



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA



Tema: Elaboración de un sistema contra incendios considerando el uso de agua diluido con ignífugo inorgánico (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) utilizando la herramienta CFAST en el área de producción de Industrias Licoreras Asociadas (ILA).

Trabajo de Titulación, modalidad Sistematización de Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, previo a la obtención del Título de Ingeniera Bioquímica, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología

Autor: Jessica Paola Pérez Aldas

Tutora: Ing. Mg. Dolores del Rocío Robalino Martínez

Ambato-Ecuador

Septiembre - 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. Mg. Dolores del Roció Robalino Martínez

CERTIFICA

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad Sistematización de Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, el mismo que corresponde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Ambato, 16 de Julio del 2021

Ing. Mg. Dolores del Roció Robalino Martínez

C.I. 1801769488

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pérez Aldas Jessica Paola, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, modalidad Sistematización de Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, previo a la obtención del título de Ingeniera Bioquímica, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Pérez Aldas Jessica Paola

C.I. 1804334504

AUTOR

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación modalidad Sistematización de Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología de la Universidad Técnica de Ambato

Para constancia firman:

Presidente del Tribunal

Ing. Mg. Jeanette Verónica Carrera Cevallos

C.I. 1716192271

Mg. Lander Vinicio Pérez Aldas

C.I. 180270659-6

Ambato, 16 de Agosto del 2021

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, como documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.



Pérez Aldas Jessica Paola

C.I.: 1804334504

AUTORA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por regalarme los mejores padres Franklin y Margot, unos hijos maravillosos Nicolas y Mayla, ellos son mi complemento y el motivo de superación y soporte cada día, sin ustedes nada sería genial.

A mi esposo Israel que a pesar de esos escasos momentos que pasamos juntos a tenido paciencia y me ha motivado en mi superación personal.

A mis hermanos Fer, Karen, Roberto, Mateo, por cuidar de mis pequeños en los momentos que más necesitaba de su apoyo.

A mi tutor Ing. Manolo Córdova por la paciencia, el tiempo y todos los conocimientos compartidos que me ayudaron a culminar este trabajo.

A mi tutora Ing. Dolores Robalino que sin dudar confió en mí y me ayudo en la culminación del proceso de titulación.

Al Ing. Luis le agradezco su tiempo, su paciencia, su ayuda brindada en la realización de este proyecto, gracias por sus conocimientos impartidos, por sus consejos, por creer en mí, por ser un verdadero amigo.

Al Ing. Wilson Santana de Industrias Licoreras y Asociados “ILA” S.A. por permitir el uso de sus instalaciones para el desarrollo de mi proyecto de Tesis.

A mis amigos, los que están y los que se fueron, podría decir que junto a ustedes la universidad fue una de las mejores etapas de mi vida.

A la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Carrera de Ingeniería Bioquímica, por impartir su conocimientos y brindarme las herramientas necesarias para mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Contenido

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DERECHOS DE AUTOR	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPITULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Fuego	2
1.1.1.1. Tetraedro y triángulo del fuego.....	3
1.1.2. Transferencia de calor.....	4
1.1.2.1. Índice de liberación de calor (HRR)	5
1.1.3. Combustión	6
1.1.3.1. Combustión de líquidos.....	7
1.1.4. Incendio	8
1.1.4.1. Fases de un incendio	8
1.1.5. Humo	10
1.1.5.1. Formación de humo	11

1.1.6.	Sistema contra incendios	11
1.1.6.1.	Sistema automático de rociadores de agua	13
1.1.6.2.	Rociadores	14
1.1.7.	Ignífugo inorgánico.....	15
1.1.8.	Normativa	17
1.1.9.	CFAST	17
1.2.	Hipótesis	19
1.2.1.	Hipótesis nula	19
1.2.2.	Hipótesis alternativa	19
1.2.3.	Señalización de las variables de la hipótesis	19
1.2.3.1.	Variables dependientes	19
1.2.3.2.	Variables independientes	19
1.3.	Objetivos	20
1.3.1.	Objetivo general.....	20
1.3.2.	Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II		21
METODOLOGÍA.		21
2.1.	Materiales.....	21
2.2.	Métodos	21
2.2.1.	Determinación de las condiciones de Extinción por agua	21
2.2.2.	Determinación del área total y del área de operación (ILA).....	21
2.2.3.	Categorización del riesgo en el sector del incendio.....	22
2.2.4.	Determinación de la superficie máxima de cobertura de los rociadores. ...	22
2.2.5.	Determinación del caudal total de rociadores.....	22
2.2.6.	Cálculo del número de rociadores	23
2.2.7.	Cálculo de la presión del rociador	23
2.2.8.	Determinación del diámetro de la tubería.....	23
2.2.9.	Determinación del volumen de agua para la fuente de abastecimiento	23
2.2.10.	Adición del ignifugo	24
2.2.11.	Simulación CFAST	25
2.2.11.1.	Determinación de parámetros a simular (Simulation)	25

2.2.11.2.	Determinación de propiedades térmicas de materiales para pisos, techos, paredes (Thermal Properties)	25
2.2.11.3.	Compartimentos a simular en CFAST (Compartments).....	25
2.2.11.4.	Ubicación de aperturas de ventilación sobre pared (Wall Vents).....	26
2.2.11.5.	Fuego (Fires).....	26
2.2.11.6.	Determinación del sistema de detección y supresión (Detection/Suppression) 27	
CAPÍTULO III.....		28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		28
3.1.	Análisis y discusión de los resultados.....	28
3.3.1.	Simulación con CFAST	30
3.3.1.1.	Parámetros de simulación	30
3.3.1.2.	Propiedades térmicas	31
3.3.1.3.	Compartments.....	31
3.3.1.4.	Wall vents	32
3.3.1.5.	Fires	35
3.3.1.6.	Detection/Suppression.....	36
3.3.1.7.	Simulación	39
3.2.	Verificación de hipótesis	42
CAPITULO IV		43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		43
4.1.	Conclusiones.....	43
4.2.	Recomendaciones	44
MATERIALES DE REFERENCIA		45
ANEXOS		49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del fuego.....	12
Tabla 2. Cálculo de superficie de rociadores.	28
Tabla 3. Condiciones para el sistema hidráulico ILA	29
Tabla 4. Tiempo de simulación.....	30
Tabla 5. Condiciones de simulación internas y externas	30
Tabla 6. Propiedades térmicas.....	31
Tabla 7. Dimensiones de los compartimentos.....	32
Tabla 8. Posiciones de las aperturas en el plano	33
Tabla 9. Materiales ILA	35
Tabla 10. Superficie de rociadores.....	37
Tabla 11. Tiempo de activación de los sprinkers	38
Tabla 12. Resultados de la simulación.....	40
Tabla 13. Clasificación y características de las ocupaciones de Riesgos.	49
Tabla 14. Superficie máxima y separación para rociadores.....	50
Tabla 15. Tipos de rociadores y factores K para diferentes tipos de riesgo.....	50
Tabla 16. Criterios de diseño para RL, RO, REP.....	51
Tabla 17. Diámetros mínimos de tubo	51
Tabla 18. Requisitos para demanda de chorros de mangueras y duración del suministro de agua para un sistema de rociadores diseñado hidráulicamente.	52
Tabla 19. Propiedades de paquetes constructivos.	52
Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales de construcción.	55
Tabla 21. Poder calorífico	58
Tabla 22. Tabulación de tuberías para riesgo ordinario	58
Tabla 24. CURVA HRR ETANOL	61
Tabla 25 . CURVA HRR ETANOL + IGNIFUGO (Al(OH) ₃)	62
Tabla 26. CURVA HRR ETANOL + IGNIFUGO (Al(OH) ₃)	62
Tabla 27. CURVA HRR ETANOL + IGNIFUGO (Mg(OH) ₂).....	63
Tabla 28. CURVA HRR BARRIL DE MADERA	64

Tabla 29. BARRIL DE MADERA + IGNIFUGO ($\text{Al}(\text{OH})_3$)	64
Tabla 30. CURVA HRR BARRIL DE MADERA + IGNIFUGO ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)	65
Tabla 31. CURVA HRR SILLA TAPIZADA	66
Tabla 32. CURVA HRR SILLA TAPIZADA + IGNIFUGO ($\text{Al}(\text{OH})_3$)	66
Tabla 33. CURVA HRR SILLA TAPIZADA + IGNIFUGO ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tetraedro de fuego (Arce, 2015).	3
Figura 2. Proceso de combustión en líquidos (Cárcamo, 2007).	7
Figura 3. Desarrollo de un incendio de interior en función del tiempo y la temperatura (Basset, 2016).....	10
Figura 4. Elementos principales de una instalación de rociadores (Norma Española UNE-EN 12845, 2016).....	13
Figura 5. Dimensiones y características de un rociador (Mayer et al., 2010).....	14
Figura 6. Esquema de la acción de un retardante inorgánico (Gonzales, 2009).	16
Figura 7. Modelo de zona, CFAST(Peacock et al., 2005)	18
Figura 8. A. visualización de los compartimentos. B. 1. Vestidores 2. Operación 3. Bodega 4. Envasadora.....	32
Figura 9. Aperturas de ventilación (puertas y ventanas).....	34
Figura 10. Distribución de los rociadores en ILA.....	36
Figura 11. Ubicación de los rociadores activados.....	38
Figura 12. Desarrollo del incendio ILA	41
Figura 13. Separación para rociadores de techo.....	59
Figura 14. CURVA HRR ETANOL.....	61
Figura 15. CURVA HRR ETANOL + IGNIFUGO (Mg(OH) ₂)	63
Figura 16. CURVA HRR BARRIL DE MADERA.....	64
Figura 17. CURVA HRR BARRIL DE MADERA + IGNIFUGO (Al(OH) ₃)	65
Figura 18. CURVA HRR BARRIL DE MADERA + IGNIFUGO (Mg(OH) ₂).....	65
Figura 19. CURVA HRR SILLA TAPIZADA.....	66
Figura 20. CURVA HRR SILLA TAPIZADA + IGNIFUGO (Al(OH) ₃)	67
Figura 21. CURVA HRR SILLA TAPIZADA + IGNIFUGO (Mg(OH) ₂).....	67

RESUMEN

Un sistema contra incendios minimiza los efectos producidos por el fuego. Salvaguarda la vida de las personas y disminuye los daños en la infraestructura. En la actualidad existen softwares especializados que simulan incendios. Permiten modificar las condiciones del fuego, y observar los daños producidos por el mismo, sin afectar a personas o influir en los daños materiales. El diseño del sistema contra incendios para la planta de producción de la empresa Industrias Licoreras y Asociados (ILA). Se realizó en base a las normas NFPA13 (Norma para la Instalación de Sistemas de Rociadores) y UNE EN 12845: 2016 (Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento). Para la simulación de ILA se añadió condiciones experimentales, como variaciones de temperatura y de tiempos simulación, además se calculó el área de superficie de los rociadores en el área de operación de la planta, contará con un área para 30 rociadores y son necesarios 8 para el control del incendio simulado. Se realizó también simulaciones con la adición de ignífugos (hidróxido de aluminio e hidróxido de magnesio) que presentaron resultados favorables en cuanto a la disminución del tiempo de desarrollo de incendio. El ignífugo con mayor eficacia fue el de hidróxido de aluminio, disminuyendo en un 30 por ciento el tiempo de extinción del incendio. Los resultados fueron comparados con otras experimentaciones llegando a las mismas conclusiones donde los ignífugos disminuyen los incendios.

Palabras clave: Seguridad Industrial, CFAST, ignífugos inorgánicos, incendios, rociadores contra incendios (sprinklers), ILA

ABSTRACT

A fire protection system minimizes the effects produced by fire. It safeguards people's lives and reduces damage to infrastructure. Nowadays there are specialized softwares that simulate fires. They allow to modify the fire conditions and to observe the damages produced by the fire, without affecting people or influencing the material damages. The design of the fire protection system for the production plant of the company Industrias Licoreras y Asociados (ILA). It was carried out based on NFPA13 (Standard for the Installation of Sprinkler Systems) and UNE EN 12845: 2016 (Fixed firefighting systems. Automatic sprinkler systems. Design, installation and maintenance). For the ILA simulation, experimental conditions were added, such as temperature variations and simulation times, in addition, the surface area of the sprinklers in the area of operation of the plant was calculated, it will have an area for 30 sprinklers and 8 are necessary for the control of the simulated fire. Simulations were also carried out with the addition of flame retardants (alumina hydroxide and magnesium hydroxide), which showed favorable results in terms of reducing the fire development time. The most effective flame retardant was aluminum hydroxide, reducing the fire extinguishing time by 30 percent. The results were compared with other experiments, reaching the same conclusions where fire retardants reduce fires.

Key Words: Industrial Security, CFAST, inorganic flame retardants, fires, fire sprinklers, ILA.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Uno de los problemas mundiales que ha generado preocupación en la sociedad son los incendios. Un incendio, es un fuego no controlado que, al no estar destinado a quemarse en ese lugar, ocasionan daños materiales e irreversibles como la pérdida de seres queridos (Cárcamo, 2007). Los estudios sobre incendios provocados en edificaciones son mínimos, debido al desinterés de las instituciones y al arduo trabajo que conlleva el estudio de este. Al no tener un conocimiento claro y exhaustivo de las circunstancias que desencadenan los incendios, no toman las medidas apropiadas para prevenirlo y su debida extinción, exponiendo su seguridad y más aun de la población (Arguello & Cadena, 2009).

Industrias Licoreras Asociados ILA S.A., es una empresa vinícola licorera, que tiene un gran impacto en la sociedad, por sus nuevas y modernas instalaciones, así como la implementación de su moderna maquinaria para satisfacer el mercado actual. El área de producción es una zona de alto riesgo, por tal motivo es necesario implementar un sistema contra incendios que actúe de manera rápida frente a estas catástrofes, pudiendo así evitar de manera primordial las pérdidas humanas, daños de infraestructura y medio ambiente. ILA S.A, maneja sustancias volátiles que pueden provocar daños irreparables en caso de accidentes, basado en el diagnóstico de la matriz de riesgos y en el reglamento interno de Higiene y Seguridad de la empresa, Wilson Santana como gerente de la empresa solicita, la implementación de un sistema contra incendios para salvaguardar la vida del personal que se encuentra dentro y fuera de las instalaciones (ILA, 1962).

En el reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales en su Artículo 1 del Capítulo 1, establece y define los requisitos que deben satisfacer y las condiciones que deben cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio, evitando su propagación y permitiendo su respuesta adecuada al mismo. Habiendo el caso de producirse tal incendio, limitar su capacidad de propagación y posibilita su extinción (MIES, 2009).

Es fundamental poder realizar estudios preventivos que mitiguen estos efectos mediante el uso de tecnologías avanzadas que permiten realizar simulaciones que previenen dichos incidentes. La herramienta CFAST simula situaciones de incendios sin poner en riesgos la vida, predice las condiciones ambientales en múltiples compartimientos en los que se desarrolla el incendio (Alvear, Rein, Capote, Torero, & Lázaro, 2015).

1.1.1. Fuego

El fuego es un proceso de combustión, donde hay una manifestación energética de la reacción química rápida fuertemente exotérmica de oxidación-reducción. Participa una sustancia combustible que genera calor (reacción exotérmica) y una comburente, sostenida con generación de luz, calor, humo y en muchos casos, si la reacción alcanza una determinada velocidad produce fuego o llama. La palabra “fuego” proviene del latín *focus*, es el calor y la luz producidos por la combustión. La reacción química de oxidación supone la generación de llamas y la emanación de vapor de agua y dióxido de carbono. Siendo el fuego la manifestación visual (llama) del proceso de combustión, la misma que depende del tipo de combustible, cantidad de oxígeno y las características del entorno. La temperatura de combustión depende de la naturaleza de los combustibles, su variación es de los 1039° C en varios alcoholes hasta 1700° C para algunos metales que entran en combustión (Aluminio, magnesio, etc.) (Cuerpo de Bomberos Navarra, 2005; FREMAP, 2015; Grant, 2019; Ramos Rodríguez, 2010).

1.1.1.1. Tetraedro y triángulo del fuego

En el origen del fuego están presentes los siguientes factores: combustible (agente reductor), oxígeno (agente oxidante), calor (energía de activación) y reacción en cadena. Por esta razón el fuego es la combinación rápida, del combustible con el oxígeno. Es preciso que coexistan estos factores, los mismos que forman un tetraedro también denominado tetraedro del fuego (**Figura 1**). El triángulo de fuego se mantuvo durante mucho tiempo, sin embargo, se ha considerado que detrás del frente de llamas existe una serie de especies activas que son responsables de las reacciones químicas que se producen en dicho frente. Por tanto, al triángulo se incorpora el nuevo factor denominado reacción en cadena, formándose el tetraedro. El combustible o agente reductor son sustancias que sufren una rápida oxidación en determinadas condiciones. Están presentes en tres estados físicos de la materia: sólidos (madera, papel, plástico, caucho, entre otros), líquidos (gasolina, thinner, alcohol, entre otros), gases (acetileno, propano, butano, entre otros). Comburente o agente oxidante normalmente el oxígeno. Oxida a un combustible y al hacerlo se reduce así mismo. Energía de activación es la fuente de calor necesario para que el combustible y el comburente actúen, iniciando la combustión. Puede ser de origen: eléctrica, química, mecánica y nuclear (Albornoz et al., 2016; Arce, 2015; Cárcamo, 2007; Cuerpo de Bomberos Navarra, 2005; Mesen et al., 2015; Valladares, 1991).

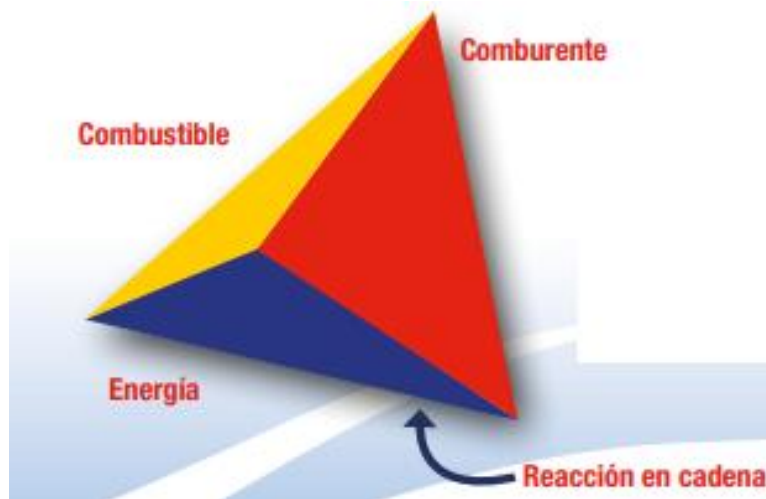


Figura 1. Tetraedro de fuego (Arce, 2015).

1.1.2. Transferencia de calor.

Según **(Incropera & Dewitt, 1999)**, la energía en tránsito debido a una diferencia de temperatura, se la conoce como transferencia de calor, y los diferentes tipos de procesos (conducción, convección y radiación) se los conoce como modos. La transferencia de calor cumple un rol significativo en los procesos de generación de energía. Explica la transferencia de la energía calorífica y predice la rapidez del intercambio bajo condiciones especificadas. Los incendios están asociados a condiciones de transferencia de calor, por ende es importante conocer y analizar estas variantes para su control **(Frank Kreith, RAJM. Manglik, 2015; Holman, 1999; Manrique., 2002)**.

A continuación, se describen conceptos básicos de los diferentes modos de transferencia de calor:

- **Conducción:** Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas. Puede darse en sólidos, líquidos o gases, pero se expresan con mejor claridad en sólidos. La capacidad de transferencia varía con la composición de los materiales. Entre los mejores conductores se encuentran la plata y el cobre, los sólidos no metálicos son de baja conducción y los líquidos con excepción del mercurio junto con los gases son poco conductores del calor. La unidad de medida de la conducción se denomina conductividad térmica y en los incendios indica como un material tiene la capacidad de propagar o no el fuego.
- **Convección:** Es la transferencia de energía que ocurre dentro de un fluido debido a los efectos combinados de conducción y movimiento global del fluido. Por lo general ocurre en los gases, cuando estos se calientan se expanden y reducen su densidad por lo tanto suben de nivel y desplaza el volumen más frío hacia abajo. El fuego por convección influye con superioridad a los otros métodos el calor transmitido, por lo general tendrá una dirección vertical a pesar de que el aire puede ser llevado en cualquier dirección.

- **Radiación:** Es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita. Este tipo de transmisión no tiene contacto entre los cuerpos, atraviesan en ondas electromagnéticas y la intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia a la fuente de radiación. Cuando la energía radiante entra en contacto con el cuerpo existe 3 posibilidades que transmitan, absorban o reflejen energía.

(Incropera & Dewitt, 1999; Liarte, 2008)

1.1.2.1. Índice de liberación de calor (HRR)

La tasa de liberación de calor (HRR, Heat Release Rate), es la cantidad de energía que se libera de un combustible hacia el flujo de calor, depende del tipo y la cantidad de combustible presente en el recinto. Es decir que en cada segundo una energía (J) se produce o se pierde. En los compartimentos cerrados la energía es perdida debido a la conducción que ocurre por las paredes. Cada segundo transcurrido una cantidad de energía se desplaza del compartimento. El índice de liberación de calor está controlado por la propiedades físicas, químicas y el área de superficie del combustible (Guzman, 2014; ITA, 2016; Mesen et al., 2015).

La HRR está en función del tiempo de ignición, autores como (Martinka, Rantuch, & Wachter, 2019) han determinado curvas de varios materiales y compuestos químicos. Estas curvas son utilizadas en los softwares de simulación de incendios como CFAST y FDS. Las curvas HRR permiten la visualización del comportamiento de los materiales en un incendio, además proporcionan valores del tiempo de combustión, la caracterización del tamaño del fuego y las condiciones cuando el fuego alcanza su estado estable. Consta de cuatro etapas: inicio, crecimiento, completamente desarrollado y decadencia. La intensidad del fuego en la etapa inicial es baja, mientras que para la fase de crecimiento solo se da si las condiciones son las adecuadas para alcanzar el pico de HRR. La etapa completamente desarrollada dependerá del combustible y de su composición, variará de segundos a minutos. El oxígeno es otro de los factores principales de esta etapa, pues el

fuego ardera de acuerdo con la cantidad presente en el proceso de combustión. Cuando el combustibles se ha consumido completamente, y el oxígeno se encuentra limitante, el perfil de HRR empieza a decaer (De Lucas & Hernández, 2017).

1.1.3. Combustión

Es una reacción entre dos cuerpos, un combustible y un comburente, provocada por una fuente de energía en forma de calor. Existen dos tipos de combustión: Cuando el combustible se combina con el oxígeno que genera productos residuales como el CO₂ y vapor de agua (Completa) y donde el combustible no se combina con todo el oxígeno por su cantidad insuficiente del mismo en el ambiente desprendiendo monóxido de carbono (Incompleta) a su vez existen varios tipos de combustión que se describen a continuación:

- **Lenta u Oxidación:** La reacción es lenta, sin aumento de temperatura. No presenta emisión de luz, pero si una pequeña cantidad de calor que se disipa en el ambiente.
- **Rápida o fuego:** La reacción es normal. Presenta emisión de luz y calor en forma de llamas, notorio para el ser humano.
- **Deflagrante o Deflagración:** La reacción es rápida. Presenta una masa de gas con cierta cantidad de aire que asegura la combustión. Su velocidad de propagación del frente de la llama es menor que la del sonido (333 m/s).
- **Detonante:** La reacción es demasiada rápida. Su velocidad de propagación del frente de la llama es mayor que el sonido. Provoca graves daños en las estructuras con pérdidas de bienes y vidas.

(Liarde, 2008)

1.1.3.1. Combustión de líquidos

La combustión de líquidos forma llamas difusas. El vapor en equilibrio con el líquido se consume en la zona de llamas, y es reemplazado por vapor combustible. El calor de las llamas incrementa la producción de vapor y de combustión, creando fragmentos de peso molecular bajo como radicales libres hidrógeno, carbón, etc. Adoptando el nombre de especies activas. Estas especies reaccionan con la zona de llamas y producen una reacción en cadena. En este proceso (**Figura 2**) las uniones del hidrocarburo (carbono – hidrógeno) se reemplazan por uniones de hidrógeno - oxígeno y carbono – oxígeno. Se combustionan en una reacción conocida como hidroxilación. El hidróxido que se forma se consume totalmente. Provoca ramificaciones en cadena, mientras que el carbón sigue la combustión superficial con una energía cinética de reacción muy lenta y pasa a la parte de la zona de llama. Cabe recalcar que ninguno de los elementos iniciales es destruido, sólo transformado en diferentes productos clasificados en 4 grupos: llama calor y gases. Cada uno de ellos con efectos e interacciones diferentes (**Cárcamo, 2007; Liarte, 2008**).

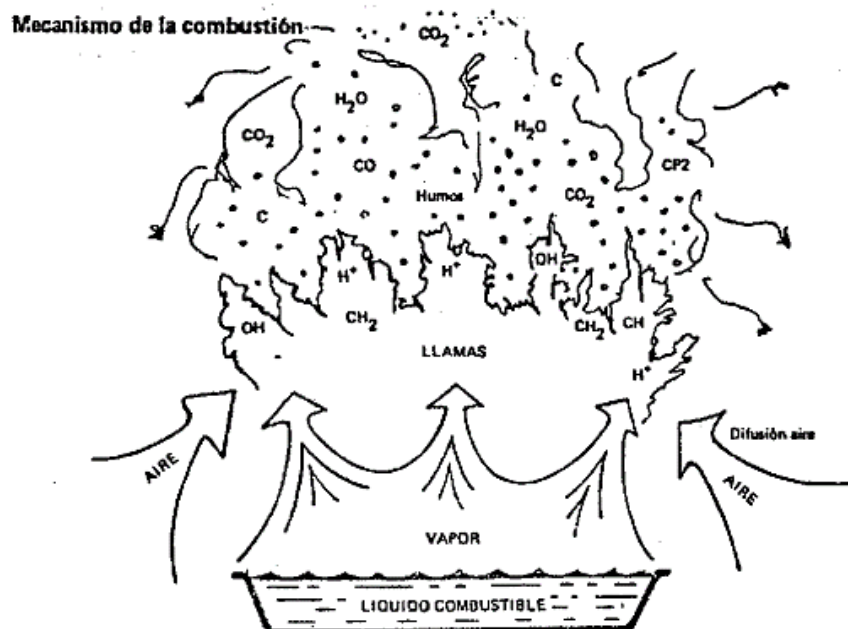


Figura 2. Proceso de combustión en líquidos (Cárcamo, 2007).

1.1.4. Incendio

Duarte & Piqué mencionan: “Un incendio es una reacción química de oxidación-reducción fuertemente exotérmica, siendo los reactivos el oxígeno y el reductor. En terminología de incendios, el reductor se denomina combustible y el oxidante, comburente; las reacciones entre ambos se denominan combustión”. Por lo tanto, se define incendio como la combustión y abrazamiento con llama, capaz de propagarse, de un objeto o varios objetos que no están destinados a ser quemados en el lugar y momento en que se produce. Es nombrado también como una combustión incontrolada, en la que los materiales combustibles son edificios líquidos y sólidos en general. Los materiales están constituidos por carbono en su gran mayoría. Además responden a características comunes como la ignición, propagación de la llama y la velocidad de liberación del calor (**Grant, 2019**).

1.1.4.1. Fases de un incendio

Mientras los incendios de interior se desarrollan a medida que transcurre el tiempo, se va suscitando cuatro fases (**figura 3**) descritas a continuación.

- **Ignición:** esta fase es el inicio del fuego, los materiales presentes comienzan a quemarse al alcanzar su temperatura de ignición. El combustible, la energía de activación y el oxígeno se combinan y desarrollan el fuego, emitiendo gases calientes que generan flujo de calor. Gases que generalmente contienen hollín, vapor de agua, CO₂, SO₂, entre otros gases tóxicos. Por convección estos productos y el calor se dirigen a la parte superior del compartimiento, mientras que el oxígeno se extrae de la parte inferior para mantener la combustión (**Cárdenas, 2015**).

- **Crecimiento:** en esta fase se forma una pluma de incendio sobre el combustible incendiado. Los mecanismos de transferencia de calor (convección y radiación) inician flamas en otras superficies dependiendo de la naturaleza del compartimiento, su altura, ancho, forma de techo y el número de ventanas de ventilación. La pluma del incendio aumenta de tamaño a la proporción que aumenta los gases calientes. En esta fase se inicia la pirolisis de los combustibles del lugar, es decir que hay una descomposición físico química del combustible por presencia de calor y ausencia de oxígeno, produciendo una combustión incompleta formando el CO (**Alcázar, Bolaños, & Garcia, 2019**).
- **Flashover:** el crecimiento de la llama es evidente. La capa de gas caliente está irradiando calor hacia el compartimiento, hasta su temperatura de ignición. Cuando alcanza este punto, produce una irradiación simultánea y el área se envuelve por completo en una situación de incendio (**CEMI, 2017**). En el instante de producirse el Flashover, la ventilación del compartimiento se convierte en una restricción de la cantidad de oxígeno disponible para que ocurra la combustión y el fuego se desarrolle (**Daéid, 2004**).
- **Fuego totalmente desarrollado:** todo el combustible presente en el compartimiento está implicado en su máxima extensión de acuerdo a las limitaciones del oxígeno o combustible (**Holman, 1999**). Los combustibles incendiados en el compartimiento están liberando la máxima cantidad de calor por las fuentes de ignición, produciendo grandes cantidades de gases desplazándolos a la parte superior, por convección y radiación. El calor y el volumen dependen del número, tamaño y forma del compartimiento, la cantidad y forma de ventilación del compartimiento y la forma y el tipo de materiales de construcción (**Cárdenas, 2015**).

- **Decrecimiento:** el combustible disponible en el compartimento se ha consumido por completo, dando como resultado una reducción de tamaño del fuego (**Basset, 2016**).

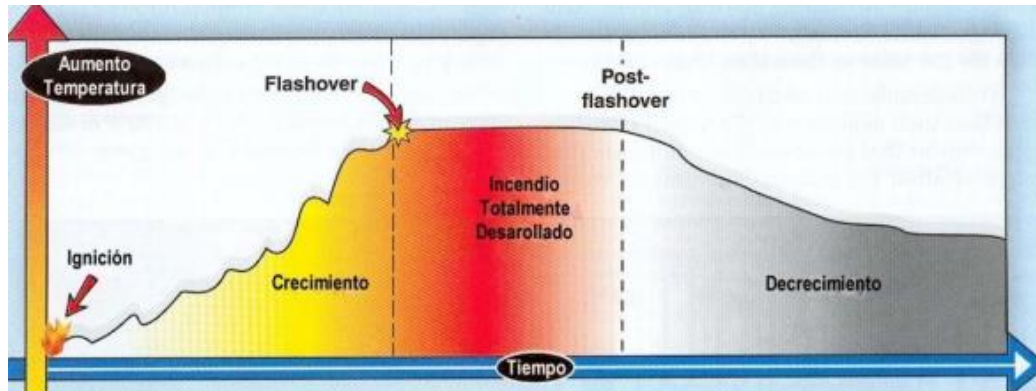


Figura 3. Desarrollo de un incendio de interior en función del tiempo y la temperatura (**Basset, 2016**).

1.1.5. Humo

Cuando se produce una combustión ninguno de sus elementos iniciales se destruye, simplemente cambian sus propiedades provocando la emisión de humo. El humo está formado por pequeñas partículas sólidas y vapor condensado (suspendidas en el aire), incompletamente quemadas, estas son arrastradas por corrientes de convección del aire. En el desarrollo del incendio el principal factor de riesgo es el humo, puede ser amable o explosivo en condiciones adecuadas. A lo largo del tiempo se ha determinado que al tener contacto el ser humano con el humo provoca irritación nasal, lagrimeo de ojos, dificultad para respirar, lo que ha causado pérdidas humanas. El color del humo puede dar un indicio del material que se esté quemando, aunque depende de factores externos y propios de los procesos de combustión. Los colores más comunes son: blanco (productos vegetales), amarillo (sustancias con azufre, ácido clorhídrico o nítrico), gris (fibras artificiales), negro claro (caucho), negro oscuro (petróleo, fibras acrílicas) (**Cárcamo, 2007; Herrán, Martínez, & Cabrera, 2015**).

1.1.5.1. Formación de humo

- Formación de capa de humo en el techo: los gases calientes productos de la combustión tienden a ascender por tener una menor densidad que el aire existente, dichos gases se acumulan bajo el techo del compartimiento donde se suscita el incendio (**Guzman, 2014**).
- Llenado de humo en el compartimiento: el primer factor que influye es la cantidad de aire que se incorpora a la columna de gases. Este aire tiene una temperatura menor que los gases calientes procedentes del incendio, este aire ejerce un efecto refrigerante en las temperaturas del interior del compartimiento. El llenado de humo se ha completado cuando de todo el compartimiento está lleno en su totalidad o cuando se haya terminado el combustible (**Bello Sánchez, 2017**).

1.1.6. Sistema contra incendios

Un sistema contra incendios es un conjunto de medidas y precauciones que se disponen en edificios o cualquier tipo de construcción, con el objetivo de salvaguardar la vida , evitar propagación de fuego y gases tóxicos, facilitar el acceso a las labores de extinción y protección de la estructura de la edificación (**Guzman, 2014**).

En el acuerdo ministerial 1257 del Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección contra incendios, de acuerdo a la Constitución de la República del Ecuador considera que son deberes primordiales del Estado proteger la vida y garantizar a sus habitantes el derecho a una seguridad integral; así como la protección de las colectividades y la naturaleza frente a efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención del riesgo, la mitigación ante el desastre, la recuperación y el mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el fin de minimizar las condiciones de vulnerabilidad (**MIES, 2009**).

Una protección contra incendios está dividida en dos tipos de medidas, la protección pasiva minimiza los efectos dañinos del incendio y su propagación y la protección activa asegura la extinción del fuego y evita su extensión en el edificio, usando extintores, bocas de incendio y rociadores. En la prevención activa de sistemas de protección contra incendios el agente extintor más usado es el agua por su bajo costo y disponibilidad. Este apaga por enfriamiento absorbiendo calor de fuego para evaporarse y puede ser empleado a chorro o pulverizado según el tipo de fuego existente representado en la **Tabla 1. (ITA, 2016).**

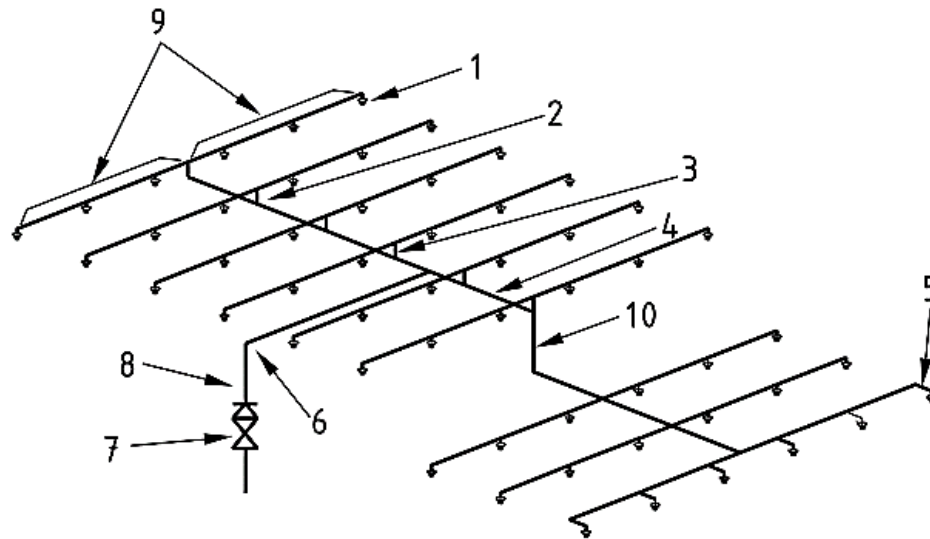
Tabla 1. Clasificación del fuego

CLASE	COMBUSTIBLE	DETALLE	AGENTE EXTINTOR
A	Sólidos	Madera Papel Carbón Tejidos Plásticos	Agua por chorro Agua pulverizada
B	Líquidos	Gasolina Gasóleo Alcohol Petróleo Asfalto	Agua pulverizada
C	Gases	Butano Propano Gas Ciudad Metano Acetileno	Agua pulverizada - espuma
D	Especiales – Metales	Aluminio Sodio Titanio Productos Químicos Inorgánicos	Polvos

Adaptado de (DEMESA, 2020).

1.1.6.1. Sistema automático de rociadores de agua

Los sistemas de rociadores automáticos se emplean para detectar un incendio y extinguirlo con agua en sus etapas más tempranas. Si la extinción no llega a ser efectuada mantendrá el incendio bajo control hasta que se pueda completar por otros medios. Existen elementos principales (**Figura 4**) para la instalación de un sistema automático. Contienen varias instalaciones de rociadores abastecidas por agua, con puntos de control y redes de tuberías. Están dotadas con la cabeza del rociador, y estos están instalados en posiciones específicas de la parte aérea del lugar. El nombre empleado para los rociadores es sprinklers. Son sistemas fijos, instalados por la parte superior del área a proteger, estos se activan automáticamente cuando el calor que reciben rompe un pequeño dispositivo, provocando la salida del agua. Diseñados de acuerdo con las normas de ingeniería en protección contra incendios (**Norma Española UNE-EN 12845, 2016**).



Leyenda

- | | | | |
|---|--------------------|----|--------------------|
| 1 | Cabeza de rociador | 6 | Colector principal |
| 2 | Subida | 7 | Puesto de control |
| 3 | Punto de diseño | 8 | Subida |
| 4 | Subcolector | 9 | Ramales |
| 5 | Antena | 10 | Bajada |

Figura 4. Elementos principales de una instalación de rociadores (**Norma Española UNE-EN 12845, 2016**).

1.1.6.2. Rociadores

Los rociadores o sprinklers son dispositivos que funcionan a temperaturas establecidas para descargar agua en el inferior de un área afectada por un incendio. Constan de un orificio que se encuentra cerrado por un elemento sensible a la temperatura con un deflector de pulverización (**Figura 5**). Es importante la adecuada ubicación de estos para obtener una cobertura total en caso de peligro reduciendo pérdidas humanas y materiales. Para la selección del rociador se utiliza las normas NFPA 13, en las que describen los tipos de rociadores con relación al tipo de riesgo que presenta (**Mayer, Parisian, & Gleason, 2010**).

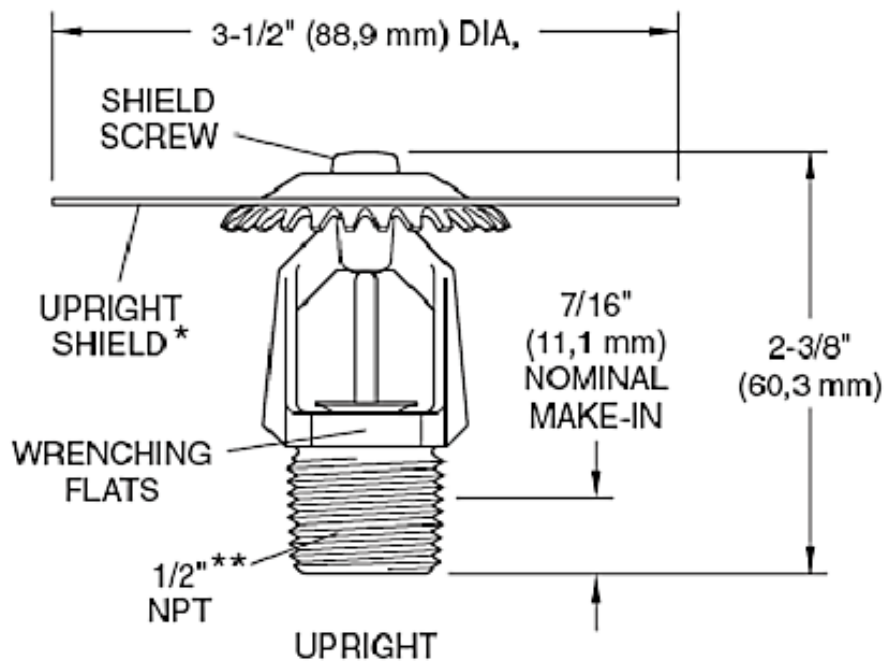


Figura 5. Dimensiones y características de un rociador (**Mayer et al., 2010**).

1.1.7. Ignífugo inorgánico

La definición de ignífugo describe que es aquel no se inflama ni propaga la llama o el fuego, basados en este contexto existen compuestos que son utilizados en diversas industrias, desde materiales textiles hasta materiales de construcción que son capaces de descender el nivel de combustibilidad e inflamabilidad de un material, la ignifugación suele realizarse con productos, normalmente de naturaleza inorgánica que adicionándoles al material, actúan interrumpiendo la cadena de reacciones en una o varias de las fases de combustión (**González, 2009; Pearce & Liepins, 1975**).

Los materiales ignífugos retardan los efectos del fuego, haciendo que en casos de emergencia favorezca la evacuación y el fácil acceso de los encargados en extinguir el incendio, existen sustancias que impiden la combustión y la propagación de las llamas como es el caso del hidróxido de aluminio y el hidróxido de magnesio.

Existen cuatro métodos básicos de tratamientos retardantes:

- **Impregnación:** Técnica de tratamiento para materiales absorbentes. Los químicos retardantes se disuelven, habitualmente en agua, y el material a tratar es sumergido en esta solución.
- **Impregnación bajo presión:** Usado para el tratamiento de materiales relativamente densos y no absorbentes, como la madera. Este proceso, realizado en cámaras de vacío, reemplaza el aire al interior de las células de madera por la solución retardante. Comparado con la impregnación estándar, este método otorga una penetración más profunda y una mayor retención de los químicos.
- **Cambio Químico:** Se emplea en plásticos y otras fibras sintéticas (espumas PIR/PUR y poliestirenos) cuya estructura se modifica en los procesos de fabricación para obtener beneficios en sus características de quemado.

- **Pinturas (y barnices):** inhiben la propagación de llamas, generando una superficie “no combustible”. Son aplicadas en materiales de construcción no absorbentes, que no pueden ser tratados por otros métodos.

(González, 2009)

Según (Gutiérrez & Mina, 2019), menciona que los hidróxidos metálicos, con elementos como el magnesio y el aluminio, se descomponen vía reacción endotérmica, es decir absorbiendo calor, donde en el proceso de combustión producen los óxidos correspondientes y agua, lo que provoca por ende un enfriamiento y la formación de una capa intumesciente, la misma que es una capa de material mineral que se forma al quemarse el aditivo anti-flama, protegiendo de esta forma a los materiales expuestos al fuego. Además, el porcentaje de uso de estos compuestos es bajo (10-40%). Otros autores como (González, 2009); llegan a la conclusión que los retardantes inorgánicos interfieren con el quemado a través de procesos físicos como liberación de agua o gases no inflamables que diluyen a los que alimentan el fuego, absorción de calor desde las reacciones que liberan gas (enfriamiento) y producción de una capa no inflamable y resistente en la superficie del material. La **figura 6** esquematiza la acción de un retardante inorgánico (Hidróxido de aluminio).

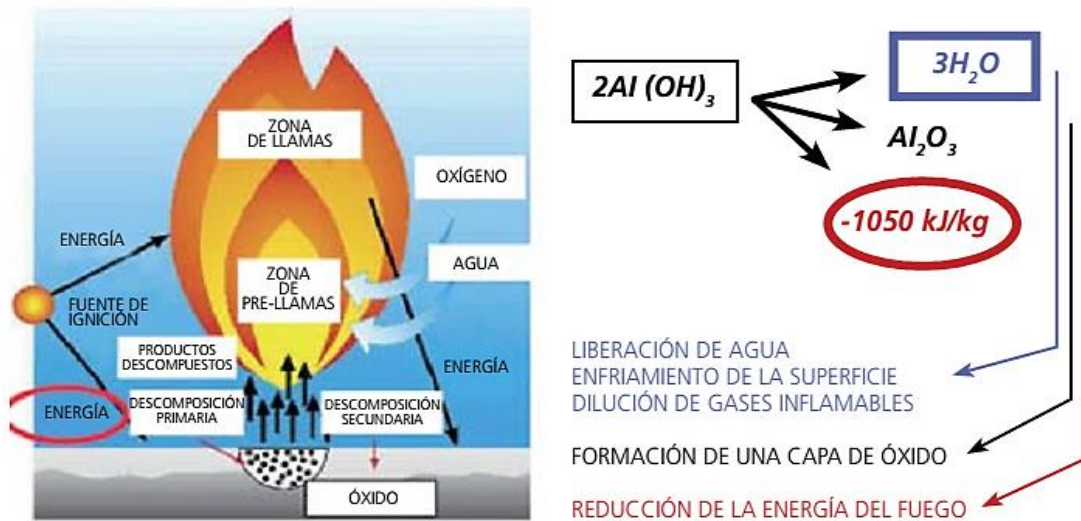


Figura 6. Esquema de la acción de un retardante inorgánico (Gonzales, 2009).

1.1.8. Normativa

La Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (N.F.P.A) es una organización con normas para el uso de las personas a cargo de la selección, compra, instalación, aprobación, listado, diseño y mantenimiento de equipos portátiles de extinción de incendios. Los sistemas contra incendios se basan en las normas que contiene la NFPA, con recomendaciones de seguridad y protección que deben tomarse en cuenta para proteger un área, utilizando una combinación de sistemas y equipos: mangueras, extintores y rociadores **(Burkhart et al., 2007)**.

La norma española UNE 12845, establece los requisitos para el diseño e instalaciones de rociadores automáticos. En el Ecuador, las normas y reglamentos son establecidos a través de los organismos de control y regulación como el Cuerpo de Bomberos y la Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR). El cuerpo de bomberos dispone de los siguientes: Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios; Instituto Ecuatoriano de Normalización ISO 3864; NEC Contra Incendios y sus respectivas ordenanzas municipales **(Cruz, 2012)**.

1.1.9. CFAST

CFAST (Consolidated Model os FIRE Growth and Smoke Transport), es un código creado por el National Institute of Standards and Technology (NIST) de los EEUU con el objetivo de simular incendios en recintos de edificaciones, recurriendo para ello a un modelo de dos zonas **(Figura 7)**. Es usado por varios investigadores de incendios, arquitectos, ingenieros, entre otros. Este modelo es empleado para calcular la evolución temporal de la temperatura, presión, concentración y volumen de los gases calientes y fríos que se encuentran en una edificación durante el incendio **(Arguello & Cadena, 2009)**. Permite también la inclusión de la transferencia de calor por conducción a través de paredes, techo y suelo del recinto, asimismo predice los flujos de masa a través de puertas y ventanas. Incluye la existencia de detectores de temperatura, calor y humo, así

como elementos supresores del calor por rociado de agua (**Peacock, Jones, Reneke, & Forney, 2005**). Este programa se basa en una serie de ecuaciones diferenciales determinadas a partir de la ecuación de conservación de la masa, energía y la ecuación fundamental de los gases ideales, proporcionando parámetros en función del tiempo como presión, altura de la capa de humos y temperatura (**Alvear et al., 2015**).

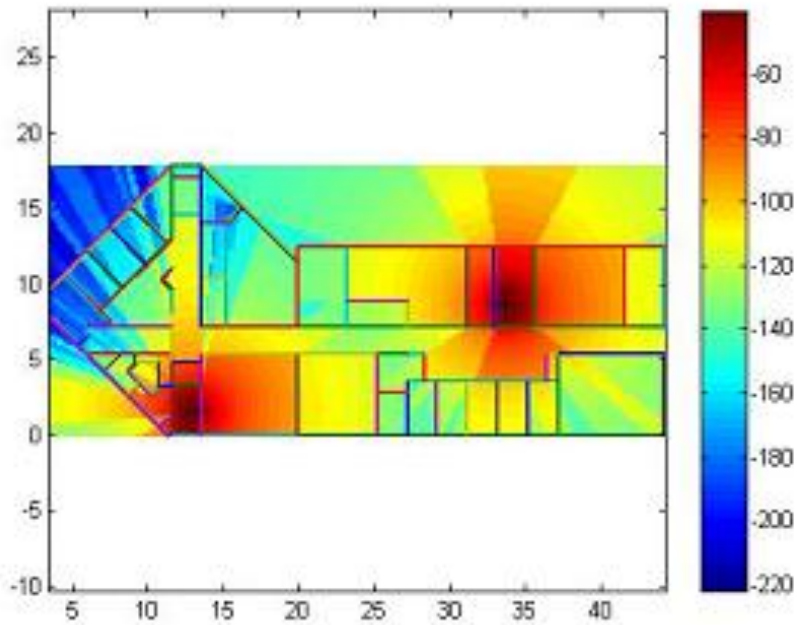


Figura 7. Modelo de zona, CFAST(**Peacock et al., 2005**)

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis nula

La simulación de un sistema contra incendios considerando el uso de agua diluido con ignífugo inorgánico (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) en el área de producción de Industrias Licoreras Asociadas (ILA) no incide en la disminución del tiempo de extinción del fuego.

1.2.2. Hipótesis alternativa

La simulación de un sistema contra incendios considerando el uso de agua diluido con ignífugo inorgánico (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) en el área de producción de Industrias Licoreras Asociadas (ILA) si incide en la disminución del tiempo de extinción del fuego.

1.2.3. Señalización de las variables de la hipótesis

1.2.3.1. Variables dependientes

Disminuir el tiempo de extinción del fuego con el uso de ignífugos orgánicos.

1.2.3.2. Variables independientes

Diseño de sistema contra incendios

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Elaborar un sistema contra incendios considerando el uso de agua diluido con ignifugo inorgánico (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) utilizando la herramienta CFAST en el área de producción de Industrias Licoreras Asociadas (ILA).

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y simular el sistema hidráulico de extinción con agua diluido con ignifugo inorgánico en base a la utilización de un software libre.
- Establecer las condiciones óptimas para la simulación de un sistema contra incendios en la planta de producción en la industria licorera asociados (ILA S.A.) mediante la simulación con la herramienta CFAST.
- Analizar el comportamiento de incendios en la planta de producción en la industria licorera asociados (ILA S.A.) mediante la simulación de la cantidad de gases de combustión y la simulación de los perfiles de temperatura con la herramienta CFAST.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA.

2.1. Materiales

- Computador
- SOFTWARE CFAST
- Internet
- Referencias bibliográficas
- Instrumentos de medición (fluxómetro).

2.2. Métodos

2.2.1. Determinación de las condiciones de Extinción por agua

Con base en las normas NFPA13 y UNE NE 12845. 2016, es necesario conocer y calcular las siguientes condiciones para el diseño de un sistema de protección que se describe a continuación:

2.2.2. Determinación del área total y del área de operación (ILA)

Se determinó las dimensiones de: largo, ancho y altura, de la empresa ILA y del área de operación. A continuación, se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 1: } A_T = b * h$$

Donde:

A_T= Área total (m²)

b= Base (m)

h= Altura (m)

2.2.3. Categorización del riesgo en el sector del incendio

Se estableció las condiciones de extinción por agua. Se identificó que la planta de producción de ILA ocupa un riesgo ordinario grupo 4, **Tabla 13**. Clasificación y característica de las ocupaciones de Riesgos (**Anexo 1**).

2.2.4. Determinación de la superficie máxima de cobertura de los rociadores.

Se estableció la distribución de los rociadores en el área de producción. En la **Tabla 14**. Superficie máxima y separación para rociadores (**Anexo 2**). Se seleccionó el tipo de riesgo de la planta para determinar la superficie máxima por rociador y la distancia máxima entre la pared y el rociador.

2.2.5. Determinación del caudal total de rociadores.

Los rociadores por utilizar fueron los de tipo convencional para riesgo ordinario. Señalado en la **Tabla 15**. Tipos de rociador y factor k nominal para diferentes clases de riesgo (**Anexo 3**). Los valores recopilados son la presión de trabajo del rociador, y el factor K nominal junto con el valor de caudal de agua de los rociadores. El caudal de los rociadores se calculó con la Ecuación 3.

$$\text{Ecuación 3: } Q = K * P^{1/2}$$

Donde:

Q: Caudal total de rociadores (L/min)

K: factor nominal

P: Presión (mm/min)

2.2.6. Cálculo del número de rociadores

Con los valores obtenidos de la planta de producción (destilerías alcohólicas). Se indicó al tipo de riesgo al cual pertenece (riesgo ordinario 4) de la **Tabla 16**. Criterios del diseño para riesgos (**Anexo 4**). Se tomó el valor perteneciente (360 m) y se divide entre el área por rociador de esta forma se obtuvo el número de rociadores a considerar.

2.2.7. Cálculo de la presión del rociador

La cantidad de rociadores por el área de cada rociador da lugar al caudal nominal mínimo. El mismo que se multiplicó por la densidad de diseño (mm/min) de la **Tabla 16 (Anexo 4)**. Este nuevo valor se convierte en el caudal total de los rociadores. El mismo que se lo divide entre el número de rociadores determinados, para obtener la caída de presión mínima de cada rociador (bar). Se dividió caudal de cada rociador entre el factor nominal y se obtuvo la presión de cada rociador.

2.2.8. Determinación del diámetro de la tubería

El diámetro de la tubería se determinó en base a la **Tabla 17**. Diámetro mínimo de tubo. **Anexo 5** para un riesgo de tipo ordinario y riesgo extra de tubo horizontal y montante conectando un rociador con un factor de k no mayor a 80.

2.2.9. Determinación del volumen de agua para la fuente de abastecimiento

Es necesario utilizar datos del caudal total del sistema y el valor de duración en minutos para determinar la capacidad de la fuente de abastecimiento, datos que se obtendrá de la **Tabla 18**. Requisitos mínimos de suministro de agua para un sistema de rociadores

diseñados hidráulicamente para demanda de chorros de mangueras y duración del suministro de agua (**Anexo 6**).

$$\text{Ecuación 5: } V = Q_{\text{total}} * t$$

Donde:

V: Volumen (L)

Q_{total}: Caudal total del sistema (L/min)

t: Tiempo (min)

2.2.10. Adición del ignifugo

A continuación se utilizó la metodología descrita por (**Pozo & Córdova, 2020**) para la adición del ignifugo:

La combinación C de su experimentación (Hidróxido de aluminio 9%) fue utilizada para la replicación en el modelo de zona. Donde se simuló la adicción de los ignífugos (Al y Mg) en el sistema de rociadores. Seguido se analizó los resultados de la simulación basados en el tiempo de retardo del incendio y la activación de los splinkers.

2.2.11. Simulación CFAST

2.2.11.1. Determinación de parámetros a simular (Simulation)

En la interfaz principal del programa seleccionar la pestaña << Simulation >> donde se agregaron los valores del tiempo, condiciones ambientales, altura, y presión externas e internas de la planta de producción ILA.

2.2.11.2. Determinación de propiedades térmicas de materiales para pisos, techos, paredes (Thermal Properties)

En la pestaña de << Thermal Properties >> se presionó el botón << add >> y se colocaron los valores de: densidad (kg/m^3), conductividad térmica ($\text{kW}/(\text{m } ^\circ\text{C})$), calor específico ($\text{kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$), espesor (m) y emisividad de cada material de construcción. Las características térmicas y de construcción de los materiales se añadieron de la normativa y requerimientos de NEC, 2019 y MIES, 2009, descrito en la **Tabla 19 y 20** de los **anexos 7 y 8**, respectivamente. Al término de la adición de los valores presionar << Save >>.

2.2.11.3. Compartimentos a simular en CFAST (Compartments)

En la pestaña de << Compartments >> a simular se presionó el botón << Add >> y se colocó el nombre del recinto seleccionado, posteriormente se añadió la geometría, es decir, el ancho, profundidad, altura y la posición relativa de los recintos a partir de las coordenadas X, Y, Z. Además, se señaló las características de los materiales de construcción de techo, paredes, suelo y las características de flujo. Se presionó << Save >> en cada recinto agregado.

Para comprobar si los datos están correctamente ingresados, se presionó el botón << Geometría >>, esto generará un fichero de geometría, a continuación, el botón << View >> que abrirá el programa Smokeview para visualizar la geometría.

2.2.11.4. Ubicación de aperturas de ventilación sobre pared (Wall Vents)

Se definió cada apertura, se presionó el botón << Add >> y se seleccionó cada compartimento que presente apertura de puertas y ventanas. A continuación, se estableció los siguientes parámetros:

- **Sill:** Distancia de la apertura al suelo.
- **Soffit:** Altura superior del marco de la puerta o ventana.
- **Width:** Ancho de la puerta o ventana.
- **Vent offset:** Distancia del eje x de la puerta o ventana a la esquina inferior izquierda del compartimento.
- **Face:** Se especificará si la puerta o ventana está en la pared posterior, frontal, izquierda o derecha
- **Tiempo:** Fracción de apertura de la ventana.

Se deberá presionar << Save >> en cada compartimento agregado.

2.2.11.5. Fuego (Fires)

Posteriormente se estableció las características que tendrá la curva de fuego a simular como:

- Compartimento donde se producirá el incendio.
- Posición X, Y, Z en el recinto del fuego.
- Tiempo en el que inició el fuego.

- Se insertó los valores correspondientes (coeficientes y subíndices) de las sustancias combustibles y calor de combustión descritos en la **Tabla 21**. Poder calorífico (**Anexo 9**) (**Assas, Otero, Mena, & Pérez, 2008**).
- Curvas HRR: Se añadió los valores de las curvas de cada material (**ANEXO**)

Se presionó << Save >> en cada compartimento agregado.

2.2.11.6. Determinación del sistema de detección y supresión (Detection/Suppression)

En la pestaña de sistemas de detección y supresión se presionará el botón << Add >> para agregar:

- **Tipo de dispositivo:** Rociadores de agua, alarma de calor o alarma de humo
- **Tipo de compartimento:** Seleccionar el compartimento precargado anteriormente por el usuario.
- **Temperatura de activación:** Deberá ser cargado por el usuario en °C.
- **RTI:** Tiempo de respuesta característico del rociador (RTI) en $(m\ s)^{0.5}$
- **Densidad de pulverización:** Densidad de diseño en m/s que será la cantidad de agua capaz de suministrar el rociador.

Para ejecutar el programa se colocará en la pestaña << Simulation >> y se presionará el botón << Save >> y luego el botón << Run >>

Para visualizar gráficamente se presionará el botón << Geometry>> y << View>>

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados.

La determinación del tipo de riesgo de la planta se basa en los materiales de construcción y el grado de riesgo. El alto contenido de líquidos inflamables (etanol) en el área de producción de la empresa ILA, señala un tipo de riesgo ordinario grupo 4 (RO4), como lo indica la normativa (**Tabla 13. Anexo 1**). El área total de la planta es de 1428,33 m². Mientras que, el área de operación donde se encuentra el alcohol el mayor riesgo es de 337.77 m². En base a esta área, se determinó la superficie máxima de cobertura de los rociadores. La normativa (UNE EN 12845) señala que para un riesgo ordinario el valor será de 12 m² como superficie máxima de cada rociador, y una distribución nominal para la distancia entre los rociadores. En el cálculo de la superficie (**Tabla 2**) para ILA contará con 8 rociadores activos para el área de operación. Además, el área de cobertura por rociador es de 11.88 m² cumpliendo con la normativa de no excederse del área permitida (12 m²).

Tabla 2. Cálculo de superficie de rociadores.

Área de operación	Delta	Numero de rociadores	Distancia a la pared	Área por cada rociador
X	3.6	4	2.205	11.88
Y	3.3	4	2.375	

El sistema hidráulico de ILA contará con 30 rociadores de tipo convencional a una presión de 0.551 bar y un caudal de 59.4 L/min para cada uno en el área de operación. Estos parámetros se han determinado considerando los criterios de diseño para cada tipo de riesgo (**Tabla 16. Anexo 4**). Donde la tubería se encontrará llena de agua, es decir el área de operación mojada (360) y un diámetro de (5 mm/min). Al ser rociadores de tipo convencional la norma señala que el factor nominal será de 80 (**Tabla 15. Anexo 3**). Este factor relaciona el caudal con la presión. Se determinó el caudal del sistema y el caudal de cada rociador en la **tabla 3** se muestran los valores obtenidos para las condiciones de operación del sistema hidráulico.

Tabla 3. Condiciones para el sistema hidráulico ILA

Parámetros	
Tipo de riesgo	Riesgo Ordinario 4 (destilerías alcohólicas)
Densidad de diseño	5 mm/min
Área de operación	360 m ²
Factor K nominal	80
Tipo de rociador	Convencional
Caudal total nominal	1841.4 l/min
Caudal total por rociador	59.4 l/min
Presión de cada rociador	0.551 bar

El diámetro de la tubería del sistema será de 20 mm como mínimo (**Tabla 17 anexo 5**), el volumen del abastecimiento de agua será de 3682.8 litros para un tiempo de descarga estimado de dos horas para los 8 rociadores que serán activados. El volumen proviene del producto del caudal total del sistema con el tiempo determinado en la normativo NFPA 13 para un tipo de riesgo ordinario. Además, se consideró el material de la tubería a implementar en el sistema de rociadores. Se utilizará en la tubería de 2 pulgadas y media ya sea en cobre o acero, este valor es determinado por la normativa (NFPA 13) (**Tabla 22, Anexo 10**).

3.3.1. Simulación con CFAST

3.3.1.1. Parámetros de simulación

En esta ventana son agregadas las condiciones iniciales de simulación (tiempo y condiciones). ILA está ubicada en el cantón Ambato, a una elevación de 2500 m.s.n.m. Esta y otras condiciones como la temperatura, presión y humedad son ubicadas en los espacios correspondientes de la interfaz. Todos los valores pueden ser modificados acorde a las necesidades de la simulación para adaptarlas a las condiciones del usuario. en la **tabla 4 y 5** se muestran las condiciones iniciales de simulación de ILA (**Peacock et al., 2005**). Autores como (**Peacock et al., 2005; Zurita & Córdova, 2019**) señalan que los tiempos de simulación no deben sobrepasar los 86400 segundos, debido a que el software no permite la simulación mayor a un día.

Tabla 4. Tiempo de simulación

Condiciones	segundos
Simulation time	5000
Text output interval	60
Spreadsheet output interval	10
Smokeview output interval	10
Maximum time step	default

Tabla 5. Condiciones de simulación internas y externas

Condiciones	interior	exterior
Temperatura	20 °C	20 °C
Presión	102000 Pa	102000 Pa
Elevación	2500 m.s.n.m	2500 m.s.n.m
Humedad	85%	-

3.3.1.2. Propiedades térmicas

La **tabla 6** señala las propiedades térmicas de los materiales de construcción utilizados para la simulación. CFAST permite agregar todos los materiales de los que están realizados los compartimentos. Estas especificaciones se toman de la norma del (MIDUVI, 2018) que son ingresadas al sistema y salvadas para la creación del modelo 3D de la planta.

Tabla 6. Propiedades térmicas

Material	ID	Conductividad (KW/m°C)	Calor específico (KJ/Kg°C)	Densidad (Kg/m3)	Espesor (m)	Emisividad
Pared	Ladrillo	0.0008	0.84	1800	0.15	0.93
Piso	Hormigón	0.0014	0.84	2220	0.05	0.93
Techo	Zinc	0.116	0.388	7200	0.006	0.9
Ventana	Vidrio	0.0009	0.83	25000	0.06	0.9
Puerta	Metal	0.05	0.38	7800	0.0016	0.9

3.3.1.3. Compartments

Los compartimentos son creados con las medidas tomadas in situ, además se agrega posiciones x,y,z para ir formando el modelo 3D. En cada compartimento se agrega los materiales añadidos del literal anterior. Añadidas las condiciones se obtiene la primera visualización de la planta (**figura 8a**) ILA cuenta con 4 compartimentos (**figura 8b**) distribuidos en áreas de: vestidores, operación, bodega y envasadora. La **tabla 7** muestra las dimensiones utilizadas de la planta. Las posiciones (x, y, z) se las realizó desde la esquina inferior izquierda de la cara frontal de la planta, para dar la ubicación del compartimento en el plano.

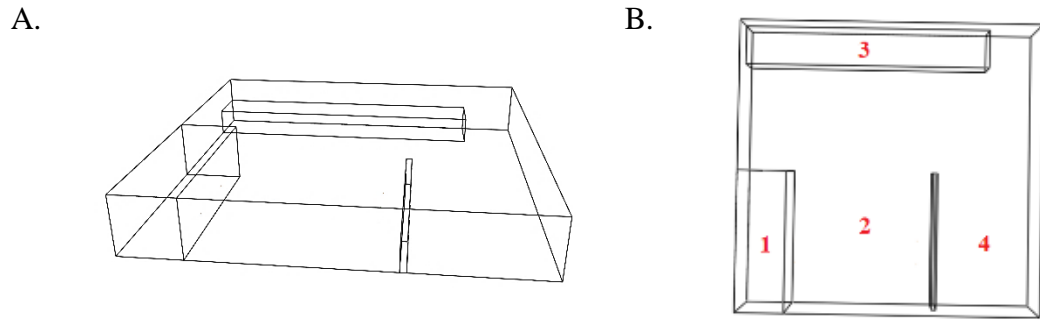


Figura 8. A. visualización de los compartimentos. B. 1. Vestidores 2. Operación 3. Bodega 4. Envasadora

Tabla 7. Dimensiones de los compartimentos

Compartimentos	Ancho m	Largo m	Alto m	Posiciones			Techo	Pared	Suelo
				x	y	z			
Vestidores	6.2	17.96	6	0	0	0	Zinc	Ladrillo	Hormigón
Área de Operación	38.41	37.04	6	0	0	0	Zinc	Ladrillo	Hormigón
Bodega	32.23	5	3	0	32.04	0	Zinc	Ladrillo	Hormigón
Empacadora	0.6	10	3	25.01	0	0	Zinc	Ladrillo	Hormigón

3.3.1.4. Wall vents

Las aperturas (puertas y ventanas) de los compartimentos hacia el exterior y el interior son añadidos en base a las dimensiones originales del objeto de estudio. El software solicita la información del lugar en el que las aperturas pueden ser ubicadas, es decir en el compartimento. CFAST permite señalar la cara en la que la apertura será posicionada, facilitando el modelado 3D y una mejor visualización. La **tabla 8** presenta las posiciones en las que fueron ubicadas estas aperturas en la planta. ILA. Cuenta con 28 ventanas y 6 puertas (**Figura 9**) además la ventana 9,10 y 11 están abiertas desde el inicio de la simulación. Para agregar esta condición el programa tiene dos criterios que son 0 (cerrado) y 1 (abierto).

Tabla 8. Posiciones de las aperturas en el plano

Número	Primer compartimento	Segundo compartimento	Sill (m)	Soffit (M)	Midth (m)	Vent offset (m)	Face
Ventana 1	Área de operación	Outside	2.5	4.8	2	32.74	Right
Ventana 2	Área de operación	Outside	2.5	4.8	2	30.44	Right
Ventana 3	Área de operación	Outside	2.5	4.8	2	28.14	Right
Ventana 4	Área de operación	Outside	2.5	4.8	2	25.84	Right
Ventana 5	Área de operación	Outside	2.5	4.8	2	16.7	Right
Ventana 6	Área de operación	Outside	2.5	4.8	2	14.4	Right
Ventana 7	Área de operación	Outside	2.5	4.8	2	12.1	Right
Ventana 8	Área de operación	Outside	2.5	4.8	2	9.8	Right
Ventana 9	Área de operación	Outside	2.5	5.7	3	6.5	Front
Ventana 10	Área de operación	Outside	2.5	5.7	3	9.8	Front
Ventana 11	Área de operación	Outside	2.5	5.7	3	13.1	Front
Ventana 12	Área de operación	Outside	2.5	5.7	3	16.4	Front
Ventana 13	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	19.7	Front
Ventana 14	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	23	Front
Ventana 15	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	27.7	Front
Ventana 16	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	30.5	Front
Ventana 17	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	33.8	Front
Ventana 18	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	0.13	Rear
Ventana 19	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	3.43	Rear
Ventana 20	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	6.73	Rear
Ventana 21	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	10.03	Rear
Ventana 22	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	15.33	Rear
Ventana 23	Área de operación	Outside	2.5	5.7	3	18.63	Rear
Ventana 24	Área de operación	Outside	2.5	5.7	3	21.93	Rear
Ventana 25	Vestidores	Outside	2.5	5.7	3	25.23	Rear

Ventana 26	Vestidores	Outside	2.5	5.7	3	28.53	Rear
Ventana 27	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	31.83	Rear
Ventana 28	Bodega	Outside	2.5	5.7	3	35.13	Rear
Puerta 1	Área de operación	Outside	0	2.9	1.75	0.54	Right
Puerta 2	Área de operación	Outside	0	2.75	3.5	25.9	Front
Puerta 3	Vestidores	Outside	0	3	3.25	2.4	Rear
Puerta 4	Vestidores	Outside	0	2.3	3.5	27.3	Left
Puerta 5	Bodega	Outside	0	2	2	13.33	Left
Puerta 6	Vestidores	Bodega	0	2.3	3	1	Rear

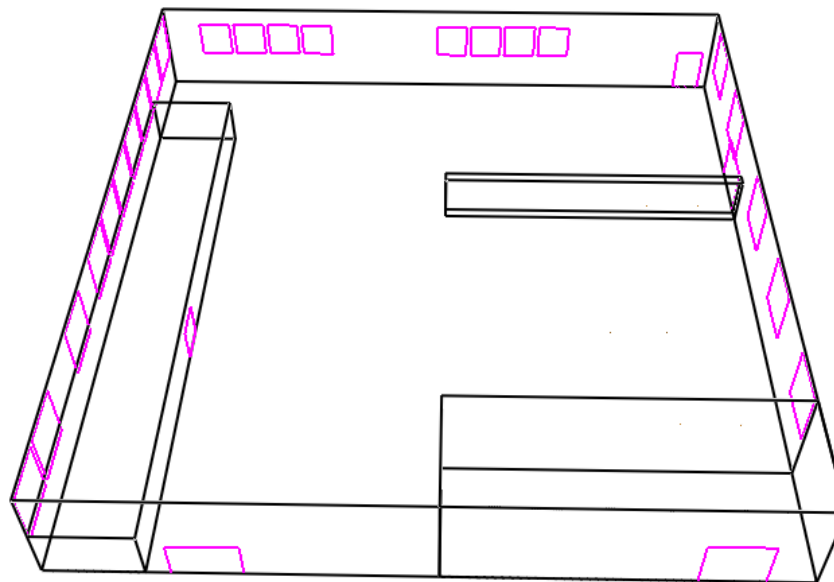


Figura 9. Aperturas de ventilación (puertas y ventanas)

3.3.1.5. Fires

Determina los materiales que se encuentran dentro del área de simulación, en este caso en el área de operación de ILA. Para su estudio se añadió en el simulador los materiales que se encuentran en dicha área como son: mesas, sillas y barriles de madera que contienen el etanol (**Tabla 9**). Cada material consta de una tasa de liberación de calor (HRR), una posición diferente en el plano, calor de combustión y es necesario añadir los coeficientes y subíndices de los compuestos. La tasa de liberación de calor de cada material son valores establecidos y cuentan con curvas estandarizadas para su estudio. Estas curvas permiten analizar el comportamiento del material en combustión en función del tiempo constan de 4 etapas (inicio, crecimiento, desarrollo y decaimiento) para su análisis, además de señalar los parámetros de altura y área del fuego junto con la cantidad de monóxido de carbono (CO) y cenizas generadas. Estas condiciones son introducidas en la interfaz de CFAST y graficadas automáticamente (**Grant, 2019; Peacock et al., 2005**).

Tabla 9. Materiales ILA

#	Materiales	Encendido	Punto fijo	Posición			Pico HRR	Qc (kJ/kg)	Composición Química
				x	y	z			
1	Etanol	Tiempo	0	8	6	0	680	29713.04	C ₂ H ₅ OH
2	Barril de madera 1	Tiempo	0	23	9	0	600	29664	C ₆ H ₁₀ O ₅
3	Barril de madera 2	Tiempo	0	7	3	0	600	29664	C ₂ H ₅ OH
4	Barril de madera 3	Tiempo	0	7	3	0	600	29664	C ₂ H ₅ OH
5	Barril de madera 4	Tiempo	0	7	6	0	600	29664	C ₂ H ₅ OH
6	Barril de madera 5	Tiempo	0	7	9	0	600	29664	C ₂ H ₅ OH
7	Barril de madera 6	Tiempo	0	7	12	0	600	29664	C ₂ H ₅ OH
8	Barril de madera 7	Tiempo	0	23	3	0	600	29664	C ₂ H ₅ OH
9	Barril de madera 8	Tiempo	0	23	6	0	600	29664	C ₂ H ₅ OH
10	Barril de madera 9	Tiempo	0	16	4	0	600	29664	C ₂ H ₅ OH
11	Etanol	Tiempo	0	23	12	0	680	29713.04	C ₂ H ₅ OH
12	Silla	Tiempo	0	23	9	0	2099,6	1710000	C ₂₅ H ₄₂ O ₆ N ₂
13	Silla	Tiempo	0	8	6	0	2099,6	1710000	C ₂₅ H ₄₂ O ₆ N ₂

3.3.1.6. Detection/Suppression

Las alarmas y sprinklers que el usuario necesita se encuentran en esta pestaña. Son agregados a los compartimentos que el usuario simula. CFAST modifica las temperaturas de activación de cada alarma y al correr el programa mostrará los resultados de la simulación; el tiempo de activación y la temperatura en el que las alarmas y sprinklers son activados en cada compartimento. ILA cuenta con una superficie para 30 rociadores en el área de operación (**Tabla 10**). Para la ubicación del área de superficie de los rociadores se considera las mediciones de la **Tabla 10** que corresponden a los ejes x y. La distancia del primer rociador a la pared es de 2.205 m en el eje de las abscisas y 3.3 m (D) entre cada rociador, mientras que para las ordenadas el valor de distancia respecto a la pared es de 2.375 m y 3.6 m (S) entre cada rociador. La **figura 10** señala la distribución de los rociadores en ILA para el área de operación con una distribución normal, como señala la norma NFPA 13 (**Figura 13. Anexo 11**).

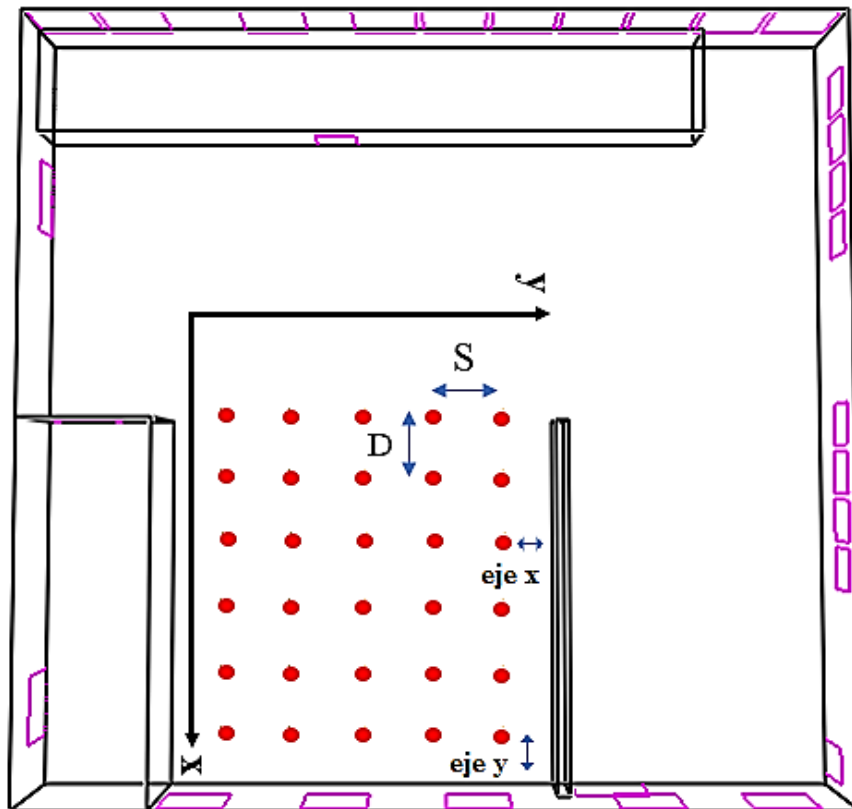


Figura 10. Distribución de los rociadores en ILA

Tabla 10. Superficie de rociadores

#	Tipo	posición			temperatura de activación	RTI (m s) ^{0.5}
		x	y	z		
1	Splinker	9.375	2.205	2.5	70	80
2	Splinker	12.675	2.205	2.5	70	80
3	Splinker	16.275	2.205	2.5	70	80
4	Splinker	19.575	2.205	2.5	70	80
5	Splinker	9.375	5.805	2.5	70	80
6	Splinker	12.675	5.805	2.5	70	80
7	Splinker	16.275	5.805	2.5	70	80
8	Splinker	19.575	5.805	2.5	70	80
9	Splinker	22.875	2.205	2.5	70	80
10	Splinker	22.875	5.805	2.5	70	80
11	Splinker	26.175	2.205	2.5	70	80
12	Splinker	22.875	9.405	2.5	70	80
13	Splinker	26.175	9.405	2.5	70	80
14	Splinker	9.375	9.405	2.5	70	80
15	Splinker	12.675	9.405	2.5	70	80
16	Splinker	16.675	9.405	2.5	70	80
17	Splinker	19.575	13.005	2.5	70	80
18	Splinker	22.875	13.005	2.5	70	80
19	Splinker	9.375	13.005	2.5	70	80
20	Splinker	12.675	13.005	2.5	70	80
21	Splinker	16.275	13.005	2.5	70	80
22	Splinker	19.575	16.605	2.5	70	80
23	Splinker	22.875	16.605	2.5	70	80
24	Splinker	9.375	16.605	2.5	70	80
25	Splinker	12.675	16.605	2.5	70	80
26	Splinker	16.275	16.605	2.5	70	80
27	splinker	19.574	20.205	2.5	70	80
28	Splinker	22.875	20.205	2.5	70	80
29	Splinker	9.375	20.205	2.5	70	80
30	splinker	12.675	20.205	2.5	70	80

En la simulación el programa predice la cantidad de sprinklers o rociadores que serán activados para la extinción del fuego (**Figura 11**), los sprinklers necesarios para extinguir el fuego en el área de operación de ILA son 8. La **tabla 11** señala el rociador y el tiempo de activación. Estos valores serán estándar para las siguientes simulaciones experimentales con la adición de los ignífugos.

Tabla 11. Tiempo de activación de los sprinklers

Cantidad de sprinklers	Número de sprinklers	Tiempo (s)
1	3	120
2	13	126
3	23	129
4	8	159
5	6	160
6	10	130
7	16	158
8	25	180

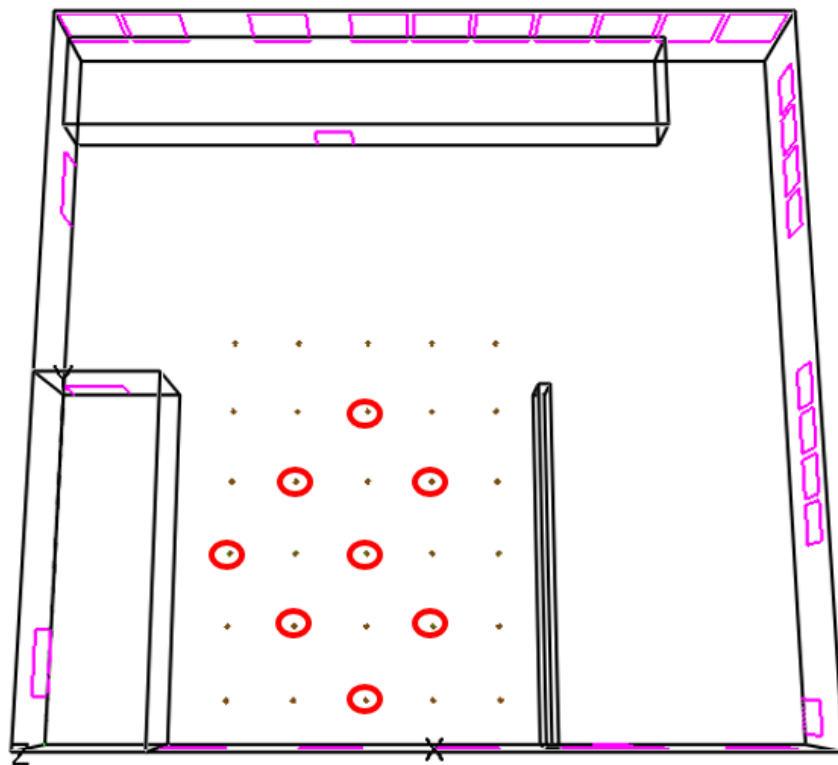


Figura 11. Ubicación de los rociadores activados

3.3.1.7. Simulación

La **tabla 12** detalla los resultados obtenidos de las simulaciones de un sistema contra incendios para el área de operación de la empresa ILA con la adición de ignífugos diluidos en agua. Se realizaron 3 simulaciones con diferentes condiciones, analizando el tiempo en el que los rociadores controlaron el incendio. Es decir, se consideró el tiempo en que el rociador fue activado al entrar en contacto con la temperatura establecida, y cuanto tarda en extinguirse el incendio, para obtener los tiempos iniciales y finales de la simulación.

El sistema de rociadores consta de tres condiciones para cada simulación. Una sin la adición de ningún ignífugo, y las dos siguientes con los ignífugos de aluminio y magnesio respectivamente. Los resultados expuestos (**tabla 12**) demuestran que la simulación que contiene ignífugos ($\text{Al}(\text{OH})_3$ y $\text{Mg}(\text{OH})_2$) disminuye significativamente el tiempo de desarrollo del incendio con respecto al que no contiene. (**González, 2009**) menciona que estos compuestos retardan el efecto del fuego, debido a que absorben el calor por la reacción endotérmica que llegan a presentar. Además, los ignífugos no necesitan de cantidades elevadas para su uso (**Pearce & Liepins, 1975**). La simulación con el menor tiempo de extinción del fuego (luego de la activación de los rociadores), fue el que contiene el ignífugo de aluminio, reduce un 30% en comparación al que solo contiene agua. El porcentaje de adición de los ignífugos fue del 9%, el mismo que es implementado en la interfaz de simulación para la tasa de liberación de calor. Este valor (9%) es seleccionado en base a los resultados en la experimentación de (**Pozo Álvarez & Córdova Suarez, 2020**) que también utilizan ignífugos de hidróxido de aluminio y magnesio a diferentes concentraciones (3, 6 y 9 %) como medio de control de incendios. A su vez demuestra en su estudio que el mejor ignífugo es el de aluminio en todas sus concentraciones presentando la mayor eficacia al 9% debido a su comportamiento auto extinguido. En cuanto al ignífugo de hidróxido de magnesio no es eficaz en sus concentraciones bajas ya que aumentan la tasa de combustión y de la misma forma solo es útil en su concentración alta (9%). Con estas consideraciones se obtuvo el porcentaje de ignífugo a utilizar en el sistema de rociadores de ILA.

Tabla 12. Resultados de la simulación

Cantidad de splinkers	Posición del splinkers	Tiempo de duración del incendio		
		Rociador	Ignifugo de Al(OH)3	Ignifugo de Mg(OH)2
1	3	1880	1436	1812
2	13	1874	1437.8	1812.6
3	23	1871	1438.7	1812.9
4	8	1841	1447.7	1815.9
5	6	1840	1448	1816
6	10	1870	1439	1813
7	16	1842	1447.4	1815.8
8	25	1820	1454	1818

En las siguiente **figura 12** se representa el desarrollo del incendio en CFAST. El programa permite la visualización en tiempo real, muestra el patrón de comportamiento en base a las condiciones que se realizaron. Aparecerá el humo formado y la temperatura a la que se encuentra el recinto durante el incendio. ILA es simulado en un tiempo total de 5000 segundos y la duración final del incendio es de 3600. El tiempo de activación del primer y último rociador comprende un rango de 120 a 180 segundos (**Tabla 11**). Además, la **figura 12** muestran las fases de desarrollo del incendio. El punto de ignición transcurre los 10 segundos de iniciar la simulación, alcanzado el flashover en los 300 segundos, hasta finalizar el incendio en los 3600 s por la activación de los rociadores. El tiempo de duración del incendio con el ignifugo de hidróxido de aluminio disminuyo en un 30% y con el ignifugo de hidróxido de magnesio un 10%. Indicando nuevamente la eficacia del uso de estos compuestos al añadirlos en el líquido (agua) del sistema de rociadores.

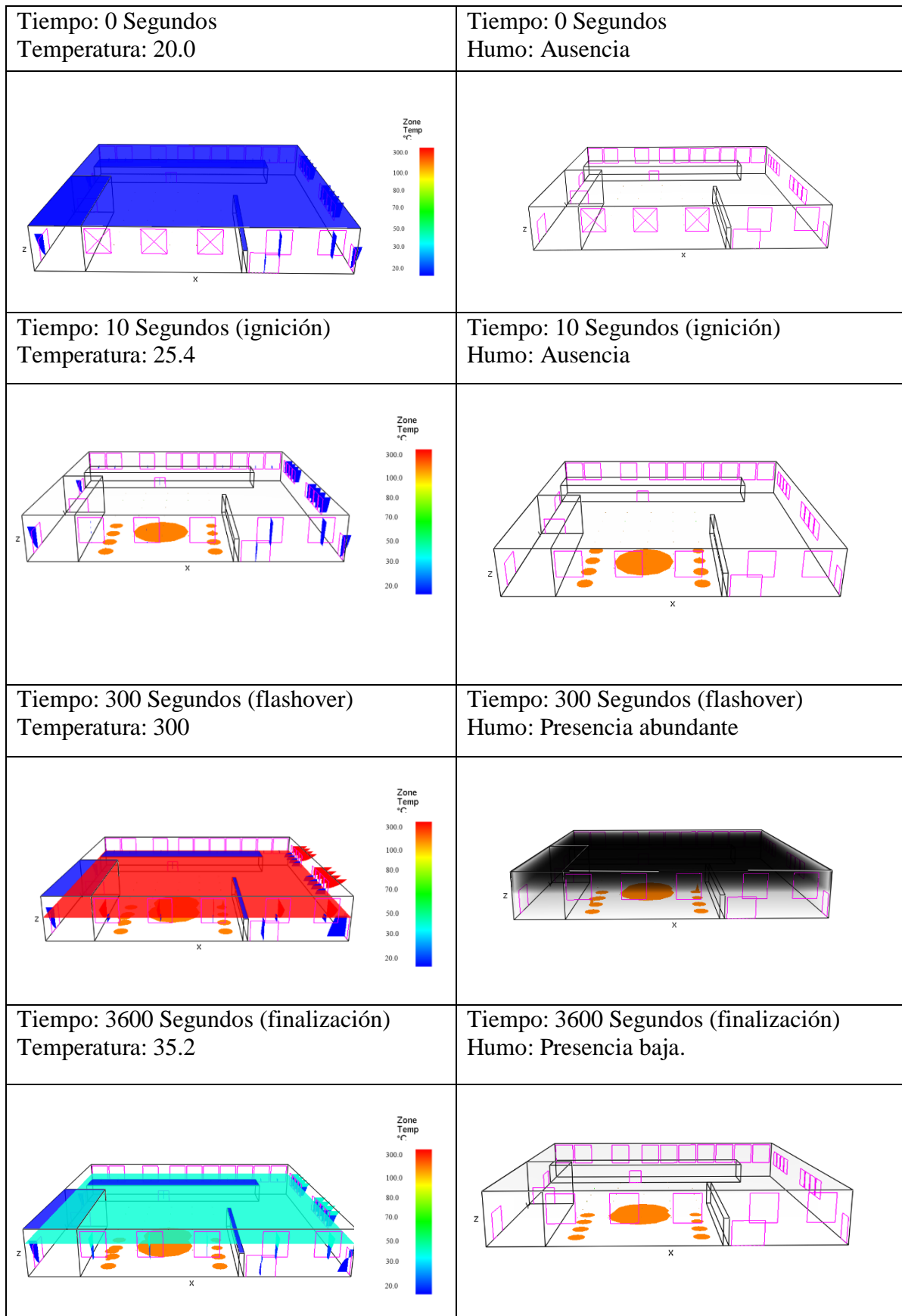


Figura 12. Desarrollo del incendio ILA

3.2. Verificación de hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se empleó el diseño estadístico de la prueba t de student (**Anexo 14**) con la finalidad de comparar las medias de dos muestras de diferentes tratamientos (**Tabla 12**) en base a los resultados obtenidos en las simulaciones. A un nivel de confianza del 95% se demostró que existe una diferencia altamente significativa entre los tres tratamientos (Rociador e ignífugos) comprobando mediante el análisis estadístico que el de ignifugo de hidróxido de aluminio demostró ser el tratamiento con más capacidad de disminución en cuanto al tiempo de control del incendio. Se comprobó directamente que cada tratamiento es más eficiente q el rociador sin ningún aditivo (ignifugo). Siendo así el ignifugo de hidróxido de aluminio el más relevante en todas las pruebas estadísticas (**Anexo 14**) con alto nivel de significancia. En la **figura 13** se representa la eficacia del hidróxido de aluminio con respecto al rociador simple y al ignifugo de hidróxido de magnesio, se evidencia que el tiempo que tarda en extinguirse el incendio es menor con relación a los antes mencionados. Con base a los resultados estadísticos las hipótesis nula es rechazada debido a la existencia de diferencias significativas entre las medias de los dos grupos, eso quiere decir que los tiempos de simulación sin ignifugo y con ignifugo no serán iguales, por lo tanto uno de los tratamientos será mejor que el otro y si existirá una incidencia en la disminución del tiempo de extinción del fuego.

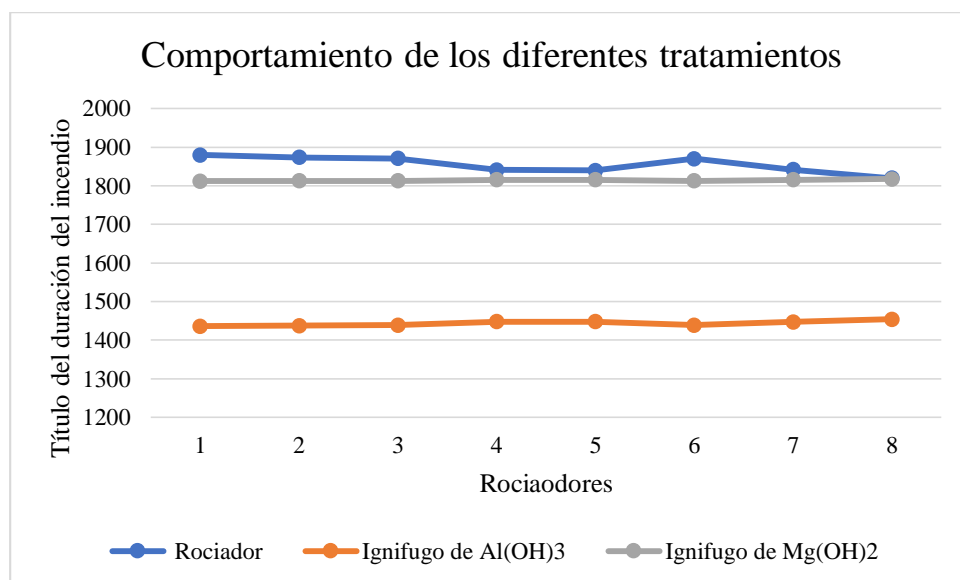


Figura 13. Comparación del tiempo, en función de las variables de simulación

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El diseño de un sistema contra incendios en la planta de producción ILA, se lo realizó con el software CFAST, siendo uno de los simuladores más importantes para el control y disminución de un incendio a pequeñas y grandes escalas. Se utilizó ignífugos inorgánicos (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) que presentaron una disminución en el tiempo de duración del incendio con relación al que no fue agregado (**Tabla 12**) luego de la activación de los sprinklers.
- El diseño de un sistema hidráulico de extinción con agua diluido con ignifugo inorgánico se lo realizó mediante el uso y aplicación de las normas NFPA 13 y la UNE-EN 12834.2016, esto determino que el área de operación ocupa un riesgo ordinario tipo cuatro por la gran cantidad de líquidos inflamables (etanol) presentes en la planta de producción ILA. Se determino el tipo de tubería a utilizar para el área de superficie de los rociadores, y el volumen de abastecimiento para el control y extinción del incendio. Se determinó que el área de operación contará con un área de superficie para 30 rociadores, el programa determinó la activación de 8 rociadores en esta área que fueron suficientes para el control y extinción del mismo.
- Se estableció las condiciones óptimas para la simulación de un sistema contra incendios en la planta de producción de ILA. En las **tablas 4, 5 y 7** se establece los valores de las condiciones que ILA presenta para llevar a cabo la simulación. Se estableció valores del tiempo en que dura la simulación (5000 s) y las temperaturas del interior y exterior de la planta. Además, es importante señalar la utilización de las curvas HRR de los materiales a simular, ya que muestran el comportamiento de este durante el incendio.

- Al simular el incendio con los ignífugos inorgánicos se analizó el comportamiento del incendio en la planta de producción ILA, determinando una disminución considerable de temperatura para el hidróxido de aluminio como el hidróxido de magnesio con valores de () y () respectivamente en comparación con la simulación sin ignífugos (). Al igual utilizando estos ignífugos hubo una disminución de los gases inflamables que genera humo, por ende en la figura 12 se observa que al finalizar el incendio el humo es eliminado.

4.2.Recomendaciones

- Considerar el uso de compuestos orgánicos como compuestos químicos para la extinción de un incendio para compararlo con los utilizados en este trabajo de investigación.
- Para una simulación de más de 30 compartimentos se debe utilizar otro simulador de incendios como los modelos de campo (FDS,CFD).
- Se recomienda utilizar un computador con una alta capacidad de rendimiento para la proceso de datos, debido a que CFAST crea ficheros con varias combinaciones y puede generar error al momento de simular.

MATERIALES DE REFERENCIA

- Albornoz, S., Chereau, J.-P., & Araya, S. (2016). *Guía de Autoinstrucción N°1. El Fuego y los Incendios*.
- Alcázar, M., Bolaños, L., & Garcia, S. (2019). *Análisis de Seguridad Humana basado en desempeño en caso de incendio del edificio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica*. Costa Rica.
- Alvear, D., Rein, G., Capote, J., Torero, J., & Lázaro, M. (2015). *Modelado y simulación computacional de incendios en la edificación*. (E. D. Santos, Ed.) (1a ed.). Madrid.
- Arce, J. (2015). *Escuela nacional de protección civil*. Mexico.
- Arguello, M., & Cadena, J. (2009). *Análisis de Propagación de fuego*. Bogotá.
- Assas, P., Otero, J., Mena, T., & Pérez, I. (2008). *Apuntes de Termodinámica*.
- Basset, J. (2016). *Flashover : Desarrollo y control*. Valencia.
- Bello Sánchez, B. (2017). *Intervención en incendios interiores*. Madrid.
- Burkhart, D. J., Fairclough, R. J., Laverick, G. E., Morizio, A., Byron J Sarago, N. M., Ricardo Ortíz, J. R., ... -Colombia, D. (2007). *Extintores Portátiles Contra Incendios*. Bogotá.
- Cárcamo, M. (2007). *Técnicas de investigación de Incendios. Incendios de Origen eléctrico*. Barcelona.
- Cárdenas, C. (2015). *Análisis normativo y Simulación del compartimiento en caso de incendio del edificio*. Valdivia.
- CEMI, C. de E. M. (2017). *Manual de incendios Estructurales*. Buenos Aires.
- Cruz, L. (2012). *Diseño de un sistema contra incendio para el área de producto terminado de una planta Elaboradora de Pintura*. Guayaquil.
- Cuerpo de Bomberos Navarra. (2005). *El fuego o Combustión*. Navarra.
- Daéid, N. (2004). Fire investigation. *CRC PRESS*, 236.

- De Lucas, M., & Hernández, G. (2017). *SIMULACIÓN DE INCENDIOS EN CENTRALES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE CÓDIGO FDS*.
- DEMSA. (2020). *Seguridad Contra Incendios*. Mexico.
- Duarte, G., & Piqué, T. (2001). *NTP 599: Evaluación del riesgo de incendio: criterios*. Madrid. <https://doi.org/10.1109/LARS>
- Fernández, I., Pérez, S., & Renedo, C. (2016). *Termodinámica y Termotecnia*. Cantabria.
- Frank Kreith, RAJM. Manglik, Ma. S. B. (2015). Principios de Transferencia de Calor. *The effects of brief mindfulness intervention on acute pain experience: An examination of individual difference*.
- FREMAP. (2015). *Guía Básica sobre Guía Básica sobre Prevención de incendios*. Madrid.
- González, O. (2009). Los retardantes de fuego. Ingeniería de Protección contra el Fuego. *Los retardantes de fuego*.
- Grant, C. C. (2019). INCENDIOS. RIESGOS GENERALES. *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*.
- Gutiérrez, L., & Mina, J. H. (2019). Desarrollo de compuestos XLPE con retardantes de llama de baja toxicidad para aislamiento de cables. *TecnoLógicas*, 22(45), 73–90. <https://doi.org/10.22430/22565337.1104>
- Guzman, C. (2014). *Sistemas contra incendio*. Nueva York.
- Herrán, A., Martínez, J., & Cabrera, A. (2015). *Teoría del Fuego*. Guadalajara.
- Holman, J. P. (1999). *HEAT TRANSFER. McGRAW HILL BOOK COMPANY, INC* (JohnWiley&). England: John Wiley. <https://doi.org/10.1002/0470091150>
- ILA, I. licoreras y asociados. (1962). Industrias Licoreras Asociadas ILA S.A.
- Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. (Pearson educación, Ed.).
- ITA, I. A. de la C. R. (2016). *Instalaciones de protección contra incendios*. Ciudad Real.

- Liarte, A. (2008). Dinámica de fluidos computacional aplicada a la simulación de un sistema de extinción de incendios en una sala de ordenadores.
- Manrique., J. A. (2002). *TRASNFERENCIA DE CALOR*.
- Martinka, J., Rantuch, P., & Wachter, I. (2019). Impact of Water Content on Energy Potential and Combustion Characteristics of Methanol and Ethanol Fuels. *Energies*, 16.
- Mayer, N., Parisian, K., & Gleason, A. (2010). NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems.
- Mesen, C., Ávila, L., Boza, K., Solis, A., Araya, R., Ulloa, F., & Fuentes, M. (2015). *MANUAL DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS*. Costa Rica.
- MIES, M. de I. E. y S. (2009). *Reglamento de prevención, mitigación y protección contra incendios*.
- NEC, N. E. de la C. (2019). NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) – Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Norma Española UNE-EN 12845. (2016). *Sistemas fijos de lucha contra incendios Sistemas de rociadores automáticos Diseño, instalación y mantenimiento*. Recuperado de www.aenor.es
- Peacock, R. D., Jones, W., Reneke, P., & Forney, G. (2005). CFAST–Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User’s Guide. *NIST Special Publication, 1041*.
- Pearce, E. M., & Liepins, R. (1975). Flame Retardants. *Environmental Health Perspectives, 11*, 59–69. <https://doi.org/10.2307/3428325>
- Pozo Álvarez, D. S., & Córdova Suarez, M. A. (2020). *Eficacia de ignífugos inorgánicos (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) en la velocidad de combustión de calamagrostis intermedia de páramos de Ecuador*. Trabajo. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3164/1/AL499.pdf>
- Ramos Rodríguez, M. P. (2010). *Manejo del Fuego*.

Valladares, L. (1991). Manual de prevención y extinción de incendios : Guía para docentes.

Zurita, F., & Córdova, M. (2019). Diseño de un Sistema contra Incendios mediante la utilización de la Herramienta CFAST en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 13. Clasificación y características de las ocupaciones de Riesgos.

Clasificación de ocupaciones	Características
Riesgo leve	La cantidad y/o combustibilidad de los contenidos es baja, y se esperan incendios con bajo índice de liberación de calor.
Riesgo ordinario grupo 1	La combustibilidad es baja. La cantidad de combustible es moderada. Las pilas de almacenamiento no superan los 2.4 m de altura y se esperan incendios con un índice de liberación de calor moderado.
Riesgo ordinario grupo 2	La combustibilidad es baja. La cantidad de combustible es de moderada a alta, las pilas de almacenamiento de combustibles no superan los 3.7 m de altura, y se esperan incendios con índice de liberación de calor moderados a altos
Riesgo ordinario grupo 3	Incluye actividades donde procesan o fabrican materiales combustibles con una carga de fuego y combustibilidad medios. Fábricas de jabón, laboratorios, talleres de pintura, tintorerías
Riesgo ordinario grupo 4	Cantidades moderadas a considerables de líquidos inflamables o combustibles, o donde se resguarden cantidades importantes de productos combustibles, destilería alcohólicas, reciclaje de papel, fabricación de algodón, plantas de preparación de cáñamo.
Riesgo extra	La cantidad y combustibilidad de los contenidos es muy alta y están presentes líquidos inflamables o combustibles, polvo, pelusas u otros materiales que introducen la probabilidad de existencia de incendios con un rápido desarrollo y elevados índices de liberación de calor.
Riesgo extra-grupo 1	Presencia de poco o ningún líquido inflamable o combustible

Fuente: (Cruz, 2012).

ANEXO 2

Tabla 14. Superficie máxima y separación para rociadores

Clase de riesgo	Superficie máxima por rociador (m ²)	Distancias máximas como se muestran en la figura 13		
		Distribución normal S y D	Distribución al tresbolillo	
			S	D
RL	21,0	4,6	4,6	4,6
RO	12,0	4,0	4,6	4,0
REP y REA	9,0	3,7	3,7	3,7

ANEXO 3

Tabla 15. Tipos de rociadores y factores K para diferentes tipos de riesgo

Clase de riesgo	Densidad de diseño (mm)	Tipo de rociador	Factor K nominal
RL	2,25	Convencional, pulverizador, de techo, semi empotrado, pulverizador plano, empotrado, escondido y de pared	57
RO	5,0	Convencional, pulverizador, de techo, semi empotrado, pulverizador plano, empotrado, escondido y de pared	80 o 115
REP y REA rociadores de techo o cubierta	< 10	Convencional, pulverizador	80,115,160
	> 10	Convencional, pulverizador	115 o 160
REA rociadores intermedios en almacenamiento altos apilados		Convencional, pulverizador y pulverizador plano	80 o 115

ANEXO 4

Tabla 16. Criterios de diseño para RL, RO, REP

Clase de riesgo	Densidad de diseño (mm/min)	Área de operación	
		Mojada o acción previa	Seca o alterna
RL	2,25	84	No permitida Se usa ROI
RO 1	5,0	72	90
RO 2	5,0	144	180
RO 3	5,0	216	270
RO 4	5,0	360	No permitida Se usa REPI
REP 1	7,5	260	325
REP 2	10,0	260	325
REP 3	12,5	260	325
REP 4		Diluvio (véase en la nota)	

Nota: Necesita consideración especial. Los sistemas de diluvio no están cubiertos por esta norma

ANEXO 5

Tabla 17. Diámetros mínimos de tubo

Riesgo	Diámetro (mm)
RL	20
RO y RE tubo horizontal y montante conectando un rociador teniendo un factor K no mayor que 80.	20
Todos los otros	25

ANEXO 6

Tabla 18. Requisitos para demanda de chorros de mangueras y duración del suministro de agua para un sistema de rociadores diseñado hidráulicamente.

Tipo de riesgo	Mangueras interiores (GPM)	Total combinado de mangueras interiores y exteriores (GPM)	Duración (min)
Riesgo leve	0.50 o 100	100	30
Riesgo ordinario	0.50 o 100	250	60-90
Riesgo extra	0.50 o 100	500	90-120

Nota. Para unidades del sistema internacional 1gpm= 3.785 L/min
Fuente: (Burkhart et al., 2007)

ANEXO 7

Tabla 19. Propiedades de paquetes constructivos.

Elemento constructivo	Paquete constructivo	Componentes	Espesor (cm)	Densidad ($\frac{Kg}{m^3}$)	Conductividad térmica ($\frac{W}{mK}$)
Paredes	Ladrillo sin revestimientos	Ladrillo	15	1920	0.72
		Enlucido exterior	1	1300	0.5
	Ladrillo con revestimientos	Ladrillo	15	1920	0.72
		Enlucido interior	1	1760	0.72
	Bloque de concreto (15cm)	Enlucido exterior	1	1300	0.5
		Bloque de concreto	15	1040	0.62
		Enlucido interior	1	1760	0.72
	Bloque de concreto (20cm)	Enlucido exterior	1	1300	0.5
		Bloque de concreto	20	1040	0.62
		Enlucido interior	1	1760	0.72

	Madera (paneles OSB)	Panel OSB	1.27	650	0.105
	Caña no revestida	Caña guadua	0.6	714	0.3
	Caña revestida	Enlucido exterior	1	1300	0.5
		Caña guadua	1	714	0.3
		Enlucido interior	1	1760	0.72
	Adobe	Adobe	30	1440	0.76
	Hormigón	Hormigón	15	2000	1.13
	Panel metálico	Lámina metálica	0.04	7800	50
		Poliuretano	10	30	0.04
		Lámina metálica	0.04	7800	50
	Panel de gypsum aislado	Gypsum	2	900	0.3
		Poliuretano	10	30	0.04
		Gypsum	2	900	0.3
	Panel OSB aislado	OSB	0.6	650	0.1
		Poliuretano	10	30	0.04
		OSB	0.6	650	0.1
	Panel de tríplex aislado	Tríplex	0.6	525	0.12
		Poliuretano	10	30	0.04
		Tríplex	0.6	525	0.12
Techos	Losa hormigón	Hormigón armado	10	2400	2.3
	Teja	Teja de arcilla	2.5	2000	1
	Zinc	Zinc	0.6	7200	110
	Paja	Paja	2	270	0.09
	Fibrocemento	Panel de fibrocemento	0.6	1120	1
	Hormigón	Piedra	10	2	3.49
		Polietileno	0.04	920	0.33

Piso		Hormigón	5	1800	1.35	
	Tierra	Tierra apisonada	15	1885	1.1	
	Madera	Madera dura	1.5	1700	0.18	
Puerta	Metal	Acero	0.03	7800	50	
		Aire	0.1	-	-	
		Acero	0.03	7800	50	
	Madera sólida	Roble pintado	4.2	700	0.19	
	Madera hueca	Plywood	0.6	700	0.15	
		Aire	3	-	-	
		Plywood	0.6	700	0.15	
	Ventanas	Vidrio simple (3 mm)	Vidrio transparente	0.3	-	0.9
		Vidrio simple	Vidrio con lamina	0.3	-	0.9
Vidrio simple (6 mm)		Vidrio transparente	0.6	-	0.9	
Vidrio doble (3mm)		Vidrio transparente	0.3	--	0.9	
		Aire	0.6	-	-	
		Vidrio transparente	0.3	-	0.9	

Fuente: (NEC, 2019).

ANEXO 8

Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales de construcción.

Tipo de material	Material	Propiedades térmicas		
		Conductividad térmica	Calor específico	Densidad
		K $(\frac{W}{mK})$	Cp $(\frac{J}{KgK})$	ρ $(\frac{Kg}{m^3})$
Piedra	Piedra – piedra compacta	3.49	840	2880
	Roca compacta	3.50	880	2750
	Piedra	1.83	712	2200
Asbestos, hormigón, bloques de hormigón	Hormigón	1.40	837	2220
	Concreto de mediana densidad	1.35	1000	1800
	Hormigón armado	1.63	1050	2400
	Asbesto	0.36	1050	1500
	Fibro cemento	0.93	1250	2000
	Bloque de concreto	0.62	840	1040
	Concreto muy baja densidad	0.05	-	305
	Bloque de concreto	0.49	-	-
	Bloque hormigón celular vapor L	0.35	-	600
	Bloque hormigón celular vapor M	0.41	-	800
	Bloque hueco hormigón L	0.44	-	1000
	Bloque hormigón celular vapor p	0.47	-	1000
	Bloque hueco hormigón M	0.49	-	1200
	Bloque hueco hormigón P	0.56	-	1400
	Bloque hormigón ligero macizo	0.33	1050	1000

	Bloque hormigón ligero	0.56	1050	1400
Materiales aislantes	Lana mineral (panel)	0.042	1030	12
	Lana mineral (manta/rollo)	0.038	1030	25
	Poliestireno expandido (EPS)	0.04	1450	15
	Poliestireno extruido (XEPS)	0.035	1400	40
	Espuma de poliuretano	0.025	1400	30
	Espuma de urea formaldehído	0.04	1400	10
	Fibra de vidrio	0.046 a 0.048	800	7.5 a 8.2
	Lana de roca o lana de escoria	0.036 a 0.037	800	32 a 37
		0.033 a 0.035	800	45
	Celulosa en spray para cavidades en paredes	0.039 a 0.040	-	26 a 42
	Fibra de vidrio en spray para cavidades en paredes o áticos	0.039 a 0.042	-	16
		0.033 a 0.037	-	29 a 37
	Ladrillos, adobes	Ladrillo común	0.80	840
Ladrillo de sílice		1.07	-	1900
Ladrillo de magnesita		2.68	1130	2000
Ladrillo macizo		0.87	1330	1800
Ladrillo aireado		0.30	840	1000
Ladrillo quemado		0.85	840	1500
Ladrillo		0.75	880	1730
Ladrillo al cromo		2.32	840	3000
Adobe		0.95	920	1600
Adobe		0.58	850	1280
Ladrillo hueco		0.49	-	1200
Ladrillo perforado		0.76	-	1600
Ladrillo sílico – calcáreo		0.79	-	1600
Ladrillo cerámico macizo		0.87	-	1800
Gypsum		0.25	1000	900

Yesos	Placas de escayola	0.3	-	800
	Mortero de yeso	0.76	-	1000
	Placas de yeso	0.29 - 0.58	-	600 – 1200
	Yeso	0.81	837	1800
Maderas	Maderas frondosas	0.21	-	800
	Madera de coníferas	0.14	-	600
	Contrachapado	0.14	-	600
	Plywood 19.0 mm	0.10	1880	450
	Tablero de partículas de madera	0.14	1700	600
	Tablero aglomerado de partículas	0.08	-	650
	Tableros de fibra orientada	0.13	1700	6510
	Madera de roble	0.19	2390	700
	Madera	0.13	1381	840
	Madera de abedul	0.14	1884	650
	Madera de alerce	0.11	1298	650
	Madera de arce	0.34	1591	750
	Madera de chopo	0.15	1340	650
	Madera de fresno	0.34	1591	750
	Madera de haya	0.14	1340	800
	Madera de haya blanca	0.14	1340	700
	Madera de pino	0.16	1298	650
	Madera de pino blanco	0.11	1465	550
	Madera de roble	0.20	2386	850
Plásticos	Policarbonato	0.19 – 0.22	1200	1200

Fuente: (NEC, 2019).

ANEXO 9

Tabla 21. Poder calorífico

Producto	MJ/Kg	Formula química
Caucho	42	C ₅ H ₈
Carbono	33.5	CH
Cartón	16.7	C ₆ H ₁₀ O ₅
Celulosa	16.7	C ₆ H ₁₀ O ₅
Madera	16.7	C ₆ H ₁₀ O ₅
Papel	16.7	C ₆ H ₁₀ O ₅
Policarbonato	29.3	C ₁₆ H ₁₄ O ₃
Poliéster	25.1	C ₁₀ H ₈ O ₄
Polietileno	42	C ₂ H ₄
Poliuretano	46	-

Fuente: **(Fernández, Pérez, & Renedo, 2016).**

ANEXO 10

Tabla 22. Tabulación de tuberías para riesgo ordinario

Acero		Cobre	
1"	2 rociadores	1"	2 rociadores
1 1/4"	3 rociadores	1 1/4"	3 rociadores
1 1/2"	5 rociadores	1 1/2"	5 rociadores
2"	10 rociadores	2"	12 rociadores
2 1/2"	20 rociadores	2 1/2"	25 rociadores
3"	40 rociadores	3"	45 rociadores
3 1/2"	65 rociadores	3 1/2"	75 rociadores
4"	100 rociadores	4"	115 rociadores
5"	160 rociadores	5"	180 rociadores
6"	275 rociadores	6"	300 rociadores

ANEXO 11

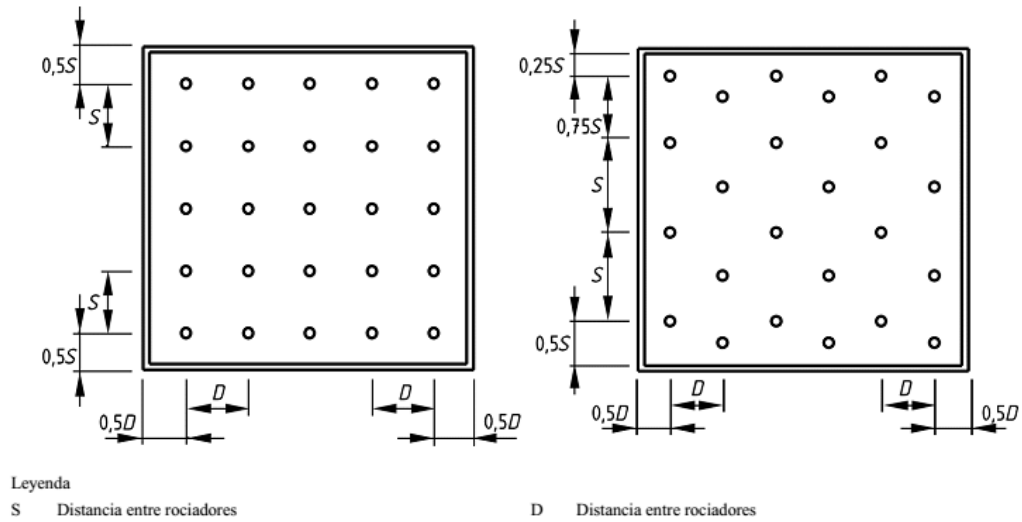


Figura 14. Separación para rociadores de techo

ANEXO 12

Área de operación

Ecuación 1: $A_T = b * h$

$$A_T = 17.96 * 18.81$$

$$A_T = 337.8276 \text{ m}^2$$

Número total de rociadores

Ecuación 2: $\text{Numero de ríadores} = \frac{\text{área de operacion}}{\text{área por ríador}}$

$$\text{Numero de ríadores} = \frac{360 \text{ m}^2}{11.88 \text{ m}^2}$$

$$\text{Numero de ríadores} = 30.30 = 31$$

Caudal total de sistema

Ecuación 3: $Q_r = K * P^{1/2}$

$$Q_t = 11.88 * 31 * 5$$

$$Q_t = 1841.41 \text{ l/min}$$

Caudal de cada rociador

$$\text{Ecuación 4: } Qr = \frac{Q \text{ total}}{\text{número de rociadores}}$$

$$Qr = \frac{1841.41 \text{ l/min}}{31}$$

$$Qr = 59.41 \text{ l/min}$$

Presión de caída de cada rociador

$$P = \left(\frac{Qr}{K}\right)^2$$

$$P = \left(\frac{59.41 \text{ l/min}}{80}\right)^2$$

$$P = 0.551 \text{ bar}$$

Volumen de abastecimiento de agua

$$\text{Ecuación 5: } V = Q_{\text{total}} * t$$

$$V = 1841.41 \text{ l/min} * 2$$

$$V = 3682.82 \text{ l}$$

ANEXO 13

Tabla 23. CURVA HRR ETANOL

Tiempo	HRR (kW)	Altura m	Área(m ²)	Rendimiento CO	Rendimiento Hollín
0	0	0	40	0	0
500	90	2	40	0.02	0.03
1000	96	2	40	0.02	0.03
1500	190	2	40	0.02	0.03
2000	290	2	40	0.02	0.03
2500	290	2	40	0.02	0.03
3000	400	2	40	0.02	0.03
3500	400	2	40	0.02	0.03
4000	400	2	40	0.02	0.03
4500	90	2	40	0.02	0.03
5000	0	2	40	0.02	0.03

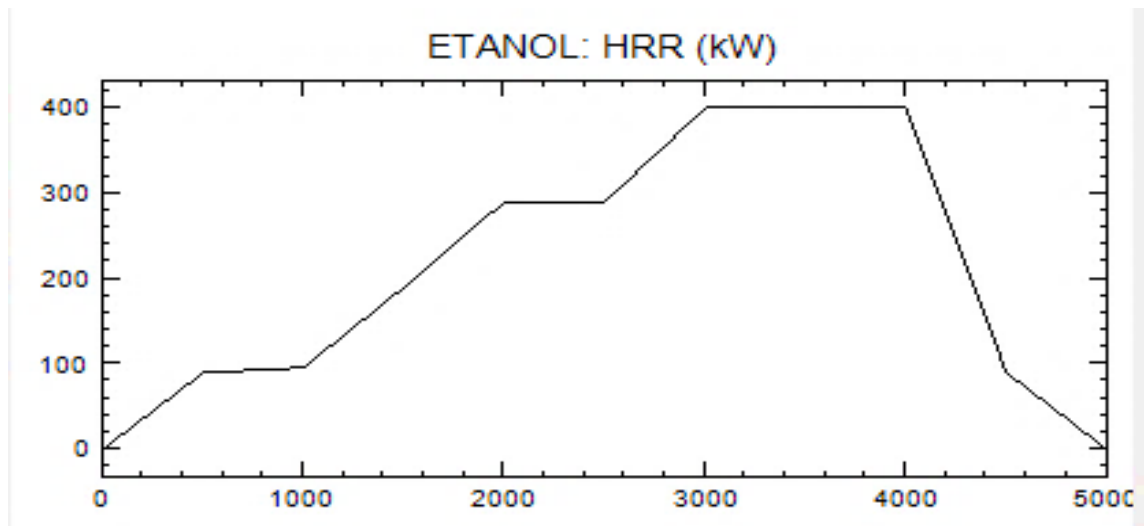


Figura 15. CURVA HRR ETANOL

Tabla 24 . CURVA HRR ETANOL + IGNIFUGO (Al(OH)₃)

Tiempo	HRR (kW)	Altura m	Area(m ²)	Rendimiento CO	Rendimiento Hollín
0	0	0	40	0.02	0.03
500	63	2	40	0.02	0.03
1000	67.2	2	40	0.02	0.03
1500	133	2	40	0.02	0.03
2000	203	2	40	0.02	0.03
2500	203	2	40	0.02	0.03
3000	280	2	40	0.02	0.03
3500	280	2	40	0.02	0.03
4000	280	2	40	0.02	0
4500	63	2	40	0.02	0
5000	0	2	40	0.02	0

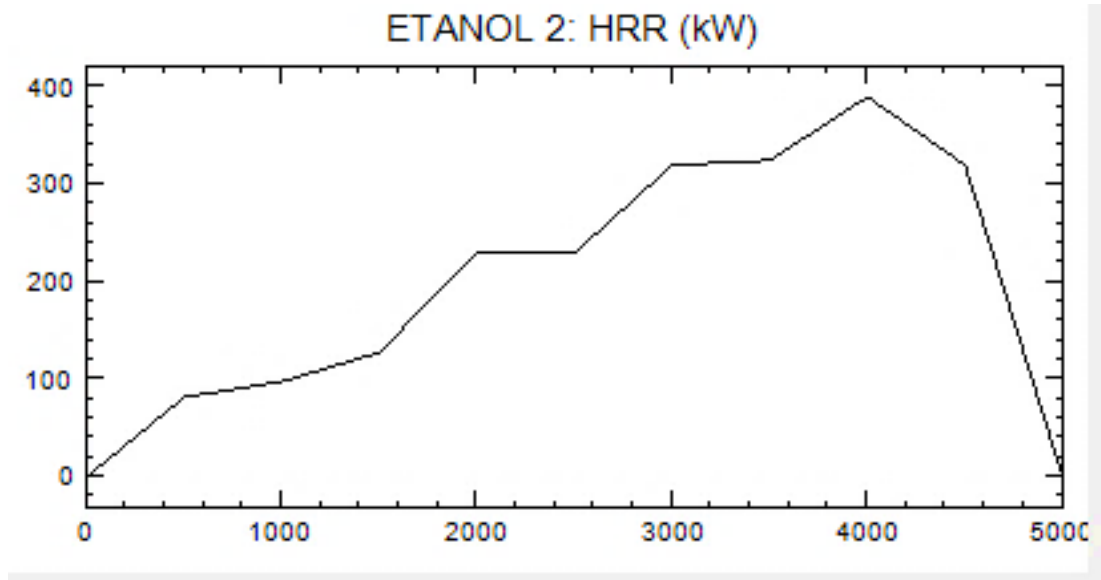


Tabla 25. CURVA HRR ETANOL + IGNIFUGO (Al(OH)₃)

Tabla 26. CURVA HRR ETANOL + IGNIFUGO (Mg(OH)₂)

Tiempo	HRR (kW)	Altura m	Area(m²)	Rendimiento CO	Rendimiento Hollín
0	0	0	40	0.02	0.03
500	81	2	40	0.02	0.03
1000	86.4	2	40	0.02	0.03
1500	171	2	40	0.02	0.03
2000	261	2	40	0.02	0.03
2500	261	2	40	0.02	0.03
3000	360	2	40	0.02	0.03
3500	360	2	40	0.02	0.03
4000	360	2	40	0.02	0.03
4500	81	2	40	0.02	0.03
5000	0	2	40	0.02	0.03

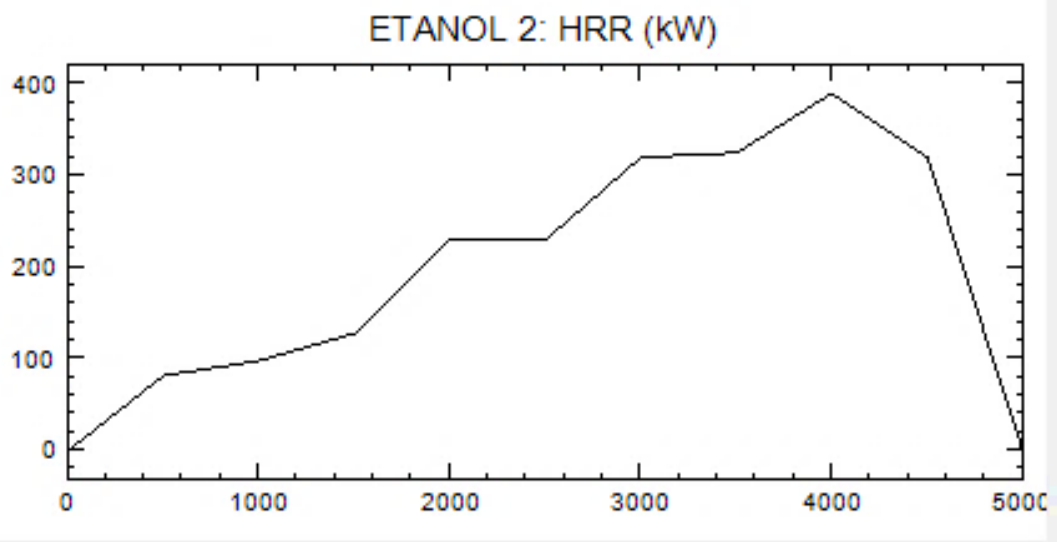


Figura 16. CURVA HRR ETANOL + IGNIFUGO (Mg(OH)₂)

Tabla 27. CURVA HRR BARRIL DE MADERA

Tiempo	HRR (kW)	Altura m	Area(m²)	Rendimiento CO	Rendimiento Hollín
0	0	0	0.3	0.2	0.03
60	250	0.9	0.3	0.2	0.03
170	600	0.9	0.3	0.2	0.03
240	600	0.9	0.3	0.2	0.03
1000	120	0.9	0.3	0.2	0.03

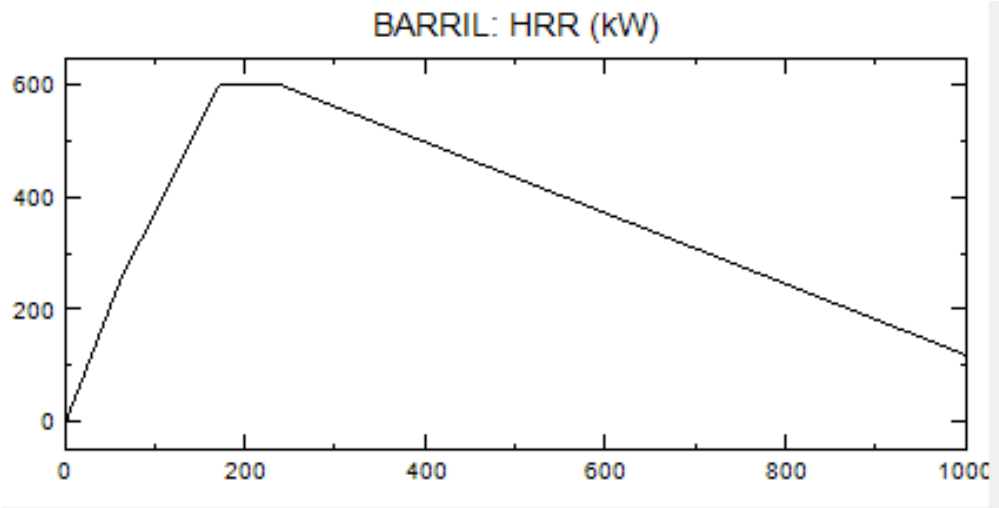


Figura 17. CURVA HRR BARRIL DE MADERA

Tabla 28. BARRIL DE MADERA + IGNIFUGO (Al(OH)₃)

Time	HRR (kW)	Height	Area(m)	CO Yield	Soot Yield
0	0	0	0.3	0.2	0.03
60	175	0.9	0.3	0.2	0.03
170	420	0.9	0.3	0.2	0.03
240	420	0.9	0.3	0.2	0.03
1000	84	0.9	0.3	0.2	0.03

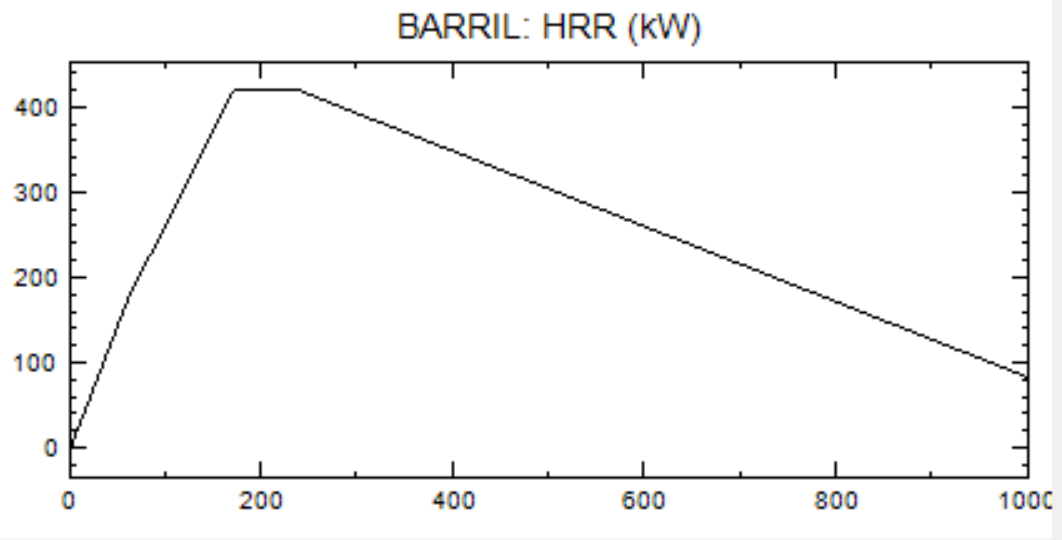


Figura 18. CURVA HRR BARRIL DE MADERA + IGNIFUGO (Al(OH)3)

Tabla 29. CURVA HRR BARRIL DE MADERA + IGNIFUGO (Mg(OH)2)

Tiempo	HRR (kW)	Altura m	Area(m ²)	Rendimiento CO	Rendimiento Hollín
0	0	0	0.3	0.2	0.03
60	225	0.9	0.3	0.2	0.03
170	540	0.9	0.3	0.2	0.03
240	540	0.9	0.3	0.2	0.03
1000	108	0.9	0.3	0.2	0.03

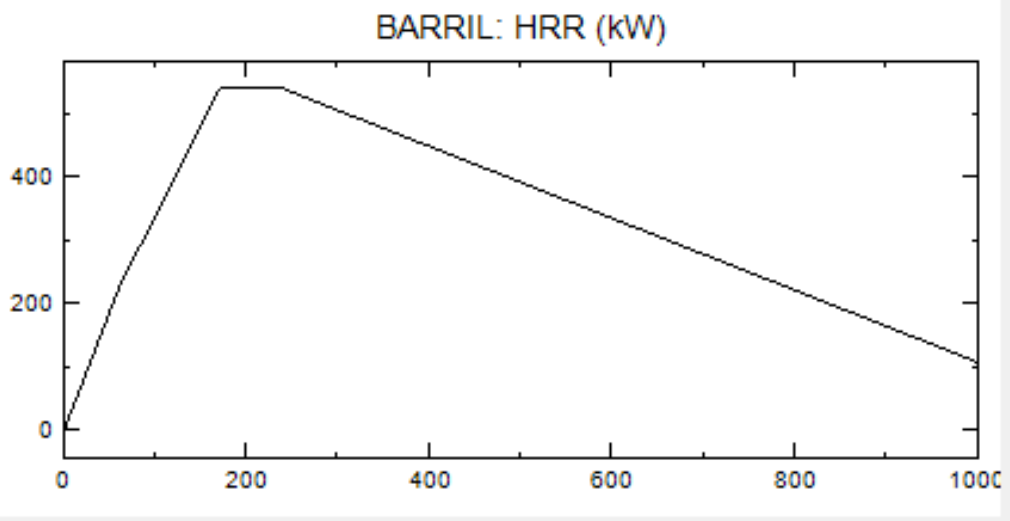


Figura 19. CURVA HRR BARRIL DE MADERA + IGNIFUGO (Mg(OH)2)

Tabla 30. CURVA HRR SILLA TAPIZADA

Tiempo	HRR (kW)	Altura	Area(m ²)	Rendimiento CO	Rendimiento Hollín
0	0	0	3	0.0494	0.131
90	90.5	0.9	3	0.0494	0.131
140	452.5	0.9	3	0.0494	0.131
200	2099.6	0.9	3	0.0494	0.131
265	597.3	0.9	3	0.0494	0.131
390	144.8	0.9	3	0.0494	0.131
540	144.8	0.9	3	0.0494	0.131
840	90.5	0.9	3	0.0494	0.131
1940	0	0.9	3	0.0494	0.131

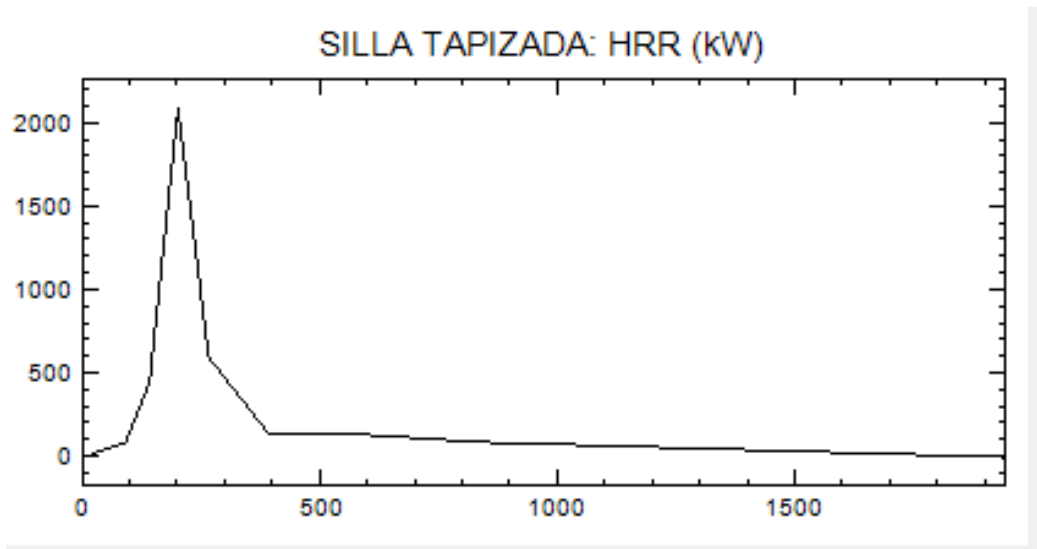


Figura 20. CURVA HRR SILLA TAPIZADA

Tabla 31. CURVA HRR SILLA TAPIZADA + IGNIFUGO (Al(OH)₃)

Tiempo	HRR (kW)	Altura	Area(m ²)	Rendimiento CO	Rendimiento Hollín
0	0	0	3	0.0494	0.131
90	27.15	0.9	3	0.0494	0.131
140	135.75	0.9	3	0.0494	0.131
200	629.88	0.9	3	0.0494	0.131
265	179.19	0.9	3	0.0494	0.131
390	43.44	0.9	3	0.0494	0.131
540	43.44	0.9	3	0.0494	0.131
840	27.15	0.9	3	0.0494	0.131
1940	0	0.9	3	0.0494	0.131

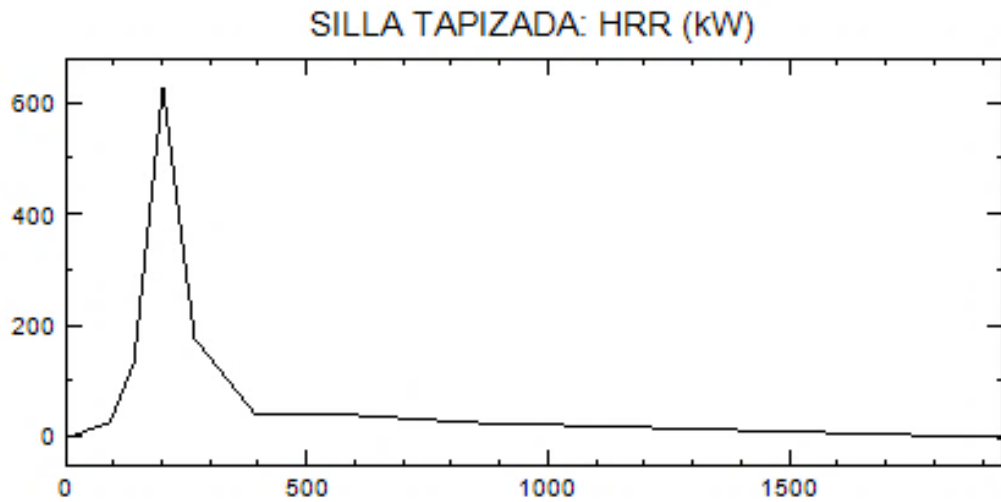


Figura 21. CURVA HRR SILLA TAPIZADA + IGNIFUGO (Al(OH)3)

Tabla 32. CURVA HRR SILLA TAPIZADA + IGNIFUGO (Mg(OH)2)

Tiempo	HRR (kW)	Altura	Área (m ²)	Rendimiento	
				CO	Hollín
0	0	0	3	0.0494	0.131
90	63.35	0.9	3	0.0494	0.131
140	316.75	0.9	3	0.0494	0.131
200	1469.72	0.9	3	0.0494	0.131
265	418.11	0.9	3	0.0494	0.131
390	101.36	0.9	3	0.0494	0.131
540	101.36	0.9	3	0.0494	0.131
840	63.35	0.9	3	0.0494	0.131
1940	0	0.9	3	0.0494	0.131

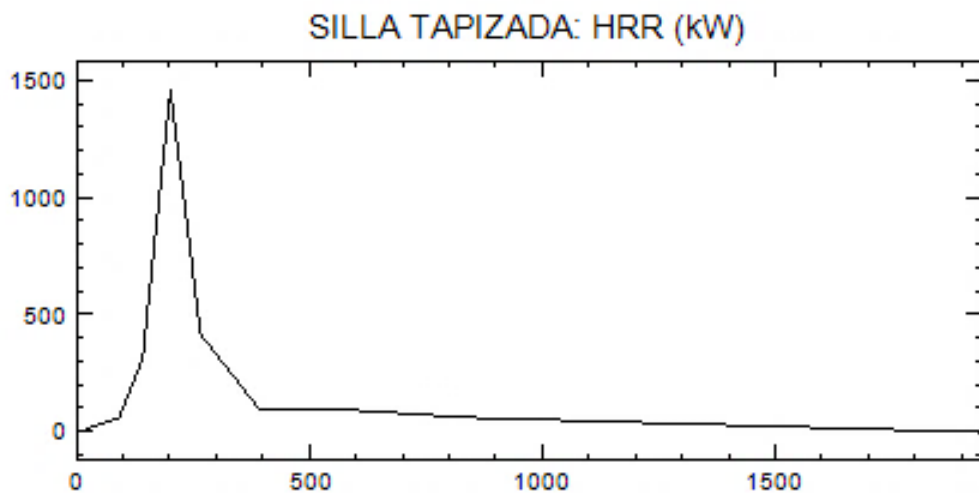


Figura 22. CURVA HRR SILLA TAPIZADA + IGNIFUGO (Mg(OH)2)

ANEXO 14

Tabla 33. Prueba t para medidas de dos muestras emparejadas Rociador e Ignifugo de $(\text{Al}(\text{OH})_3)$

	Rociador	Ignifugo ($\text{Al}(\text{OH})_3$)
Media	1854.75	1443.575
Varianza	468.7857143	42.19071429
Observaciones	8	8
Coefficiente de correlación de Pearson	-1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico t	41.31817759	
P(T<=t) una cola	6.34203E-10	
Valor crítico de t (una cola)	1.894578605	
P(T<=t) dos colas	1.26841E-09	
Valor crítico de t (dos colas)	2.364624252	

Tabla 34. Prueba t para medidas de dos muestras emparejadas Rociador e Ignifugo de $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$

	Rociador	Ignifugo ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)
Media	1854.75	1814.525
Varianza	468.785714	4.68785714
Observaciones	8	8
Coefficiente de correlación de Pearson	-1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico t	4.77706529	
P(T<=t) una cola	0.00100956	
Valor crítico de t (una cola)	1.89457861	
P(T<=t) dos colas	0.00201913	
Valor crítico de t (dos colas)	2.36462425	

Tabla 35. Prueba t para medidas de dos muestras emparejadas Ignifugo de $(\text{Al}(\text{OH})_3)$ y el Ignifugo de $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$

	Ignifugo ($\text{Al}(\text{OH})_3$)	Ignifugo ($\text{Mg}(\text{OH})_2$)
Media	1443.575	1814.525
Varianza	42.1907143	4.68785714
Observaciones	8	8
Coefficiente de correlación de Pearson	1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico t	-242.294295	
P(T<=t) una cola	2.6927E-15	
Valor crítico de t (una cola)	1.89457861	
P(T<=t) dos colas	5.3853E-15	
Valor crítico de t (dos colas)	2.36462425	