Regresar

SELECCIONE LAS DIMENSIONES

PROBETA

V1
V2

VOLUMEN TOTAL (V1)
0,0005 m³

VOLUMEN INICIAL (V2)
0,0005 m³

HABITACIÓN

ANCHO (L)
9,9 m

PROFUNDIDAD (A)
5,9 m

ALTURA (Z)
2,51 m

Siguiete

SIMULATOR LAB

16. Podrá seleccionar la relación a graficar.

Regresar

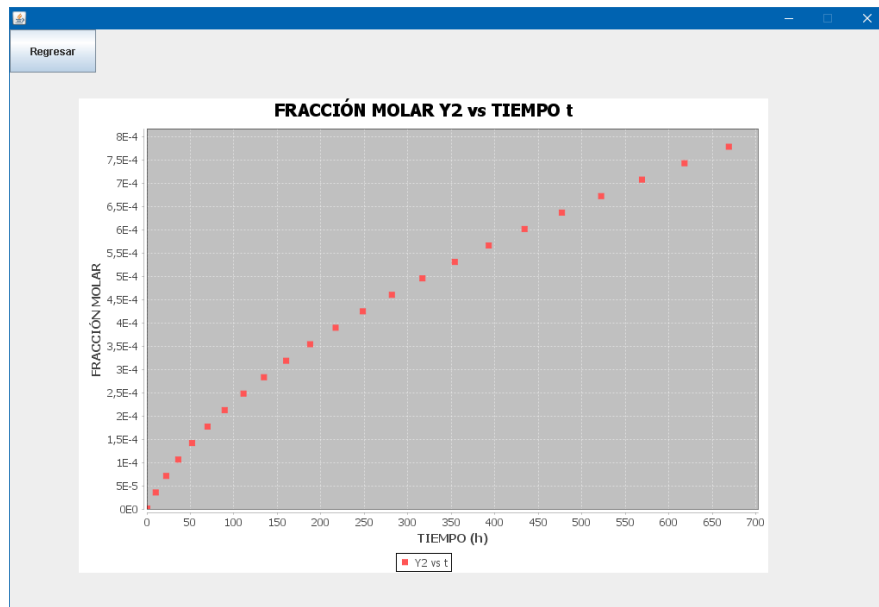
SELECCIONE LA RELACION A GRAFICAR

FRACCIÓN MOLAR VS TIEMPO

CONCENTRACIÓN VS TIEMPO

MOSTRAR TABLA

SIMULATOR LAB



17. Para salir hacer clic en la X.

| Masa tr. | M1 | Y2 PRO. | C1 (ppm) | Y2M2 | Z2 | z2M2 | T2 | Vol (m³3) | C1 (mol) | C1 PPM | FO | T2M2 | TM60 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-----------|--------|--------|-----------|----------|--------|--------|--------|-----------|
| 0.0039... | 0.3945 | 0 | 0.0 | | 0.012 | 0.012 | 0.0 | 0.0005 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.01 | 1.6666... |
| 0.0078... | 0.390555 | 5.5389... | 1.2024... | | 0.0145 | 0.022 | 10.089 | 4.95E-4 | 4.0775 | 8.4015 | 5.5840 | 3.5000 | 593336... |
| 0.0118... | 0.3866... | 7.0777... | 2.4048... | | 0.017 | 0.032 | 22.116 | 4.9005 | 8.1550 | 1.6803 | 1.1168 | 3.2668 | 544481... |
| 0.0157... | 0.3827... | 1.0616... | 3.6071... | | 0.0195 | 0.042 | 36.052 | 4.8514 | 1.2232 | 2.5204 | 1.6752 | 3.1659 | 527681... |
| 0.0197... | 0.3789... | 1.4154... | 4.8094... | | 0.022 | 0.0520 | 51.909 | 4.8029 | 1.6310 | 3.3606 | 2.2336 | 3.1158 | 519310... |
| 0.0236... | 0.3751... | 1.7692... | 6.0115... | | 0.0244... | 0.0620 | 69.689 | 4.7549 | 2.0387 | 4.2007 | 2.7920 | 3.0860 | 514341... |
| 0.0276... | 0.3714... | 2.1230... | 7.2136... | | 0.0268... | 0.0720 | 89.396 | 4.7074 | 2.4465 | 5.0409 | 3.3504 | 3.0662 | 511048... |
| 0.0315... | 0.3676... | 2.4768... | 8.4156... | | 0.0294... | 0.082 | 111.03 | 4.6603 | 2.8542 | 5.8811 | 3.9088 | 3.0522 | 508709... |
| 0.0355... | 0.3640... | 2.8305... | 9.6175... | | 0.0319... | 0.092 | 134.60 | 4.6137 | 3.2620 | 6.7212 | 4.4672 | 3.0417 | 506995... |
| 0.0394... | 0.3603... | 3.1842... | 0.0010... | | 0.0344... | 0.102 | 160.10 | 4.5675 | 3.6697 | 7.5614 | 5.0256 | 3.0337 | 505617... |
| 0.0433... | 0.3567... | 3.5379... | 0.0012... | | 0.037 | 0.1119 | 187.54 | 4.5219 | 4.0775 | 8.4015 | 5.5840 | 3.0272 | 504545... |
| 0.0473... | 0.3532... | 3.8916... | 0.0013... | | 0.0395 | 0.1219 | 216.91 | 4.4766 | 4.4852 | 9.2417 | 6.1424 | 3.0220 | 503674... |
| 0.0512... | 0.3496... | 4.2452... | 0.0014... | | 0.042 | 0.1319 | 248.23 | 4.4319 | 4.8930 | 0.0010 | 6.7008 | 3.0177 | 502953... |
| 0.0552... | 0.3461... | 4.5988... | 0.0015... | | 0.0445... | 0.142 | 281.50 | 4.3876 | 5.3007 | 0.0010 | 7.2591 | 3.0140 | 502349... |
| 0.0591... | 0.3427... | 4.9524... | 0.0016... | | 0.0470... | 0.152 | 316.71 | 4.3437 | 5.7095 | 0.0011 | 7.8175 | 3.0110 | 501835... |
| 0.0631... | 0.3392... | 5.3060... | 0.0018... | | 0.0495... | 0.162 | 353.87 | 4.3002 | 6.1162 | 0.0012 | 8.3759 | 3.0083 | 501395... |
| 0.0670... | 0.3359... | 5.6595... | 0.0019... | | 0.0520... | 0.1720 | 392.98 | 4.2572 | 6.5240 | 0.0013 | 8.9343 | 3.0060 | 501013... |
| 0.0710... | 0.3325... | 6.0130... | 0.0020... | | 0.0545... | 0.1820 | 434.05 | 4.2147 | 6.9317 | 0.0014 | 9.4927 | 3.0040 | 500680... |
| 0.0749... | 0.3292... | 6.3665... | 0.0021... | | 0.0570... | 0.1920 | 477.08 | 4.1725 | 7.3394 | 0.0015 | 1.0051 | 3.0023 | 500388... |
| 0.0789... | 0.3259... | 6.7200... | 0.0022... | | 0.0595... | 0.2020 | 522.07 | 4.1308 | 7.7472 | 0.0015 | 1.0609 | 3.0007 | 500129... |
| 0.0828... | 0.3226... | 7.0734... | 0.0024... | | 0.0620... | 0.2120 | 569.02 | 4.0895 | 8.1549 | 0.0016 | 1.1167 | 2.9994 | 499900... |
| 0.0867... | 0.3194... | 7.4268... | 0.0025... | | 0.0645... | 0.2220 | 617.93 | 4.0486 | 8.5627 | 0.0017 | 1.1726 | 2.9981 | 499695... |
| 0.0907... | 0.3162... | 7.7802... | 0.0026... | | 0.0670... | 0.2320 | 668.82 | 4.0081 | 8.9704 | 0.0018 | 1.2284 | 2.9970 | 499512... |
| 0.0946... | 0.3130... | 8.1335... | 0.0027... | | 0.0695... | 0.2420 | 721.67 | 3.9680 | 9.3782 | 0.0019 | 1.2843 | 2.9960 | 499348... |
| 0.0986... | 0.3099... | 8.4869... | 0.0028... | | 0.0720... | 0.2520 | 776.50 | 3.9283 | 9.7859 | 0.0020 | 1.3401 | 2.9952 | 499200... |
| 0.1025... | 0.3068... | 8.8402... | 0.0030... | | 0.0745... | 0.2620 | 833.31 | 3.8891 | 1.0193 | 0.0021 | 1.3959 | 2.9943 | 499066... |
| 0.1065... | 0.3037... | 9.1935... | 0.0031... | | 0.0770... | 0.2720 | 892.10 | 3.8502 | 1.0601 | 0.0021 | 1.4518 | 2.9936 | 498945... |
| 0.1104... | 0.3007... | 9.5467... | 0.0032... | | 0.0795... | 0.2820 | 952.86 | 3.8117 | 1.1009 | 0.0022 | 1.5076 | 2.9930 | 498835... |
| 0.1144... | 0.2977... | 9.9000... | 0.0033... | | 0.0820... | 0.2920 | 1015.6 | 3.7735 | 1.1416 | 0.0023 | 1.5635 | 2.9924 | 498736... |
| 0.1183... | 0.2947... | 0.0010... | 0.0034... | | 0.0845... | 0.3020 | 1080.3 | 3.7359 | 1.1824 | 0.0024 | 1.6193 | 2.9918 | 498645... |
| 0.1222... | 0.2918... | 0.0010... | 0.0036... | | 0.0870... | 0.3120 | 1147.0 | 3.6985 | 1.2232 | 0.0025 | 1.6751 | 2.9913 | 498563... |
| 0.1262... | 0.2888... | 0.0010... | 0.0037... | | 0.0895... | 0.3220 | 1215.8 | 3.6615 | 1.2640 | 0.0026 | 1.7310 | 2.9909 | 498488... |

ANEXO B.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%⁵²
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015 Versión 4.1

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Artículo número 104002
Denominación Formaldehído en solución aprox. 37% estabilizado con aprox. 10% de metanol Ph Eur, BP, USP
Número de registro REACH Este producto es una mezcla. Número de registro REACH véase sección 3.

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconejados

Usos identificados Limpieza de laboratorios, Producción farmacéutica. Para informaciones adicionales a usos refiérase al portal Merck Chemicals (www.merckgroup.com; for USA/Canadá www.emdgroup.com).

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía Merck KGaA * 64271 Darmstadt * Alemania * Tel: +49 6151 72-0

Departamento Responsable manuel.caceres@merckgroup.com; Tel: 4254770 Ext. 5301

Representante regional Merck S.A.
Calle 10 No. 65-28
Bogotá D.C.
Colombia
Tel: 4254747
Fax: 4255407

1.4 Teléfono de emergencia Línea Salvavidas CISTEMA-SURA
018000941414
018000511414
4055911

⁵² Las Fichas de Datos de Seguridad para artículos del catálogo también se obtienen en www.merckgroup.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla
Clasificación (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Toxicidad aguda, Categoría 3, Oral, H301

Toxicidad aguda, Categoría 3, Inhalación, H331

Toxicidad aguda, Categoría 3, Cutáneo, H311

Corrosión cutánea, Categoría 1B, H314

Sensibilización cutánea, Categoría 1, H317

Mutagenicidad en células germinales, Categoría 2, H341

Carcinogenicidad, Categoría 1B, H350

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única, Categoría 1, Ojos, H370

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única, Categoría 3, Sistema respiratorio, H335

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

Clasificación (67/548/CEE o 1999/45/CE)

| | | |
|------------|----------------------------|-------------------------|
| T | Tóxico | R23/24/25 - 39/23/24/25 |
| Carc.Cat.2 | Carcinógeno de categoría 2 | R45 |
| C | Corrosivo | R34 |
| Mut.Cat.3 | Mutágeno de la categoría 3 | R68 |
| | Sensibilizante | R43 |

El texto completo de las frases R mencionadas en esta sección, se indica en la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Pictogramas de peligro



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Palabra de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H350 Puede provocar cáncer.

H301 + H311 + H331 Tóxico en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación.

H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

H317 Puede provocar una reacción alérgica en la piel.

H335 Puede irritar las vías respiratorias.

H341 Se sospecha que provoca defectos genéticos.

H370 Provoca daños en los órganos (Ojos).

Consejos de prudencia

Prevención

P201 Pedir instrucciones especiales antes del uso.

P280 Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

Intervención

P301 + P330 + P331 EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito.

P302 + P352 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes.

P304 + P340 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

P308 + P310 EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICÓLOGA o a un médico.

Reservado exclusivamente a usuarios profesionales.

Etiquetado reducido (≤ 125 ml)

Pictogramas de peligro



FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Palabra de advertencia
Peligro

Indicaciones de peligro

H350 Puede provocar cáncer.

H301 + H311 + H331 Tóxico en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación.

H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

H317 Puede provocar una reacción alérgica en la piel.

H341 Se sospecha que provoca defectos genéticos.

H370 Provoca daños en los órganos (Ojos).

Consejos de prudencia

P201 Pedir instrucciones especiales antes del uso.

P280 Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

P301 + P330 + P331 EN CASO DE INGESTION: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito.

P302 + P352 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes.

P304 + P340 EN CASO DE INHALACION: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

P308 + P310 EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICÓLOGA o a un médico.

Contiene: Formaldehído, Metanol

2.3 Otros peligros

Ninguno conocido.

SECCION 3. Composición/información sobre los componentes

Naturaleza química

Solución acuosa con componentes orgánicos.

3.1 Sustancia

No aplicable

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

3.2 Mezcla

Componentes peligrosos (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Nombre químico (Concentración)

No. CAS

Número de registro

Clasificación

Formaldehido ($\geq 25\%$ - $< 50\%$)

La sustancia no cumple los criterios de PBT o MPMB según el Reglamento (CE) núm. 1907/2006, anexo XIII. 50-00-0*)

Toxicidad aguda, Categoría 3, H301
Toxicidad aguda, Categoría 3, H331
Toxicidad aguda, Categoría 3, H311
Corrosión cutánea, Categoría 1B, H314
Sensibilización cutánea, Categoría 1, H317
Mutagenicidad en células germinales, Categoría 2, H341
Carcinogenicidad, Categoría 1B, H350

Metanol ($\geq 10\%$ - $< 20\%$)

La sustancia no cumple los criterios de PBT o MPMB según el Reglamento (CE) núm. 1907/2006, anexo XIII. 67-56-1*)

Líquido inflamable, Categoría 2, H225
Toxicidad aguda, Categoría 3, H301
Toxicidad aguda, Categoría 3, H331
Toxicidad aguda, Categoría 3, H311
Toxicidad específica en determinados órganos exposición única, Categoría 1, H370

*) No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que las sustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Reglamento REACH (CE) núm. 1097/2006, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, base la Sección 16.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Componentes peligrosos (1999/45/CE)

| Nombre químico | (Concentración) |
|----------------|---|
| No. CAS | Clasificación |
| Formaldehido | (>= 25 % - < 50 %) |
| 50-00-0 | T, Tóxico; R23/24/25 C, Corrosivo; R34 R43 Carc.Cat.2; R45 Mut.Cat.3; R68 |
| Metanol | (>= 10 % - < 20 %) |
| 67-56-1 | F, Fácilmente inflamable; R11 T, Tóxico; R23/24/25-39/23/24/25 |

El texto completo de las frases R mencionadas en esta sección, se indica en la Sección 16.

SECCION 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Recomendaciones generales

El socorrista necesita protegerse a sí mismo.

Tras inhalación: aire fresco. Llamar inmediatamente al médico. Tras parada respiratoria: inmediatamente respiración instrumental. Aplicar oxígeno en caso necesario.

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua/ducharse. Llame inmediatamente al médico.

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. Llamar inmediatamente al oftalmólogo.

Tras ingestión: hacer beber agua inmediatamente (máximo 2 vasos). Llame inmediatamente al médico. ¡Riesgo de perforación!

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Irritación y corrosión, Reacciones alérgicas, Tos, Insuficiencia respiratoria, borrachera, Vértigo, Dolor de cabeza, Somnolencia, ansiedad, espasmos, Trastornos de la visión, narcosis, Coma, ¡Riesgo de ceguera!

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
Mencionar el metanol.

SECCION 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Agua, Dióxido de carbono (CO₂), Espuma, Polvo seco

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mes.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Mezcla con componentes combustibles.

Los vapores son mas pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo. En caso de fuerte calentamiento pueden producirse mezclas explosivas con el aire. En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios.

Permanencia en el area de riesgo solo con sistemas de respiración artificial e independiente del ambiente. Protección de la piel mediante observación de una distancia de seguridad y uso de ropa protectora adecuada.

Otros datos

Reprimir los gases/vapores/neblinas con agua pulverizada. Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.

SECCION 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia: Evitar el contacto con la sustancia. No respirar los vapores, aerosoles. Asegúrese una ventilación apropiada. Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición. Evacue el area de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Consejos para el personal de emergencia: Equipo protector base sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado. Riesgo de explosión.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Cubra las alcantarillas. Recoja, una y aspire los derrames.

Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10).

Recoger con material absorbente de líquidos y neutralizante, p. ej. con Chemizorb® H⁺ (art. Merck 101595). Proceder a la eliminación de los residuos. Aclarar.

Eliminación de la nocividad: neutralizar por tratamiento con solución de bisulfito sódico en exceso.

6.4 Referencia a otras secciones

Para indicaciones sobre el tratamiento de residuos, base sección 13.

SECCION 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Consejos para una manipulación segura

Observar las indicaciones de la etiqueta.

Trabajar bajo campana extractora.

No inhalar la sustancia/la mezcla.

Evítese la generación de vapores/aerosoles.

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión

Mantener apartado de las llamas abiertas, de las superficies calientes y de los focos de ignición. Tomar medidas de precaución contra descargas electrostáticas.

Medidas de higiene

Sustituir inmediatamente la ropa contaminada. Protección preventiva de la piel.

Lavar cara y manos al término del trabajo.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades
Exigencias técnicas para almacenes y recipientes
No usar recipientes metálicos.

Condiciones de almacenamiento

Bien cerrado. Protegido de la luz. Manténgase el recipiente en un lugar bien ventilado. Mantenerlo encerrado en una zona únicamente accesible por las personas autorizadas o calificadas.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

7.3 Usos específicos finales

Fuera de los usos indicados en la sección 1.2 no se previenen aplicación es finales adicionales.

SECCION 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

| | | |
|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Formaldehido (50-00-0) | | |
| CO OEL | Valor techo | 0,3 ppm |
| Metanol (67-56-1) | | |
| CO OEL | Media Ponderada en el Tiempo (TWA) | 200 ppm |
| | Límite de Exposición Breve (LEB): | 250 ppm |
| | Clasificación de riesgo a la piel: | Absorción a través de la piel. |

8.2 Controles de la exposición

Disposiciones de ingeniera

Medidas técnicas y observación de métodos adecuados de trabajo tienen por minoridad ante el uso de equipos de protección personal.

Base sección 7.1.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Medidas de protección individual

Los tipos de auxiliares para protección del cuerpo deben elegirse específicamente según el puesto de trabajo en función de la concentración y cantidad de la sustancia peligrosa.

Deberá aclararse con el suministrador la estabilidad de los medios protectores frente a los productos químicos.

Protección de los ojos / la cara

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro

Protección de las manos

Sumersión:

| | |
|------------------------|----------------|
| Material del guante: | Caucho nitrilo |
| Espesor del guante: | 0,40 mm |
| tiempo de penetración: | > 480 min |

Salpicaduras:

| | |
|------------------------|-----------------|
| Material del guante: | Poli cloropreno |
| Espesor del guante: | 0,65 mm |
| tiempo de penetración: | > 240 min |

Los guantes de protección indicados deben cumplir con las especificaciones de la Directiva 89/686/EEC y con su norma resultante EN374, por ejemplo, KCL 730 Camatril® -Velours (Sumersión), KCL 720 Camparen® (Salpicaduras).

Los tiempos de ruptura mencionados anteriormente han sido determinados con muestras de material de los tipos de guantes recomendados en mediciones de laboratorio de KCL según EN374.

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por eje. KCL GmbH, D-36124 EChannel, Internet: www.kcl.de)

Otras medias de protección

Vestimenta protectora antiestática retardaste de la flama.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Protección respiratoria
necesaria en presencia de vapores/aerosoles.

Tipo de Filtro recomendado: filtro ABEK

El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Estas medidas deben ser documentadas debidamente.

Controles de exposición medioambiental

No dejar que el producto entre en el sistema de alcantarillado.

Riesgo de explosión.

SECCION 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

| | |
|---|----------------------------------|
| Color | incolore |
| Olor | picante |
| Umbral olfativo | 0,05 - 0,125 p (formaldehido) |
| pH | 2,8 - 4,0 a 20 °C |
| Punto de fusión | < -15 °C |
| Punto /intervalo de ebullición | 93 - 96 ° a 1.013 ha |
| Punto de inflamación | 62 °C Método: c.c. |
| Tasa de evaporación | No hay información disponible. |
| Inflamabilidad (sólido, gas) | No hay información disponible. |
| Límite de explosión, inferior | 7 %(v) (formaldehido) |
| Límite de explosión, superior | 73 %(v) (formaldehido) |
| Presión de vapor | No hay información disponible. |
| Densidad relativa del vapor | No hay información disponible. |
| Densidad | 1,09 g/cm ³ a 20 °C |
| Densidad relativa | No hay información disponible. |
| Solubilidad en agua | a 20 °C soluble |
| Coefficiente de reparto n- octano/agua | No hay información disponible. |

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

| | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| Temperatura de auto-inflamación | No hay información disponible. |
| Temperatura de descomposición | No hay información disponible. |
| Viscosidad, dinámica | No hay información disponible. |
| Propiedades explosivas | No clasificado/a como explosivo/a. |
| Propiedades comburentes | ningún |
| 9.2 Otros datos | |
| Temperatura de ignición | aprox. 300 °C (formaldehído) |

SECCION 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Agentes reductores
tiende a polimerizar

En caso de fuerte calentamiento pueden producirse mezclas explosivas con el aire. Debe considerarse crítico un intervalo a partir de aprox. 15 Kelvin por debajo del punto de inflamación.

10.2 Estabilidad química

Sensibilidad a la luz

Estabilizador

Metanol

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

Riesgo de explosión con:

Nitro metano, ácido performico, Ácidos, fenol, Ácido nítrico, peróxido de hidrógeno/agua oxigenada, ácido actico, dióxido de nitrógeno

Reacción exotérmica con:

álcalis, iniciadores de polimerización, nitruros, hidróxido sódico, permanganato de potasio, Agentes oxidantes fuertes, ácido perclórico, con, Anilina

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Desprendimiento de gases o vapores peligrosos con:
Ácido clorhídrico, carbonato de magnesio

10.4 Condiciones que deben evitarse
Calentamiento fuerte.
Exposición a la luz.

10.5 Materiales incompatibles
Metales diversos, aleaciones diversas, Acero dulce, Cobre

10.6 Productos de descomposición peligrosos información no disponible

SECCION 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Mezcla

Toxicidad oral aguda

DL50: 212,77 mg/kg

Método de cálculo

Síntomas: Si es ingerido, provoca quemaduras severas de la boca y la garganta, así como peligro de perforación del esófago y del estómago.

Absorción

Toxicidad aguda por inhalación

Síntomas: irritación de las mucosas, Tos, Insuficiencia respiratoria, Su inhalación puede producir edemas en el tracto respiratorio., Consecuencias posibles: perjudica las vías respiratorias

Absorción

Estimación de la toxicidad aguda: 6,55 mg/l; 4 h; vapor

Método de cálculo

Toxicidad cutánea aguda

Estimación de la toxicidad aguda: 638,47 mg/kg

Método de cálculo

Síntomas: Formación de ampollas, Fisuras

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Absorción

Estimación de la toxicidad aguda: 638,47 mg/kg

Método de cálculo

Irritación de la piel

Mezcla provoca quemaduras.

Irritación ocular

Mezcla provoca lesiones oculares graves. Los vapores producen irritación ocular.
¡Riesgo de ceguera!

Sensibilización

Mezcla puede provocar una reacción alérgica en la piel.

Mutagenicidad en células germinales

Esta información no está disponible.

Carcinogenicidad

Esta información no está disponible.

Toxicidad para la reproducción

Esta información no está disponible.

Teratogenicidad

Esta información no está disponible.

Efectos CMR

Carcinogenicidad:

Carcinógeno posible.

Mutagenicidad:

Evidencia de defectos genéticos.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única

Órganos diana: Ojos

La mezcla provoca daños en los órganos.

Órganos diana: Sistema respiratorio Mezcla puede irritar las vías respiratorias.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas
Esta información no está disponible.

Peligro de aspiración
Esta información no está disponible.

11.2 Otros datos

Efectos sistémicos:

borrachera, Vértigo, Dolor de cabeza, Somnolencia, acifosis, descenso de la tensión sanguínea, ansiedad, espasmos, Trastornos de la visión, narcosis, Coma

Perjudicial para:

Hígado, Riñan, Cardíaco, Carnea

Las otras propiedades peligrosas no pueden ser excluidas.

El producto debe manejarse con especial cuidado.

Componentes

Formaldehido

Toxicidad oral aguda DL50

Rata: 100 mg/kg
(Literatura)

Toxicidad aguda por inhalación

Estimación de la toxicidad aguda: 3,1 mg/l; vapor
Juicio de expertos

Toxicidad cutánea aguda

Estimación de la toxicidad aguda: 300,1 mg/kg
Juicio de expertos

Metanol

Toxicidad oral aguda

LDLO hombre: 143 mg/kg
(RTECS)

Toxicidad aguda por inhalación

CL50 Rata: 131,25 mg/l; 4 h; vapor
(ECHA)

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Toxicidad cutánea aguda
DL50 Conejo: aprox. 17.100 mg/kg
(Ficha de datos de Seguridad externa)

Irritación de la piel:
Conejo
Resultado: No irrita la piel

(ECHA)

Irritación ocular
Conejo
Resultado: No irrita los ojos

(ECHA)

Sensibilización
Test de sensibilización: Conejillo de indias
Resultado: negativo
Método: Directrices de ensayo 406 del OECD

Toxicidad por dosis repetidas
Rata
machos y hembras Inhalación
vapor 28 d
diaria/o
NOAEL: 6,66 mg/l

Directrices de ensayo 412 del OECD Toxicidad subaguda
Rata
machos y hembras Inhalación
365 d
diaria/o
NOAEL: 0,13 mg/l
LOAEL: 1,3 mg/l
Directrices de ensayo 453 del OECD

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Mutagenicidad en células germinales
Genotoxicidad in vivo
Ensayo de micronúcleos
Ratón
machos y hembras
Inyección intraperitoneal Resultado: negativo
Método: OECD TG 474

Gen toxicidad in vitro
Prueba de Ames
Salmonella typhimurium
Resultado: negativo
Método: Directrices de ensayo 471 del OECD

Ensayo de mutación genética de células de mamífero in vitro
Resultado: negativo
Método: OECD TG 476

SECCION 12. Información ecológica Mezcla

12.1 Toxicidad

No hay información disponible.

12.2 Persistencia y degradabilidad No hay información disponible.

12.3 Potencial de bioacumulación No hay información disponible.

12.4 Movilidad en el suelo

No hay información disponible.

12.5 Resultados de la valoración PBT y MPMB

La(s) sustancia(s) en la mezcla no cumplen los criterios de PBT o MPMB s según el Reglamento (CE) núm. 1907/2006, anexo XIII.

12.6 Otros efectos adversos

Información ecológica complementaria

Corrosivo incluso en forma diluida. Efecto desinfectante. Existe peligro para el agua potable en caso de penetración en suelos y/o acuíferos.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

La descarga en el ambiente debe ser evitada.

Componentes

Formaldehido

Coeficiente de reparto n-octano/agua

log Por: 0,021

(Literatura)

No es de esperar una bioacumulación.

La sustancia no cumple los criterios de PBT o ppb según el Reglamento (CE) núm. 1907/2006, anexo XIII.

Metanol

Toxicidad para los peces

Ensayo danámico CL50 *Lipomas macrochirus* (Pez-luna Blugill): 15.400 mg/l;

96 h

US-EPA

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos

EC5 *E. sulcatum*: > 10.000 mg/l; 72 h

(Literatura)

CE50 *Daphnia magna* (Pulga de mar grande): > 10.000 mg/l; 48 h

(IUCLID)

Toxicidad para las algas

Ensayo estático CE50 *Pseudokirchneriella subcapitata* (alga verde): aprox.

22.000 mg/l; 96 h

OECD TG 201

Toxicidad para las bacterias

EC5 *Pseudomonas fluorescens*: 6.600 mg/l; 16 h

(IUCLID)

Ensayo estático CI50 lodo activado: > 1.000 mg/l; 3 h

Controlo analítico: si

OECD TG 209

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Toxicidad para los peces (Toxicidad crónica)

NOEC *Oryzias latipes* (Ciprinodontidae de color rojo-naranja): 7.900 mg/l;
200 h

(Ficha de datos de Seguridad externa)

Biodegradabilidad

99 %; 30 d

OECD TG 301D

Fácilmente biodegradable.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

600 - 1.120 mg/g (5 d)

(IUCLID)

Demanda química de oxígeno (DQO)

1.420 mg/g (IUCLID)

Demanda teórica de oxígeno (DTO)

1.500 mg/g

(Literatura)

Ratio BOD/ThBOD

DBO5 76 %

Prueba de frasco cerrado

Coefficiente de reparto n-octanol/agua

log Pow: -0,77

(experimentalmente)

(Literatura) No es de esperar una bioacumulación.

La sustancia no cumple los criterios de PBT o MPMB según el Reglamento (CE) núm. 1907/2006, anexo XIII.

Estabilidad en el agua

2,2 a

Reacción con radical hidroxilo (IUCLID)

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

SECCION 13. Consideraciones relativas a la eliminación

Métodos para el tratamiento de residuos

Los residuos deben eliminarse de acuerdo con normativas locales y nacionales. Deje los productos químicos en sus recipientes originales. No los mezcle con otros residuos. Maneje los recipientes sucios como el propio producto.

Consulte en www.retrologistik.com sobre procesos relativos a la devolución de productos químicos o recipientes, o contáctenos si tiene más preguntas.

SECCION 14. Información relativa al transporte

Transporte por carretera (ADR/RID)

| | |
|---|---------------------------|
| 14.1 Número ONU | UN 2209 |
| 14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas | Formaldehídos en solución |
| 14.3 Clase | 8 |
| 14.4 Grupo de embalaje | III |
| 14.5 Peligrosas ambientalmente | -- |
| 14.6 Precauciones particulares para los usuarios | si |
| Código de restricciones en túneles | E |

Transporte fluvial (ADN)

No relevante

Transporte aéreo (IATA)

| | |
|---|-----------------------|
| 14.1 Número ONU | UN 2209 |
| 14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas | FORMALDEHYDE SOLUTION |
| 14.3 Clase | 8 |
| 14.4 Grupo de embalaje | III |
| 14.5 Peligrosas ambientalmente | -- |
| 14.6 Precauciones particulares para los usuarios | no |

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Transporte marítimo (IMDG)

14.1 Número ONU UN 2209

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas FORMALDEHYDE SOLUTION

14.3 Clase 8

14.4 Grupo de embalaje III

14.5 Peligrosas ambientalmente --

14.6 Precauciones particulares si

para los usuarios

EmS F-A S-B

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC No relevante

SECCION 15. Información reglamentaria.

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicos para la sustancia o la mezcla

Legislación nacional

Clase de almacenamiento 6.1C

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para este producto no se realizó una valoración de la seguridad química.

SECCION 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H225 Líquido y vapores muy inflamables.

H301 Tóxico en caso de ingestión.

H311 Tóxico en contacto con la piel.

H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

H317 Puede provocar una reacción alérgica en la piel.

H331 Tóxico en caso de inhalación.

H335 Puede irritar las vías respiratorias.

H341 Se sospecha que provoca defectos genéticos.

H350 Puede provocar cáncer.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

H370 Provoca daños en los órganos.

El texto completo de las frases-R referidas en las secciones 2 y 3

R11 Fácilmente inflamable.
R23/24/25 Tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel.
R34 Provoca quemaduras.
R39/23/24/25 Tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión.
R43 Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.
R45 Puede causar cáncer.
R68 Posibilidad de efectos irreversibles.
R68 También es posible el riesgo de efectos irreversibles.

Consejos relativos a la formación

Debe disponer a los trabajadores la información y la formación práctica suficientes.

Etiquetado

Pictogramas de peligro



Palabra de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H227 Líquido combustible.

H301 + H311 + H331 Tóxico en caso de ingestión, contacto con la piel o inhalación.

H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

H317 Puede provocar una reacción alérgica en la piel.

H335 Puede irritar las vías respiratorias.

H341 Se sospecha que provoca defectos genéticos.

H350 Puede provocar cáncer.

H370 Provoca daños en los órganos (Ojos).

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

Consejos de prudencia

Prevención

P201 Pedir instrucciones especiales antes del uso.

P280 Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

Intervención

P301 + P330 + P331 EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito.

P302 + P352 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL: Lavar con agua y jabón abundantes.

P304 + P340 EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar.

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

P308 + P310 EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICÓLOGA o a un médico.

Reservado exclusivamente a usuarios profesionales.

Etiquetado (67/548/CEE o 1999/45/CE)

Símbolo(s)



T

Frase(s) – R

45-23/24/25-
39/23/24/25-34-68-
43

Tóxico

Puede causar cáncer. También tóxico por inhalación, por ingestión y en contacto con la piel. También tóxico: peligro de efectos irreversibles muy graves por inhalación, contacto con la piel e ingestión. Provoca quemaduras. Posibilidad de efectos irreversibles. Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL FORMALDEHÍDO AL 37%
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 09.12.2015

Versión 4.1

| | | |
|--------------|-------------------|--|
| Frase(s) – S | 53-26-36/37/39-45 | Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso. En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico. Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara. En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta). |
|--------------|-------------------|--|

Otros datos

Reservado exclusivamente a usuarios profesionales.

Contiene: Formaldehido, Metanol

Una explicación de las abreviaturas y los acrónimos utilizados en la ficha de datos de seguridad Puede consultar las abreviaturas y acrónimos utilizados en www.wikipedia.org.

Los datos suministrados en esta ficha de seguridad se basan a nuestro actual conocimiento. Describen tan solo las medidas de seguridad en el manejo de este producto y no representan una garantía sobre las propiedades descritas del mismo.

ANEXO C.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL⁵³
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador del producto

Artículo número: 107017
Denominación: Etanol absoluto para análisis EMPARTA® ACS
Número de registro: No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la sustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Reglamento REACH (CE) núm. 1097/2006, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.

No. CAS: 64-17-5

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos identificados: Análisis químico
Para informaciones adicionales a usos refiérase al portal Merck Chemicals www.merckgroup.com; for USA/Canadá www.emdgroup.com.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Compañía: Merck KGaA (64271), Darmstadt Alemania, Tel: +49 6151 72-0.

Departamento Responsable: manuel.caceres@merckgroup.com; Tel: 4254770
Ext. 5301

Representante regional: Merck S.A.
Calle 10 No. 65-28
Bogotá D.C. Colombia
Tel: 4254747
Fax: 4255407

1.4 Teléfono de emergencia

Línea Salvavidas SISTEMA-SURA
018000941414
018000511414

⁵³ Las Fichas de Datos de Seguridad para artículos del catálogo también se obtienen en www.merckgroup.com

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

4055911

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Líquido inflamable, Categoría 2, H225

Irritación ocular, Categoría 2, H319

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

Clasificación (67/548/CEE o 1999/45/CE)

El texto completo de las frases R mencionadas en esta sección, se indica en la Sección 16.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Pictogramas de peligro



Palabra de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H225 Líquido y vapores muy inflamables.

H319 Provoca irritación ocular grave.

Consejos de prudencia

Prevención

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.

P240 Conectar a tierra/enlace equipotencial del recipiente y del equipo de recepción.

Intervención

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

Almacenamiento

P403 + P233 Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente

Etiquetado reducido (≤ 125 ml)
Pictogramas de peligro



Palabra de advertencia
Peligro

Consejos de prudencia

P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.

No. CAS 64-17-5

2.3 Otros peligros Ninguno conocido.
Ninguno conocido.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancia

| | | |
|------------|----------------------------------|--|
| Formula | C ₂ H ₅ OH | C ₂ H ₆ O (Hill) |
| No. CE | 200-578-6 | |
| Masa molar | 46,07 g/mol | |

Componentes peligrosos (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Nombre químico (Concentración)

| No. CAS | Número de registro | Clasificación |
|---------|--------------------|---------------|
| Etanol | (<= 100 %) | |

La sustancia no cumple los criterios de PBT o MPMB según el Reglamento (CE) núm. 1907/2006, anexo XIII. (64-17-5*)

Líquido inflamable, Categoría 2, H225
Irritación ocular, Categoría 2, H319

*) No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la sustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Reglamento REACH (CE) núm. 1097/2006, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

3.2 Mezcla

No aplicable

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

SECCIÓN 4. Primeros auxilios

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Tras inhalación: aire fresco.

En caso de contacto con la piel: Quitar inmediatamente todas las prendas contaminadas.

Aclararse la piel con agua/ ducharse.

Tras contacto con los ojos: aclarar con abundante agua. En caso necesario, llamar al oftalmólogo.

Tras ingestión: hacer beber agua inmediatamente (máximo 2 vasos). Consultar con el médico en caso de malestar.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Efectos irritantes, parálisis respiratoria, Vértigo, narcosis, borrachera, euforia, Náusea, Vómitos.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente

No hay información disponible.

SECCIÓN 5. Medidas de lucha contra incendios

5.1 Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Dióxido de carbono (CO₂), Espuma, Polvo seco, Agua

Medios de extinción no apropiados

No existen limitaciones de agentes extinguidores para esta sustancia/mezcla.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Inflamable.

Los vapores son más pesados que el aire y pueden expandirse a lo largo del suelo. Son posibles mezclas explosivas con el aire a temperaturas normales.

Prestar atención al retorno de la llama.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016 Versión 1.8

En caso de incendio posible formación de gases de combustión o vapores peligrosos.

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios
En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo.

Otros datos

Separar el recipiente de la zona de peligro y refrigerarlo con agua. Impedir la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas por el agua que ha servido a la extinción de incendios.

SECCIÓN 6. Medidas en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia
Indicaciones para el personal que no forma parte de los servicios de emergencia:
Evitar el contacto con la sustancia. No respirar los vapores, aerosoles. Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición. Asegúrese una ventilación apropiada. Evacúe el área de peligro, respete los procedimientos de emergencia, consulte con expertos.

Consejos para el personal de emergencia: Equipo protector véase sección 8.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente
No tirar los residuos por el desagüe. Riesgo de explosión.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza
Cubra las alcantarillas. Recoja, una y aspire los derrames.
Observe posibles restricciones de materiales (véanse indicaciones en las secciones 7 o 10).
Recoger con materiales absorbentes, p. ej. Con Chemizorb®. Proceder a la eliminación de los residuos. Aclarar.

6.4 Referencia a otras secciones
Para indicaciones sobre el tratamiento de residuos, véase sección 13.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Consejos para una manipulación segura

Observar las indicaciones de la etiqueta.

Indicaciones para la protección contra incendio y explosión

Mantener apartado de las llamas abiertas, de las superficies calientes y de los focos de ignición. Tomar medidas de precaución contra descargas electrostáticas.

Medidas de higiene

Sustituir la ropa contaminada. Es recomendable una protección preventiva de la piel. Lavar las manos al término del trabajo.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Condiciones de almacenamiento

Conservar el envase herméticamente cerrado en un lugar seco y bien ventilado.

Manténgase alejado del calor y de las fuentes de ignición.

Temperatura de almacenaje recomendada indicada en la etiqueta del producto.

7.3 Usos específicos finales

Fuera de los usos indicados en la sección 1.2 no se previenen aplicación es finales adicionales.

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control:

Etanol (64-17-5)

COOEL:

Límite de Exposición

Breve (LEB):

1.000 ppm

8.2 Controles de la exposición

Disposiciones de ingeniería

Medidas técnicas y observación de métodos adecuados de trabajo tienen prioridad ante el uso de equipos de protección personal.

Véase sección 7.1.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

Medidas de protección individual

Los tipos de auxiliares para protección del cuerpo deben elegirse específicamente según el puesto de trabajo en función de la concentración y cantidad de la sustancia peligrosa.

Debería aclararse con el suministrador la estabilidad de los medios protectores frente a los productos químicos.

Protección de los ojos / la cara

Gafas de seguridad

Protección de las manos

Sumersión:

| | |
|------------------------|---------------|
| Material del guante: | goma butílica |
| Espesor del guante: | 0,7 mm |
| Tiempo de penetración: | > 480 min |

Salpicaduras:

| | |
|------------------------|----------------|
| Material del guante: | Caucho nitrilo |
| Espesor del guante: | 0,40 mm |
| Tiempo de penetración: | > 120 min |

Los guantes de protección indicados deben cumplir con las especificaciones de la Directiva 89/686/EEC y con su norma resultante EN374, por ejemplo, KCL 898 Butoject® (Sumersión), KCL 730 Camatril® -Velours (Salpicaduras).

Los tiempos de ruptura mencionados anteriormente han sido determinados con muestras de material de los tipos de guantes recomendados en mediciones de laboratorio de KCL según EN374.

Esta recomendación solo es válida para el producto mencionado en la ficha de datos de seguridad, suministrado por nosotros y para el fin indicado. Al disolver o mezclar en otras sustancias y cuando las condiciones difieran de las indicadas en EN374, debe dirigirse al suministrador de guantes con distintivo CE (por eje. KCL GmbH, D-36124 Eichenzell, Internet: www.kcl.de)

Otras medidas de protección

Vestimenta protectora antiestática retardante de la flama.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

Protección respiratoria

necesaria en presencia de vapores/aerosoles.

Tipo de Filtro recomendado: Filtro A

El empresario debe garantizar que el mantenimiento, la limpieza y la prueba técnica de los protectores respiratorios se hagan según las instrucciones del productor de las mismas. Estas medidas deben ser documentadas debidamente.

Controles de exposición medioambiental

No tirar los residuos por el desagüe.

Riesgo de explosión.

SECCIÓN 9. Propiedades físicas y químicas

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

| | |
|--|---|
| Forma: | Líquido |
| Color: | incolore |
| Olor: | alcohólico |
| Umbral olfativo: | 0,1 - 5058,5 ppm |
| pH: | 7,0 a 10 g/l (20 °C) |
| Punto de fusión: | -114,5 °C |
| Punto /intervalo de ebullición: | 78,3 °C a 1.013 hPa |
| Punto de inflamación: | 12 °C |
| Método: | c.c. |
| Tasa de evaporación: | No hay información disponible. |
| Inflamabilidad (sólido, gas): | No hay información disponible. |
| Límite de explosión, inferior: | 3,1 %(v) |
| Límite de explosión, superior: | 27,7 %(v) |
| Presión de vapor: | 59 hPa a 20 °C |
| Densidad relativa del vapor: | 1,6 |
| Densidad: | 0,790 - 0,793 g/cm ³ a 20 °C |
| Densidad relativa: | No hay información disponible. |
| Solubilidad en agua | a 20 °C totalmente miscible |
| Coefficiente de reparto n- octanol/agua | log: -0,31 (experimentalmente) (Literatura) No es de esperar una bioacumulación. |

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

| | |
|-----------------------------------|---|
| Temperatura de auto – inflamación | No hay información disponible. |
| Temperatura de descomposición | Destilable sin descomposición a presión normal. |
| Viscosidad, dinámica | 1,2 m Pa s a 20 °C |
| Propiedades explosivas | No clasificado/a como explosivo/a. |
| Propiedades comburentes | ningún |

9.2 Otros datos

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| Temperatura de ignición: | 425 °C Método: DIN 51794 |
| Conductibilidad: | < 1 µS/cm |

SECCIÓN 10. Estabilidad y reactividad

10.1 Reactividad

Los vapores pueden formar una mezcla explosiva con el aire.

10.2 Estabilidad química

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (a temperatura ambiental).

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas Riesgo de explosión/reacción exotérmica con:

Peróxido de hidrógeno/agua oxigenada, percloratos, ácido perclórico, Ácido nítrico, mercurio(II) nitrato, ácido permangánico, Nitrilos, peróxidos, Agentes oxidantes fuertes, nitrosilos, Peróxidos, sodio, Potasio, halogenóxidos, Hipoclorito de calcio, dióxido de nitrógeno, óxidos metálicos, hexafluoruro de uranio, yoduros, Cloro, Metales alcalinos, Metales alcalinotérreos, óxidos alcalinos, Óxido de etileno, plata, con, Ácido nítrico compuestos de plata, con, Amoniacó permanganato de potasio, con, ácido sulfúrico concentrado Peligro de ignición o de formación de gases o vapores combustibles con:

Halogenuros de halógeno, cromo (VI) óxido, Cromilo cloruro, Flúor, hidruros, Óxidos de fósforo, platino

Ácido nítrico, con, permanganato de potasio

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

10.4 Condiciones que deben evitarse Calentamiento.

10.5 Materiales incompatibles goma, plásticos diversos

10.6 Productos de descomposición peligrosos información no disponible.

SECCIÓN 11. Información toxicológica

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

Toxicidad oral aguda
DL50 Rata: 10.470 mg/kg
Directrices de ensayo 401 del OECD

Síntomas: Náusea, Vómitos

Toxicidad aguda por inhalación
CL50 Rata: 124,7 mg/l; 4 h; vapor
Directrices de ensayo 403 del OECD

Síntomas: leves irritaciones de las mucosas

Absorción

Toxicidad cutánea aguda:
Esta información no está disponible.

Irritación de la piel,
Conejo
Resultado: No irrita la piel
Directrices de ensayo 404 del OECD

Una exposición repetida o prolongada puede causar irritación de la piel y dermatitis debido a las propiedades desengrasantes del producto.

Irritación ocular
Conejo
Resultado: Irritación ocular

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

Directrices de ensayo 405 del OECD
Provoca irritación ocular grave.

Sensibilización
Ensayo respecto a sensibilización (Magnusson y Kligman):
Resultado: negativo

(IUCLID)

Mutagenicidad en células germinales
Genotoxicidad in vitro
Prueba de Ames
Salmonella typhimurium
Resultado: negativo
Método: Directrices de ensayo 471 del OECD

Ensayo de mutación genética de células de mamífero in vitro
Mouse lymphoma test
Resultado: negativo
Método: OECD TG 476

Carcinogenicidad
Esta información no está disponible.

Toxicidad para la reproducción
Esta información no está disponible.

Teratogenicidad:
Esta información no está disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única:
Esta información no está disponible.

Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas:
Esta información no está disponible.

Peligro de aspiración:
Esta información no está disponible.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

11.2 Otros datos

Efectos sistémicos:

euforia

Tras absorción de grandes cantidades:

Vértigo, borrachera, narcosis, parálisis respiratoria

Manipular con las precauciones de higiene industrial adecuadas, y respetar las prácticas de seguridad.

SECCIÓN 12. Información ecológica

12.1 Toxicidad

Toxicidad para los peces:

CL50 *Leuciscus idus* (Carpa dorada): 8.140 mg/l; 48 h
(IUCLID)

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos:

EC5 *E. sulcatum*: 65 mg/l; 72 h
(Literatura)

CE50 *Daphnia magna* (Pulga de mar grande): 9.268 - 14.221 mg/l; 48 h
(IUCLID)

Toxicidad para las algas:

IC5 *Scenedesmus quadricauda* (alga verde): 5.000 mg/l; 7 d
(Literatura)

Toxicidad para las bacterias:

EC5 *Pseudomonas putida*: 6.500 mg/l; 16 h
(IUCLID)

Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos (Toxicidad crónica)

Ensayo semiestático NOEC *Daphnia magna* (Pulga de mar grande): 9,6 mg/l;
9 d
(ECHA)

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

12.2 Persistencia y degradabilidad

Biodegradabilidad

94 %

OECD TG 301E

Fácilmente biodegradable.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):

930 - 1.670 mg/g (5 d)

(Literatura)

Demanda teórica de oxígeno (DTO):

2.100 mg/g

(Literatura)

Ratio COD/ThBOD:

90 %

(Literatura)

12.3 Potencial de bioacumulación

Coefficiente de reparto n-octanol/agua

log: -0,31

(experimentalmente)

(Literatura) No es de esperar una bioacumulación.

12.4 Movilidad en el suelo

No hay información disponible.

12.5 Resultados de la valoración PBT y MPMB

La sustancia no cumple los criterios de PBT o MPMB según el Reglamento (CE) núm. 1907/2006, anexo XIII.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

12.6 Otros efectos adversos

Información ecológica complementaria

No deben esperarse interferencias en depuradoras si se usa adecuadamente.
La descarga en el ambiente debe ser evitada.

SECCIÓN 13. Consideraciones relativas a la eliminación

Métodos para el tratamiento de residuos

Los residuos deben eliminarse de acuerdo con normativas locales y nacionales.
Deje los productos químicos en sus recipientes originales. No los mezcle con otros
residuos. Maneje los recipientes sucios como el propio producto.

Consulte en www.retrologistik.com sobre procesos relativos a la devolución de
productos químicos o recipientes, o contáctenos si tiene más preguntas.

SECCIÓN 14. Información relativa al transporte

Transporte por carretera (ADR/RID)

14.1 Número ONU: UN 1170

14.2 Designación oficial de: Etanol
transporte de las Naciones Unidas

14.3 Clase: 3

14.4 Grupo de embalaje: II

14.5 Peligrosas ambientalmente --

14.6 Precauciones particulares si
para los usuarios:

Código de restricciones en túneles: D/E

Transporte fluvial (ADN)

No relevante

Transporte aéreo (IATA)

14.1 Número ONU: UN 1170

14.2 Designación oficial de: ETHANOL
transporte de las Naciones Unidas:

14.3 Clase: 3

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

| | |
|---|---------|
| 14.4 Grupo de embalaje: | II |
| 14.5 Peligrosas ambientalmente | -- |
| 14.6 Precauciones particulares para los usuarios: | no |
| Transporte marítimo (IMDG) | |
| 14.1 Número ONU: | UN 1170 |
| 14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas: | ETHANOL |
| 14.3 Clase: | 3 |
| 14.4 Grupo de embalaje: | II |
| 14.5 Peligrosas ambientalmente | -- |
| 14.6 Precauciones particulares para los usuarios | si |
| EmS | F-E S-D |
| 14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC: | |
| No relevante | |

SECCIÓN 15. Información reglamentaria

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente
específicos para la sustancia o la mezcla

Legislación nacional

Clase de almacenamiento: 3

15.2 Evaluación de la seguridad química

Para éste producto no se realizó una valoración de la seguridad química.

SECCIÓN 16. Otra información

Texto íntegro de las Declaraciones-H referidas en las secciones 2 y 3.

H225

Líquido y vapores muy inflamables.

H319

Provoca irritación ocular grave.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

El texto completo de las frases-R referidas en las secciones 2 y 3
R11 Fácilmente inflamable.

Consejos relativos a la formación

Debe disponer a los trabajadores la información y la formación práctica suficientes.

Etiquetado

Pictogramas de peligro



Palabra de advertencia

Peligro

Indicaciones de peligro

H225 Líquido y vapores muy inflamables.

H319 Provoca irritación ocular grave.

Consejos de prudencia

Prevención

P210 Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. No fumar.

P240 Conectar a tierra/enlace equipotencial del recipiente y del equipo de recepción.

Intervención

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

Almacenamiento

P403 + P233 Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente.

Etiquetado (67/548/CEE o 1999/45/CE)

Símbolo(s):  F

Frase(s) – R 11

Fácilmente inflamable

Fácilmente inflamable.

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL ETANOL
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006


Fecha de revisión 05.07.2016

Versión 1.8

| | | |
|--------------|--------|---|
| Frase(s) - S | (7-16) | Manténgase el recipiente bien cerrado. Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar. |
|--------------|--------|---|

| | |
|--------|-----------|
| No. CE | 200-578-6 |
|--------|-----------|


Etiquetado reducido (≤ 125 ml)

Símbolo(s)  F

Fácilmente inflamable

Una explicación de las abreviaturas y los acrónimos utilizados en la ficha de datos de seguridad Puede consultar las abreviaturas y acrónimos utilizados en www.wikipedia.org.

Los datos suministrados en ésta fichan de seguridad se basan a nuestro actual conocimiento. Describen tan sólo las medidas de seguridad en el manejo de este producto y no representan una garantía sobre las propiedades descritas del mismo.

| | | |
|--|--|--------------|
|  Fundación Universidad de América | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA | Código: |
| | PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA | Versión 0 |
| | Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres | Julio - 2016 |


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotras **María Camila Pérez Martínez** y **Ángela María Becerra Bahamón** en calidad de titular(es) de la obra **Evaluación de un modelo difusivo convectivo del Formaldehído en un ambiente cerrado**, elaborada en el año **2016**, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor(es) manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor(es) establezco (establecemos) las siguientes condiciones de uso de mi (nuestra) obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

| | | |
|--|--|--------------|
|  Fundación Universidad de América | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA | Código: |
| | PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA | Versión 0 |
| | Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres | Julio - 2016 |

| | | |
|---|---|---|
|  | Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor. | X |
|  | Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor. | |
|  | Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma. | |

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su(s) autor(es).

De igual forma como autor (es) autorizo (amos) la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

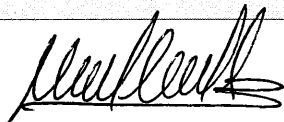
| AUTORIZO (AUTORIZAMOS) | SI | NO |
|---|----|----|
| La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso | X | |
| La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación | | X |

| Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso. | SI | NO |
|---|----|----|
| | | X |

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C. a los 23 días del mes de Marzo del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

| | |
|---------------------------------------|--|
| Nombres | Apellidos |
| María Camila | Pérez Martínez |
| Documento de identificación No | Firma |
| 1.020.800.108 |  |

Autor 2

| | |
|---------------------------------------|--------------------|
| Nombres | Apellidos |
| Ángela María | Becerra Bahamón |
| Documento de identificación No | Firma |
| 1.075.284.588 | ANGELA M. BECERRA. |

Nota: Incluya un apartado (copie y pegue el cuadro anterior), para los datos y la firma de cada uno de los autores de la obra.