

**CONSIDERACIONES AMBIENTALES ANTE UN INCENDIO
DE INSTALACIONES QUE PROCESAN O ALMACENEN AGROQUÍMICOS,
ASISTIDAS POR UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA DISEÑADA PARA SU
MODELAMIENTO Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO EN LA POBLACIÓN**

EDGAR ALEXANDER OSPINA GRANADOS

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ DC
2006**

**CONSIDERACIONES AMBIENTALES ANTE UN INCENDIO
DE INSTALACIONES QUE PROCESAN O ALMACENEN AGROQUÍMICOS,
ASISTIDAS POR UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA DISEÑADA PARA SU
MODELAMIENTO Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO EN LA POBLACIÓN**

**EDGAR ALEXANDER OSPINA GRANADOS
CÓDIGO 41001700**

Tesis para optar por el título de Ingeniero Ambiental

**Director
Jorge Enrique García Galindo
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ DC
2006**

Nota de Aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogota, 20 de Octubre de 2006

**A Martha Granados,
mi madre.**

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no se hubiese podido realizar sin la colaboración de:

Ingeniero Jorge García Galindo, Asesor en Seguridad Integral; Stella Acosta, Jefe de Laboratorio de Industria Agroquímica, Madrid Cundinamarca.

RESUMEN

La presente propuesta consiste en la estimación del impacto en la población y en los recursos aire y agua a causa del hipotético evento de un incendio que afecte las instalaciones donde se almacenen y/o procesen productos agroquímicos. Se ha seleccionado la Industria Agroquímica, debido a que tanto las materias primas como los productos terminados son catalogados como sustancias peligrosas para la salud y el ambiente (ingredientes activos y aditivos) y además, en su proceso de formulación utilizan solventes, principalmente derivados del petróleo, que le confieren características de inflamabilidad.

En el proyecto se ha determinado las concentraciones de contaminantes mediante el uso de un modelo de dispersión matemático apropiado para los gases tóxicos más relevantes, definidos durante la ejecución del proyecto. Se ha considerado el potencial impacto al recurso hídrico, a través de una aproximación a la cantidad del agua usada para extinción. La afección a la salud de la población probablemente afectada se calculó mediante las características toxicológicas de los compuestos gaseosos según sus respectivas concentraciones.

Toda la recopilación de la información proveniente del incendio ha sido estructurada en un software, el cual se diseñó con el fin procesarla y mostrar los resultados de manera más fácil y rápida, entrando así en la última etapa que es la evaluación de los potenciales efectos; todo esto con el fin de brindar a las industrias de agroquímicos, una base para el diseño de sus planes de emergencia, incentivando las prácticas seguras de producción-almacenamiento y el conocimiento del costo del posible evento; a las entidades aseguradoras, una herramienta técnica para tasar las respectivas primas de seguros; y a los

organismos encargados de la atención de emergencias, la información para definir las zonas de seguridad en el caso de una intervención.

ABSTRACT

The present proposal consists of the estimation of the impact in the population and the resources air and water because of the hypothetical event of a fire that affects the facilities where stores and/or processes crop protection products. The crop protection Industry has been selected, because as much the raw materials as finished products the health and the atmosphere are catalogued like dangerous substances for (active ingredients and additives) and in addition, in its process of formulation they use reliable, mainly derived from petroleum, that they confer to him flammability characteristics.

In the project the concentrations have been determined of polluting agents by means of the design of a mathematical model of dispersion appropriate for gases and more excellent toxic steam, defined during execution of the project. It has been considered the potential impact to the hydric resource, a traverse of an approach to the concentration of polluting agents in the fraction of the water used for extinction. The affection to the health of the population probably affected one was calculated by means of the toxicological characteristics of gaseous compounds according to its respective concentrations.

All the compilation of the originating information of fire have been structured in a software, which was designed with the aim to process it and to show the results of way fast and easy, thus entering in the last stage that is the evaluation of the

potential effects; all this with the purpose of offering the industries of crop protection, a base for the design of its plans of emergency, stimulation to the safe practices of production-storage and the knowledge of the cost of the possible event; to insuring organizations, a technical tool to appraise the respective ones insurance premiums; and to the organisms in charge of the attention of emergencies, the information to define the zones of security in the case of one intervention.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1 PUNTO DE PARTIDA	23
1.1 DESCRIPCIÓN	23
1.2 OBSERVACIÓN	24
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	25
2.1 SÍNTOMAS	25
2.2 CAUSAS	25
2.3 PRONÓSTICO	26
2.4 CONTROL AL PRONÓSTICO	27
2.5 LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN	28
3. OBJETIVOS	29
3.1 OBJETIVO GENERAL	29
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
4. JUSTIFICACIÓN	31
5. MARCO DE REFERENTES	33
5.1 MARCO TEÓRICO GENERAL	33
5.1.1. Modelos de Dispersión	33
5.1.2 Clases de Modelos	34
5.1.3 Factores que inciden en la elaboración de un modelo de Dispersión	35
5.1.4 Incendio	39
5.1.4.1 La transferencia de Calor	40
5.1.5 Productos de la combustión y sus efectos sobre las personas	40
5.1.6 Gases de la Combustión	44
5.2 MARCO TEÓRICO PARTICULAR	45
5.2.1 Bodegas de almacenamiento y manejo de agroquímicos	45
5.2.2 Modelos matemáticos del fuego	47
5.2.3 Modelos de incendio por computador	48

5.2.4	Evaluación del riesgo de toxicidad	51
5.2.5	Mecánica del Incendio	51
5.2.5.1	Velocidad de desprendimiento de energía	52
5.2.5.2	Altura de las llamas	52
5.2.5.3	Cálculo del origen virtual hipotético	54
5.2.5.4	Calor total desprendido	55
5.2.5.5	Duración Equivalente del incendio	56
5.2.5.6	Velocidad de producción de humo	58
5.2.6	Modelamiento de Gauss	58
5.2.7	Estimación de elevación del penacho	60
5.2.8	El agua en la extinción del fuego	61
5.2.9	Toxicidad del vapor y el humo generados por el incendio	62
5.2.9.1	Monóxido de carbono	62
5.2.9.2	Dióxido de carbono	63
5.2.9.3	Óxidos de Nitrógeno	64
5.2.9.4	Óxidos de Azufre	65
5.3	MARCO LEGAL	66
5.3.1	Marco legal en educación superior	66
5.3.2	Marco legal institucional	66
5.3.3	Marco legal temático	68
6	DESARROLLO DEL PROYECTO	70
6.1	CONSIDERACIONES PRELIMINARES	70
6.2	EXPLICACIÓN Y USO DE LAS VARIABLES	76
6.3	DISEÑO DEL SOFTWARE	80
6.4	USO DEL SOFTWARE	86
7.	RESULTADOS	91
8.	CONCLUSIONES	96
9.	RECOMENDACIONES	100
	FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	101
	ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características tóxicas de los ingredientes activos	71
Tabla 2. Características de los posibles componentes de humo mencionados en la tabla de características tóxicas de los ingredientes activos.	72
Tabla 3. Máximo Porcentaje Posible de Composición	74
Tabla 4. Aporte de cada sustancia a la composición del humo	75
Tabla 5. Características de la bodega y el almacenamiento	76
Tabla 6. Variables para la mecánica del incendio	78
Tabla 7. Características del lugar	80
Tabla 8. Coeficientes de dispersión	85
Tabla 9. Datos de entrada	91

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ventilación general	46
Figura 2. Separación.	46
Figura 3. Almacenaje.	47
Figura 4. Autocontención.	47
Figura 5. Origen Virtual	55
Figura 6. O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate	72
Figura 7. (\pm)-1-[2-(2,4-dichlorophenyl)-4-propyl-1,3-dioxolan-2-ylmethyl]-1 <i>H</i> -1,2,4-triazole	73
Figura 8. manganese ethylenebis(dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt	73
Figura 9. Datos de la Bodega	86
Figura 10. Datos Meteorológicos	87
Figura 11. Informe.	88
Figura 12. Plano de Distribución.	89
Figura 13. Datos internos del modelo.	92
Figura 14. Informe de resultados.	93
Figura 15. Curvas de variación de estabilidad.	94
Figura 16. Plano de distribución resultante.	95

LISTA DE ANEXOS

Anexo A Hojas de Seguridad Agroquímicos

Anexo B Tablas de capacidad calorífica

Anexo C Rosa de Vientos

GLOSARIO

ADVECCIÓN: Transferencia de calor debida al movimiento horizontal de un flujo tal como el aire o el agua.

ALTURA EFECTIVA DE LA CHIMENEA: Suma de la altura física de la chimenea y la elevación de la pluma.

ARRASTRE: Mezcla de aire ambiental en la pluma.

AGENTE CONTAMINANTE: Dícese de cualquier sustancia que, introducida accidental o descuidadamente en el aire, agua o productos alimenticios, tiene el efecto de volverlos tóxicos.

CALOR DE COMBUSTIÓN: Es la cantidad máxima de calor liberado por la combustión completa de una unidad de masa de material combustible.

CALOR DE GASIFICACIÓN: Es la cantidad de calor necesario para vaporizar la unidad de masa de combustible, cuya temperatura inicial es la del ambiente. Este valor es muy importante dado que determina la cantidad de vapor combustible aportado a un fuego en función de la cantidad de calor suministrado a la superficie pirolisada.

CATALIZADORES: Un catalizador es una sustancia cuya presencia, aún en pequeña cantidad, incrementa fuertemente la velocidad de una reacción, pero sin experimentar en sí misma ningún cambio tras la reacción.

CLASES DE ESTABILIDAD PASQUILL-GIFFORD: Las seis clases que caracterizan los diferentes niveles de estabilidad atmosférica usados para estimar los parámetros de dispersión horizontal y vertical que serán ingresados en la ecuación de distribución gaussiana.

CONCENTRACION LETAL MEDIA: Es la concentración, obtenida por estadística, de una sustancia de la que puede esperarse que produzca la muerte, durante la exposición o en un plazo definido después de ésta, del 50% de los animales expuestos a dicha sustancia durante un periodo determinado. El valor de la CL50 se expresa en peso de sustancia por unidad de volumen de aire normal (miligramos por litro, mg/L).

CONDUCCIÓN: Proceso mediante el cual el calor se transfiere a través de la materia sin que se produzca la transferencia de la materia misma.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: Presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas o de la propiedad que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.

CONVECCIÓN: Transferencia de calor producida por el movimiento masivo de un fluido tal como el aire o el agua.

DOSIS LETAL MEDIA: Dosis individual de una sustancia que provoca la muerte del 50% de la población animal debido a la exposición a la sustancia por cualquier vía distinta a la inhalación. Normalmente expresada como miligramos o gramos de material por kilogramo de peso del animal.

ELEVACIÓN DE LA PLUMA: Distancia desde la parte superior de la chimenea hasta la línea central horizontal de la pluma. La elevación de la pluma depende de las características de la chimenea y de los gases del efluente.

EMERGENCIA: Término utilizado para designar una interrupción repentina, generalmente inesperada, de una secuencia normal de acontecimientos, lo cual requiere de una acción inmediata debido a que representa serio peligro tanto para la salud como para el ambiente.

ESTABILIDAD: Característica de la atmósfera que impide el movimiento vertical del aire.

ESTIMACIÓN: Valor en que se tasa una cosa. //2. Aprecio, afecto. //3. Obtención del valor de una característica numérica de uno o varios elementos a partir de una muestra de los mismos.

EXACTITUD: Monto en que una variable medida se desvía de un valor aceptado como válido o estándar.

GRADIENTE VERTICAL: Gradiente en el cual la temperatura del aire cambia con la altura. El verdadero gradiente vertical en la atmósfera es aproximadamente -6 a -7 °C por cada kilómetro de elevación.

IGNICIÓN: La ignición constituye el fenómeno que inicia la combustión autoalimentado. La ignición producida al introducir una pequeña llama externa, chispa o brasa incandescente constituye la denominada ignición provocada. Si la ignición no la provoca un foco externo se llama auto-ignición.

INFLAMABILIDAD (PROVOCADA): Esta propiedad es inversamente proporcional al tiempo que necesita un flujo calorífico aplicado a un material dado para elevar su temperatura superficial hasta su temperatura de ignición provocada.

INHIBIDORES: Pequeñas cantidades de químicos agregados al combustible u oxidante para impedir las relaciones en base gaseosa, retardando eficazmente la ignición y propagación del incendio.

INVERSIÓN DE LA TEMPERATURA: Condición atmosférica en que la temperatura se incrementa con la altitud.

LÍMITES DE INFLAMABILIDAD: Son los límites máximo y mínimo de la concentración de un combustible dentro de un medio oxidante, por lo que la llama, una vez iniciada continua propagándose a presión y temperatura especificadas. La cifra menor corresponde al valor límite mínimo (mezcla pobre) y la mayor al límite máximo (mezcla rica) de la inflamabilidad. Al aumentar la temperatura de la mezcla se ensancha el margen de inflamabilidad; al disminuir la temperatura, el margen se estrecha.

MASA DE AIRE: Volumen de aire relativamente homogéneo con respecto a la temperatura y a la humedad, que adquiere las características de la región donde se forma y viaja.

MATERIALES ESTABLES: Se denominan así a aquellos que normalmente no experimentan cambios en su composición química aunque estén expuestos al aire, agua o calor, golpes o presiones. Sin embargo, los materiales estables pueden arder.

MATERIALES INESTABLES: Expuestos al aire, calor, agua golpes o presiones se polimerizan, descomponen, condensan o reaccionan por sí mismos.

MEDIO AMBIENTE: Conjunto de elementos abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) y bióticos (organismos vivos) que integran la delgada capa de la Tierra llamada biosfera, sustento y hogar de los seres vivos.

MODELO FÍSICO: Modelo que requiere el uso de un túnel de viento u otra instalación de modelos de fluidos. El modelo físico puede ser útil para estudiar situaciones complejas de flujo tales como condiciones de edificios, terreno o flujo descendente de la chimenea.

MODELO GAUSSIANO DE CALIDAD DEL AIRE: Modelo de calidad del aire que usa la ecuación de distribución gaussiana (basada en la distribución normal o acampanada) para estimar las concentraciones de contaminantes no reactivos para una fuente única.

MODELAMIENTO: Tomar elementos como punto de referencia para imitar o reproducir.

OXIDANTE ESTEQUIOMÉTRICO: Cantidad de oxidante necesaria para la combustión completa de una masa unidad de combustible. Los combustibles que necesitan grandes cantidades estequiométricas de oxidante, a menudo producen llamas de gran altura que representan un peligro mayor de propagación del fuego.

PUNTO DE INFLAMACIÓN: La temperatura más baja que necesita un líquido contenido en un recipiente abierto para emitir vapores en proporción suficiente para permitir la combustión continuada. Esta temperatura generalmente es superior en unos cuantos grados a la temperatura más baja de inflamación.

RADIACIÓN: Energía que viaja en forma de ondas electromagnéticas desde una fuente, tal como el sol.

SISTEMAS DE CONTENCIÓN: Combinación de contenedor y tapa que permite aislar su contenido del entorno que lo rodea. Tapa es cualquier dispositivo que permite cerrar las aberturas que tenga el contenedor.

TEMPERATURA DE IGNICIÓN: Es la temperatura mínima que necesita alcanzar una sustancia para inflamarse. Generalmente la temperatura de ignición provocada de una sustancia es mucho menor que la temperatura de auto-ignición.

TOPOGRAFÍA: Características físicas de la superficie terrestre tales como terreno plano o presencia de montañas y valles. La topografía influye en la manera como la Tierra y su aire circundante se calientan, así como en la manera como fluye el aire.

INTRODUCCIÓN

Al vivir en cualquier tipo de sociedad nos damos cuenta que cada integrante de la misma, sea un ente social o económico o incluso un ente animal, influye directamente en su propio entorno y en el de los que lo rodean. Cada existencia constituye una célula del gran ente, económico, social, cultural, ambiental, con miles y miles de apéndices intrínsecamente, y lo más irónico, ciegamente conexos. Ahora bien, el tipo de sociedad que seguidamente nos atañe, es la sociedad económica, ya que como seres humanos generamos una connotación intrínseca con lo que tomamos del entorno para nuestro propio desarrollo, consumo, manipulación o comercialización. En nuestro afán de ser regidores absolutos de todas las cosas en el planeta, generamos elementos que como producto principal o como subproducto de otros, interfiere directa o indirectamente con el conjunto de elementos abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) y bióticos (organismos vivos) que integran la delgada capa de la Tierra llamada biosfera, sustento y hogar de los seres vivos¹, que llamamos medio ambiente.

Algunas veces la interferencia con el ambiente anteriormente descrita, no depende de las voluntades de quienes están verdaderamente relacionados con los elementos o productos nocivos o modificadores del entorno, por tal razón se observó de manifiesto en las últimas décadas, la preocupación por el deterioro continuado de la calidad del aire, la disminución de bosques y cuencas hidrográficas, daños a las plantas o animales, entre otros aspectos, dando lugar a legislaciones y expresiones gubernamentales, para establecer límites a la emisión de agentes que contribuyan a la contaminación o impregnación del aire, el agua o

¹ Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2005. © 1993-2002 Microsoft Corporation.

el suelo con productos que afectan a la salud del hombre, la calidad de vida o el funcionamiento natural de los ecosistemas².

Sin embargo, el lector se preguntará que tiene que ver la narración anterior con las “**Consideraciones Ambientales Ante Un Incendio De Instalaciones Que Procesen o Almacenen Agroquímicos Asistidas por una Herramienta Informática Diseñada Para Su Modelamiento y Estimación Del Impacto En La Población**”, pues bien, sobre la contaminación de la atmósfera por emisiones industriales, incineradoras, motores de combustión interna y otras fuentes, existe rigurosa vigilancia, legislación y sistemas de monitoreo; no obstante, o no se posee una información suficiente sobre dichas normas o se pasan por alto en algunos casos o no siempre están disponibles los sistemas de monitoreo en la industrias. Por ejemplo para caracterizar las emanaciones de las chimeneas se requiere emplear equipo de monitoreo, sin embargo, no siempre está disponible en las industrias, lo cual hace beneficiosos a los modelos de dispersión de contaminantes, para tener una estimación del comportamiento de la pluma³ a ciertas condiciones del ambiente. Así pues, se ha de considerar de importancia factual, la adecuación y asentimiento de otros sistemas de control en las fuentes de contaminantes atmosféricos, y los simuladores de dispersión de contaminantes representan una alternativa para determinar la concentración de un agente dañino. Hay que consentir que este tipo de agentes pueden ser crecidamente más nocivos en lugares donde se almacenen y/o procesen productos con determinadas características, como los productos agroquímicos, debido a que tanto las materias primas como los productos terminados son catalogados como sustancias peligrosas para la salud y el ambiente (ingredientes activos y aditivos) y además, en su proceso de formulación utilizan solventes, principalmente derivados del petróleo, que le confieren características de inflamabilidad.

² *Ibíd.*

³ Pluma: Forma que adopta el humo o gas al salir de la chimenea, es decir su emanación visible. El Autor.

Aunque actualmente se han desarrollado estudios de modelamiento de incendios, éstos han sido realizados en recintos cerrados; sin profundizar sobre el efecto que tiene los gases en la salud de las personas y sin determinar hasta que concentraciones son perjudiciales ni donde se presentan las mismas, ya que productos terminados de ésta industria, en caso de materializarse el riesgo de incendio, serían transportados o dispersos por el aire y afectarían a la población, causándole enfermedades principalmente de tipo respiratorio, si se encuentra dentro de un área de impacto nocivo definida por el grado de concentración de contaminantes presentes en el aire de dicha zona, porque a pesar de que los procedimientos de manufactura y almacenamiento de las sustancias cumpla con los estándares de seguridad (Instalaciones auto contenidas, sistemas de protección contra incendio y otras) existen circunstancias de origen antrópico o natural, que pueden provocar el incendio, lo que hace necesario estimar exactamente las consecuencias por medio de sistemas más acertados.

Se pretende aquí, determinar las concentraciones de contaminantes mediante el diseño de un modelo de dispersión matemático apropiado para los gases y vapores tóxicos más relevantes, definidos durante la ejecución del proyecto. Se estimará el potencial impacto al recurso hídrico, a través de una aproximación a la concentración de contaminantes en la fracción que se pueda contener o recuperar por medio de balance de materiales, del agua usada para extinción; es decir, no se evaluarán corrientes de agua superficiales ni subterráneas, ni algún sistema acuático, lo que se calculará será la cantidad de agua utilizada para apagar el incendio y el valor aproximado de la cantidad de agua que se deposite en la bodega autocontenida producto de la extinción; con el fin de indicar el costo que representaría la disposición de éstos residuos líquidos y su grado de peligrosidad.

La afección a la salud de la población humana probablemente afectada se calculará mediante las características toxicológicas de los compuestos según las

respectivas concentraciones. Toda la recopilación de la información proveniente del incendio será estructurada en un software, el cual se diseñará con el fin procesarla y mostrar los resultados de manera más fácil y rápida, entrando así en la última etapa que es la evaluación de los potenciales efectos; todo esto con el fin de brindar a las industrias de agroquímicos, una base para el diseño de sus planes de emergencia, incentivos a las prácticas seguras de producción-almacenamiento y el conocimiento del costo del posible evento; a las entidades aseguradoras, una herramienta técnica para tasar las respectivas primas de seguros; y a los organismos encargados de la atención de emergencias, la información para definir las zonas de seguridad en el caso de una intervención.

1. PUNTO DE PARTIDA

1.1 DESCRIPCIÓN

Después de analizar la problemática global de los agentes contaminantes y su incidencia en el ambiente, se han de inferir entre otros los siguientes aspectos.

Industrias de agroquímicos como focos factuales de contaminación en caso de accidente, manipulación o almacenamiento inadecuados.

La industria agroquímica emplea productos químicos nocivos para la salud (ingredientes activos y aditivos) en sus diferentes procesos de producción, que en el caso de un incendio, forman productos de combustión con iguales o mayores características de toxicidad.

Las compañías aseguradoras encargadas de valorar los riesgos potenciales, no disponen de una herramienta que les permita identificar el alcance y calcular el impacto que podría generar la contaminación atmosférica con humos tóxicos sobre la población afectada y el impacto sobre los recursos.

Se puede brindar a las industrias de agroquímicos, una base para el diseño de sus planes de emergencia, incentivos a las prácticas seguras de producción-almacenamiento y el conocimiento del costo que acarrearían en un posible evento de accidente.

1.1 OBSERVACIÓN

Partiendo del supuesto de importancia que posee el control de la contaminación ambiental, para la preservación de la vida humana, y en los estándares establecidos para la industria agroquímica acerca de procesos, controles, administración, valuación de riesgos, transformación, almacenaje y distribución de productos contaminantes; la relación existente entre un adecuado sistema de monitoreo, (que no siempre es disponible a todas las empresas), y la responsabilidad de la humanidad con sí misma, pone de claro manifiesto la búsqueda de mejores y más eficientes elementos para el control de circunstancias espontáneas o imprevistas como accidentes y más puntualmente incendios en organizaciones dedicadas al proceso y almacenaje de sustancias nocivas para el ambiente.

Durante décadas se han desarrollado modelos matemáticos de diferente complejidad y exactitud como los modelos de celda fija, de celdas múltiples, el modelo de dispersión gaussiano y otros que se encuentran disponibles en Internet. No obstante para determinar hasta que concentraciones son perjudiciales al medio, y donde se presentan las mismas, en caso de un incendio, se ha de replantear por medio de un modelo de dispersión matemático para el humo tóxico, todo esto con el fin de prever el impacto en la población humana.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 SÍNTOMAS

El desconocimiento de las organizaciones de fabricación-embasado y almacenaje de productos químicos para el agro, de la magnitud del impacto ambiental específicamente en población y atmósfera, en caso de incendio.

El desconocimiento de las empresas aseguradoras acerca de los pagos de pólizas a sus asegurados, en caso del fortuito evento de un siniestro por incendio.

Acceso mínimo de las industrias de fabricación-embasado y almacenaje de productos químicos para el agro, de sistemas adecuados para el control de la emisión agentes contaminantes.

Las compañías aseguradoras encargadas de valorar los riesgos potenciales y elaborar las pólizas de seguros, las cuales se calculan según la pérdida máxima probable (PMP), no disponen de una herramienta que les permita identificar el alcance y calcular el impacto que podría generar la contaminación atmosférica con humos tóxicos sobre la población humana aledaña, dato esencial a la hora de evaluar el impacto.

2.2 CAUSAS

Carencia de aparatos de medición, de los productos residuales y de la incidencia misma de los resultados de un incendio, en organizaciones de fabricación-embasado y almacenaje de productos químicos para el agro.

Insuficiencia de elementos establecidos por la legislación sobre el modo y la forma de confirmar, por parte del sector asegurador, el desembolso correcto a la población afectada, incluyendo a las organizaciones agroquímicas aseguradas, en caso de siniestro en las organizaciones mencionadas.

Escasez o nulidad de mecanismos adoptados por la ciudadanía y el estado, en el caso crítico hipotético de incendio en las industrias de fabricación-embasado y almacenaje de productos químicos para el agro, en cercanías de la población.

2.3 PRONÓSTICO

Los gases tóxicos producidos por la combustión de las materias primas o productos terminados de ésta industria, en caso de materializarse el riesgo de incendio, serían transportados o dispersos por el aire y afectarían a la población humana, causándole enfermedades principalmente de tipo respiratorio, si se encuentra dentro de un área de impacto nocivo definida por el grado de concentración de contaminantes presentes en el aire de dicha zona.

A pesar de que los procedimientos de manufactura y almacenamiento de las sustancias cumplan con los estándares de seguridad (Instalaciones autocontenidas, sistemas de protección contra incendio y otras) existen circunstancias de origen antrópico o natural, que pueden provocar el incendio, lo que hace necesario estimar las consecuencias.

Dentro del esquema del control total de pérdidas que se puede generar por un evento de incendio es necesario contar con una herramienta que permita medir el alcance y evaluar el potencial impacto en los seres humanos.

Es pertinente aclarar que el alcance de este proyecto no contempla los daños a la flora y fauna, ni al suelo debido a su complejidad, este tema se deja como planteamiento para ser estudiado posteriormente.

2.4 CONTROL AL PRONÓSTICO

Se puede utilizar un sistema que garantice una aproximación a los daños ocasionados por el evento, con el fin de conocer los peligros que puede representar y tomar medidas de prevención.

Se deben tener identificadas las sustancias que se encuentran dentro de las instalaciones en las cuales, se presume, puede ocurrir un incendio, para que esta información sirva como variable de entrada para un modelo en el cual se relacionen dichas variables de forma matemática, determinística o probabilística con los posibles resultados que genere el evento.

Las buenas prácticas de almacenamiento, manipulación y fabricación de agroquímicos, representan una forma de prevenir la ocurrencia del riesgo de incendio.

Finalmente, el diseño de un software de modelamiento de dispersión de los componentes tóxicos, producto del incendio, representaría una herramienta clave en el cálculo de los daños que puede ocasionar el incendio.

2.5 LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN

El modelo fue practicado en una empresa fabricante de agroquímicos, ubicada en el municipio de Madrid Cundinamarca, Colombia.

Para el desarrollo de este proyecto no se consideró el riesgo de explosión, debido a que representa una variable muy compleja para su medición.

El modelo diseñado aplica para instalaciones que cumplan con los requisitos mínimos (autocontención, segregación, almacenamiento seguro y demás) para el manejo de agroquímicos (Ver Bodegas de almacenamiento y manipulación de Agroquímicos página 45).

Las ecuaciones de dispersión de Gauss están diseñadas para modelar fuentes puntuales que emitan contaminantes no reactivos a una distancia no mayor a 50 kilómetros. Este modelo no tiene en cuenta los obstáculos físicos de la zona para efectos de simplificación matemática y trabaja con Oxidos de Nitrógeno, de Oxígeno, de Carbono y Cianuro compuestos que no reaccionan durante la dispersión.

La combinación de elementos como envases, tejas u otros elementos que pudieran entrar en contacto con el fuego no fue incluida, por consiguiente sus productos por descomposición térmica o combustión no hacen parte del humo analizado.

La validación del modelo es muy complicada frente a un caso real, debido a que no existen registros de esta naturaleza, se aplicaría sobre un caso que pudiera suceder en una instalación conocida.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estimar el impacto producido en la población y la atmósfera, por el incendio de una instalación, que cumple con los requisitos técnicos para el procesamiento y/o almacenamiento de agroquímicos, mediante el diseño y aplicación de un software, en el cual se ingresen, procesen y visualicen las variables más relevantes del evento y puedan llegarse a calcular las concentraciones referidas al humo generado por el incendio.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las variables ambientales significativas, que permitan la aplicación de un modelo de dispersión y el cálculo de la contaminación del agua en la extinción, cuando se presenta un incendio.
- Establecer las características principales de los materiales (efectos en la salud, toxicidad, propiedades fisicoquímicas y otras), que deben considerarse cuando se presenta un incendio con el fin de estimar su efecto en el medio y la población.
- Diseñar un modelo de dispersión con base en las teorías existentes, para ser aplicado con las variables identificadas.
- Definir el área posiblemente impactada y cuantificar su grado de deterioro si ocurriese el incendio.

- Diseñar y aplicar un software, para integrar la información recopilada del incendio, el cual procesará los datos proporcionando los resultados finales.

4. JUSTIFICACIÓN

Establecer una valoración de la incidencia del impacto en la población y en los recursos aire y agua a causa del hipotético evento de un incendio que afecte las instalaciones donde se almacenen y/o procesen productos agroquímicos, es de significativa importancia, si se estiman en caso de un siniestro tipo incendio, aspectos sociales, ambientales y económicos.

La importancia de conocer como se difunden los contaminantes en el aire, para predecir sus efectos nocivos en el entorno y poder instaurar medidas de control para prevenir los impactos negativos generados por un posible accidente, basta para establecer consideraciones, tanto técnicas, legales y poblacionales, que aseguren en cierta medida la protección de la población y el entorno afectado.

A modo de ejemplo, las chimeneas o ductos de evacuación gaseosa, en particular, son una fuente tangible de emisiones atmosféricas contaminantes que contienen sustancias como metales pesados, dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros, que se mezclan con el aire y llegan hasta los asentamientos humanos causando enfermedades y en algunos casos hasta la muerte.

Sin embargo, a partir de una herramienta como lo son los modelos de dispersión, es posible encontrar las concentraciones de contaminantes emitidos por una chimenea y su alcance, (entre otras tantas aplicaciones), referido éste, a la distancia a la cual pueden llegar y qué concentración poseen en dicho punto. En el ejemplo de la chimenea, para caracterizar las emisiones de la misma, se requiere emplear equipo de monitoreo, sin embargo, no siempre está disponible en las industrias, lo cual hace beneficiosos a los modelos de dispersión de

contaminantes, para tener una estimación del comportamiento de la pluma a ciertas condiciones del ambiente.

De tal manera, se puede utilizar un sistema que aproxime a la estimación de aproximación a los daños ocasionados por un posible incendio para conocer los peligros que puede representar y tomar medidas de prevención. Se deben tener identificadas las sustancias que se encuentran dentro de las instalaciones en las cuales, se presume, puede ocurrir un incendio para que esta información sirva como variable de entrada para un modelo en el cual se relacionen dichas variables, entrando así en la etapa de evaluación de los potenciales efectos; todo esto con el fin de brindar a las industrias de agroquímicos, punto central de la justificación, una base para el diseño de sus planes de emergencia y estímulo a las prácticas seguras de producción-almacenamiento.

5. MARCO DE REFERENTES

5.1 MARCO TEÓRICO GENERAL

En primera instancia y a modo inductivo, se esclarecerán los conceptos de modelos de dispersión, incendio y modelamiento, de una manera sistemática, en donde el lector haga referencia rápida a los mismos, y se posea un conocimiento pertinente que le permita adentrarse en el tema objeto de investigación.

5.1.1 Modelos de Dispersión

Los modelos de dispersión son un conjunto de ecuaciones matemáticas que relacionan la liberación de un contaminante y las concentraciones correspondientes dentro de su área de influencia. Los modelos de dispersión evalúan el efecto sobre la población, estructura, plantas y animales, y predice consecuencias sobre cantidades de emisión y ubicación de nuevas fuentes. La calidad de un modelo depende de la información que se emplee al aplicarlo. En la elaboración de modelos se usan representaciones matemáticas de los factores que afectan la dispersión de contaminantes. Las computadoras, mediante modelos, facilitan la representación de los complejos sistemas que determinan el transporte y dispersión de los contaminantes del aire.

Cuando se hace un modelo del transporte y dispersión de contaminantes del aire se recopila información específica de un punto de emisión. Esta información incluye la ubicación del punto de emisión (longitud y latitud), la cantidad y tipo de los contaminantes emitidos, condiciones del gas de la chimenea, altura de la chimenea y factores meteorológicos tales como la velocidad del viento, perfil de la temperatura ambiental y presión atmosférica. Los científicos usan estos datos como insumo del modelo de computación y para predecir cómo los contaminantes

se dispersarán en la atmósfera. Los niveles de concentración pueden calcularse para diversas distancias y dirección de la chimenea.

Los modelos de dispersión tienen muchas aplicaciones en el control de la contaminación del aire, pues son herramientas que ayudan a los científicos a evaluar la dispersión de la contaminación del aire. La exactitud de los modelos está limitada por los problemas inherentes al tratar de simplificar los factores complejos e interrelacionados que afectan el transporte y dispersión de los contaminantes del aire.

Funciones de un modelo:

- Relacionar concentración y emisión de contaminantes.
- Proyectar datos de calidad del aire.
- Suplementar datos de calidad del aire.

Datos necesarios de la fuente:

- Fuente: dónde son generados, concentraciones iniciales, datos de calidad del aire (concentración de fondo), tasa de emisión, altura de la chimenea, temperatura de los gases, diámetro de la chimenea, velocidad de los gases, dimensiones de las edificaciones cercanas.
- Meteorológicos: transporte, difusión, transformación en la atmósfera, dirección del viento, velocidad del viento, estabilidad atmosférica, altura de mezcla, humedad relativa, radiación solar, definición de un día crítico.
- Topografía.

5.1.2 Clases de Modelos.

Para seleccionar un modelo se debe tener en cuenta el nivel de detalle requerido, los datos de la fuente, la meteorología, naturaleza física del sistema a analizar,

sitio a simular, características del contaminante, periodo de las concentraciones, características de transporte y difusión.

Modelos simples, rápidos o screening. Son modelos que requieren un mínimo esfuerzo, son recomendables para fuentes puntuales, su aplicación se hace asumiendo condiciones meteorológicas extremas y tienen en cuenta las edificaciones cercanas y las variaciones del terreno.

Modelos refinados. Estos modelos se aplican a condiciones de terreno complejas, tienen aplicación en zonas rurales y urbanas, se tienen en cuenta las condiciones meteorológicas locales y distribuciones de frecuencia, además incluyen el efecto por edificaciones (downwash), pero al contrario de los modelos simples, requiere datos más completos acerca de las fuentes.

Modelo para casos especiales. Se usan para fuentes móviles, fuentes cercanas a cuerpos de agua, reacciones complejas, fuentes en terrenos riesgosos, transporte de contaminantes reactivos y pasivos.

5.1.3 Factores que inciden en la elaboración de un modelo de dispersión.

El transporte y dispersión de contaminantes del aire ambiental están influenciados por complejos factores. Las variaciones globales y regionales del clima y las condiciones topográficas locales afectan el transporte y dispersión de los contaminantes. Esta lección trata sobre los factores básicos que influyen el movimiento de los contaminantes en el aire ambiental. En una escala mundial, las variaciones del clima influyen sobre el movimiento de los contaminantes. Por ejemplo, la dirección predominante de los vientos en Centroamérica y norte de Sudamérica es de este a oeste y en Norteamérica y sur de Sudamérica es de oeste a este. En un nivel más local, los principales factores del transporte y dispersión son el viento y la estabilidad.

La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana. La turbulencia puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera. El movimiento horizontal es lo que comúnmente se llama viento. La velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área. Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes. El viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante.

El viento es causado por las diferencias en la presión atmosférica. La presión es el peso de la atmósfera en un punto dado. La altura y temperatura de una columna de aire determinan el peso atmosférico. Debido a que el aire frío pesa más que el caliente, la masa de alta presión está constituida de aire frío y pesado. Por el contrario, una masa de baja presión de aire está formada por aire más caliente y liviano. Las diferencias de presión hacen que el aire se mueva de las áreas de alta presión a las de baja presión, lo que da lugar al viento.

El movimiento vertical de la atmósfera también afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire. Cuando los meteorólogos hablan sobre la "estabilidad atmosférica" hacen referencia al movimiento vertical. Las condiciones atmosféricas inestables producen la mezcla vertical. Generalmente, el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente en el día debido a la absorción de la energía solar. Luego, el aire más caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire más frío y pesado de la atmósfera superior. Este movimiento constante del aire crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado.

Generalmente, cuando el aire más caliente está por encima del aire frío se presentan condiciones atmosféricas estables, de ese modo se inhibe la mezcla vertical. Esta condición se denomina inversión térmica. Cuando hay una ligera

mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores.

Otros factores meteorológicos básicos que afectan la concentración de contaminantes en el aire ambiental son la radiación solar, la precipitación y la humedad. La radiación solar contribuye a la formación de ozono y contaminantes secundarios en el aire. La humedad y la precipitación también pueden favorecer la aparición de contaminantes secundarios peligrosos, tales como las sustancias responsables de la lluvia ácida. La precipitación puede tener un efecto beneficioso porque lava las partículas contaminantes del aire y ayuda a minimizar las partículas provenientes de actividades como la construcción y algunos procesos industriales.

Debido a los factores que determinan el transporte y dispersión de los contaminantes, la contaminación del aire producida en una región puede tener efectos adversos sobre los lagos y bosques de otra región. Las grandes ciudades rodeadas de una topografía compleja, como valles o cadenas montañosas, a menudo experimentan altas concentraciones de contaminantes del aire. Si bien poco puede hacerse para controlar las fuerzas naturales que crean estos problemas, existen técnicas que ayudan a dispersar los contaminantes. La manera más común de dispersar los contaminantes del aire es a través de una chimenea.

La chimenea a menudo se usa como un símbolo de la contaminación del aire. Es una estructura que se ve comúnmente en la mayoría de industrias. Una chimenea dispersa los contaminantes antes de que lleguen a las poblaciones. Generalmente se diseñan teniendo en cuenta a la comunidad circundante. Mientras más alta sea la chimenea, mayor será la probabilidad de que los contaminantes se dispersen y diluyan antes de afectar a las poblaciones vecinas.

A la emanación visible de una chimenea se le denomina pluma. La altura de la pluma está determinada por la velocidad y empuje de los gases que salen por la chimenea. A menudo, se añade energía calórica a los gases para aumentar la altura de la pluma. Las fuerzas naturales hacen que la pluma tenga velocidad vertical, como sucede con el humo de las chimeneas residenciales.

Mientras más corta sea la chimenea, mayor será la probabilidad de que la pluma esté afectada por la "cavidad" formada por el edificio próximo a la chimenea. A medida que aumenta la altura de la chimenea, la pluma se aleja del edificio. La forma y la dirección de la pluma también dependen de las fuerzas verticales y horizontales de la atmósfera. Como se mencionó anteriormente, la pluma está afectada por las condiciones atmosféricas. Las condiciones inestables en la atmósfera producirán una pluma "ondulante", mientras que las estables harán que la pluma sea "recta".

Los contaminantes emitidos por las chimeneas pueden transportarse a largas distancias. En general, la concentración de contaminantes disminuye a medida que se alejan del punto de descarga y son dispersados por el viento y otras fuerzas naturales. Las variaciones del clima influyen en la dirección y dispersión general de los contaminantes. Los patrones del clima también causan problemas de contaminación, como la lluvia ácida, que son temas de preocupación regional e internacional.

La dispersión y transporte de contaminantes pueden estar afectados por factores climáticos y geográficos. Un ejemplo es la inversión térmica. Como se mencionó anteriormente, la inversión térmica es una condición atmosférica causada por una interrupción del perfil normal de la temperatura de la atmósfera. La inversión térmica puede retener el ascenso y dispersión de los contaminantes de las capas

más bajas de la atmósfera y causar un problema localizado de contaminación del aire.

La proximidad de una gran área metropolitana a una cadena de montañas también puede tener un efecto negativo sobre el transporte y dispersión de contaminantes. Los Ángeles, Denver, Ciudad de México y Bogotá están ubicados en cuencas rodeadas por montañas. Estas ciudades experimentan altos niveles de contaminación del aire influenciados por la topografía del área circundante. Si bien las causas de sus problemas de contaminación son complejas, estas situaciones demuestran cómo los factores naturales favorecen la mayor concentración de contaminantes. Si bien poco se puede hacer para minimizar los efectos de las fuerzas naturales sobre el transporte y dispersión de contaminantes, la mejor estrategia disponible es prevenir la producción de contaminantes del aire en la fuente.

5.1.4 Incendio

Un incendio es en realidad el calor y la luz (llamas) que se produce cuando un material se quema o pasa por el proceso de combustión. El proceso por el cual una sustancia se quema es una reacción química entre un material combustible y oxígeno, o sea combustión. En este proceso se libera energía en forma de calor.

Un incendio se produce por la presencia de cuatro elementos básicos: calor o fuente de ignición, material combustible, una concentración apropiada de oxígeno y la reacción en cadena. Se acostumbra visualizar la relación de estos cuatro elementos como un tetraedro en el que cada elemento representa una cara y se unen en una relación simbiótica o mutuamente beneficiosa.

El primero de estos factores necesarios, el combustible: puede ser cualquiera entre millares de materias: carbón, gasolina, madera y otros. En su estado normal, sólido o líquido, ninguno de estos materiales arde. Para que ardan necesitan convertirse antes en vapor o gas. El segundo factor esencial para que el fuego arda es el calor: este es el que nos da la temperatura necesaria para convertir en gas al combustible, de manera de arder. Algunos combustibles se convierten en gas (se gasifican o se volatilizan) a temperaturas mas altas. Se sabe que necesitan menor calor para volatilizar la gasolina y hacer que arda, el que necesita para lograrlo con madera o carbón. El tercer factor para que se presente el fuego, es el oxígeno: para provocar la ignición y comenzar a arder, el fuego necesita oxígeno. El último factor es la fuente de ignición: cualquier instrumento que desencadene el fuego.

5.1.4.1 La transferencia de Calor. El calor puede viajar a través de una edificación incendiada por uno o más de los tres fenómenos comúnmente como conducción, convección y radiación. Debido a que la existencia de calor dentro de una sustancia es causada por La acción de las moléculas, mientras mayor sea la actividad molecular, mayor será La intensidad de calor. Cierta número de leyes naturales de la física se encuentran involucrados en la transmisión del calor. Una de ellas es llamada la Ley del Flujo del Calor, que especifica que el calor tiene la tendencia de fluir desde una sustancia caliente a una sustancia fría. El más frío de los dos cuerpos en contacto absorberá calor hasta que ambos objetos estén a la misma temperatura.

5.1.4.2 Etapas en el desarrollo del incendio. No todos los incendios se desarrollan de la misma forma, aunque todos pueden pasar por cuatro etapas de desarrollo. Para detener a tiempo cualquier incendio que se desarrolle cerca de nosotros es importante conocer esta información.

Etapa incipiente. Se caracteriza porque no hay llamas, hay poco humo, la temperatura es baja; se genera gran cantidad de partículas de combustión. Estas partículas son invisibles y se comportan como gases, subiéndose hacia el techo. Esta etapa puede durar días, semanas y años (un árbol de Sequoia en California, en cuyo tronco una persona echó un cigarrillo prendido, estuvo en esta etapa durante tres años).

Etapa latente. Aún no hay llama o calor significativo; comienza a aumentar la cantidad de partículas hasta hacerse visibles; ahora las partículas se llaman humo. La duración de esta etapa también es variable.

Etapa de llama. Según se desarrolla el incendio, se alcanza el punto de ignición y comienzan las llamas. Baja la cantidad de humo y aumenta el calor. Su duración puede variar, pero generalmente se desarrolla la cuarta etapa en cuestión de segundos.

Etapa de calor. En esta etapa se genera gran cantidad de calor, llamas, humo y gases tóxicos.

5.1.5 Productos de la combustión y sus efectos sobre la seguridad de las personas. La exposición a los productos de la combustión presenta múltiples riesgos para las personas. Entre los más importantes efectos del humo se encuentran: asfixia, o la irritación de los ojos, narcosis y daño de las vías respiratorias.

Esos efectos, a menudo simultáneos en un incendio, originan incapacidad física, pérdida de coordinación motriz, visión reducida, desorientación, falta de juicio y pánico. El consiguiente retraso o imposibilidad de escapar, provoca lesiones o muertes debidas a la inhalación de gases tóxicos y a las quemaduras sufridas. Los

supervivientes de un incendio pueden sufrir posteriores lesiones pulmonares y afecciones originadas por quemaduras que pueden producir hasta la muerte.

La valoración de los efectos generales fisiológicos y del comportamiento del ser humano expuesto al fuego y a los productos de la combustión, es una tarea difícil y compleja. En dicha valoración es fundamental el concepto de "dosis". Las respuestas fisiológicas están relacionadas generalmente con la osificación, es decir, que la magnitud del efecto aumenta cuando aumenta la dosis o carga acumulada en el cuerpo de un agente fisiológicamente activo. Como no se puede medir la dosis real de productos tóxicos que se inhalan con el humo, se hace la hipótesis de que la dosis es función de la concentración de humo (o agente tóxico) y el tiempo de exposición. Esta dosis es en realidad la expresión de la cantidad a la que está expuesto el sujeto. El término "Dosis de exposición" es probablemente más exacto y se ha convertido en el término utilizado en la toxicología de la combustión.

Las concentraciones de los agentes tóxicos gaseosos más corrientes en un incendio, se expresan normalmente en partes por millón (ppm) en volumen. Por tanto, la dosis de exposición se puede definir como el producto de la concentración por el tiempo, o sea, ppm/min. En el caso de una concentración variable de agentes tóxicos gaseosos, la dosis de exposición es en realidad la integral de la zona limitada por una curva de concentración en función del tiempo.

También se puede hablar de dosis de exposición con relación al humo. Como la concentración de humo no se puede cuantificar, se hace la aproximación de que esa concentración es proporcional a la pérdida de masa durante un incendio. La integral de la zona limitada por una curva de pérdida de masa por unidad de volumen en función del tiempo, resultaría así una medida de la dosis de exposición al humo, expresada en mg-min/L, lb-min/ft³. La dosis de exposición

al humo en un momento dado se puede calcular a partir de los datos obtenidos en el laboratorio, con aparatos especiales e instrumentos que miden cantidades producidas en incendios de ensayo; de datos procedentes de modelos matemáticos e incluso de los estimados en incendios reales. En este último caso, los modelos de circulación de humo y los cálculos de concentraciones pueden permitir la estimación de las dosis de exposición al humo, incluso en zonas alejadas del incendio. Un concepto importante es suponer que las “dosis de exposición tóxicas” se pueden visualizar como entidades cuantificables que se generan en un incendio y son transportadas y administradas a las personas expuestas. En general, hay varios factores esenciales para el conocimiento completo de los efectos que tienen los productos de la combustión sobre la seguridad de las personas.

Obtención de datos toxicológicos. La determinación de esta información, se obtiene mediante experimentaciones con animales en condiciones controladas de laboratorio. Información que posteriormente es extrapolada a seres humanos mediante el cálculo de dosis equivalentes humanas, corroboradas en algunas ocasiones por estudios de vigilancia epidemiológica.

Extrapolación. Siempre que se definan las diferencias cualitativas y cuantitativas de los efectos toxicológicos entre los animales de laboratorio y las personas, pueden realizarse extrapolaciones razonablemente fiables. Consiguientemente, la valoración de la exposición de las personas a los productos de la combustión, genera con frecuencia especulaciones y diversidad de opiniones, incluso entre los expertos, metodología de cálculo de Dosis de Referencia y Dosis equivalentes humanas⁴

⁴ Toxicología Ambiental, Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental, Peña, Carter, Ayala-Fierro, University of Arizona, 2001 Pág. 95-101.

5.1.6 Gases de la combustión. El humo se compone de partículas líquidas y sólidas en suspensión y gases, que se emiten cuando un material sufre pirolisis o combustión. Los efectos causados por los gases se han estudiado en mayor profundidad que los debidos a la inhalación de partículas y aerosoles.

Los gases tóxicos se suelen dividir en tres tipos: asfixiantes, que producen narcosis; irritantes, que generan complicaciones sensoriales y pulmonares y otros gases que exhiben características tóxicas inusuales.

En terminología farmacológica, un “narcótico es una droga que produce inconciencia (narcosis) con ausencia de dolor. En toxicología de la combustión el término se refiere a compuestos que afectan al sistema nervioso central, provocando la pérdida del conocimiento y fácilmente la muerte. La gravedad de los efectos depende de la dosis recibida; es decir, de la concentración y tiempo de exposición; al aumentar la dosis aumenta la severidad.

Los efectos irritantes se clasifican en dos tipos: (1) irritación sensorial (ojos, vías respiratorias, y otros), y (2) irritación pulmonar. La mayoría de los irritantes producen síntomas de ambos tipos. La irritación de los ojos es un efecto inmediato que depende de la concentración y a veces se subestima el perjuicio que supone para escapar. Las terminaciones nerviosas de la córnea se estimulan causando dolor, movimiento reflejo de las pestañas y lágrimas. La irritación también puede provocar daños en los ojos. Cerrando los ojos se alivian los efectos, pero se dificulta la huida.

5.1.7 Modelamiento del fuego. Los modelos se pueden calificar en dos grandes clases: modelos físicos y matemáticos. Los modelos físicos tratan de reproducir el fenómeno del fuego en una situación física simplificada. Los modelos a escala son una clase muy extendida de modelos, pues los experimentos a gran escala son

caros, difíciles y a veces totalmente inviables. Se puede llegar a saber mucho del fuego estudiando sus fenómenos en una escala física reducida. Los modelos matemáticos son conjuntos de ecuaciones que describen el comportamiento de un sistema físico. Muy a menudo el objetivo de los modelos físicos es descubrir las leyes que regulan el comportamiento de los sistemas fisicoquímicos. Entonces se puede utilizar el modelo matemático resultante para predecir el comportamiento de sistemas físicos en la realidad. Así pues, los modelos físicos y matemáticos se interrelacionan y son complementarios.

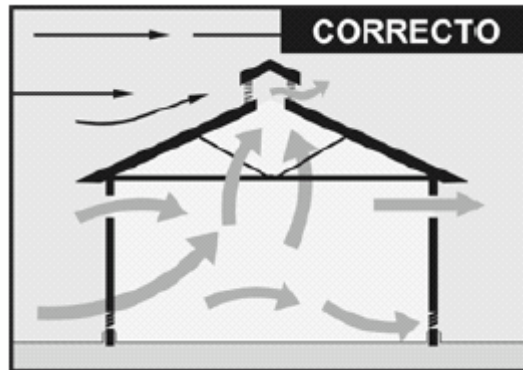
5.2 MARCO TEÓRICO PARTICULAR

En este capítulo se contextualizar las características de diseño que se tienen en cuenta en los locales donde se manejan agroquímicos y desarrollamos una aproximación acerca del modelamiento de incendios.

5.2.1 Bodegas De Almacenamiento y Manejo de Agroquímicos.

Ventilación. Es recomendable que estas bodegas manejen sistemas de ventilación natural tanto a bajo nivel (entre 1.3 y 1.7 metros aproximadamente) como a nivel superior (a 1m por debajo del nivel del techo), mediante la ubicación de orificios o ventanas por las cuales circula el aire libremente, protegidas por celosías o persianas de ventilación, que permitan crear flujos de aire al interior de la bodega tal como se ilustra.

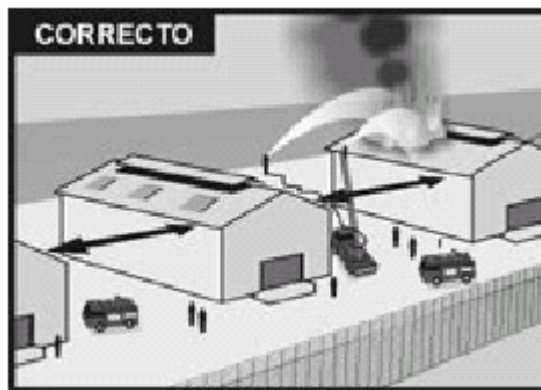
Figura 1. Ventilación general



GIFAP. Guidelines for the safe handling of pesticides during their formulation packing storage and transport.

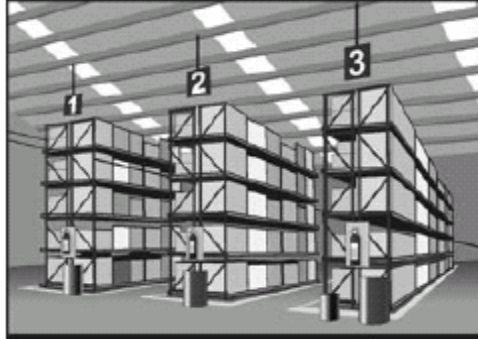
Separación y almacenaje. Se recomienda que los locales no estén pegados a otras edificaciones, sino que existan zonas de separación que faciliten maniobrar a los bomberos alrededor de ella y que el fuego sea transmitido a otros sitios en caso de presentarse ver figuras 2 y 3.

Figura 2. Separación.



GIFAP. Guidelines for the safe handling of pesticides during their formulation packing storage and transport.

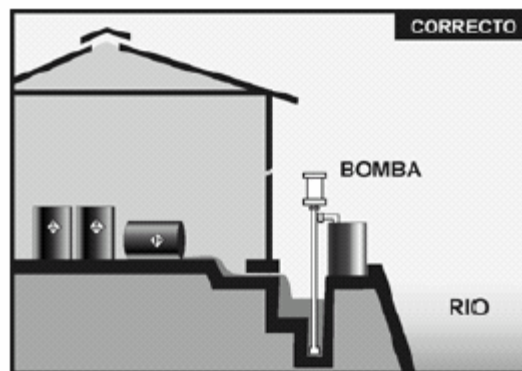
Figura 3. Almacenaje.



GIFAP. Guidelines for the safe handling of pesticides during their formulation packing storage and transport.

Autocontención. Se requiere que los pisos sean impermeabilizados y que las bodegas no tengan drenajes y cuenten con muro de contención perimetral que permitan retener potenciales derrames de los productos y el agua que sea utilizada en caso de un incendio, ver figura 4.

Figura 4. Autocontención.



GIFAP. Guidelines for the safe handling of pesticides during their formulation packing storage and transport.

5.2.2 Modelos Matemáticos del Fuego.

Los modelos matemáticos del fuego se pueden clasificar en probabilísticos y determinísticos. Los modelos probabilísticos tratan de la naturaleza aleatoria del comportamiento del fuego, mientras que los determinísticos suponen que, dada una situación física bien definida, la propagación y comportamiento del fuego está totalmente determinada. Los dos conceptos son válidos para comprender el fuego. Los modelos probabilísticos tratan el crecimiento del fuego como una serie de sucesos o estados secuenciales. Estos modelos son denominados a veces como modelos de transición de estado. Se han establecido reglas matemáticas para controlar la transferencia de un suceso a otro, por ejemplo desde la ignición hasta un quemado establecido. Se asignan probabilidades como funciones del tiempo a cada punto de transferencia, basándose en el análisis de relevantes datos experimentales y datos históricos de accidentes por incendio. Estos modelos no utilizan directamente las ecuaciones químicas y físicas que describen los procesos del incendio.

Por el contrario, los modelos determinísticos representan los procesos que surgen en incendios de recintos cerrados, mediante expresiones matemáticas interrelacionadas, basadas en la física y química. Estos modelos también pueden ser llamados modelos de incendios en habitaciones, modelos de incendios por ordenador o modelos de incendio matemáticos. En teoría, dichos modelos representan la última capacidad: se podrá evaluar los cambios discretos en cualquier parámetro físico en relación con su efecto sobre el riesgo de incendio. Mientras que el estado actual de la tecnología para comprender los procesos del incendio no soportará todavía el "último" modelo, gran número de modelos por ordenador proporcionan estimaciones razonables de efectos de incendios seleccionados.

5.2.3 Modelos de incendios por computador.

“Los modelos por computador son sencillamente programas que modelan o simulan un proceso o fenómeno. Estos han sido utilizados durante algún tiempo para el diseño y análisis del hardware de la protección contra incendios. Su uso, normalmente conocido como programa de diseño, se ha convertido en el método normalizado de la industria para diseñar suministros de agua y sistemas de rociadores automáticos. Estos programas realizan numerosísimos cálculos tediosos y extensos, proporcionando al usuario diseños exactos y optimizados en su costo, en una fracción del tiempo que llevaría realizarlos manualmente. También pueden utilizarse para evaluar los efectos del incendio sobre personas y propiedades, además de diseñar el hardware para la protección contra incendios. Han sido usados por ingenieros y arquitectos en el diseño de edificios, por funcionarios de la construcción para la revisión de proyectos, por los bomberos para planificar antes de la ocurrencia de un incendio, por investigadores para realizar análisis tras él, por grupos que redactaban códigos contra incendios, por fabricantes de materiales, investigadores de incendios y educadores. Aunque estos modelos no pueden sustituir a los códigos de seguridad de incendios y de la edificación, pueden constituir una herramienta valiosa para los profesionales.

Algunos de los modelos más conocidos se mencionan a continuación.

ASCOS. ASCOS (Analysis of Smoke Control Systems o Análisis de los Sistemas de Control de Humos) es un programa para el análisis de flujos estacionarios de aire en los sistemas de control de humos. Este programa puede analizar cualquier sistema de control de humos que produzca diferencias de presión con la intención de limitar el movimiento del humo en situaciones de incendios en edificios, las entradas consisten en las temperaturas del edificio interiores y exteriores, descripción de la red de flujos del edificio y los caudales que se producen por el

sistema de control de humos o ventilación las salidas consisten en caudales y presiones estables a través del edificio. ASCOS se escribió en FORTRAN.

FIREFORM. (FIRE FORMulas) es una colección de quince algoritmos distintos, relacionados con el fuego y basados en fórmulas conocidas. Trata de la propagación del humo en una habitación, la activación de los detectores/rociadores, paso del humo a través de aberturas pequeñas, temperatura y presión creadas por el fuego, propagación del fuego (en casos especiales) y una estimación sencilla de las vías de evacuación. Está escrito en lenguaje BASIC.

FPETOOL. El FPETOOL es un paquete de software con ecuaciones relativamente sencillas y modelos útiles para estimar el posible riesgo de incendios en edificios. Los cálculos de este programa se basan en ecuaciones mecánicas y físicas bien conocidas. El FPETOOL trata de problemas relativos al desarrollo del fuego en los edificios, las condiciones que se producen y La respuesta de los sistemas de protección contra incendios. Las condiciones de riesgo se presentan en términos de temperatura, situación, oscurecimiento visual, energía latente y potencial, contenido en oxígeno y concentraciones de monóxido y dióxido de carbono en el humo y los gases del incendio. Incluye además medios para estimar el tiempo de evacuación, el tiempo de ignición de los elementos expuestos, la cantidad de humo, propagación del fuego, viento y efecto chimenea sobre las puertas, activación de los rociadores y detectores y otros parámetros útiles para evaluar el riesgo de incendio. Está escrito en BASIC.

HAZARD I. El HAZARD I es un método para predecir los riesgos de los ocupantes de un edificio debido a un incendio declarado en el mismo. Dentro de unos límites establecidos, el programa permite predecir el resultado de un incendio en un edificio habitado por un conjunto representativo de personas. Maneja un conjunto

de algoritmos para estimar las consecuencias de un incendio dado, éstos constan de cuatro pasos (1) definición del contexto, (2) definición de la hipótesis del incendio, (3) cálculo de riesgos y (4) evaluación de las consecuencias. Esta escrito en BASIC”⁵.

5.2.4 Evaluación del Riesgo de Toxicidad.

Al reconocer que los datos de los ensayos de potencia tóxica de los humos de laboratorio no son indicativos por si mismos del riesgo de toxicidad, en los últimos años se han hecho importantes esfuerzos para desarrollar cálculos de ingeniería que ofrezcan una mejor solución al problema. Estos cálculos van desde un sencillo “índice de riesgo” a modelos mas sofisticados basados en la perdida de masa y en datos de la potencia toxica de la capacidad tóxica de los humos.

Por ejemplo, para disponer de un parámetro de registro de toxicidad que ofrezca al menos cierta integración de los factores de toxicidad y combustibilidad, se ha propuesto un “Índice Rápido de Riesgo de Toxicidad”. Este índice supone, para un material dado, la velocidad perdida de masa por unidad de superficie dividida por el producto del tiempo hasta la ignición y el LC50, tal como se determina por cualquiera de los demás métodos de prueba. No se pretende que el índice de riesgo sustituya a una evaluación amplia del mismo, pero si refleja la dependencia del riesgo tóxico respecto al crecimiento del fuego. Cada vez se está investigando más el riesgo de toxicidad mediante modelos matemáticos. Los más utilizados son los que emplean dosis de exposición incrementales ($C \times dt$) de un gas tóxico que se calcula y se pone en relación con una dosis Ct específica para producir un efecto tóxico dado. Así se calcula la dosis Fraccional Efectiva (DFD) para cada intervalo de tiempo. La suma continúa o la integración de estas dosis fraccionales da la dosis de exposición acumulada de un gas tóxico.

⁵ ARTHUR E. Cote. Manual de Protección Contra Incendios. Editorial MAPFRE. Edición 17 1993.

5.2.5 Mecánica del Incendio.

Como parte del análisis de la protección contra el riesgo de accidente por incendio, es conveniente estimar las características de la de la combustión de determinados combustibles y sus efectos en la ignición, así como el comportamiento mismo del incendio.

5.2.5.1 Velocidad de desprendimiento de energía. Las velocidades de desprendimiento de energía de combustibles ardiendo no pueden predecirse con mediciones básicas de las propiedades de los materiales. Depende del ambiente que rodea al incendio, la forma en que se volatiza el combustible y la eficacia de la combustión de vapor. Por tanto, se debe confiar en los datos de ensayos de laboratorio de combustibles específicos o similares. Además puede que se necesite conocer el historial completo de la velocidad de desprendimiento de energía, en muchas situaciones. Esto es deseable en particular cuando un conjunto de combustibles arden en estado no estacionario. La mayoría de los incendios en recintos cerrados no tienen velocidades de dispersión de energía constante. Por el contrario la velocidad de pérdida de masa, varía con el tiempo.

Un efecto del recinto cerrado, es la disponibilidad de oxígeno para la combustión. Si el aire de la habitación y el que entra a través de las aberturas y de los sistemas de calefacción o aire acondicionado o por otros medios, es insuficiente para quemar todos los combustibles existentes, solo se producirá en la habitación o en otros espacios adyacentes la combustión que permita el oxígeno disponible en el aire. Esta situación se conoce como combustión limitada por la ventilación. Cuando esto se produce, los productos combustibles sacados de la habitación y que no han quemado, pueden arder cuando encuentran aire fuera de la habitación y propagar el fuego de la misma.

5.2.5.2 Altura de las llamas. Las estimaciones de la altura de las llamas L pueden ser importantes para determinar los riesgos de la combustión de un combustible. Varios investigadores han hallado correlaciones experimentales entre determinadas alturas “medias” de las llamas. Heskestad⁶ ha encontrado una correlación sencilla de la altura de las llamas con los combustibles.

$$\frac{L}{D} = -1.02 + 15.6N^{\frac{1}{5}} \quad [1]$$

donde:

L = altura media de la llama (en m)

D = diámetro de la fuente del incendio (en m)

N = constante

$$N = \left[\frac{C_p T_\infty}{g Q_\infty^2 \left(\frac{\Delta h_c}{r_s} \right)^3} \right] \frac{Q^2}{D^5}$$

C_p = calor específico del aire a presión constante $[(kJ / kg) / ^\circ K]$

g = aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

Q_∞ = densidad del aire (kg/m^3)

Δh_c = calor de la combustión (kJ/kg)

r_s = relación estequiométrica aire/combustible

Q = desprendimiento total de calor (kJ/s o kW/s)

⁶ Heskestad, G., “Virtual Origins of FIRE Plumes,” FIRE Safety Journal, Vol. 11, No. 53, 1983.

Para combustiones no regulares se puede estimar el D efectivo según esta formula:

$$D = 2 \left(\frac{A_f}{\pi} \right)^{1/2} \quad [2]$$

donde:

D= diámetro efectivo (en m)

A_f = superficie del incendio (en m²)

En condiciones experimentales, $\Delta h_c / r_s$ es casi constante y representa el calor desprendido por unidad de peso del aire que participa en la combustión. Suponiendo que dicho parámetro es de 3.100 kJ/kg la ecuación [1] se puede escribir en forma simplificada:

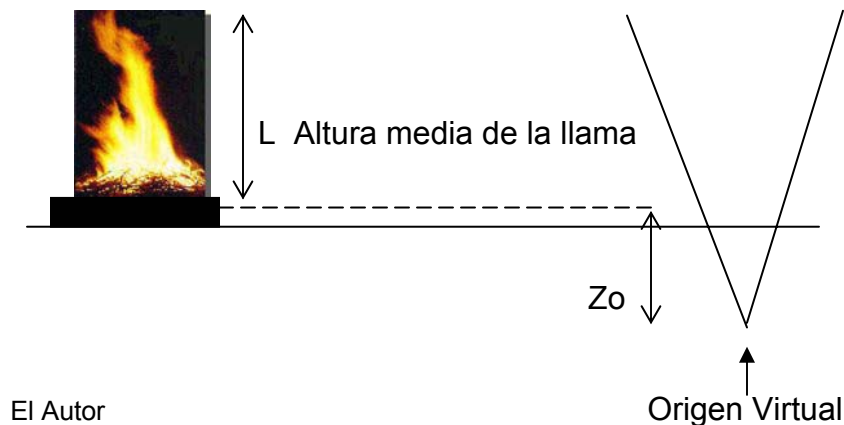
$$L = -1.02D + 0.23Q^{2/5} \quad [3]$$

Como las llamas son inestables, se toma su altura media L como la altura sobre la fuente de la combustión donde se observa que la punta de la llama permanece en ese punto o por encima por lo menos el 50% del tiempo. La correlación anterior se considera adecuada para incendios en estanques o en los que arde una superficie horizontal. Además la correlación será negativa cuando el desprendimiento de calor es pequeño. Los datos experimentales indican que la región mas fiables para la aplicación de este principio es aquella en que $Q^{2/5}/D$ es mayor que 16.5. Para más detalles sobre los cálculos de la altura de las llamas se puede consultar Beyler⁷, texto que complementa lo anteriormente descrito.

⁷ Beyler, C. L., "Fire Plumes and Ceiling Jets," Fire FIRE Safety Journal, Vol. 11, No. 53, 1986.

5.2.5.3 Calculo del origen virtual hipotético (Z_0). Para poder estimar la temperatura media y la velocidad en el centro del penacho, hay que establecer primero el origen virtual de la llama, que es el lugar o altura hipotética en la que se podría establecer un punto que fuera el origen del fuego en cuestión. Este origen virtual es de máxima importancia para calcular las condiciones en la línea central de la llama, cerca del fuego. A medida que aumenta la distancia sobre el fuego, disminuye el impacto de la diferencia que puede suponer despreciar el origen virtual. Es muy corriente ignorar el origen virtual del fuego en los cálculos en los que la distancia sobre el mismo es muchas veces superior a su diámetro. Pero para alturas próximas al origen del fuego, es necesario estimar con más precisión la posición del origen virtual.

Figura 5. Origen Virtual



La siguiente expresión, ofrece una estimación de dicho origen:

$$Z_0 = -1.02D + 0.083Q^{2/5} \quad [4]$$

donde:

Z_0 = posición del origen virtual del fuego (m).

D = diámetro de la superficie que se quema (m).

Q = cantidad total de calor liberado (kJ/s o kW).

El origen virtual puede estar en la base del combustible que se quema, por encima o por debajo de la misma.

5.2.5.4 Calor Total Desprendido. Un punto crítico en el desarrollo de un fuego en una habitación es el caso que se le conoce como combustión súbita generalizada (Flashover). Aunque no existe definición universal de este hecho, generalmente se refiere a la transición rápida de un incendio, desde la combustión localizada de un combustible a la implicación de todos los combustibles existentes en el recinto. Los trabajos experimentales indican que esta transición se puede producir cuando la temperatura del recinto sube hasta los 400 – 600° C. Si tomamos un valor de 500°C la ecuación [5] se puede resolver para obtener la cantidad de calor desprendido necesaria para que se produzca la combustión súbita generalizada en un recinto con ventilación natural suponiendo que el recinto se ha calentado todo antes de la combustión súbita generalizada:

$$Q = 610 \left[\left(\frac{k}{\partial} \right) A_s A_v \sqrt{h_v} \right]^{1/2} \quad [5]$$

Donde:

Q = calor total desprendido

k = conductividad térmica de los materiales del recinto [(kW/m)/K]

∂ = espesor del material del recinto

A_s = superficie total del recinto, excluida la ventilación (m²)

A_v = superficie de la ventilación (m²)

h_v = altura de la ventilación (m)

5.2.5.5 Duración equivalente de un incendio. La duración equivalente o gravedad de un incendio es una aproximación del potencial destructivo de la

combustión de todos los combustibles existentes en una habitación o espacio cerrado, que tiene por lo menos una abertura. La correlación presentada aquí ha sido desarrollada por Law⁸ y sus resultados predicen el resultado potencial de un incendio después de una combustión súbita generalizada, en términos de exposición equivalente en un ensayo de duración de un incendio en un horno. Law basa su correlación en los datos desarrollados mediante un programa internacional de investigación. Todos los ensayos fueron realizados con cunas de madera como fuentes de combustión. Law informa de variaciones hasta de un 20 por ciento según la porosidad del combustible. En las cunas de madera, la porosidad se basa en la relación de las aberturas entre las tablas de la cuna y el espacio que ocupan dicha tablas. La mayor gravedad se presenta cuando las cunas tiene sus tablas más separadas.

Esta correlación no es adecuada para las habitaciones que no tiene aberturas de ventilación. Aunque no se puede establecer un mínimo exacto, se sugiere que esta ecuación no se debe utilizar si la superficie de la zona de ventilación, no es por lo menos mayor que una ventana de una vivienda típica. La ecuación supone además que se libera prácticamente toda la energía potencial de los combustibles existentes en la habitación. Esto vale también para las cunas de madera utilizadas en los ensayos, pero puede no serlo cuando las habitaciones son grandes, cuando tienen grandes parte recubiertas o cuando contienen muchos materiales bajo inercia térmica, como las espumas plásticas. En ciertos casos, la generación de combustibles pirolizados puede exceder de manera significativa la capacidad de combustión del aire que penetra en la habitación por las aberturas de ventilación. Cuando esto sucede parte del combustible sale de la habitación con los gases de la combustión. Estos gases suelen quemarse, haciendo que las llamas se propaguen fuera de la habitación, se debe esperar que esta ecuación

⁸ Law, M., "Prediction of Fire Resistance," Proceedings, Symposium No. 5: FIRE-Resistance Requirements for Buildings- A New approach, Joint FIRE Research Organization, H. M. Stationery Office, London, 1973.

supere las predicciones de la duración equivalente del fuego en una cantidad aproximadamente proporcional a la del combustible existente dentro de la habitación, que no se quema. Esta ecuación es:

$$t = 60 \left[\frac{L_f}{\sqrt{A_s A_v}} \right] \quad [6]$$

donde:

t= gravedad del incendio (s)

A_s= área de las superficies inferiores de la habitación, excluidas de ventilación (m²)

A_v= superficie de ventilación (m²)

L_f= peso de madera equivalente (kg)

5.2.5.6 Velocidad de producción de humo. La velocidad de producción de humo en un incendio es aproximadamente igual a la cantidad de aire que arrastra el penacho de la llama, de modo que se puede estimar el peso del humo producido como el del peso del gas del penacho. El peso del gas en el penacho por encima de la altura visible de la llama se puede estimar mediante la siguiente ecuación⁹:

$$m_s = 0.18 Q^{1/3} \rho_\infty^{2/3} C_p^{-1/3} T_\infty^{-1/3} g^{1/3} Y^{5/3} \quad [7]$$

donde:

m_s= velocidad de producción del humo (kg/s)

Q= calor total desprendido (kJ/s o kW)

ρ_∞= densidad del aire (kg/m³)

C_p= calor específico del aire a presión constante [(kJ / kg) / ° K]

T_∞= temperatura ambiente del gas (°K)

⁹ Zukoski, E. E., "Development of a Stratified Ceiling Layer in the Early Stages of a Closed-Room FIRE," FIRE and materials, vol. 2, 1978.

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

Y = distancia del origen virtual del incendio a la parte inferior de la capa de humo (m)

5.2.6 Modelamiento de Gauss. El modelo gaussiano de fuente puntual continua que se va a tratar en este documento supone como hipótesis de partida que las concentraciones de contaminante en cualquier punto considerado viento abajo están estabilizadas y no dependen del tiempo. Este modelo describe el comportamiento de los gases/vapores de fuerza ascensional neutra, dispersados en la dirección del viento y arrastrados a la misma velocidad.

Los gases pesados muestran una elevación inicial del penacho debida al impulso de salida, como sucede en todo escape, seguida de una cierta caída en curva por influencia de su densidad. Comparándolos con los gases neutros se ve que los gases pesados presentan en los momentos iniciales un comportamiento distinto, por lo cual se han desarrollado modelos sofisticados que no se consideran en este documento. Sin embargo, al cabo de un cierto tiempo y a medida que se diluyen en el aire, las características y el comportamiento se pueden asimilar a los de un gas neutro. Si el escape de un gas pesado es de una proporción o intensidad de descarga moderadas, se puede tratar aceptablemente con el modelo gaussiano de gas neutro que es de aplicación mucho más sencilla, especialmente si lo que queremos es estudiar lo que sucede en puntos que no sean excesivamente próximos al punto de emisión.

El fundamento para el modelo de Pasquill-Gifford es una dispersión gaussiana en los ejes horizontal y vertical. La fórmula normalizada para la dispersión de una fuente puntual elevada es:

$$C = \left(\frac{Q}{2\pi y z u} \right) e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Y}{y} \right)^2 \right]} \left\{ e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z-H+h}{z} \right)^2 \right]} + e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z+H+h}{z} \right)^2 \right]} \right\} \quad [8]$$

Los parámetros σ_y y σ_z son las desviaciones tipo en las direcciones lateral y vertical respectivamente, que representan una medida de la dispersión del penacho en dichas direcciones. Tales parámetros son función de la distancia a la fuente emisora viento abajo y de la clase (categoría) de estabilidad atmosférica.

Estos coeficientes se suelen presentar en forma gráfica o pueden calcularse según fórmulas empíricas. Diferentes autores llegan a expresiones que difieren ligeramente.

5.2.7 Estimación de la elevación del penacho. La elevación del penacho (h) se define como la diferencia entre la altura de la línea central final del penacho y la altura inicial de la fuente. Esta elevación está originada por la fuerza ascensional y el impulso vertical del efluente.

La temperatura de salida del efluente en el caso de que supere en más de 50 °C la temperatura ambiental, tiene mayor influencia que el impulso vertical en la determinación de la altura que alcanzará el penacho.

Como regla general la elevación del penacho es directamente proporcional al contenido calorífico del efluente y a la velocidad de salida del mismo, e inversamente proporcional a la velocidad local del viento.

Una de las fórmulas más empleadas para el cálculo de esta elevación es la de Holland:

$$h = \left(\frac{Vd}{u} \right) [1.5 + 0.00268P(T_s - T_a)d / T_s] \quad [9]$$

En el modelo esta ecuación se utilizó como variable de entrada de la ecuación de dispersión para calcular la altura total H (altura de la chimenea o bodega más sobreelevación).

5.2.8 El Agua en la Extinción del Fuego. Las propiedades físicas que hacen del agua un excelente agente extintor son las siguientes:

- A temperatura ambiente es un líquido pesado y relativamente estable.
- Una libra (0.45 kg) de hielo, al derretirse en agua, a 0 °C absorbe 143.4 Btu (151.3 kJ), que es el calor de fusión del hielo.
- Se requiere 1 Btu para elevar la temperatura de 1 Litro de agua 1 °F que es el calor específico del agua. Por tanto, elevar la temperatura de 1 libra de agua desde 32 a 212 °F, requiere 180 Btu. El calor específico del agua es 4.186 kJ/kg K.
- El calor latente de vaporización del agua, es decir, convertir 1 libra de agua en vapor, a una temperatura constante, es 970.3 Btu por libra (2254.8 kJ/kg) a presión atmosférica.
- Cuando el agua pasa de líquido a vapor, su volumen, a presión atmosférica, aumenta 1600 veces aproximadamente. Este gran volumen de agua desplaza un volumen igual de aire alrededor del fuego, reduciendo por ello el volumen de aire (oxígeno) disponible para mantener la combustión.

A parte del agua no hay otro agente extintor tan corriente que posea todas estas características. Si el agua se aplica en forma de hielo o nieve, tiene un efecto

refrigerante aún mayor que el agua sola, porque la energía del fuego debe convertir primero el hielo en agua y luego el agua en vapor.

La extinción del fuego solo se consigue si se aplica un agente efectivo en el punto donde se produce la combustión. Durante siglos, el método empleado ha sido dirigir un chorro compacto de agua desde una distancia segura hacia la base del fuego; este método se sigue empleando ampliamente; sin embargo, un método más eficaz consiste en aplicar agua en forma pulverizada, lo que aumenta el efecto refrigerante del agua y la conversión de agua en vapor.

5.2.9 Toxicidad del Vapor y el Humo Generados por el Incendio.

5.2.9.1 Monóxido de carbono. El monóxido de carbono (CO) es un gas que no se puede ver ni oler, pero que puede causar la muerte cuando se lo respira en niveles elevados. El CO se produce cuando se queman materiales combustibles como gas, gasolina, queroseno, carbón, petróleo o madera. Las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua y los aparatos domésticos que queman combustibles fósiles o derivados del petróleo, como las estufas u hornillas de la cocina o los calentadores de queroseno, también pueden producir CO si no están funcionando bien. Los automóviles parados con el motor encendido también despiden CO. El monóxido de carbono tiene una afinidad mucho más alta que el oxígeno por la hemoglobina de la sangre. Así, se forma carboxihemoglobina que impide a la hemoglobina transportar el oxígeno a las células, y por tanto, el organismo no puede obtener la energía necesaria para sobrevivir.

Para evitar el envenenamiento por monóxido de carbono se recomienda no dejar nunca un espacio completamente cerrado sin aireación, ya que el oxígeno es consumido por el combustible - brasero, estufa de gas, motor y es sustituido por el gas monóxido de carbono formado, que puede provocar asfixia a las personas que respiren en esa atmósfera viciada.

La toxicidad para el ser humano y los animales se basa en la extraordinaria afinidad de la hemoglobina, responsable del transporte de oxígeno, con el monóxido de carbono (aproximadamente 250 veces mayor que con el oxígeno). La asimilación se produce exclusivamente por inhalación. El monóxido de carbono no se detecta por su olor, color o sabor ni por irritación de las mucosas ni por otros efectos, de modo que pueden fácilmente producirse intoxicaciones por gas de alumbrado o por el gas de escape de los vehículos (usado como recurso frecuente para suicidarse).

Las intoxicaciones agudas se manifiestan en dolores de cabeza, náuseas, debilidad muscular, pérdida del conocimiento y dificultad respiratoria y, finalmente, muerte, según sea la concentración y tiempo de exposición. En las tablas siguientes se relaciona la toxicidad del monóxido de carbono y los límites de exposición.

5.2.9.2 Dióxido de carbono. Dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, no venenoso. En el aire se encuentra en pequeña proporción. Es moderadamente soluble en el agua formando el ácido carbónico, H_2CO_3 . Su solubilidad aumenta con la presión, propiedad utilizada en las bebidas gaseosas para producir efervescencias.

Se forma en la combustión fuerte del carbono o de sus derivados, especialmente los hidrocarburos.

El CO_2 , no es combustible, ni comburente, se emplea en extintores de incendios ya que impide la combustión. Si el CO_2 se comprime, se licua y por enfriamiento se convierte en un sólido denominado hielo seco que se usa para congelar alimentos. Se reconoce el CO_2 porque al disolver este gas en el agua de cal $Ca(OH)_2$; de incoloro a gris debido a la formación de carbonato de calcio.

Es comúnmente usado en Refrigeración, bebidas carbónicas, intermedio químico, verificador de bajas temperaturas, extintor de incendios, atmósferas inertes, aerosoles, tratamiento de aguas municipales, medicina, enriquecimiento del aire en casa húmedas, fuente de presión para usos diversos, gas de protección para soldadura, siembra de nubes para provocar lluvia artificial, moderador en algunos tipos de reactores nucleares, inmovilización para matar animales humanitariamente, láseres especiales.

5.2.9.3. Óxidos de Nitrógeno. Los óxidos de nitrógeno (NO_x) son contaminantes gaseosos que se forman principalmente a través de procesos de combustión. Mientras que el gas de combustión se encuentra dentro de la unidad de combustión, cerca del 95% del NO_x existe en forma de óxido nítrico (NO). El resto es dióxido de nitrógeno (NO₂), el cual es inestable a altas temperaturas.

Una vez que el gas de combustión es emitido a la atmósfera, la mayor parte del NO_x es finalmente convertido a NO₂. El NO_x en la atmósfera reacciona en presencia de la luz solar para formar ozono (O₃), uno de los contaminantes criterios para el que se han establecido *National Ambient Air Quality Standards* (Normas Nacionales de la Calidad del Aire Ambiental) en base a efectos en la salud. Puesto que la formación del ozono requiere de luz solar y altas temperaturas, la formación de ozono es mayor en los meses del verano.

El NO_x se genera de una de tres formas; NO_x combustible; NO_x termal y *prompt* NO_x (NO_x inmediato). El NO_x combustible es producido por la oxidación del nitrógeno en la fuente del combustible. La combustión de combustibles con alto contenido de nitrógeno, tales como el carbón y los aceites residuales, produce mayores cantidades de NO_x que aquellos con bajo contenido de nitrógeno, tales como aceite destilado y gas natural. El NO_x termal se forma por la fijación de nitrógeno y oxígeno molecular a temperaturas mayores a 2000 °C). El NO_x

inmediato se forma de la oxidación de radicales de hidrocarburos cerca de la flama de la combustión y produce una cantidad insignificante de NOx.

Los niveles bajos de óxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. La exposición a bajos niveles también puede producir acumulación de líquido en los pulmones 1 ó 2 días luego de la exposición. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede rápidamente producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte. Si su piel o sus ojos entraran en contacto con altas concentraciones de monóxido de nitrógeno gaseoso o dióxido de nitrógeno líquido probablemente sufriría quemaduras graves. No sabemos si la exposición a los óxidos de nitrógeno puede afectar la reproducción en seres humanos.

5.2.9.4 Los óxidos de azufre. Son gases incoloros que se forman al quemar azufre. El dióxido de azufre (SO₂) es el contaminante criterio que indica la concentración de óxidos de azufre en el aire. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles, en particular el carbón y combustóleo, debido a que el azufre reacciona con el oxígeno en el proceso de combustión para formar dióxido de azufre. La cantidad del azufre que es emitido al aire (como dióxido de azufre) es casi la misma cantidad de azufre presente en el combustible.

Se ha encontrado que los óxidos de azufre perjudican el sistema respiratorio, especialmente de las personas que sufren de asma y bronquitis crónica. Los efectos de los óxidos de azufre empeoran cuando el dióxido de azufre se combina con partículas o humedad del aire. Esto se conoce como efecto sinérgico porque

la combinación de sustancias produce un efecto mayor que la suma individual del efecto de cada sustancia. Los óxidos de azufre también son responsables de algunos efectos sobre el bienestar, el de mayor preocupación es la contribución de óxidos de azufre a la formación de lluvia ácida que puede perjudicar lagos, la vida acuática, materiales de construcción y la vida silvestre.

5.3 MARCO LEGAL

5.3.1 Marco legal en educación superior. Bajo los lineamientos legales que tienen que ver con el tema de este proyecto de investigación, se establece la **Ley 30 de 1992** y la **LEY 115 DE 1994**, que adicionamos como anexos B y C respectivamente.

5.3.2 Marco legal institucional. La Universidad de La Salle, hace referencia a la investigación en el Plan Institucional de Desarrollo 2003-2010 de la siguiente forma:

Gestión del conocimiento. La universidad, teniendo en cuenta que el conocimiento se genera desde las unidades de servicios académicos, evaluará periódicamente el comportamiento de la investigación y la estructura de estímulos a la producción académica, con el propósito de favorecer la creación de nuevos grupos de investigadores debidamente reconocidos nacional e internacionalmente.

La pertinencia de las líneas de investigación en la orientación a las soluciones de los problemas nacionales involucrando aspectos asociados al desarrollo humano sostenible y la divulgación de los conocimientos derivados de las mismas a través de múltiples canales, entre ellos, las publicaciones en revistas indexadas y los contenidos programáticos de las asignaturas que se desarrollan. El avance de la

investigación en la Universidad de La Salle se caracterizará, además de su pertinencia e impacto, por la impronta lasallista entendida como la vivencia de los valores, el compromiso con los menos favorecidos y la presencia del componente ético.

El sistema educativo se ha inclinado más por la tradición que por la innovación. Hoy se debe superar esta tendencia, dando mas fuerza a la capacidad de inventar, de crear y de innovar, apoyada en procesos de investigación¹⁰.

Investigación. El impulso a la investigación deberá estar enmarcado en el análisis de problemas nacionales, para ofrecer soluciones pragmáticas derivadas de estudios serios y profundos, desarrollados por grupos de investigadores debidamente reconocidos por la comunidad académica nacional e internacional. Para el efecto la definición de las líneas de investigación se enmarcara dentro de los criterios antes señalados.

La misión de la universidad establece entre otros aspectos la constante búsqueda, transmisión y desarrollo del saber humano, científico y tecnológico así como de la doctrina cristiana y el desarrollo del hombre en todas las dimensiones, para practicar los valores cristianos y la defensa del patrimonio cultural del país y el medio ambiente. A ello se suman los compromisos establecidos en el modelo formativo, todo lo cual establece la participación activa de la universidad en la solución de los problemas que afectan la sociedad colombiana¹¹.

¹⁰ UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Plan Institucional de Desarrollo 2002-2010: Marco Fundamental: Políticas. Bogotá DC: 27

¹¹ UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Plan Institucional de Desarrollo 2003-2010; Marco Fundamental; La universidad proyectada para el 2010-perfil institucional. Bogotá DC: p.126-127.

Igualmente, para argumentar el este proyecto, es pertinente citar el “Modelo Formativo Lasallista”, que en su capítulo 7, Quinto Núcleo Formativo, en lo que respecta a la Dimensión Investigativa, establece:

“Para este núcleo formativo se propone que los docentes apoyen el proceso de capacitación para la investigación, desarrollando habilidades relacionadas con la formulación de proyectos, es decir, habilidades de justificación, formulación y evaluación de problemas de investigación, elaboración de hipótesis. Marco teóricos, diseños metodológicos y administrativos, estudios pilotos, según distintos tipos de investigación. No se trata de repetir temas correspondientes a asignaturas de metodología, sino de reforzar uno o varios de estos aspectos, aprovechando la temática del curso. El contenido del núcleo señala nuevamente el sesgo social y de promoción comunitaria de tales proyectos”¹².

5.3.3 Marco legal temático. Dentro del marco legal temático, y en lo que respecta a las “**Consideraciones Ambientales Ante Un Incendio de Instalaciones que Procesen o Almacenen Agroquímicos, Asistidas por una Herramienta Informática Diseñada para su Modelamiento y Estimación del Impacto En La Población**”, es pertinente citar:

DECRETO 2 DEL 11 DE ENERO DE 1982: Por el cual se reglamentan parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y el Decreto Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.

DECRETO 2811 DE 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

¹² UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Modelo Formativo Lasallista; Quinto Núcleo Formativo; La Dimensión Investigativa. Bogotá; p. 90.

DECRETO LEY 948 DEL 5 DE JUNIO DE 1995: Por el cual se reglamentan; parcialmente, la Ley 23 de 1973; los artículos 33, 73, 74, 75 Y 76 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41,42, 43, 44, 45, 48 Y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

RESOLUCIÓN No. 1208 DE SEPTIEMBRE 5 DE 2003: Por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad de aire.

RESOLUCIÓN No. 1351 DEL 14 DE NOVIEMBRE DE 1995: Por medio de la cual se adopta la declaración denominada informe de estados de emisiones (IE-1).

RESOLUCIÓN No. 619 DEL 7 DE julio DE 1997: Por el cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.

DECRETO 775 DEL 16 DE ABRIL DE 1990: Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos III, V, VI, VII y XI de la Ley 09 de 1979, sobre uso y manejo de plaguicidas.

DECRETO 2107 DE 1995: Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.

LEY 9 DEL 24 DE ENERO DE 1979: Por el cual se dictan medidas sanitarias.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

La base para la estimación del impacto de un incendio se toma de la teoría Gaussiana dado que es el cálculo matemático más aproximado bajo parámetros básicos provenientes de la información del incendio, esta ecuación se ha utilizado principalmente para evaluar los efectos de una fuente fija de emisión como las chimeneas, en la presente investigación se realizó una aproximación tomando como fuente hipotética la bodega de almacenamiento, aunque el modelo gaussiano se basa en una fuente diferente a la planteada, este modelo no presenta restricciones en cuanto al tamaño de la chimenea.

En la elaboración del proyecto se asumen las siguientes particularidades:

Las condiciones topográficas no afectan la dispersión de contaminantes debido a que la zona está desprovista de edificaciones superiores a los 5 m (afueras de Madrid Cundinamarca).

La velocidad del viento carece de la corrección por altura (10m) se toma la velocidad promedio que provee la rosa de los vientos¹³.

La temperatura promedio del incendio es suficiente para desestabilizar los materiales de los cuales está hecho el techo de la bodega (Teja de asbesto cemento no incluida en la formación del humo) con lo cual se garantiza la caída

¹³ Rosa de Vientos de Fontibón Red de Calidad de Aire DAMA. www.dama.gov.co/aire/2002/year.htm

del mismo en aproximadamente un 65% (Valor asumido. El 100% incluiría esquinas y cerchas, que posiblemente no caen).

La conformación de la pluma estará dada en mayor cantidad por la ventilación generada al momento de la caída del techo, puede despreciarse la salida de humo por el área de ventilación propia de la bodega.

Para efectos de ejemplificar el modelo se tienen en cuenta los productos fabricados en la industria en donde se lleva a cabo el proyecto, y se determinan los compuestos que tienen mayor probabilidad de formarse si se presenta el evento del incendio, según las hojas de seguridad de los productos.

Tabla 1. Características tóxicas de los ingredientes activos.

NOMBRE DEL COMPUESTO	DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA
Chlorpyrifos	CO, CO ₂ , SO _x y otros (No estimados)
Propiconazole	CO, CO ₂ , NO _x y otros (No estimados)
Mancozeb	CO, CO ₂ , SO _x , NO _x y otros (No estimados)

Hojas de seguridad de los compuestos. No se ha especificado el porcentaje de composición de cada uno de los elementos en que se descompone la sustancia.

Para estimar la nocividad del humo se contemplarán los siguientes gases que tienen una alta probabilidad de formación en un incendio con sus respectivos niveles de concentración considerados inmediatamente peligrosos para la vida o la salud¹⁴ IDLH (IPVS). Específicamente se refiere a una exposición respiratoria aguda que supone una amenaza directa de muerte, o consecuencias adversas irreversibles para la salud, ya sean inmediatas o retardadas. La tabla 1 muestra

¹⁴ Tal como lo publicara el Nacional Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) [DHHS (NIOSH) Publicación No. 90 – 117]

cuales son los compuestos en que, más probablemente se descompone cada agroquímico por descomposición térmica o combustión, en la siguiente tabla se muestran los niveles de concentración inmediatamente peligrosos para la vida o la salud de cada uno de ellos y su nivel permisible de emisión al medio ambiente.

Tabla 2. Características de los posibles componentes de humo mencionados en la tabla de características tóxicas de los ingredientes activos.

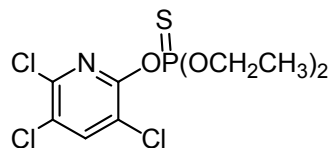
COMPONENTE	Nivel IDLH (ppm)	Nivel Permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/hora
CO	1500	40000
SOx	100	1300
NOx	50	320
CO ₂	50000	-
Cianuro de Hidrógeno	50	-

DHHS (NIOSH) Publicación No. 90 – 117. DAMA Red de Monitoreo de Calidad de Aire Bogotá.

La proporción de cada componente nombrado en la tabla anterior, se puede aproximar según la composición en peso del elemento generador (S, N, C) del compuesto, es decir conociendo la participación de nitrógeno (N), azufre (S) y carbono (C) en la molécula de los agroquímicos se puede saber cual será la máxima cantidad de COx, NOx, SOx, etc. que se puede formar ya que al momento de agotarse el elemento generador no podrá formarse más de dicho compuesto. Con la anterior premisa se cubre el peor caso de formación para cada agroquímico (el caso en el que tenga mayor porcentaje de los componentes tóxicos).

Chlorpyrifos: Ingrediente activo de Dursban y Clorpiricol. Insecticidas introducidos comercialmente por Dow AgroSciences y ArystaLifescience respectivamente.

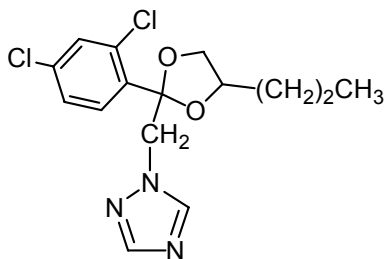
Figura 6. O,O-diethyl O-3,5,6-trichloro-2-pyridyl phosphorothioate



The e-Pesticide Manual (3). Copyright © 2003 BCPC (British Crop Protection Council).

Propiconazole: Ingrediente activo de Strike y Propical. Fungicida descrito por Janssen Pharmaceutica, desarrollado para ek uso agrícola por Syngenta y comercializado por Dow AgroSciences y ArystaLifescience.

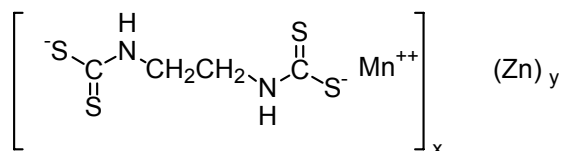
Figura 7. (±)-1-[2-(2,4-dichlorophenyl)-4-propyl-1,3-dioxolan-2-ylmethyl]-1*H*-1,2,4-triazole



The e-Pesticide Manual (3). Copyright © 2003 BCPC (British Crop Protection Council).

Mancozeb: Ingrediente activo de Titan 80 WP y Mancoljap 80 WP. Fungicida reportado en Fungic Nematic Tests 1961, introducido por Dow AgroSciences y comercializado por la empresa en mención y ArystaLifescience.

Figura 8. manganese ethylenebis(dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt
 $[C_4H_6MnN_2S_4]_xZn_y$



$$x:y = 1:0.091$$

The e-Pesticide Manual (3). Copyright © 2003 BCPC (British Crop Protection Council).

Tabla 3. Máximo Porcentaje Posible de Composición

ELEMENTO	SUSTANCIA		
	CHLORPYRIFOS	PROPICONAZOLE	MANCOZEB
	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS (29 átomos)	C ₁₅ H ₁₇ Cl ₂ N ₃ O ₂ (39 átomos)	[C ₄ H ₆ MnN ₂ S ₄] _x Zn _y (17.091 átomos)
Carbono	31.03%	38.46%	23.4%
Hidrógeno	37.93%	43.59%	35.11%
Cloro	10.34%	5.13%	0%
Nitrógeno	3.45%	7.69%	11.7%
Oxígeno	10.34%	5.13%	0%
Fósforo	3.45%	0%	0%
Azufre	3.45%	0%	23.40%
Manganeso	0%	0%	5.85%
Zinc	0%	0%	0.53%

El Autor.

De acuerdo a la tabla anterior se obtienen los máximos porcentajes probables de composición del humo para cada elemento. Si se encuentran almacenados varios elementos en la misma bodega la composición del humo se estimará según el aporte de cada sustancia y su cantidad almacenada.

Tabla 4. Aporte de cada sustancia a la composición del humo.

COMPUESTO	APORTE		
	CHLORPYRIFOS	PROPICONAZOLE	MANCOZEB
CO	31%* (Combustión Incompleta)	39%* (Combustión Incompleta)	24%* (Combustión Incompleta)
S0x	4%	0%	24%
NOx	4%	8%	12%
CO ₂	31%* (Combustión Completa)	39%* (Combustión Completa)	24%* (Combustión Completa)
Cianuro de Hidrógeno	10%	6%	0%
OTROS (agua)	51%	47%	40%
TOTAL	100%	100%	100%

El Autor.

Otro dato necesario es la proporción entre el ingrediente activo y los solventes, con el fin de establecer el poder combustible y convertirlo a calor de combustión equivalente en kilogramos de madera para efecto de satisfacer las ecuaciones de modelamiento de incendios.

El solvente de uso más frecuente es el Xileno C₈H₁₀ cuyo calor de combustión neto es 40.82 MJ/kg¹⁵. La madera posee un calor de combustión promedio de 18.8 MJ/kg¹⁶, entonces para realizar la conversión a kilogramos de madera se procede de la siguiente manera:

¹⁵ ARTHUR E. Cote. Manual de Protección Contra Incendios. Editorial MAPFRE. Edición 17 1993. p. 2127.

¹⁶ Ibid p. 2130

Kilogramos de Xileno x 40.83 = Calor de combustión total de Xileno en MJ
 Calor de combustión total de Xileno en MJ / 18.8 = kg de madera

Finalmente el agua requerida para la extinción del incendio puede calcularse mediante su calor latente de vaporización, cantidad necesaria para retirar el calor de combustión hasta apagar el fuego así:

Calor de Combustión Total del Incendio (MJ) / 2.3 (MJ/kg) = kg de Agua

6.2 EXPLICACIÓN Y USO DE LAS VARIABLES

La primera fase del proyecto consistió en la recopilación de la información pertinente a las características comunes de las bodegas de almacenamiento de agroquímicos de acuerdo a las ecuaciones de mecánica de incendios, cabe anotar que las bodegas deben cumplir con el Decreto 1843 de 1993 (Manejo de Plaguicidas) y con las cartillas de Gifap¹⁷

La caracterización de las variables es la siguiente:

Tabla 5. Características de la bodega y el almacenamiento.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	VARIABLE
Área de almacenamiento	El área de almacenamiento promedio de las bodegas es de 300 m ² .	Esta variable es utilizada para el cálculo del calor total desprendido.

¹⁷ IPCS. Programa Internacional de Seguridad en las Sustancias Químicas. Guía sobre seguridad y salud en el uso de productos agroquímicos.

	Fuente: Ing. Jorge García Especialista en Seguridad Integral.	
Altura de la bodega	La altura de la bodega depende exclusivamente de la maquinaria que se posea para el apilamiento (montacargas) y la estructura (estantería) destinada para tal fin. Con base en estas premisas la altura se ha definido con una altura de seis metros. Fuente: Ing. Jorge García Especialista en Seguridad Integral.	Esta variable se utiliza para calcular la altura efectiva y es el homólogo de la altura de la chimenea para nuestro caso.
Área de ventilación	El área de ventilación promedio en las bodegas de almacenamiento es el dos por ciento de la superficie total del recinto, que incluye paredes, techo y piso. Fuente: Ing. Jorge García Especialista en Seguridad Integral.	Esta variable se utiliza para calcular la cantidad total de calor liberado, la temperatura de salida de gas y la duración equivalente del incendio.
Altura de las aberturas de ventilación	La ventilación en las bodegas se ubica a la altura promedio correspondiente al nivel del rostro (aproximadamente a 1.3 m del suelo) y a 1m del techo . Fuente: Ing. Jorge García Especialista en Seguridad Integral.	Esta variable se utiliza para calcular la temperatura de salida del gas y la cantidad de calor liberado.
Superficie total de la bodega	Esta característica se calcula sumando cada una de las áreas de las caras del recinto (piso, muro y techo).	Se usa para calcular la cantidad total de calor liberado, la temperatura de salida de gas y la duración equivalente del incendio.
Material de la superficie del recinto y su conductividad térmica.	Generalmente las bodegas se hacen con ladrillo cocido de 15 cm. de espesor con una conductividad térmica de 0.00065 ((kW/m)/K).	Esta característica es utilizada para calcular le temperatura de salida del gas y cantidad total de calor liberado.
Distribución del almacenamiento y	La estantería se encuentra	Esta variable se utiliza en el cálculo del

área de la superficie que se quema	separada 2.5 m entre sí y 0.4 m de las paredes lo cual garantiza que el flujo de calor radiante alcance a encender todo el material almacenado en la bodega. Se estima que del área total de la bodega tan sólo un 70% será consumida por la llama y esta corresponde a la superficie del incendio.	diámetro de la superficie que se quema (efectivo).
Conductancia del Recinto	Conductancia del ladrillo 0.00065 kW/m/°K	Cálculo del calor total
Diámetro de la chimenea	Se asume que se cae un 65% del techo a causa del fuego (valor asumido), luego a esa área descubierta se le calcula el diámetro equivalente por medio de : $2 \times (\text{superficie descubierta}/\pi)^{1/2}$	Se utiliza para hallar la sobre elevación de la pluma.

El Autor.

El uso de las demás variables referentes a la mecánica de incendios se explica a continuación:

Tabla 6. Variables para la mecánica del incendio.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	VARIABLE
Velocidad de producción de humo (intensidad)	En un incendio es aproximadamente igual a la cantidad de aire que arrastra la pluma.	Corresponde a la emisión de contaminantes en la ecuación de dispersión de Gauss.
Calor total desprendido	Este calor se da en el flashover o transición rápida del incendio es decir cuando ya están implicados todos los combustibles existentes en el recinto se supone que el recinto se ha calentado previamente (inicio de la llama) y se asumen que este punto se obtiene aproximadamente a los 500°C.	Se utiliza en el cálculo de altura de la llama, en el cálculo del origen virtual e hipotético y en el cálculo de la temperatura de salida del gas.

Distancia del origen virtual del incendio a la parte inferior de la capa de humo	Es la distancia correspondiente a la suma del origen virtual hipotético más la altura de la llama.	Se utiliza en el cálculo de la producción de humo.
Diámetro de la superficie que se quema (efectivo)	Es el diámetro efectivo que contiene llama. Como no es un área regular se calcula mediante la relación $2 \times (\text{superficie del incendio}/\pi)^{1/2}$.	Se utiliza en los cálculos: altura de la llama y del origen virtual hipotético.
Origen virtual hipotético	Es el lugar o altura en la que se podría establecer un punto que fuera el origen del fuego en cuestión.	Se utiliza para calcular el diámetro de la superficie que se quema (efectivo).
Altura de la llama	Es la altura promedio y se calcula mediante la fórmula de Heskested.	Se utiliza para calcular la distancia del origen virtual del incendio a la parte inferior de la capa de humo.
Temperatura de la Salida del gas	Es la temperatura a la cual sale el gas. Para este caso se midió experimentalmente obteniendo un valor entre 30 y 40 grados Centígrados. Fuente: Oscar Rodríguez. Jefe de Laboratorio Industria Agroquímica.	Se utiliza en la ecuación de la sobre elevación de la pluma.
Velocidad de salida del gas	Este valor corresponde a la velocidad lineal de ascenso del gas. Esta variable se calculó experimentalmente obteniendo entre 0.1 y 0.3 m/s. Fuente: Oscar Rodríguez. Jefe de Laboratorio Industria Agroquímica.	Se utiliza en la ecuación de la sobre elevación de la pluma.

El Autor.

Finalmente se citan las características propias del lugar con el fin de contemplar la totalidad de las variables que intervienen en el proyecto:

Tabla 7. Características del lugar.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	VARIABLE
Velocidad del viento	Esta velocidad fue obtenida de la rosa de los vientos de la estación de Fontibón 3 m/s aprox.	Se utiliza en la ecuación de sobre elevación de la pluma.
Presión	Es la presión atmosférica del lugar donde se encuentra la bodega, para este ejemplo se toma la base de 560 mmHg.	
Temperatura Ambiente	Se toma la temperatura ambiente que es muy cercana a la temperatura promedio del lugar donde se encuentra la bodega, 13 °C.	

El Autor.

6.3 DISEÑO DEL SOFTWARE

El modelo fue diseñado en dos fases:

6.3.1 Fase de mecánica de incendios.

En ésta se analizaron las ecuaciones de “Mecánica de Incendios” con el fin de modelar el fenómeno para calcular la Velocidad de Producción de Humo.

Para tal fin se utilizaron las siguientes ecuaciones de acuerdo a la bibliografía mencionada:

$$1. \quad Q = 610 \left[\left(\frac{k}{\delta} \right) A_s A_v \sqrt{h_v} \right]^{1/2}$$

Q = Calor total desprendido

Es el calor total en kW de la reacción, la fórmula planteada involucra variables conocidas propias de la estructura física del recinto como son:

k = conductividad térmica de los materiales del recinto [(kW/m)/K]: Para este caso se tomó la conductividad térmica del ladrillo macizo que es 0.0008 kW/m.K.

δ = espesor del material del recinto (m): Se tomaron 0.16m de espesor del ladrillo que conforma las paredes del recinto.

A_s = superficie total del recinto, excluida la ventilación (m²): La superficie total del recinto está conformada por el área de las paredes más la del techo y piso, a este valor se le resta la superficie de ventilación.

A_v = superficie de la ventilación (m²): Esta superficie está conformada por el agujero producto de la caída del techo, el cual se asumió como un 20% del área total del techo inconcordancia con el área del incendio que se mencionará más adelante, es decir Largo por Ancho de la bodega por 0.2, y a eso se le añaden las ventilaciones naturales (área de las ventanas).

h_v = altura de la ventilación (m): Esta altura corresponde a la altura de la bodega promediada con la altura de la ventilación natural (ventanas), porque el área de mayor ingreso de oxígeno es el área desprovista de techo.

$$2. \quad L = -1.02D + 0.23Q^{2/5}$$

L= altura media de la llama (en m): Se utilizó esta ecuación porque no se obtuvo un valor confiable al calcular la consta N (N=0); que contiene datos más específicos del lugar tales como densidad y calor específico del aire, temperatura

del lugar, gravedad y calor de combustión. En cambio se usó la ecuación mostrada que asume el parámetro $\frac{\Delta h_c}{r_s}$ como 3100 kJ/kg a 1 atm y 293 °K para poder simplificar la ecuación además de obtener un resultado más real.

D= diámetro de la fuente del incendio (en m): Es el diámetro efectivo porque la combustión no se dá formando un área regular, entonces se utilizó la siguiente ecuación para este cálculo:

$D = 2 \left(\frac{A_f}{\pi} \right)^{1/2}$ donde el área del incendio (A_f) se aproximó al 20% de la superficie (Piso) de la bodega.

Q = Calor total desprendido (kW).

$$3. \quad Z_0 = -1.02D + 0.083Q^{2/5}$$

Z0= posición del origen virtual del fuego (m): Esta es una variable necesaria para obtener la velocidad de producción de humo, sus componentes diámetro de la superficie que se quema y Calor total desprendido ya se han explicado anteriormente.

$$4. \quad m_s = 0.18Q^{1/3} Q_\infty^{2/3} C_p^{-1/3} T_\infty^{-1/3} g^{1/3} Y^{5/3}$$

ms= velocidad de producción del humo (kg/s): Esta variable es indispensable para el modelamiento de dispersión de gauss ya que se toma como una entrada del mismo.

Q^∞ = densidad del aire (kg/m^3): La densidad de aire se calculó con 13°C , 560 mmHg y una humedad relativa del 40% con lo que se obtuvo $0.98 \text{ kg}/\text{m}^3$.

C_p = calor específico del aire a presión constante $[(\text{kJ}/\text{kg})/\text{K}]$: Se tomó 1 a presión constante porque no se logró obtener el método de corrección por Temperatura, pero se sabe que la variación es del orden de las milésimas con 13°C .

T^∞ = temperatura ambiente del gas ($^\circ\text{K}$): 293

g = aceleración de la gravedad (m/s^2): 9.81

Y = distancia del origen virtual del incendio a la parte inferior de la capa de humo (m): Esta distancia se calcula sumando la distancia del origen virtual más la altura promedio de la llama.

Q = Calor total desprendido (kW).

$$5. \quad t = 60 \left[\frac{L_f}{\sqrt{A_s A_v}} \right]$$

t = duración del incendio (s): Este dato no interviene en la modelación de gauss pero sirve como información al usuario.

A_s = área de las superficies inferiores de la habitación, excluidas de ventilación (m^2).

A_v = superficie de ventilación (m^2).

L_f = peso de madera equivalente (kg): Corresponde a la cantidad de madera que generaría la misma capacidad calorífica que la cantidad de solvente presente en el

incendio. La cantidad de solvente es el 60% del total del peso de los productos porque la formulación de los mismos así lo indica, entonces: Kilogramos de Xileno x 40.83 = Calor de combustión total de Xileno en MJ. Calor de combustión total de Xileno en MJ / 18.8 = kg de madera.

6.3.2 Fase de modelación de dispersión de gauss.

De las ecuaciones de incendios se obtuvo la velocidad de producción de humo equivalente a Q en la ecuación de dispersión.

$$C = \left(\frac{Q}{2\pi y z u} \right) e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Y}{y} \right)^2 \right]} \left\{ e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z-H+h}{z} \right)^2 \right]} + e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{Z+H+h}{z} \right)^2 \right]} \right\}$$

La velocidad del viento corresponde a la velocidad promedio de la zona, acorde con los datos de la rosa de vientos de la estación de monitoreo de calidad de aire de Fontibón. No tiene corrección por altura pero es la velocidad más utilizada al momento de ejecutar modelamientos con la ecuación de gauss.

Los coeficientes de dispersión lateral y vertical σ_y y σ_z respectivamente se calcularon mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma_y = aX^{0.894} \quad \sigma_z = cX^d + f$$

Con la siguiente tabla de constantes:

Tabla 8. Coeficientes para dispersión.

TABLA COEFICIENTES PARA SIGMA y,z							
	a	c	d	f	c	d	f
A	213	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2
C	104	61	0.911	0	61	0.911	0
D	68	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13
E	50.5	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34
F	34	14.35	0.704	-0.35	62.6	0.18	-48.6
PARA X > 1000 METROS					459.7	2.094	-9.6

www.shodor.org/cas/gaussian.html

La sobreelevación de la pluma fue calculada mediante la siguiente ecuación:

$$h = \left(\frac{Vd}{u} \right) [1.5 + 0.00268P(Ts - Ta)d / Ts]$$

Donde la presión (P), la temperatura ambiente (Ta), el diámetro (d), y la velocidad del viento son variables acorde al sitio y fueron ya mencionadas; la velocidad de salida del gas (V), se asumió como 0.2m/s y la Temperatura de salida del gas se aproximó experimentalmente en laboratorio simulando la combustión de 200mL de Mancoljap 430 y midiendo la temperatura del humo que producía.

6.3.3 Fase de calculo del agua de extinción.

El impacto al recurso agua sólo se evidenció en el cálculo de la cantidad de agua invertida en apagar el incendio y el agua residual que queda contenida en la bodega. El agua residual es un residuo peligroso por haber estado en contacto con plaguicidas luego debe disponerse como tal, es decir por medio de incineración. Para tal efecto se utilizó la siguiente relación:

Agua requerida para extinción: $\frac{\text{CALOR DE COMBUSTIÓN DEL XILENO x KILOS DE XILENO}}{\text{CALOR LATENTE DE VAPORIZACION DEL AGUA}}$

Agua residual: Se asume que el 7% del agua usada para extinción queda contenida en la bodega.

6.4 USO DEL SOFTWARE

Se comienza con la alimentación de las variables de entrada:

En la Pestaña Bodega:

1. Dimensiones de la Bodega.
 - a. Largo
 - b. Ancho
 - c. Alto
2. Producto Almacenado.
 - a. Selección del producto que se encuentra en la bodega en kilogramos. Esta base de datos va aumentando con el fin de abarcar mayor número de productos y enriquecer el software.
3. Área de Ventilación.
 - a. Área total de ventilación natural. Es la sumatoria del área de todas las aberturas utilizadas para ventilación (Ventanas).
 - b. Altura de las aberturas de ventilación. Si se tienen diferentes alturas se utiliza el promedio.

Figura 9. Datos de la Bodega

DATOS DE LA BODEGA

DIMENSIONES

Metros

LARGO :

ANCHO :

ALTO :

PRODUCTO ALMACENADO

Chlorpyrifos Cantidad en kg

Propiconazole Cantidad en kg

Mancozeb Cantidad en kg

AREA DE VENTILACION

AREA TOTAL DE VENTILACION NATURAL (VENTANAS) EN m²

ALTURA DE LAS ABERTURAS DE VENTILACION (VENTANAS) EN m

SIGUIENTE SALIR

El Autor.

En la pestaña Meteorología:

4. Temperatura. Temperatura del ambiente en °C.
5. Presión. Presión atmosférica del lugar en mmHg.
6. Velocidad del Viento. En m/s.
7. Estabilidad Atmosférica. Indicar la estabilidad Atmosférica de acuerdo con la tabla que allí se presenta.

Figura 10. Datos Meteorológicos

DATOS METEOROLOGICOS

TEMPERATURA

TEMPERATURA AMBIENTE PROMEDIO EN GRADOS CENTIGRADOS (°C):

PRESION

PRESION ATMOSFERICA EN MILIMETROS DE MERCURIO (mmHg):

VIENTO

VELOCIDAD DEL VIENTO EN METROS POR SEGUNDO (m/s):

ESTABILIDAD ATMOSFERICA

LETRA CORRESPONDIENTE A LA ESTABILIDAD SEGUN LA TABLA

Velocidad superior del viento (m/s)	Intensidad de nubes			Humedad relativa (%)	
	Puente (0)	Moderada (C)	Leve (00)	Húmeda (> 40)	Clara (< 30)
< 2	A	A-B (E)	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
> 6	D	D	D	D	D

ATRÁS
VER RESULTADO
SALIR

El Autor.

En la pestaña Informe se visualizan los datos tanto de entrada como de salida, la máxima concentración y sus respectivas distancias en x, y, z. Los cálculos se efectúan para dos valores de z: 1.5metros y 3 metros.

Figura 11. Informe.

INFORME

Velocidad de producción de humo	<input type="text"/>	g/s
Calor total desprendido	<input type="text"/>	kW
Conductividad térmica del material de la superficie del recinto	<input type="text"/>	(kW/m)/°K
Espesor del material del recinto	<input type="text"/>	m
Superficie total del recinto excepto la zona de ventilación (El porcentaje de techo desprendido es la mayor área de ventilación)	<input type="text"/>	m ²
Diámetro Efectivo de la superficie que se quema	<input type="text"/>	m
Superficie del incendio	<input type="text"/>	m ²
Altura de la fuente sobre el nivel del suelo	<input type="text"/>	m
Velocidad de salida del gas (Experimental)	<input type="text"/>	m/s
Diámetro de la chimenea (Hipotética)	<input type="text"/>	m
Altura de la fuente emisora (Bodega)	<input type="text"/>	m
Presión	<input type="text"/>	mmHg
Temperatura de salida del gas (Experimental)	<input type="text"/>	K
Temperatura ambiente	<input type="text"/>	K
Velocidad del viento (Promedio para la zona)	<input type="text"/>	m/s
Agua requerida para extinción	<input type="text"/>	L
Agua residual contenida en la bodega al final del incendio (Aprox.)	<input type="text"/>	L

MAXIMA CONCENTRACION A 1.5 METROS DE ALTURA	<input type="text"/>	µg / m ³	MAXIMA CONCENTRACION A 3 METROS DE ALTURA	<input type="text"/>	µg / m ³
DISTANCIA EN X	<input type="text"/>	m	DISTANCIA EN X	<input type="text"/>	m
AMPLITUD EN Y	<input type="text"/>	m	AMPLITUD EN Y	<input type="text"/>	m
ALTURA	<input type="text"/>	m	ALTURA	<input type="text"/>	m

CONTAMINANTE	RESULTADO (µg / m ³)	IDLH (µg / m ³)	CALIDAD AIRE (µg / m ³)/hora	CALIFICACION
CO		1716668.03	40000	
	A 3 METROS			
NOx		188016.022	320	
	A 3 METROS			
SOx		138968.364	1300	
	A 3 METROS			
HNC		55178.6152	-	
	A 3 METROS			

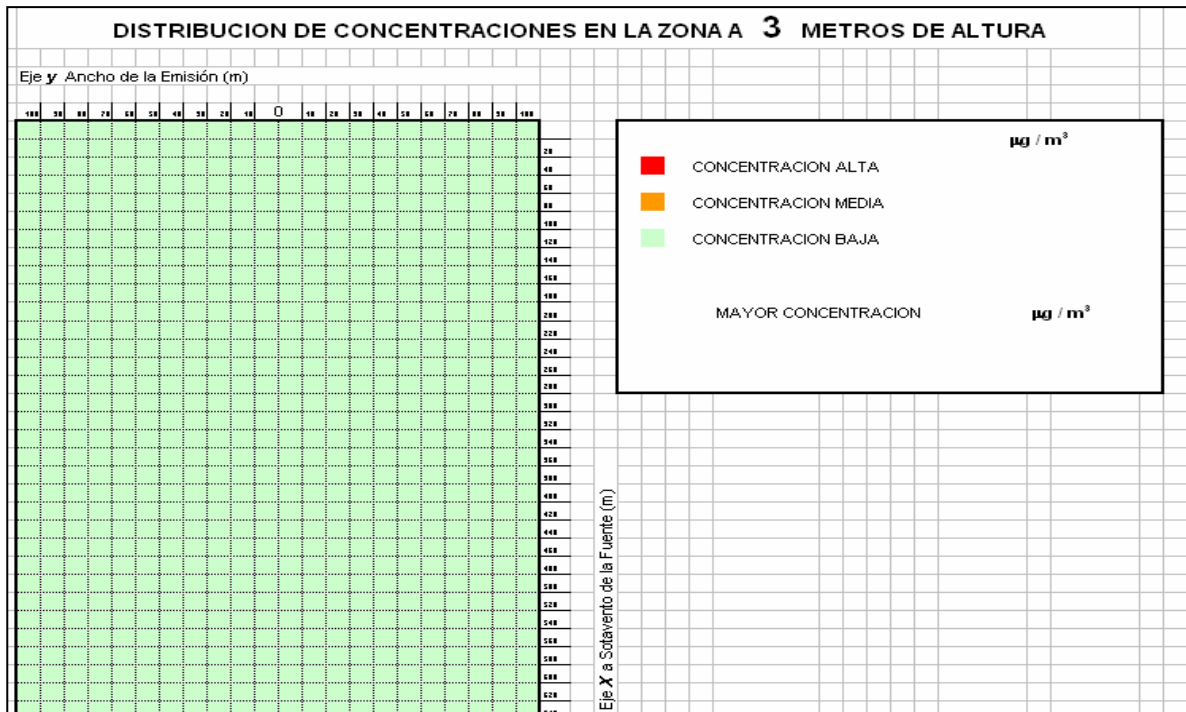
- ALTO - LETAL
- MEDIO - NOCIVO AL AMBIENTE
- BAJO

$$C[\mu\text{g} / \text{m}^3] = \frac{C[\text{ppm}] \times PM}{24.466} \cdot 10^3$$

El Autor.

En la pestaña Gráfico se visualiza un plano donde se distribuyen las concentraciones en la zona. Las columnas corresponden al ancho de la pluma “y”, y las filas corresponden a las distancias a sotavento de la fuente “x”.

Figura 12. Plano de Distribución.



El Autor.

La variable de salida es la Concentración en micro gramos por metro cúbico en el punto acorde a la coordenada de entrada. En este plano se toma la concentración más alta y se divide en tres para establecer los rangos bajo, medio y alto especificados con un color distintivo como se muestra en la figura anterior.

7. RESULTADOS

Partiendo de los siguientes datos:

Tabla 9. Datos de entrada

VARIABLE	VALOR
LARGO DE LA BODEGA	15 m
ANCHO DE LA BODEGA	10 m
ALTO DE LA BODEGA	6 m
CANTIDAD DE PRODUCTO (TOTAL)	2000 kg
ÁREA TOTAL DE VENTILACIÓN NATURAL	6 m ²
ALTURA DE LAS ABERTURAS DE VENTILACIÓN	1.3 m
TEMPERATURA	13°C
PRESIÓN	560 mmHg
VELOCIDAD DEL VIENTO	3 m/s
ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA	A

El autor

El modelo arrojó las siguientes características:

Figura 13. Datos internos del modelo.

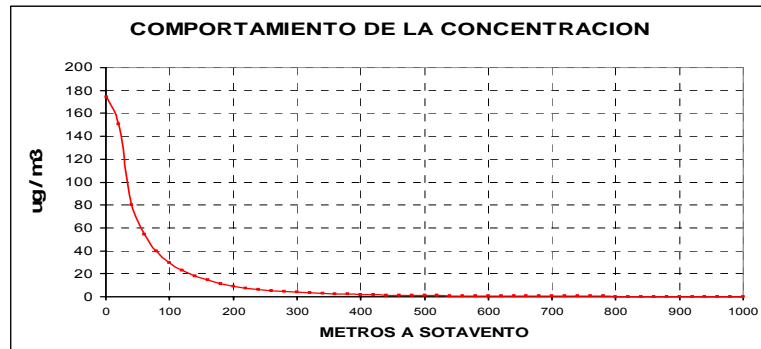
SIMBOLO	VARIABLES MECANICA DE INCENDIO	VALOR	UNIDAD
Q	CALOR TOTAL DESPRENDIDO	47750.8347	kW
h_k	CONDUCTANCIA DEL RECINTO	0.005	(kW/m ²)/K
A _S	AREA DE SUPERFICIES INTERIORES EXCEPTO AREA DE VENTILACION	3114	m ²
A _V	SUPERFICIE DE LA ABERTURA DE VENTILACION	206	m ²
h_v	ALTURA DE LA ABERTURA DE VENTILACION	3.65	m
L	ALTURA DE LAS LLAMAS	-47.82245034	m
Z _o	DISTANCIA AL ORIGEN VIRTUAL	-58.7597402	m
D	DIAMETRO DE LA FUENTE DEL INCENDIO	63.66197724	m
A _I	SUPERFICIE DEL INCENDIO	200	
Q	CALOR TOTAL DESPRENDIDO	47750.8347	kW
m _s	VELOCIDAD DE PRODUCCION DE HUMO	131.855984	kg/s
Q	DESPRENDIMIENTO TOTAL DE CALOR	47750.8347	kW
δ_α	DENSIDAD DEL AIRE	1.2	kg/m ³
C _p	CALOR ESPECIFICO DEL AIRE A PRESION CONSTANTE	1.1	(kJ/kg)/°K
T _∞	TEMPERATURA AMBIENTE	293	°K
g	ACELERACION DE LA GRAVEDAD	9.81	m/s ²
Y	DISTANCIA DEL ORIGEN VIRTUAL A LA PARTE SUPERIOR DE LA LLAMA	10.93728986	m
T	DURACION EQUIVALENTE DEL INCENDIO	0.520630786	min
A _S	AREA DE SUPERFICIES INTERIORES EXCEPTO AREA DE VENTILACION	3114	m ²
A _V	AREA DE SUPERFICIE DE VENTILACION	206	m ²
L _F	PESO DE MADERA EQUIVALENTE	416.987234	kg

	VARIABLES DE DISPERSION DE GAUSS	VALOR	UNIDAD
Q	MASA DE EMISION	131855.984	g / s
U	VELOCIDAD DEL VIENTO	3	m/s
H	ALTURA DE LA CHIMENEA	6	m
H+h	ALTURA DE LA FUENTE SOBRE EL NIVEL DEL SUELO	8.528048	m
V	VELOCIDAD DE SALIDA DEL GAS	0.2	m/s
d	DIAMETRO DE LA CHIMENEA	15	m
P	PRESION ATMOSFERICA	560	mmHg
T _s	TEMPERATURA DE SALIDA DEL GAS	300	°K
T _a	TEMPERATURA AMBIENTE	286.3	°K
z	DISTANCIA SOBRE EL SUELO (OBJETIVO)	1.5 Ó 3	m
x	DISTANCIA EN DIRECCION DEL VIENTO DESDE LA FUENTE (OBJETIVO)	1	m
y	DISTANCIA LATERALMENTE DESDE EL EJE DE LA PLUMA (OBJETIVO)	1	m
σ_y	DISPERSION LATERAL	0.442975394	-
σ_z	DISPERSION VERTICAL	9.270662585	-
	ESTABILIDAD ATMOSFERICA	A	-

H2O	AGUA REQUERIDA PARA EXTINCION	31946.08696	kg
	CALOR DE COMBUSTION DEL XILENO	40.82	MJ/kg
	KILOGRAMOS DE XILENO (FORMULACIÓN: 60% DE SOLVENTE EN CADA PRODUCTO)	1800	kg
	CALOR LATENTE DE VAPORIZACION DEL AGUA	2.3	MJ/kg

El Autor

Figura 14. Informe de resultados.



MAXIMA CONCENTRACION A 1.5 METROS DE ALTURA	<input type="text" value="30.99424"/> $\mu\text{g} / \text{m}^3$	MAXIMA CONCENTRACION A 3 METROS DE ALTURA	<input type="text" value="30.789185"/> $\mu\text{g} / \text{m}^3$
DISTANCIA EN X	<input type="text" value="1"/> m	DISTANCIA EN X	<input type="text" value="1"/> m
AMPLITUD EN Y	<input type="text" value="1"/> m	AMPLITUD EN Y	<input type="text" value="1"/> m
ALTURA	<input type="text" value="1.5"/> m	ALTURA	<input type="text" value="3"/> m

CONTAMINANTE	RESULTADO ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	IDLH ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	CALIDAD AIRE ($\mu\text{g} / \text{m}^3/\text{hora}$)	CALIFICACION
CO	3.719308817	1716668.03	40000	
	A 3 METROS 3.694702216			
NOx	A 15 METROS 7.438617634	188016.022	320	
	A 3 METROS 7.389404433			
SOx	A 15 METROS 3.099424014	138968.364	1300	
	A 3 METROS 3.078918514			
HNC	A 15 METROS 3.099424014	55178.6152	-	
	A 3 METROS 3.078918514			

- ALTO - LETAL
- MEDIO - NOCIVO AL AMBIENTE
- BAJO

$$C[\mu\text{g} / \text{m}^3] = \frac{C[\text{ppm}] \times PM}{24.466} 10^3$$

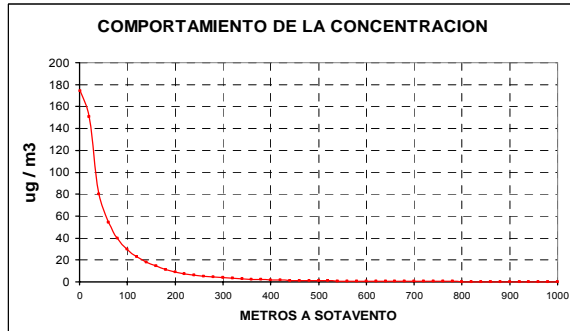
□

El Autor

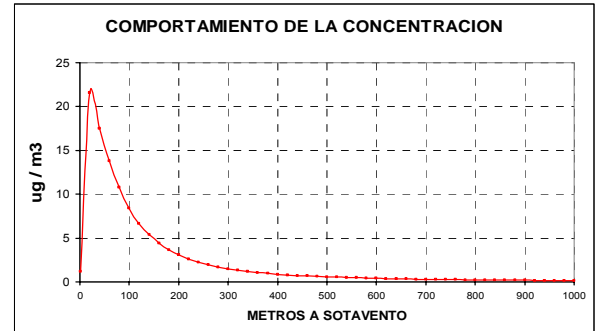
Se puede evidenciar el comportamiento gaussiano (campana) de las concentraciones, aunque esta gráfica muestra la mayor concentración muy cercana a la fuente. La concentración más alta no alcanza a ser perjudicial para el ambiente ni para las personas. La variación de la altura de las llamas da un

resultado erróneo, ya que entrega una altura negativa. Al variar la estabilidad se percibe una disminución en la concentración de contaminantes, y se aprecia el desplazamiento de la curva en el eje x.

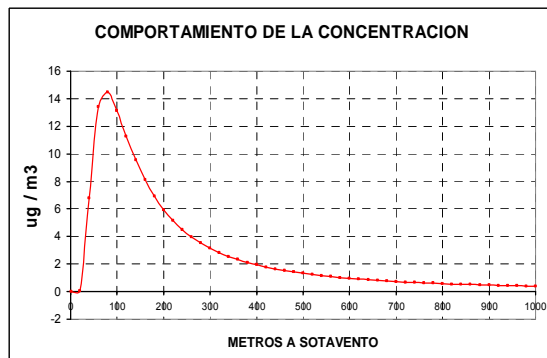
Figura 15. Curvas de variación de estabilidad.



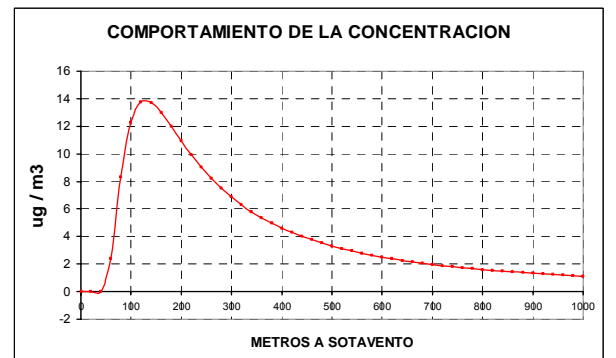
ESTABILIDAD A



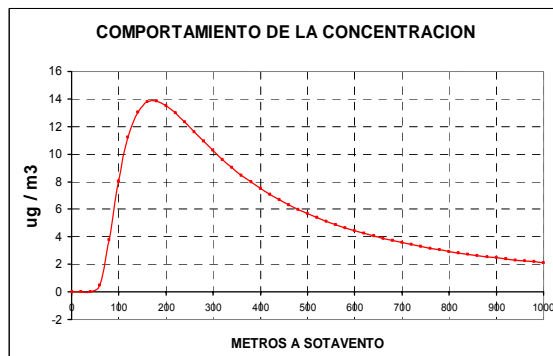
ESTABILIDAD B



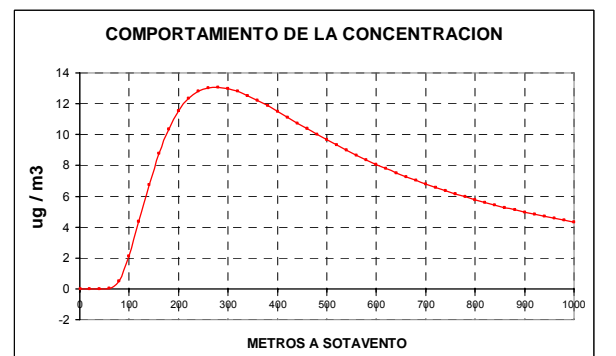
ESTABILIDAD C



ESTABILIDAD D



ESTABILIDAD E



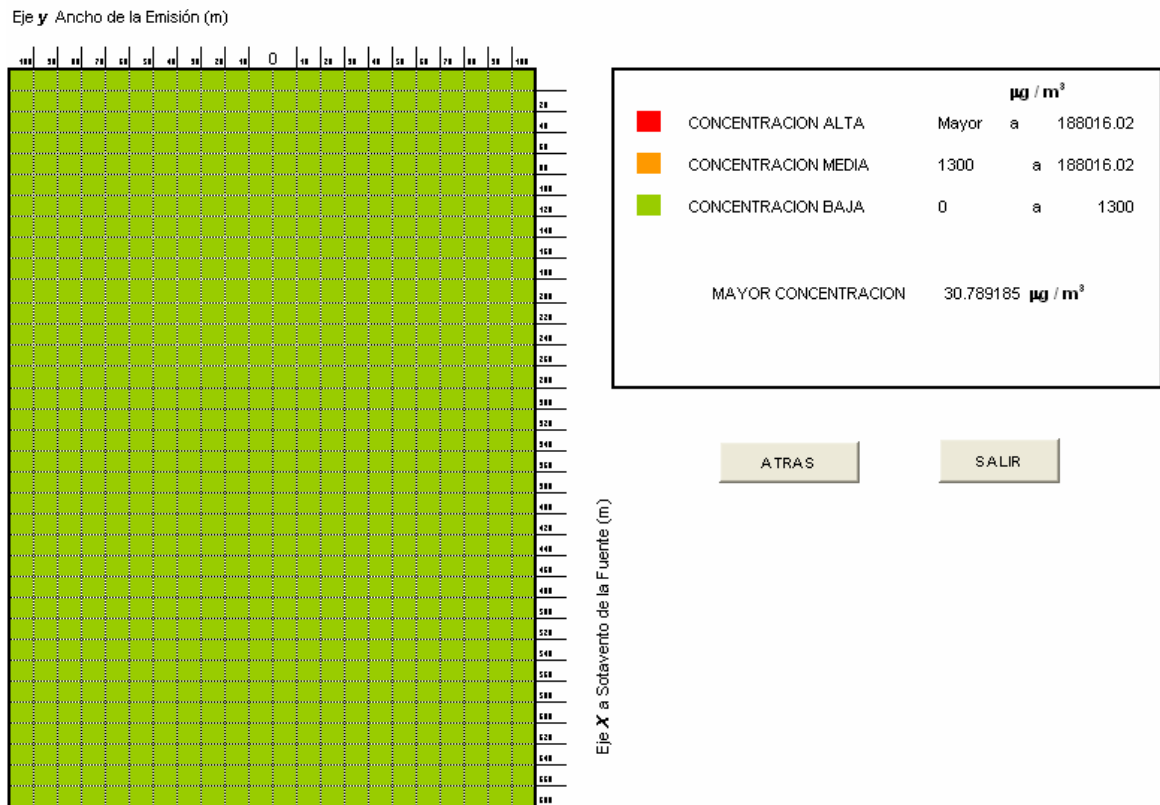
ESTABILIDAD F

El Autor

El plano de dispersión no se modifica con los cambios hechos en las variables de entrada porque la concentración se mantiene por debajo de los niveles nocivos, esto puede verse en la siguiente figura:

Figura 16. Plano de distribución resultante.

DISTRIBUCION DE CONCENTRACIONES EN LA ZONA A 3 METROS DE ALTURA



El Autor.

8. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados que arrojó el software (modelo) se deduce que el presente proyecto presenta una hipótesis negativa ya que no se puede estimar el impacto en la población y en la atmósfera a causa de un incendio en una bodega que almacenen o procese agroquímicos, porque al ejecutar los cálculos sistemáticos la solución de los mismo manifiesta concentraciones muy bajas, es decir, dicho evento no causa algún perjuicio; argumento que carece de certeza si analizamos los estudios que demuestran las lesiones y daños producidos por los humos formados en los incendios.

La posible consecuencia se atribuye a la homologación de las ecuaciones para recintos cerrados a este modelo, dado que no existen estudios para incendios en recintos abiertos, aunque las características del incendio fueron adecuadas para la utilización del modelo de dispersión Gaussiano el comportamiento de los gases no arroja datos confiables.

Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta únicamente el recurso agua al momento de la extinción del incendio, calculando el agua utilizada para tal fin (uso del recurso) y los residuos líquidos peligrosos contenidos en la bodega al final del evento y especificando que las características de peligrosidad que tienen los productos son adoptadas por el agua de extinción sobrante para lo cual hay que llevar a cabo la incineración o disposición adecuada de esos residuos.

En la reacción intervienen los compuestos provenientes de los envases, en este caso polietileno de alta densidad, así como los elementos que hacen parte del techo de la bodega, cuyo aporte no fue incluido en la reacción en razón a que no son combustibles y el cálculo de los contaminantes gaseosos que emiten se torna más complejo, teniendo en cuenta que se desconoce el porcentaje de masa

actuante de dichos elementos, sin embargo esta exclusión genera un grado de inexactitud no establecido en los componentes finales del humo que puede ser despreciado al compararse con el aporte de los productos agroquímicos.

No fue posible calcular de manera exacta la composición final del humo emitido ya que en su formación intervienen variables que afectan los productos y que no se tienen en cuenta como temperatura del sitio (lugar de la reacción), cantidad de O₂ disponible en el aire para la combustión entre otros; por esta razón se hizo necesario el planteamiento de posibles porcentajes de composición de acuerdo a los reactivos límites, para este caso particular carbono, azufre y nitrógeno; de igual manera no pudo definirse el área probablemente impactada porque al obtener concentraciones muy bajas el área se mantiene en el mismo estado inicial sin impacto.

Se identificaron variables ambientales como la contaminación atmosférica, la salud de la población aledaña, el almacenamiento seguro de plaguicidas, los gases nocivos producto de la combustión y sus características para la ejecución del modelo pero pierden su relevancia al momento de obtener los resultados de la modelación porque no se puede calcular el grado de afectación o de incidencia de los mismos, un ejemplo de esto es la pérdida de las características de nocividad de los compuestos del humo al presentarse concentraciones bajas del mismo; o también la pérdida de la importancia de planes de emergencia y contingencia contra incendios ya que no se puede demostrar el impacto negativo que estos generan por medio de este proyecto.

Para el estudio y manejo de las variables se logró diseñar un software que permitió realizar los cálculos pertinentes, aunque éste tuviera deficiencias no en su estructura sino en las variables que lo alimentan y como consecuencia mostrara resultados inciertos que traen como conclusión que las ecuaciones y estudios

utilizados para recintos cerrados no pueden homologarse para calcular variables en recintos abiertos y tampoco se les puede dar uso en estudios de dispersión atmosférica cuando las condiciones físicas de los emisores (chimeneas) distan mucho de las condiciones reales del evento.

La variable que presentó mayor grado de incertidumbre fue la altura de las llamas, esto evidenciado en el hecho de que se obtuvieran valores negativos luego de correr el software, pudiendo ser la causa la salida del rango en la correlación (la ecuación solamente funciona en cierto rango pero no está expresado por el autor). Cabe aclarar que para esta variable se utilizó una ecuación que asumía un valor estándar, según el autor, cuando se usaba a cierta presión y temperatura; porque al desarrollarse la ecuación específica para las condiciones del lugar trabajado, uno de sus términos presentaba nulidad y la hacía dudar más de un resultado coherente.

El hecho de no realizar teóricamente la reacción de combustión por carecer de datos suficientes de los compuestos agroquímicos (calor de combustión por ejemplo) impidió tener un valor base del Calor de Combustión Total del incendio para compararlo con el valor que se obtiene al calcular solamente con datos del recinto (con base a estadísticas) sin intervención de conceptos químicos, aún más cuando ese dato interviene en el 80% de las ecuaciones multiplicando el error.

En el desarrollo del proyecto se calcularon los coeficientes de dispersión y la sobreelevación de la pluma por dos métodos diferentes descartando un fallo en la ecuación de dispersión de Gauss, además se tuvieron en cuenta las limitaciones tales como la no reacción en los componentes del humo, el alcance máximo de 50 km de la fórmula de dispersión y la no inclusión de más variables como obstáculos en el terreno; esto conduce una vez más a la incompatibilidad de las entradas de la mecánica de incendios con el desarrollo de la dispersión.

No pudo establecerse el rango de validez del modelo porque no se encontraron parámetros de comparación para saber cuando se tenían valores aproximados a la realidad y cuando el modelo se desfasaba de la misma. Hay que añadir la falta de documentación técnica sobre el modelamiento de incendios; existe teoría únicamente para incendios en recintos cerrados y no se dispone de mediciones experimentales para comparar resultados, por esta razón no se logró profundizar en el funcionamiento o reemplazo de las ecuaciones.

9. RECOMENDACIONES

Para este modelo es necesario aumentar la exactitud en el cálculo de la reacción química (combustión) con el fin de conocer un valor más cercano a la realidad; para esto se evidencia el hecho de realizar una combustión a escala con las condiciones ambientales del lugar y determinar las variables calor total de combustión, masa de emisión, velocidad y temperatura de salida del gas.

Para retomar la modelación de incendios, es necesario iniciar con agentes inflamables de los cuales se tenga la mayor cantidad de información posible: calor de combustión, velocidad de pérdida de masa, velocidad de generación de humo, etc., para poder calcular teóricamente mediante principios químicos las variables necesarias para el uso de las ecuaciones disponibles.

Se deben hacer experimentos para validar los resultados teóricos tales como velocidad de salida del gas y velocidad de salida del humo, propiciando condiciones similares a las que se presentarían durante el evento como temperatura, velocidad del viento y otras creando así una base de datos de partida para formular ecuaciones de incendios en recintos abiertos.

Es necesario contar con varias ecuaciones y advertir su rango de validez sobre todo cuando se trata de correlaciones de experimentos empíricos ya que esta es una de las principales fuentes de error que se manifiesta en la obtención de datos alejados de la realidad.

Cuando cierta ecuación se de en condiciones normales, es decir a cierta presión, temperatura o humedad, es necesario conocer el factor corrección por dichas variables para que pueda ser aplicada en el lugar donde se realiza la investigación.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA TEMÁTICA

ARTHUR, E. Cote. Manual de Protección Contra Incendios. Editorial MAPFRE. Edición 17, 1993. p. 2055-2058.

MCFARLAND, H. N. Respiratory Toxicology. Seáis in Toxicology Vol. 7. Cap. 5. W. Hayes Jr, Editorial Academia Press, San Diego 1976. p. 121-154.

ALEXEEFF, G.V. and Packham, S.C. Evaluation of Smoke Toxicity Using Concentration Time Products. Journal of Fire Science, Vol 2 1984. p. 362-379.

NFPA 325M, Properties of Flammable Liquids, Gases, Solids.

NFPA 49, Hazardous Chemicals Data.

NFPA 471, Recommended Practice for Responding to Hazardous Materials Incidents.

NFPA 472, Standard for Professional Competence of Responders to Hazardous Materials Incidents.

NFPA 491M, Manual of Hazardous Chemical Reactions.

NFPA 704, Standard System for the Identification of Fire Hazards of Materials.

NFPA 258, Determining Smoke Generation of Solid Materials.

The e-Pesticide Manual (3). Copyright © 2003 BCPC (British Crop Protection Council).

BIBLIOGRAFÍA PARTICULAR

WARK, Kenneth & Cecil F. Warner. Contaminación del Aire. Origen y Control. Editorial Limusa, México. 1994.

HESKESTAD, G., "Virtual Origins of FIRE Plumes," FIRE Safety Journal, Vol. 11, No. 53, 1983.

ZUKOSKI, E. E., "Development of a Stratified Ceiling Layer in the Early Stages of a Closed-Room FIRE" FIRE and materials, vol. 2, 1978.

MCCAFFREY, B.J, PURELY Buoyant Difusión Flames. "Some Experimental Results" NBSIR 79-1910, Nacional Bureo of Standadrs, Gaithersburg, MD, 1979.

CANTER, Larry. Manual de evaluación de impacto ambiental. Mc Graw Hill. 1998.

BUTCHER, E. G. and Parnell, A. C. Smoke Control in Fire Safety Desing, E and F.N. Spon, London, England, 1979.

BIBLIOGRAFÍA METODOLÓGICA

LOPEZ. ARTURO ELIZONDO. Metodología de la investigación ambiental. Tercera Edición. Thomson. 2002.

MENDEZ A., CARLOS E. Guía para elaborar diseños de investigación en ciencias ambientales y de la salud. Editorial Mc Graw Hill. Bogotá: 1998.

HESSEN., JOHANNES. Teoría del conocimiento. Editorial Panamericana. Bogotá: 1994.

INFOGRAFÍA

Clasificación y Tipo de Contaminantes Atmosféricos. Disponible: <http://www.fisicaysociedad.es/fys/ca/pdfs/2RClasificacion.pdf> Visitada enero de 2005.

Dispersión de contaminantes en la atmósfera. Modelos de Dispersión. Capítulo. Disponible: http://www.fi.uba.ar/dep_doc/77/Seguridad%20de%20Procesos%20-%20Capitulo3.pdf Visitada enero de 2005.

British Crop Protection Council <http://www.bcpc.org/epm> Visitada febrero de 2005.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, División de Toxicología, 1600 Clifton Road NE, Mailstop F-32, Atlanta, GA 30333. http://www.atsdr.gov/es/en_español Visitada marzo de 2005.

ANEXO B. ROSA DE LOS VIENTOS

Rosa de vientos - Hilandería Fontibón. 01/06/2001 a 30/06/2001

Datos Medias Horarias

Número de Datos : 716

