



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



Simulación de un sistema contra incendios (CFAST), utilizando una solución ignífuga inorgánica diluida, en el área de producción de pasteurizadora El Ranchito.

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 Fernanda Sunta Gordillo

Tutor: Ing. Msc. Julio César Sosa Cárdenas

Ambato – Ecuador

Septiembre - 2021

APROBACIÓN DEL TUTOR

Ing. M.Sc. Julio César Sosa Cárdenas

CERTIFICA:

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

Ambato, 27 de Julio del 2021.

Ing. M.Sc. Julio César Sosa Cárdenas
C.I. 1716650849
TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jessica Fernanda Sunta Gordillo, 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.



Jessica Fernanda Sunta Gordillo

C.I. 0503785032

AUTORA

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. Cristian Fernando Galarza Galarza, MSc.

C.I. 1803160272

Ing. Mario Daniel García Solís, PhD.

C.I.1103605471

Ambato, 06 de Septiembre 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.



Jessica Fernanda Sunta Gordillo

C.I.: 0503785032

AUTORA

DEDICATORIA

Con mucho esfuerzo un día mis padres Fernando Sunta y Alina Gordillo, me mostraron el camino, me brindaron su ayuda y su apoyo incondicional.

Hoymi esposo Gabriel Granday mi hijo Emilio Grandahansido el motor de mi vida y lo quemás amo en el mundo y me ayudaron a llegar a la meta.

Ustedes me han mostrado lo incondicional del amor

Estetrabajo es para ustedes porque es un trabajo en conjunto y sin ustedes no lo habría podido hacer, porque nunca estarde para terminar las cosas y gracias a Ustedes lo puede hacer. Los amo

AGRADECIMIENTOS

Las gracias siempre primero a Dios por permitirme llegar a este punto, a mi príncipe San Miguel por protegerme todo el tiempo. A mi Mamá Piedad por ser mi ángel de la guarda.

Gracias a mis padres por brindarme todo el amor, por haberme iniciado en este camino, gracias Papi Fernando porque nunca me negó nada, porque sé que el amor que me tiene está por sobre cualquier cosa y cualquier opinión, porque me lo ha demostrado con cada acto.

Un agradecimiento eterno a mi viejita linda Alina porque aun cuando he cometido errores ha sido mi apoyo incondicional porque me permitió terminar esto, ayudándome a criar a mi hijo mientras yo trabajaba porque gracias a usted soy lo que soy.

Gracias a mi negro bello, Gabriel por toda la paciencia y el amor que me das porque tú me hiciste terminar lo que con esfuerzo mis padres iniciaron, porque al igual que ellos hiciste tuyas mis alegrías y tristezas y me diste el hijo más hermoso del mundo con el que formamos el equipo perfecto.

Gracias Ñaña Pao te amo y te agradezco por todo el tiempo dedicado a mi hijo para poder dedicarme a estudiar, gracias por estar ahí para mí siempre.

A mi grupo de arpias que esperaron mucho por este momento y sé que su alegría es de corazón las quiero mucho.

A Paola Pérez, que aun con el poco tiempo de conocernos me supo brindar su ayuda durante la ejecución de este trabajo gracias infinitas Pao.

Al Ingeniero Julio Sosa muchísimas gracias por la predisposición para ayudarme y brindarme su mano aun sin conocerme, porque es un docente con vocación para su trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
AGRADECIMIENTOS	xvi

CAPÍTULO I

1.	EL PROBLEMA	3
1.1.	Tema.....	3
1.2.	Justificación	3
1.3.	Objetivos	5
1.4.	General	5
1.5.	Específicos	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Fuego.....	6
2.2.	Incendios	6
2.3.	Productos del Incendio.....	9
2.3.1.	Humo.....	9
2.3.2.	Calor.....	9

2.3.3.	Gases	9
2.4.	Soluciones ignifugas	10
2.4.1.	Tipos de soluciones Ignifugas	11
2.4.2.	Sistema contra incendios	12
2.5.	Sistema de simulación computacional	13
2.5.1.	Modelos de campo	13
2.5.2.	Modelos de Zona	14
2.5.3.	CFAST	14
2.6.	Hipótesis.....	16
2.6.1.	Hipótesis Nula	16
2.6.2.	Hipótesis Alternativa.....	16
2.7.	Señalamiento de variables de la hipótesis	16
2.7.1.	Variable Independiente	16
2.7.2.	Variable Dependiente.....	16

CAPÍTULO III

3.	MATERIAL Y METODOS	17
3.1.	Materiales.....	17
3.2.	Métodos.....	17
3.2.1.	Determinación de las condiciones de extinción	17
3.2.2.	Determinación del área total del emplazamiento (Área de producción)	17
3.2.3.	Categorización del riesgo en el sector del incendio.....	18
3.2.4.	Determinación del caudal total de rociadores	18
3.2.5.	Cálculo del número de rociadores en el área de diseño	18
3.2.6.	Cálculo del caudal total del sistema.....	19
3.2.7.	Determinación del volumen de agua para la fuente de abastecimiento	19
3.2.8.	Adición del ignifugo hidróxido de Aluminio.....	20
3.3.	Simulación CON CFAST.....	20
3.3.1.	El simulador despliega una serie de pestañas en las que se colocaron los datos que fueron recolectados en campo.....	20

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1.	Determinación de las condiciones de extinción por agua	24
4.2.	Simulación con CFAST.....	25
4.2.1.	Determinación de parámetros a simular (Simulation).....	25
4.2.2.	Determinación de propiedades térmicas de materiales para pisos, techos, paredes (Thermal Properties)	26
4.3.	Gráfica de los compartimentos a simular en CFAST (Compartments).....	27
4.3.1.	Ubicación de aperturas de ventilación sobre pared (Wall Vents).....	28
4.3.2.	Fuego.....	30
4.3.3.	Determinación de sistemas de detección y supresión (Detection/ Suppresion)	31
4.3.4.	Simulación con agua	34
4.3.5.	Simulación con hidróxido de aluminio al 9%	37
4.4.	Verificación de hipótesis.....	41

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
5.1.	Conclusiones	43
5.2.	Recomendaciones.....	44

CAPÍTULO VI

6.	MATERIAL DE REFERENCIA.....	45
6.1.1.	Referencias bibliográficas.....	45
6.1.2.	Anexos	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Clases de Fuego</i>	13
Tabla 2: <i>Ecuaciones diferenciales ordinales (EDO) utilizadas en el sistema</i>	15
Tabla 3: <i>Categorización de riesgo</i>	24
Tabla 4: <i>Caudales para abastecimiento de agua y número de rociadores</i>	24
Tabla 5: <i>Número de rociadores para cada compartimento</i>	25
Tabla 6: <i>Datos termohigrométricos</i>	26
Tabla 7: <i>Propiedades Térmicas de los materiales utilizados durante la simulación</i>	27
Tabla 8: <i>Plantilla de dimensiones para los compartimentos del área de producción</i>	27
Tabla 9: <i>Dimensiones para paredes y ventanas de cada compartimento</i>	28
Tabla 10: <i>Ubicación de los objetos a quemar dentro de cada compartimento</i>	31
Tabla 11: <i>Distribución de sprinklers en el área de producción</i>	32
Tabla 12: <i>Distribución de sprinklers en el área de producción</i>	33
Tabla 13: <i>Diferencia en la activación de los rociadores</i>	40
Tabla 14: <i>Comparación de las simulaciones con agua y con hidróxido de aluminio</i>	41
Tabla 15: <i>Diferencia de tiempos de duración del incendio</i>	41
Tabla 16: <i>Valores para la comparación de t de student</i>	42
Tabla 17: <i>Clasificación y características de las ocupaciones de Riesgos según NFPA13</i>	52
Tabla 18: <i>Paquetes constructivos para compartimentos del área operacional</i>	55
Tabla 19: <i>Requisitos para demanda de chorros de mangueras y duración del suministro de agua para un sistema de rociadores diseñado hidráulicamente</i>	58
Tabla 20: <i>Plantilla para la curva HRR de una silla tapizada</i>	59
Tabla 21: <i>Plantilla para la curva HRR de una silla tapizada + 9% de ignifugo</i>	60
Tabla 22: <i>Plantilla para la curva HRR de aparatos electrónicos</i>	61
Tabla 23: <i>Plantilla para aparatos eléctricos con hidróxido de aluminio 9%</i>	62
Tabla 24: <i>Plantilla para la curva HRR de Celulosa (Cartón)</i>	63
Tabla 25: <i>Plantilla para Celulosa con hidróxido de aluminio 9%</i>	64
Tabla 26: <i>Identificación de áreas de operación</i>	65
Tabla 27: <i>Criterios de diseño para RL, RO y RE</i>	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Triangulo del fuego.....	6
Figura 2: Proceso de producción de humo Fuente: Arguello & Cadena, 2009	8
Figura 3: Proceso de los retar dantes inorgánicos: (Navarro C, 2015)	12
Figura 4: Compartimentos Pasteurizadora El Ranchito.....	28
Figura 5: Única Aperturas de ventilación sobre el techo del primer compartimento.	30
Figura 6: Distribución de sprinklers en producción.	33
Figura 7: Plano de pasteurizadora El Ranchito con la ubicación de los rociadores (sprinklers)	34
Figura 8: a) Evolución de temperatura en los 90s. b) Evolución de humo a los 90s.....	35
Figura 9: a) Temperatura a los 180 s. b) Evolución de humo a los 180s.....	35
Figura 10: Evolución de temperatura y producción de humo a los 290 segundos	36
Figura 11: Evolución de temperatura y producción de humo a los 290 segundos	36
Figura 12: Evolución de temperatura y producción de humo a los 36740 segundos	37
Figura 13: Evolución de la a) temperatura y b) humo a los 100 segundos	38
Figura 14: Evolución de la a) temperatura y b) humo a los 250 segundos	38
Figura 15: Evolución de la a) temperatura y b) humo a los 330 segundos	39
Figura 16: Evolución de la a) temperatura y b) humo a los 15000 segundos	39
Figura 17: <i>Curva Área/densidad</i>	53
Figura 18: Descarga de agua de un rociador de ½” y 17/32” de orificio nominal	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos A	50
Anexos B	51
Anexos C	52
Anexos D	53
Anexos E	54
Anexos F	55
Anexos G	59
Anexos H	65
Anexos I	66

RESUMEN

En la actualidad, la pérdida de vidas humanas, así como materiales por incendios dentro de plantas industriales es muy común, puesto que no se cuentan con sistemas de detección temprana ante estos siniestros, siendo una de las razones, el costo de implantación. Para ello, han sido creados diferentes sistemas computarizados que permiten la predicción de incendios, mediante la aplicación de cálculos matemáticos, reduciendo así dichos gastos. En este trabajo se utilizó la herramienta informática CFAST para la simulación de un sistema contra incendios, en el área de producción de pasteurizadora El Ranchito, utilizando rociadores con soluciones ignífugas inorgánicas diluidas. Para lo cual se determinó el tipo de riesgo que presenta la planta con la ayuda de la Normativa NFPA13 y UNE 12845, además de las condiciones de extinción, así como los materiales utilizados dentro de la edificación, para el riesgo que presenta la planta según la UNE 12845 el área de diseño es de 325m² con una densidad de diseño de 705 mm/min. Finalmente, con la ayuda de CFAST y el visualizador de datos Smokeview, se evaluó la diferencia en los tiempos de activación de los rociadores ante un incendio, con el uso de solución ignífuga (hidróxido de aluminio) utilizando las curvas de liberación de calor (HRR). Se identificó que, el tipo de riesgo para la procesadora de lácteos El Ranchito es de tipo riesgo extra grado 1, según las dos normativas utilizadas. Por otro lado, se obtuvo el área total de aplicación 424.27 m², así como el número total de rociadores, siendo 28 para este caso. Para la simulación, se realizaron dos, la primera utilizando rociadores con agua y la segunda aplicando el 9% del ignífugo (Paredes Villacis, 2018). Reduciendo la curva HRR en un 30% y los tiempos de activación de los rociadores. Por lo que se puede decir que, se obtuvo mejores resultados mediante la aplicación del ignífugo inorgánico Hidróxido de Aluminio al 9%, pues con la aplicación de la solución se alcanzó una mejora del 40% en el tiempo de enfriamiento del sistema.

Palabras clave: Sistema contra incendios, ignífugos inorgánicos, rociadores, simulador.

ABSTRACT

At present, the loss of human lives, as well as materials due to fires within industrial plants is very common, since there are no early detection systems for these accidents, one of the reasons being the cost of implementation. To do this, different computerized systems have been created that allow the prediction of fires, through the application of mathematical calculations, thus reducing these expenses. In this work, the CFAST computer tool was used for the simulation of a firefighting system in the production area of El Ranchito pasteurizer, using sprinklers with diluted inorganic fireproof solutions. For which the type of risk presented by the plant was determined with the help of the NFPA13 and UNE 12845 Regulations, in addition to the extinction conditions, as well as the materials used within the building, for the risk presented by the plant according to the UNE 12845 the design area is 325m² with a design density of 705 mm / min. Finally, with the help of CFAST and the Smokeview data visualizer, the difference in the activation times of the sprinklers in the event of a fire was evaluated, with the use of fireproof solution (aluminum hydroxide) using heat release curves (HRR). It was identified that the type of risk for the dairy processor El Ranchito is of type extra risk grade 1, according to the two regulations used.

On the other hand, the total area of application was obtained 424.27 m², as well as the total number of sprinklers, being 28 for this case. For the simulation, two were performed, the first using sprinklers with water and the second applying 9% of the fireproof (**Paredes Villacis, 2018**). Reducing the HRR curve by 30% and sprinkler activation times. So it can be said that better results were obtained by applying the inorganic fireproof Aluminum Hydroxide to 9%, because with the application of the solution an improvement of 40% in the cooling time of the system was achieved.

Keywords: Fire fighting system, inorganic flame retardants, sprinklers, simulator.

INTRODUCCIÓN

En el mundo estamos rodeados de varios materiales combustibles, que en ciertas condiciones pueden entrar en combustión, estas condiciones pueden ser provocadas de manera natural, así como por el hombre, creando grandes incendios. Los cuales generan grandes pérdidas humanas, materiales, económicas, además de los daños ambientales. (Cárcamo, 2007)

Este trabajo fue elaborado en la planta procesadora de lácteos El Ranchito, la cual cuenta con diferentes áreas que van desde la Recepción de materia prima, áreas de producción hasta el área de despacho de producto terminado. Todas estas áreas cuentan con diferentes equipos, así como personal capacitado para manejarlos, además de contar con un área administrativa.

Se evaluó el grado de riesgo presente en Pasteurizadora el Ranchito, tomando en cuenta que aquí se manejan equipos de alto voltaje, además de materiales combustibles, que llegado el caso puede provocar incendios, afectando así a los operadores de la planta. Por esto la simulación de un sistema contra incendios permitirá a las Gerencias correspondientes estar preparadas para actuar en caso de que estos sucedan.

Para esta simulación se consideró el área de producción donde se encuentra el corazón de la planta puesto que es donde se arranca el proceso, con la pasteurización de la materia prima.

Los Modelos de Simulación Computacional de Incendios (CFAST), permiten predecir el comportamiento del incendio de manera realista, considerando límites ya establecidos con anterioridad. **(Abreu, Portilla, Urrutia, & Santos).**

El modelo computarizado CFAST (Consolidated Model os Fire Growth and Smoke Transport), permite el cálculo de la distribución de los humos, gases del incendio y temperaturas de los compartimentos. Este modelo además le permite al usuario tener en

cuenta varios escenarios y compartimentos para que se desarrolle el incendio. **(Peacock, Jones, Reneke, & Forney, 2005)**.

Considerando la utilidad que se le puede dar al simulador, puesto que este permite definir los sistemas de protección contra incendios, como el uso de sistemas de rociadores, se ha tomado en cuenta las soluciones ignifugas tales como el hidróxido de aluminio, pues estos han sido utilizados en varias industrias para la protección de materiales contra incendios por métodos como la impregnación, retardando así la combustión de los materiales. **(Navarro, 2015)**

Así pues, se tomaron diferentes medidas de los compartimentos, se consideró los materiales con los que fueron elaborados, para colocarlos en el simulador y verificar si la temperatura de los compartimentos disminuye con el uso de los rociadores con solución ignifuga inorgánica o se mantienen.

Al introducir estos datos, se pudo identificar las condiciones físico-químicas, termodinámicas con las que el simulador trabajó eficientemente, como los calores de combustión de los materiales presentes en el incendio, además de, permitir determinar las condiciones de extinción del mismo, mediante la aplicación del hidróxido de aluminio, que permito descender el tiempo del incendio.

El área de producción de Pasteurizadora el Ranchito, que cuenta con tres compartimentos, los cuales forman un área total de operación de 424.27m², presentaron una necesidad de 28 rociadores, de los cuales se activaron catorce que permitieron simular el tiempo que duro el incendio, así como el tiempo de activación de los rociadores, considerando que, con la aplicación del retardarte mejoro el tiempo de duración del incendio en un 40%.

Lo que permitió evidenciar que el simulador es una alarma temprana ante la presencia de un incendio.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. Tema

Simulación de un sistema contra incendios (CFAST), utilizando una solución ignífuga inorgánica diluida, en el área de producción de Pasteurizadora EL RANCHITO.

1.2. Justificación

Considerando que, por cada 100 000 habitantes en el mundo alrededor del 25.59% son víctimas mortales de incendios, es necesaria la implementación de sistemas de detección, así como de prevención de incendios. (Galáhn A, 2016)

La OIT (Organización Mundial del Trabajo), menciona que, la competencia por la inversión mínima de capital en las industrias, hace que se descuiden ciertos temas como la seguridad, salud y medio ambiente del trabajador, lo que queda demostrado con la gran cantidad de incendios en distintas fábricas a nivel mundial de diferentes ramas de la industria. (OIT (Organización Mundial del Trabajo), 1999)

En cada país del mundo los incendios le representan el 1% de su producto interno bruto, por tanto, en el Ecuador existen diferentes reglamentos orientados a garantizar la seguridad integral, tanto de personas, instituciones, así como de la naturaleza, frente a posibles acontecimientos como los incendios. Tal es el caso del Reglamento de Prevención, mitigación, y protección contra incendios.

Tal reglamento tiene como ámbito de aplicación a todo el territorio nacional, edificaciones existentes o por construirse, públicas o privadas, que se encuentren prestando servicios, sean de comercio, alojamiento, industrias, entre otros. **(Reglamento de Prevención, mitigación, y protección contra incendios, 2009).**

Todas las plantas procesadoras de alimentos, ya sea por su infraestructura, maquinarias, o equipos de oficina, tienen cierto grado de inflamabilidad. Por lo que es importante crear un ambiente seguro, a fin de evitar daños en sus instalaciones,

infraestructuras, equipos y principalmente en las personas que se encuentran laborando, para que lo puedan hacer de mejor manera. Por lo cual es necesario buscar las maneras de prevenir ciertos acontecimientos que se puedan dar en el lugar de trabajo, como los incendios.

Pasteurizadora El Ranchito, es una empresa con casi 40 años de producción, que cuenta con diversas líneas de Fabricación, a pesar de esto no cuenta con un sistema contra incendios eficaz que permita el actuar inmediato para evitar posibles pérdidas materiales, como humanas, por lo que en caso de un incendio las pérdidas económicas podrían ser mayores a los 10 millones de dólares, por la gran cantidad de equipos que se encuentran en la planta. **(Unapucha J, 2020)**

Por ello, es importante buscar una manera de reducir los daños en caso de un incendio, por ello se ha visto la necesidad de aplicar la simulación de un sistema contra incendios utilizando retardantes inorgánicos que permitan que el daño ocasionado por el fuego sea menor, por su composición química que libera agua y gases no combustibles, ya que reduce la inflamabilidad y permite el actuar inmediato. **(Navarro, 2015)**

Se tiene clara la necesidad de prevenir los incendios por ello, se tienen diferentes opciones como el uso de extintores, detectores, rociadores automáticos, control y evacuación de humo, entre otros. Aplicar estos sistemas contra incendios, puede llegar a ser muy costoso, pero que en la actualidad pueden ser fácilmente empleados mediante el uso de simuladores, que desempeñan un papel importante en el área de la ingeniería, así como Diseño de plantas Industriales. **(Gemman G, 2019)**

El uso de los sistemas de simulación de incendios puede proporcionar una serie de ventajas, puesto que, puede emplearse repetidamente para analizar los factores deseados y los diseños propuestos dentro del sitio en análisis. Muchos de ellos permiten tener información en tiempo real de lo que pudiere pasar a nivel físico.

Es mucho más económico y seguro que la experimentación a escala real, además de que, en muchos casos es la única vía para el establecimiento de un sistema contra incendios, puesto que la simulación puede alertar de ciertos posibles problemas en el

momento de la elaboración física del sistema. **(Martínez et al., 2011)**

Una gran parte de las ingenierías, a menudo utilizan simuladores para poder tener una vista más clara del comportamiento del incendio y mediante esto minimizar las pérdidas. Ya que se tiene una idea clara del comportamiento del fuego a través de los compartimentos **(Engineering Laboratory, 2019)**

En la actualidad uno de los programas que permite cuantificar la cantidad de humo es CFAST que, además visualiza con animaciones tridimensionales a color los resultados de la simulación, permite también observar las temperaturas de un incendio específico, sus concentraciones de gas, el crecimiento y movimiento de las capas de humo a través de los compartimentos de la edificación. Además de CFAST existen diversos simuladores, que ya se encuentran siendo probados, lo que incrementa el nivel de confianza de su uso. **(Engineering Laboratory, 2019)**

1.3. Objetivos

1.4. General

Simular un sistema contra incendios, mediante la utilización de la herramienta (CFAST) en el área de producción de pasteurizadora el Ranchito, utilizando rociadores con soluciones ignífugas inorgánicas diluidas.

1.5. Específicos

- Evaluar por simulación el comportamiento del incendio, para obtener resultados que puedan ser comprobables con escenarios experimentales en los que se cuente con datos reales.
- Conocer las condiciones de extinción de fuego, mediante el uso de soluciones ignífugas diluidas en el área de producción de Pasteurizadora el Ranchito.
- Identificar las condiciones Físicoquímicas y Termodinámicas para comprobar la efectividad de la simulación del sistema CFAST.
- Simular la activación del sistema CFAST como alarma de detección temprana ante un incendio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Fuego

El desprendimiento de energía en forma de luz producida por una reacción química, que oxida los materiales combustibles, es conocido como fuego. Para que se de esta reacción se requiere de tres componentes importantes; Combustible, comburente y energía de activación que se ilustran gráficamente con la teoría del triángulo del fuego. La cual permite de una manera sencilla entender la reacción que ocurre para que este aparezca. (Prada F, 2006)



Figura 1: Triangulo del fuego

Fuente: Información adaptada de la página web embaep.

La dinámica del fuego establece los principios para conocer la gravedad de un incendio, los parámetros que lo provocaron y conocer los fenómenos físicos y químicos que se pueden dar durante el mismo. Para poder ser controlados. Entre los fenómenos físicos que se dan, es la intensidad calórica, velocidad de propagación, características de la fase gaseosa, ignición, etc. (Pons V, 2002)

2.2. Incendios

Ya establecida la definición del fuego, se sabe entonces que este es producido por la manifestación de una combustión no controlada llamada incendio. Que es la oxidación

rápida de los materiales combustibles, donde se da el desprendimiento de calor y luz, así como la generación de gases y humo. (Vélez F, 2018)

El incendio se puede dar con presencia o ausencia de llama superficial, se distingue la una de la otra, ya que al presentar llama, la combustión se da a una mayor velocidad, desprendiendo así luz y calor rápidamente alcanzando temperaturas elevadas. Por otro lado, en ausencia de llama superficial se presentan zonas incandescentes. Durante el incendio pueden presentarse ambas. (Neira J, 2008)

Una vez producido el incendio se dan tres fases:

1.- **Fase Incipiente.** - La energía calorífica una vez que el incendio comienza puede llegar alrededor de los 500°C. Liberando vapor de agua, bióxido de carbono, entre otros gases.

2.- **Fase de libre combustión.** - El fuego crece y se desarrolla y el calor se distribuye por radiación llegando así a temperaturas entorno a los 1000°C. Aquí el oxígeno presente en el aire es lanzado a la llama, llevando el calor a las partes más altas del compartimento.

3.- **Fase Latente.** - De aquí en adelante las llamas se reducen, los compartimentos se llenarán de gases combustibles como metano e hidrógeno. Produciéndose aquí el riesgo de explosión por flujo reverso.

Explosión por flujo reverso (backdraft). Se da en la fase latente del fuego, puesto que aquí no existe el suficiente oxígeno para avivar la llama. Pero a pesar de esto existen partículas de carbón además de gases y humos como producto de la combustión, que se encuentran a altas temperaturas esperando la mínima presencia de oxígeno, para provocar una gran explosión. (Aira & García, 2007).

La presencia de humo negro, denso y saturado de carbón es un signo de alerta de una posible explosión por flujo, otras señales se indican a continuación:

- Humo bajo presión.
- Aislamiento del incendio y temperatura excesiva.
- Flujo de llama muy escasa y poco visible.
- Presencia de humo por intervalos o en bocanadas.
- Sonido estruendoso.
- Un movimiento rápido del aire hacia el interior, cuando se hace una abertura.

Combustión súbita generalizada (Flashover). - Esta ocurre cuando un área o recinto cerrado se calienta al punto donde la llama alcanza su temperatura de ignición, haciendo que el fuego se generalice. Puesto que, a medida que se va desarrollando el incendio los materiales presentes se van calentando, subiendo su temperatura al punto de ignición. (Graham & Makhviladze, 1995)

Así pues, este fenómeno presenta dos periodos detallados a continuación:

Periodo preflashover. Aquí se da una pérdida de calor, afectado así al balance de energía, por lo que esta desciende y continúa propagándose.

Periodo postflashover. Este periodo se da una vez que todos los materiales presentes en el compartimiento han alcanzado su combustión total. Es decir, cuando todo se encuentra completamente en llamas. (Nielsen)

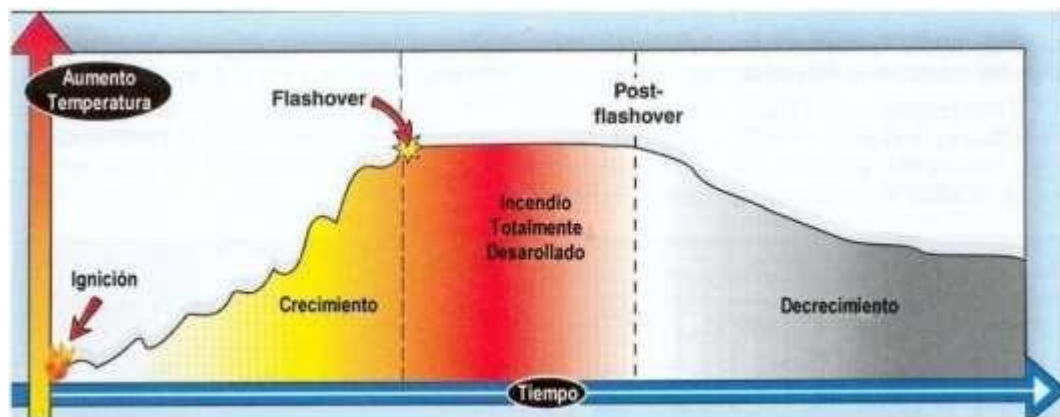


Figura 2: Proceso de producción de humo

Fuente: Arguello & Cadena, 2009

2.3. Productos del Incendio

2.3.1. Humo

Una vez iniciada la combustión se tienen varios productos de esta, el más notable el humo, que en definición es una mezcla de partículas carbonáceas suspendidas en el aire caliente. Por otra parte, el humo ha cobrado muchas vidas durante un incendio. La propagación de humo depende de una serie de condicionantes: geometría y los materiales de construcción del espacio donde se produce el incendio y por otra parte las propiedades del fuego como temperatura, presión, etc. **(Dueñas et al, 2010)**

El movimiento del humo puede ser descrito en dos zonas:

- 1. Zona de humo caliente:** En esta zona los humos producidos se encuentran a elevadas temperaturas y tienden a elevarse al techo, haciendo que el aire limpio descienda a las partes más bajas del compartimento. Esta zona generalmente se da en el compartimento donde se origina el incendio.
- 2. Zona de humo frío:** Esto ocurre en las zonas del edificio aledañas al punto donde inicio el incendio, aquí la fuerza del humo es controlada, puesto que este se mezcla con otros componentes como el viento, por lo que aquí el movimiento del humo es el mismo que el de cualquier elemento de polución.

2.3.2. Calor

Se conoce al calor como una forma de energía provocada por la vibración de moléculas, que se puede presentar en forma de conducción (transmisión de calor entre dos cuerpos), convección (transmisión por aire o líquidos en movimiento) y radiación (transmisión por ondas electromagnéticas) **(Loguzzo N, 2012)**

2.3.3. Gases

Los gases formados por la combustión se dan por la reacción entre el oxígeno y los materiales que forman parte del incendio. De estos materiales depende la toxicidad de los gases, es decir pueden ser tóxicos, irritantes o asfixiantes.

Entre los principales gases producidos por un incendio encontramos:

- Anhídrido carbónico
- Monóxido de carbono
- Sulfuro de hidrógeno
- Cianuro de hidrógeno
- Amoníaco

Muchas de las pérdidas humanas en un incendio son provocadas por la inhalación de humos y gases tóxicos, más que por las llamas del incendio. **(Loguzzo N, 2012)**.

2.4. Soluciones ignífugas

La mayoría de polímeros en su estado natural son inflamables, por lo que es necesario potenciar la resistencia a la combustión de estos materiales. Esa resistencia es una característica de los materiales ignífugos o retardantes de llama. Que son aditivos químicos que se añaden por varios métodos a diferentes materiales, para mejorar su capacidad de resistencia al fuego. **(William & Callister, 2007)**.

Estos aditivos deben presentar ciertas condiciones para su uso como ser compatibles con la matriz polimérica, de bajo costo, accesible, térmicamente estable, no interferir con las propiedades mecánicas del material y la más importante ser capaz de reducir la flama en la manera requerida.

Un retardante puede presentar varios modelos de actuación, que dependen de la composición química del material. Que se detallan a continuación:

- **Dilución por gas inerte.** - Debido a la descomposición química del aditivo se forman grandes cantidades de gases inertes, disminuyendo la concentración de oxígeno y combustible extinguiendo así el incendio. **(Flora, 2012)**
- **Enfriamiento térmico.** - El retardante sufre una degradación térmica reduciendo la temperatura superficial del material en combustión.
- **Dilución física.** - El material es sometido a una gran cantidad de cargas inorgánicas, elevando su resistencia al fuego por la pérdida de material

combustible.

- **Interacción química.** - La fase de combustión es obstaculizada por la liberación de radicales del aditivo.
- **Formando capas.** - Los retardantes forman una capa de carbono en la superficie del material, interrumpiendo el flujo de los gases, cortando así el paso de oxígeno al proceso de combustión. Estos a pesar de ser de bajo costo se requiere de mucha cantidad. (Flora, 2012)

2.4.1. Tipos de soluciones Ignifugas

Los retardantes se clasifican de acuerdo a su composición química, a continuación, se muestran los más importantes:

- **Halogenados:** Dentro de este grupo se muestran aquellos retardantes que en su estructura tienen átomos de bromo y cloro, y que actúan removiendo los radicales de H^+ y OH^+ (formando ácidos) del fuego, reduciendo el flujo de calor y la cantidad de gases inflamables producidos.
- **Compuestos de fósforo:** Funcionan en la fase sólida de los materiales que combustionan, mediante la formación de ácido fosfórico, que inhibe la formación de gases inflamables.
- **Trióxido de antimonio:** Esta sustancia no presenta características retardantes, si no que funciona como un catalizador para los retardantes halogenados, acelerando la descomposición química a moléculas activas.
- **Recubrimientos intumescentes:** Previene el daño estructural durante la combustión, se caracterizan por utilizarse en el recubrimiento de materiales como madera, acero y plásticos, reduciendo el daño durante el incendio.
- **Retardantes Inorgánicos:** Son compuestos que tienen en su estructura boro, borato de zinc, estaño, zinc, además pueden ser hidróxido de aluminio, trihidrato de aluminio. Su modo de acción es produciendo gases no inflamables (CO_2 , NH_3 , etc.)

y agua, lo que inhibe la combustión de manera directamente proporcional, puesto que mientras se eleva la temperatura se eleva la descomposición endotérmica absorbiendo más energía. (Navarro, 2015). Una ilustración grafica se muestra a continuación:

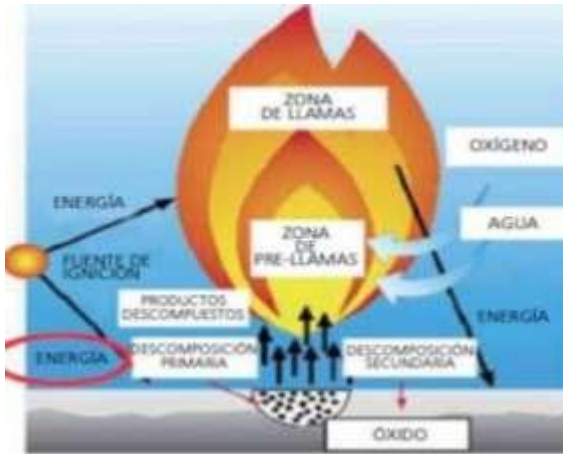


Figura 3: Proceso de los retardantes inorgánicos:
(Navarro C, 2015)

2.4.2. Sistema contra incendios

Los sistemas contra incendios son el conjunto de medidas, equipamientos diseñados para la protección de un edificio ante un posible incendio, con el fin de proteger tanto la vida humana, como los bienes materiales que se encuentran dentro de este. En su mayoría los sistemas contra incendios utilizan agua como agente extintor por enfriamiento. (UNE-EN 12845, 2016).

El sistema contra incendios trabaja de manera que, detecta el humo o el aumento de la temperatura en una determinada área o espacio de una edificación. Esto nos permitirá activar los rociadores ya sea de forma automática o por medio de gabinetes de ser manual.

Se puede utilizar el agua como agente extintor de manera pulverizada, en fuegos de clase "A y B", cuando se trate de líquido combustible. Ya que esta es accesible de manera rápida y permite la disminución en la propagación de la llama.

Tabla 1: *Clases de Fuego*

FUEGO	CARACTERÍSTICAS
CLASE A	PRODUCIDO POR MATERIALES COMBUSTIBLES ORDINARIOS COMO MADERA, PAPEL Y PLÁSTICO.
CLASE B	PRODUCIDO POR GASES Y LÍQUIDOS INFLAMABLES.

Fuente: Jessica Sunta.

Un sistema contra incendios debe tomar ciertas consideraciones, como el abastecimiento de agua, red de distribución de agua, sistemas de detección, sistemas de extinción, entre otros.

Los sistemas pueden ser manuales (Bocas de incendios equipadas y los hidrantes) o automatizados Sprinklers (Rociadores). Estos últimos funcionan como cortinas de agua o pulverizadores. Que actúan en la fase temprana del incendio, manteniéndolo bajo control y permitiendo que otros factores lo extingan. Pueden estar formados por uno o más abastecimientos de agua y se encuentran instalados ya sea en la parte superior o inferior de la edificación, en forma de red, de tal manera que al activarse por el calor del incendio dejar caer el agua sobre la superficie en llamas (**NFPA 13, 1996**).

2.5. Sistema de simulación computacional.

Sin duda alguna los sistemas computacionales permiten la simulación de diferentes procesos, ahorrando así diversos costos de implementación mediante la detección temprana de posibles errores.

Dentro de sus características más importantes están las de ser modelos de predicción, donde intervienen límites pre establecidos, que permiten de una manera rigurosa y más realista conocer el comportamiento del incendio. A continuación, se describen dos modelos computacionales de gran importancia dentro del estudio de los incendios (**Lázaro M**)

2.5.1. Modelos de campo

Los modelos de campo son modelos de dinámica de fluidos, que resuelven

ecuaciones diferenciales, por lo que representan un sistema más detallado y complejo, implicando mayores costos (**Lázaro M**).

Dichos modelos son condicionados debido al incremento de la potencia computacional y el incremento de los métodos de fluidinámica computacional (CFD). Este modelo posee la capacidad de dividir la zona del incendio en varios volúmenes de control, lo que lo vuelve de mayor complejidad (**Alvear, y otros, 2007**).

Un modelo computacional de dinámica de fluidos que permite reproducir un incendio en recintos cerrados es el FDS, que resuelve ciertas ecuaciones Navier- Stokes, de baja velocidad y flujo considerado, enfocado en el transporte de humo y gases provenientes del incendio. Este simulador mantiene las ecuaciones de conservación de masas, con las cuales calcula densidad, velocidad, temperatura y presión en cada módulo del incendio (**Lázaro M**).

2.5.2. Modelos de Zona

Estos modelos dividen el recinto del incendio en dos regiones, la una superior formada por los gases calientes producto de la combustión, mientras que la otra zona es la inferior formada por el aire frío que queda debajo de la primera zona. Por otro lado, estos modelos permiten evaluar humo, fuego, y temperatura en los compartimentos de un recinto durante un incendio, mediante el uso de un sistema de ecuaciones diferenciales desarrolladas a partir de las ecuaciones de la conservación de masa, energía y la ley de los gases, las cuales permite predecir parámetros en función del tiempo, presión, altura de la capa de humos y temperatura. (**Vélez F, 2018**).

Dentro de los sistemas de zona encontramos están dos en especial que han sido muy utilizados OZONE y CFAST, permiten la simplificación de varias ecuaciones de gobierno de forma, permitiendo así un ahorro en costos computacionales.

2.5.3. CFAST

El modelo computacional CFAST es un software creado por el Instituto Nacional

de Estándares y Tecnología (NIST) en Estados Unidos, de libre acceso. Este programa permite calcular la distribución del humo y gases dentro del área donde se produce la combustión, mediante la implementación de un incendio como una masa combustible que cede calor a una velocidad determinada por el usuario creando así los productos de la combustión (Peacock, Jones, Reneke, & Forney, 2005)

CFAST trabaja mediante el uso de un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias (ODE), derivadas de la primera ley de la termodinámica y ley de los gases ideales Este modelo tiene como base la conservación de materia y energía y la ley de gases ideales con la finalidad de obtener las condiciones termodinámicas del sistema, basándose en el cálculo de la matriz Jacobiana.

Tabla 2: Ecuaciones diferenciales ordinales (EDO) utilizadas en el sistema

Variable	Ecuación
Energía	$\frac{dQ}{dt} = \frac{1}{V} (h + \frac{dQ}{dt})$
Temperatura	$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{\rho C_p V} (h + \frac{dT}{dt}) + \frac{dQ}{dt}$
Volumen	$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\rho} (\rho - 1)h + \frac{dQ}{dt}$
Presión	$\frac{dP}{dt} = \frac{\rho - 1}{\rho} (h + h_p)$
Masa	$\frac{dM}{dt} = \frac{dQ}{dt}$
Densidad	$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{1}{V} (h + \frac{d\rho}{dt}) - \frac{dQ}{dt} - \frac{dV}{dt}$

La Tabla 2 muestra las diferentes ecuaciones que utiliza el simulador para la temperatura de cada zona, la presión y el volumen del sistema. Siendo necesarios ciertos datos como el ancho y largo del compartimento donde se origina el incendio **(Arguello & Cadena, 2009)**.

Para obtener resultados precisos del programa es necesario que los datos introducidos sean lo más precisos posibles, es decir la curva HRR (Heat release rate), juega un papel muy importante dentro de este programa, ya que es la cantidad de energía que se puede transferir de un combustible durante la combustión. **(Cárdenas, 2015)**

2.6. Hipótesis

2.6.1. Hipótesis Nula

La simulación de un Sistema contra incendios mediante el uso de rociadores con solución ignífuga en la planta procesadora de lácteos El Ranchito con la utilización de CFAST, No incide en la disminución de temperaturas finales de los 3 compartimentos.

2.6.2. Hipótesis Alternativa

La simulación de un Sistema contra incendios mediante el uso de rociadores con solución ignífuga en la planta procesadora de lácteos El Ranchito con la utilización CFAST, SI incide en la disminución de temperaturas finales de los 3 compartimentos.

2.7. Señalamiento de variables de la hipótesis

2.7.1. Variable Independiente

Simulación de un Sistema contra incendios.

2.7.2. Variable Dependiente

Reducir las temperaturas finales de los compartimentos del área de producción de Pasteurizadora El Ranchito.

CAPÍTULO III

3. MATERIAL Y METODOS

3.1. Materiales

Medidor de distancia láser BOSH, GLM 80.

Computadora

Software CFAST

Dispositivo de almacenamiento de información USB

Impresora

3.2. Métodos

3.2.1. Determinación de las condiciones de extinción

A continuación, se muestran los diferentes cálculos obtenidos para la simulación del incendio.

3.2.2. Determinación del área total del emplazamiento (Área de producción)

Se determinaron dimensiones de largo, ancho y altura, de las tres áreas de producción de Pasteurizadora El Ranchito utilizando el medidor de distancias láser BOSH, adicional a eso se obtuvo el área de operación que se muestra en la Tabla 5, a continuación, se muestran las ecuaciones empleadas. (Borja, Córdova, Villacrés, & Montes, 2021)

$$\text{Ecuación 1: } A_T = A_L - A_A$$

Donde:

A_T = Área total (m²)

A_L = Área limítrofe (m²)

A_A = Área de apertura (m²)

$$\text{Ecuación 2: } A_T = L * W + L * H * (L + W)$$

Donde:

A_L = Área limítrofe (m^2)

D = Largo (m) W = ancho (m) h = Altura (m)

$$\text{Ecuación 3: } Q_{TR} = A_L * \rho$$

Donde:

A_w = Área de aperturas (m^2)

H = Largo de la apertura (m)

B = Ancho de la apertura (m)

3.2.3. Categorización del riesgo en el sector del incendio.

Se establecieron las condiciones para extinción por agua por rociadores previamente identificando el riesgo que presentaba el área de producción, mediante NFPA 13, que es exclusiva para instalación de sistemas de rociadores.

3.2.4. Determinación del caudal total de rociadores

Una vez obtenida la categorización del riesgo, así como el área de diseño en m^2 se obtuvo la densidad utilizando la Figura 18 tomada de la norma 13 NFPA (Anexo D), para ser utilizada en la ecuación descrita a continuación para calcular el caudal total de rociadores.

$$\text{Ecuación 4: } Q_{TR} = A_d * \rho$$

Donde:

Q_{TR} : Caudal total de rociadores (L/min)

A_d : Área de operación (m^2)

ρ : Densidad (L/min/ m^2)

3.2.5. Cálculo del número de rociadores en el área de diseño

Considerando que la tolerancia para la implementación de varias mangueras 189 L/min.

Ecuación 5:
$$Q_{TR} = \frac{Q_R}{n}$$

Donde:

Q_{TR}: Caudal total de rociadores (L/min)

Q_R: Caudal de rociadores (L/min)

3.2.6. Cálculo del caudal total del sistema

Para este cálculo fue necesario el uso de la tabla de Requisitos para la demanda de chorros de manguera y duración de suministros de agua otorgada por la normativa NFPA 13, considerando el caudal de las mangueras en el sistema internacional. (NFPA 13, 1996)

Ecuación 6:
$$Q_{TR} = (Q_R \times n) + Q_M$$

Donde:

Q_{TR} : Caudal total de rociadores (L/min)

Q_M : Caudal de las mangueras (L/min)

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

En la determinación del volumen de agua como fuente de abastecimiento se consideró la tabla de requisitos para la demanda de chorros de manguera y duración de suministros de agua, tomando el tiempo más corto de duración. (NFPA 13, 1996)

Ecuación 7:
$$V = Q_{TR} \times t$$

Donde:

V: Volumen (L)

□□□□□: Caudal total del sistema (L/min)

□: Tiempo (min)

3.2.8. Adición del ignifugo hidróxido de Aluminio

Para esta sección se utilizó la metodología utilizada en el estudio del análisis de retardantes de llamas descrito por **(Paredes Villacis, 2018)**. Para lo cual se tomó la combinación C donde se trabajó con 9% del ignifugo inorgánico hidróxido de Aluminio y se utilizó en la segunda simulación para evaluar la diferencia en la activación de los rociadores.

3.3. Simulación CON CFAST

3.3.1. El simulador despliega una serie de pestañas en las que se colocaron los datos que fueron recolectados en campo.

SIMULATION. - Pestaña inicial de la simulación, donde se colocaron los siguientes datos:

- Simulation Time: Tiempo en segundos en el que se dio la simulación del incendio.
- Text output interval: Tiempo de salida de datos.
- Spreadsheet output interval: Tiempo entre las salidas de los resultados en un formato compatible con hojas de cálculo.
- Smokeview output interval: Tiempo entre las salidas de los resultados del modelo en un formato compatible con smokeview (visualizador de la simulación).
- Temperatura interior, exterior, humedad y presión del compartimento.

Nota: Cada vez que los valores se ingresaron se presionó el botón << Save >>, para guardar los cambios siguiendo cada paso.

THERMAL PROPERTIES.- En esta pestaña se colocaron las propiedades térmicas de los materiales que se encuentran formando parte de la infraestructura obtenidos de la Norma Ecuatoriana de la construcción (**MIDUVI, 2018**). Al presionar << add >>, para registrar cada material, se colocó la siguiente información:

Material. - Se colocó el nombre completo del material involucrado en la infraestructura del compartimento.

ID: Siglas de identificación

Density. - Se colocó la densidad del material en kg/m^3

Thermal Conductivity. - Datos de conductividad térmica en $\text{kW}/(\text{m } ^\circ\text{C})$.

Default Thickness. - Datos de espesor en m.

Specific Heat. - Datos de calor específico en $\text{kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$.

Emissivity. - Datos de emisividad el material (adimensional). Nuevamente al ingresar los datos de cada material se presionó <<Save>>.

Todos los datos de las propiedades térmicas de materiales utilizados en pasteurizadora El Ranchito se detallan en la Tabla N° 7, así como los paquetes constructivos en general en la tabla N 18 (Anexo G) (**MIDUVI, 2018**).

COMPARTMENTS. - Esta pestaña del simulador nos permitió ingresar todos los datos de las dimensiones de los compartimentos a trabajar, y los graficó internamente, para lo cual nuevamente se presionó << Add >> para ingresar datos de ancho, profundidad, altura y la posición relativa de los recintos considerando las coordenadas X, Y, Z.

Se seleccionó los paquetes constructivos de techos, paredes y piso y al colocarlos cada uno se presionó << Save >> para cada recinto agregado.

Nota: Se verificó que los datos hayan sido ingresados correctamente, presionando <<Geometry >>, seguido << View>> que abre el programa Smokeview arrojando una visualización de los datos ingresados.

WALL VENTS. - Aquí nos permitió ingresar todas las aperturas, es decir puertas y ventanas de los recintos, presionando << Add >> y seleccionando cada compartimento

donde se encuentran unidas por una apertura. A continuación, se estableció los siguientes parámetros:

- Sill: Distancia de la apertura al suelo.
- Soffit: Distancia hacia la 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 especificó si la puerta o ventana está en la pared posterior, frontal, izquierda o derecha
- Tiempo: Fracción de apertura de la ventana.
- Se presionó << Save >> en cada compartimento agregado.

EIRES. - Seguidamente se establecieron las características para la curva de fuego a simular, para objetos como cartón, aparatos electrónicos y papel, además de:

- Compartimento donde se producirá el incendio.
- Posición X, Y, Z en el recinto del fuego.
- Tiempo en el que inició el fuego.
- Curva HRR (ver anexo I)
- Se insertó datos de moléculas de gases combustibles y calor de combustión en KJ/Kg s (ver anexo J).

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

DETECTION/ SUPPRESION. -En la pestaña de sistemas de detección y supresión se presionó el botón << Add >> para agregar:

- Tipo de dispositivo: Sprinklers
- Tipo de compartimento: Se seleccionó el compartimento precargado anteriormente por el usuario.
- Coordenadas: Ubicación de los sprinklers
- Temperatura de activación: Esta fue cargado por el usuario, se utilizó una temperatura de 70 °C tomada de la norma NFPA13.
- RTI: La medida de la sensibilidad del elemento térmico del rociador, dada

por el índice de respuesta térmica (RTI) se obtuvo en (metro-segundo)^{1/2} según la Norma NFPA 13 se utilizó un valor de 80 (m s)^{1/2}

- Densidad de pulverización: Densidad de diseño en m/s que será la cantidad de agua capaz de suministrar el rociador determinado a partir de la Tabla 24

Una vez ingresados todos los datos de ejecutó el programa presionando <<Simulation>>, luego << Save >> y finalmente << Run >>.

Para visualizar gráficamente se presionó el botón << Geometry>> y << View>>.

3.4 Verificación de la hipótesis

Los datos arrojados de las dos simulaciones se analizaron mediante el análisis de t de student, comparando los valores de los tiempos de duración del incendio.

Por lo que se acepta la hipótesis alternativa, donde la simulación de un sistema contra incendios (CFAST). Utilizando ignífugos inorgánicos si incide en el tiempo de enfriamiento de los tres compartimentos.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación de las condiciones de extinción por agua

Utilizando la normativa UNE 12845 se pudo determinar que Pasteurizadora El Ranchito, entra en la clasificación de riesgo extra, puesto que las condiciones de los materiales se prestan para una combustión alta y de propagación rápida. De igual manera la NFPA 13 clasifica a nuestra área de trabajo bajo riesgo extra grupo 1, por la presencia de polvos, pelusas y demás materiales que pudieran generar un incendio con una elevación rápida en la liberación de calor.

Tabla 3: *Categorización de riesgo*

Área total m²	Tipo de riesgo UNE 12845	Tipo de riesgo NFPA 13
424.27	Riesgo extra	Riesgo extra grupo 1

A continuación, se muestra la Tabla 4 donde se presentan los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones de la metodología utilizada para este trabajo, los datos para el caudal total de rociadores fueron tomados de la Norma NFPA 13, de la curva área/densidad, considerando que para el tipo de riesgo que se presentó (Riesgo extra grupo 1), se debía utilizar la densidad que corresponde a 232 m² es decir 12.2 L/min/m².

A partir de aquí se obtuvieron los demás resultados que se muestran a continuación:

Tabla 4: *Caudales para abastecimiento de agua y número de rociadores.*

Caudal total de rociadores	Caudal total del sistema	Numero de rociadores	Volumen de agua para fuente de abastecimiento
5176.09	7845.0035	28	706050.315

Para obtener el caudal total del sistema se recurrió a los datos de la demanda de chorro total combinado de las mangueras interiores y exteriores, dichos valores se encuentran en la Tabla 5 (Anexo H) y vienen dados en galones por minuto, por lo que fue necesario transformar las unidades a SI.

Tabla 5: *Número de rociadores para cada compartimento*

Área de operación	Área (m²)	Numero de rociador
Envasado aséptico	93.45	5
Envasado en tetrapack	155.19	9
Tratamiento térmico	175.63	14
Área total	424.27	28

Según la NFPA 13, la distancia entre rociadores no debe ser menor a 1.8 m de su medida central, en consideración a eso se dio la distribución de los rociadores en cada compartimento como se muestra en la Tabla 5.

Pasteurizadora El Ranchito cuenta con una red propia de agua, pero se debe tomar en cuenta que para este trabajo se evaluó la diferencia de los rociadores con agua y con ignífugos inorgánicos diluidos, por lo que es necesario considerar que el cálculo de abastecimiento de agua es el que se va a tomar para el reservorio del ignífugo.

Para el transporte de la solución hasta los ramales se consideró acero galvanizado por la ubicación de la tubería, puesto que son áreas de posible corrosión, las tuberías serán cedula 40 debido a la sustancia a transportar, así como la presión que se requiere.

4.2. Simulación con CFAST

4.2.1. Determinación de parámetros a simular (Simulation)

En consideración con los requerimientos del sistema de simulación se ingresaron los datos termohigrométricos de la ciudad de Salcedo donde se encuentra ubicada la planta. Adicional

a eso en el tiempo de simulación se colocó 50000 segundos, a sabiendas de que el simulador no permite más de un día de trabajo. (Córdova, 2019).

Tabla 6: *Datos termohigrométricos*

TIEMPOS DE SIMULACIÓN (segundos)		CONDICIONES DE SIMULACIÓN		
Tiempo de simulación	50000	Condiciones internas	Temperatura	20° C
Tiempo de salida de datos	50		Presión	102700 Pa
Tiempo de salidas de los resultados en común con hojas de cálculo	10		Humedad	72%
Tiempo entre las salidas de los resultados del modelo en un formato compatible con smokeview	10	Condiciones externas	Temperatura	20° C
			Presión	102700 Pa

Para que la simulación se realice no se tomó en cuenta como un sistema adiabático para que este puede intercambiar calor con el entorno.

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

Los datos incluidos en esta parte del sistema fueron ingresados a partir de los paquetes de

construcción registrados por el MIDUVI, para lo que fue considerado los materiales que forman parte de la infraestructura de la planta el Ranchito, tomando el simulador un solo tipo de material tanto para pisos, paredes y techo, los cuales se detallan a continuación en la

Tabla 7.

Tabla 7: *Propiedades Térmicas de los materiales utilizados durante la simulación*

	Material	Conductividad térmica $\kappa = \frac{Q \cdot L}{A \cdot \Delta T}$	Calor Específico $c_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$	Densidad $\rho = \frac{m}{V}$	Espesor L	Emisividad
Paredes	Hormigón armado	0.00163	1.05	2400	0.15	0.93
	ladrillo	0.0072	0.88	1920	0.15	0.93
Pisos	Hormigón	0.00135	0.837	1800	0.005	0.93
Techo	Hormigón armado	0.0023	1.05	2400	0.1	0.93
Ventanas	Vidrio doble	0.0009	--	--	0.003	--
Puertas	Metal acero	0.05	--	7800	0.0003	--

Adaptado de (MIDUVI, 2018).

4.3. Gráfica de los compartimentos a simular en CFAST (Compartments)

Pasteurizadora El Ranchito cuenta con galpón dividido en tres secciones hechas de hormigón armado, ya que al ser una planta de alimentos no requiere de muchas divisiones pero que forman parte del corazón de la fábrica al ser las áreas más importantes de esta. En esta sección se introdujo las dimensiones de los tres compartimentos, para que el simulador lo pueda ir graficando.

Tabla 8: *Plantilla de dimensiones para los compartimentos del área de producción.*

Nombre del compartimiento	Ancho m	Profundidad m	Altura m	Posición x	Posición y	Posición z

Envasado Aséptico	9.91	9.43	6.77	0	0	0
Tetra pack	9.91	15.66	6.77	0	9.43	0
Tratamiento Térmico	7	25.09	6.77	9.91	0	0

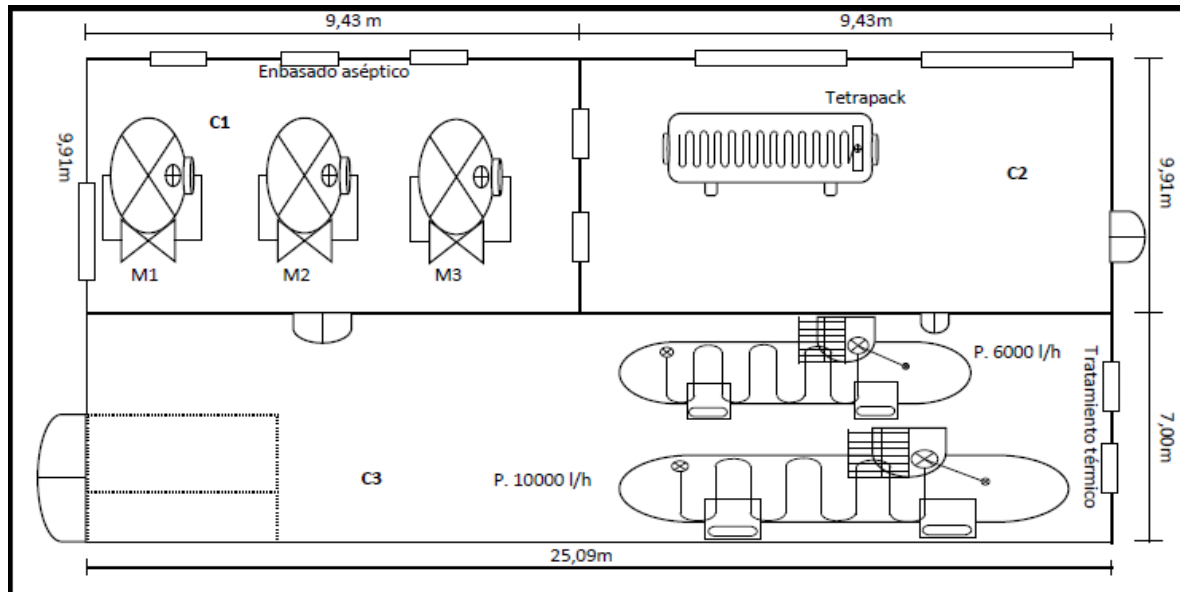


Figura 4: Compartimentos Pasteurizadora El Ranchito

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

En esta sección se estableció las aperturas de ventilación como puertas y ventanas entre compartimentos y hacia el exterior como se muestra en la Tabla 9, determinando la conexión entre estos sistemas de ventilación.

Tabla 9: Dimensiones para paredes y ventanas de cada compartimento.

Primer compartimento	Segundo compartimento	Sill	Soffit	Width	Offset	Face
Envasado	Tratamiento	0	2.97	1.72	3.855	Derecha

Aséptico	Térmico					
Tetrapack	Tratamiento Térmico	0	2.97	1.72	6.97	Derecha
Tratamiento Térmico	Outside	0	3.91	1.77	3.5	Frente
Outside	Envasado Aséptico	2.7	1.25	1.77	1	Izquierda
Outside	Envasado Aséptico	2.7	1.25	1.77	3.7	Izquierda
Outside	Envasado Aséptico	2.7	1.25	1.77	6.7	Izquierda
Envasado Aséptico	Tetrapack	2.7	1.25	1.9	4.07	Detrás
Envasado Aséptico	Tetrapack	2.7	1.25	1.9	6.7	Detrás
Outside	Envasado Aséptico	2.7	1.25	2.5	5.5	Frente
Tetrapack	Outside	0	2.97	2.5	3.705	Detrás
Outside	Tetrapack	2.7	1.25	2.5	1	Izquierda
Outside	Tetrapack	2.7	1.25	2.5	4.7	Izquierda
Tratamiento Térmico	Outside	2.97	1.25	1.77	1	Detrás

Tratamiento	Outside	2.97	1.25	1.77	3.615	Detrás
Térmico						

Considerando el plano de Pasteurizadora El Ranchito se tiene aperturas de ventilación solamente en el techo del compartimiento C1 (Envasado Aséptico).

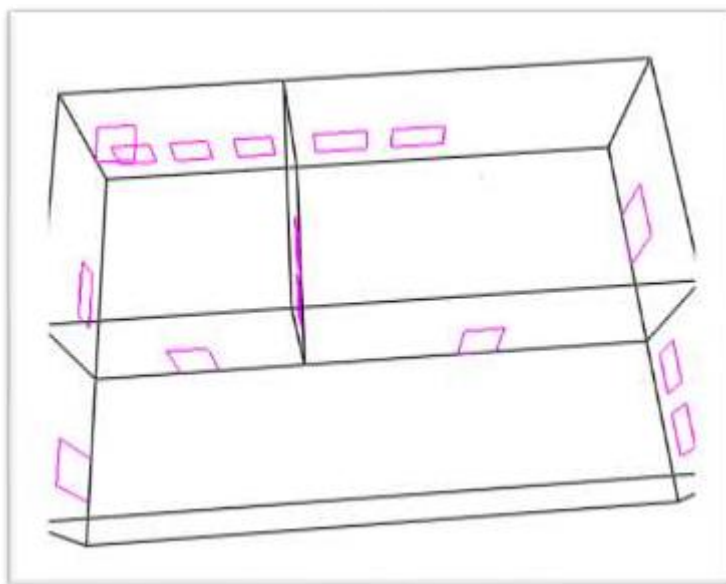


Figura 5: Única Aperturas de ventilación sobre el techo del primer compartimento.

La empresa al contar con una certificación BPM (Buenas Practicas de Manufactura), debe cumplir con ciertos criterios de infraestructura, por lo que para estas áreas críticas por los procesos que cumplen solo tiene una apertura de ventilación en el área aséptica, puesto que esta se encuentra constantemente en desafección por peróxido de hidrogeno.

4.3.2. Fuego

Se introdujo los valores de HRR, tomando estos valores como claves para el proceso de simulación, así mismo se colocaron los valores de calor de combustión de los materiales a quemarse durante el incendio, rendimiento de hollín y CO, además de las coordenadas de donde se va a dar el origen del incendio, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10: *Ubicación de los objetos a quemar dentro de cada compartimento*

Objeto	Ubicación	Encendid o por	Punto fijo (s)	Px m	Py m	Pico HRR	Qc kJ/kg	Masa molar
Silla	C1	Tiempo	0	1	1.5	2099.6	17100	C ₂₅ H ₄₂ O ₆ N ₂
papel	C1	Tiempo	0	1.5	2.5	240	17100	C ₆ H ₁₀ O ₅
Aparatos electrónicos	C1	Tiempo	0	1.5	3	280	27000	C ₈ H ₈
Aparatos electrónicos	C2	Tiempo	0	7.5	3.5	281	27000	C ₈ H ₉
Cartón	C2	Tiempo	0	3	2.5	240	16800	C ₆ H ₁₀ O ₅
Silla	C2	Tiempo	0	1	2	2099.6	17100	C ₂₅ H ₄₂ O ₆ N ₂
papel	C2	Tiempo	0	6.5	4	240	17100	C ₆ H ₁₀ O ₅
Cartón	C3	Tiempo	0	1.5	20	240	16800	C ₆ H ₁₀ O ₅
papel	C3	Tiempo	0	1.5	10	240	17100	C ₆ H ₁₀ O ₅
Aparatos electrónicos	C3	Tiempo	0	1.5	2.5	280	27000	C ₈ H ₈

*La C, será el indicativo de compartimiento.

4.3.3. Determinación de sistemas de detección y supresión (Detection/ Supresion)

Los parámetros tomados para esta sección del simulador, fueron tomados en función del riesgo que se determinó en primera instancia, de ahí que se tomó como temperatura de activación 70°C, y un RTI de 80 (m. s)^{1/2}.

Para la ubicación de los sprinklers se tomó en consideración los requerimientos de la norma NFPA13, es decir que no exceder el área de cobertura de cada rociador, para nuestro caso al ser un riesgo extra grupo 1 no debe exceder los 2323m². De esta manera los sprinklers fueron ubicados en las tres áreas de producción cumpliendo con la distancia de 1.8 de cada centro del rociador, como lo determina la norma para la instalación de rociadores (NFPA 13, 1996).

A continuación, en la Tabla 11 se muestran las coordenadas de localización para cada rociador dentro de cada compartimento, siendo un total de 28 en toda el área de producción, separada por compartimentos.

Tabla 11: *Distribución de sprinklers en el área de producción.*

#	Ubicación	Px m	Py m	Pz m	RTI (m/s)	Temperatura de activación °C
1	C1	3	3	6.7023	80	70
2	C1	7	3	6.7023	80	70
3	C1	3	6.91	6.7023	80	70
4	C1	7	6.91	6.7023	80	70
5	C1	4.7	7.9	6.7023	80	70
6	C2	2	3	6.7023	80	70
7	C2	5	3	6.7023	80	70
8	C2	8	3	6.7023	80	70
9	C2	2	8	6.7023	80	70
10	C2	5	8	6.7023	80	70
11	C2	8	8	6.7023	80	70
12	C3	2	2	6.7023	80	70
13	C3	5	2	6.7023	80	70
14	C3	2	5.5	6.7023	80	70
15	C3	5	5.5	6.7023	80	70
16	C2	2	13	6.7023	80	70
17	C2	5	13	6.7023	80	70
18	C3	2	9	6.7023	80	70
19	C3	5	9	6.7023	80	70
20	C3	2	12.5	6.7023	80	70
21	C3	5	12.5	6.7023	80	70
22	C3	2	16	6.7023	80	70
23	C3	5	16	6.7023	80	70
24	C3	2	19.5	6.7023	80	70
25	C3	5	19.5	6.7023	80	70
26	C3	2	23	6.7023	80	70
27	C3	5	23	6.7023	80	70
28	C3	8	13	6.7023	80	70

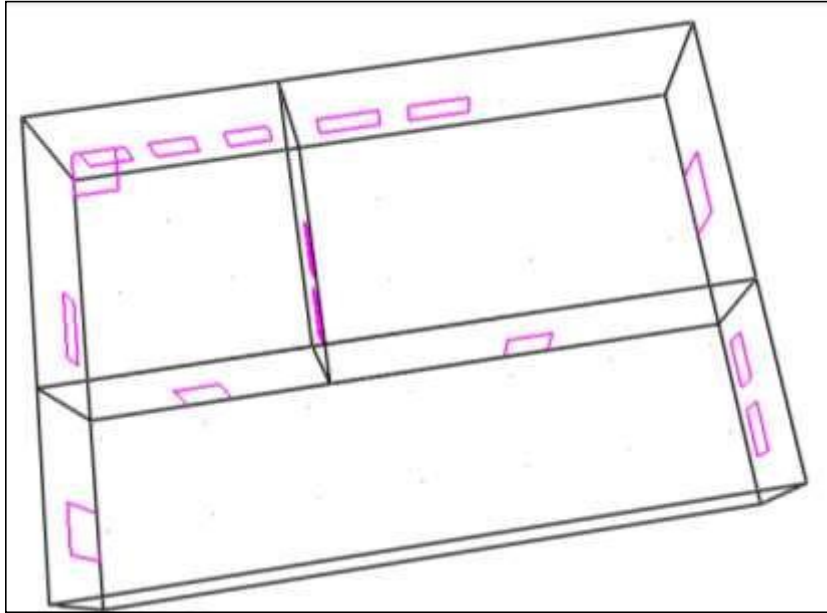


Figura 6: Distribución de sprinklers en producción.

Al ser un sistema computacional, CFAST predice el número de rociadores a encenderse y la temperatura a la cual lo hace, por lo que en la Tabla 12 se muestra solamente los rociadores que se activaron.

Tabla 12: Distribución de sprinklers en el área de producción.

#	Numero de sprinklers	Ubicación	Tiempo de activación (s)
1	28	Tetrapack	218
2	16	Tetrapack	217
3	17	Tetrapack	208
4	7	Tetrapack	209
5	6	Tetrapack	204
6	4	Envasado aséptico	203
7	8	Tetrapack	202
8	2	Envasado aséptico	193
9	3	Envasado aséptico	190
10	5	Envasado aséptico	186
11	11	Tetrapack	183
12	9	Tetrapack	182
13	1	Envasado aséptico	169
14	10	Tetrapack	161

Como se puede observar la mayor parte de los rociadores son activados en el compartimento donde se origina el incendio, seguido del compartimento más grande, sin activarse ninguno en el primer compartimento.

4.3.4. Simulación con agua.

Se realizó la simulación aplicando el ignifugo inorgánico hidróxido de aluminio, sabiendo que este compuesto fue evaluado anteriormente en diferentes concentraciones, verificando así que, en porcentajes de 3, 6 y 9% este obtiene una mejor tasa de combustibilidad, a diferencia del hidróxido de magnesio, el cual debe ser utilizado solamente al 9% para obtener resultados. Además de ser amigable con el ambiente puesto que absorbe hidrocarburos policíclicos, que se dan durante la combustión. (Pozo, 2020)

Durante la segunda simulación se mantuvieron los datos, cambiando solamente en la curva HRR, que es donde el ignifugo es aplicado es decir afectando la tasa de liberación de calor.

A continuación, en la Figura 7 se muestra el arranque de la simulación es decir el punto cero de partida. Donde se encuentran los objetos de la combustión y los sprinklers colocados en cada compartimento.

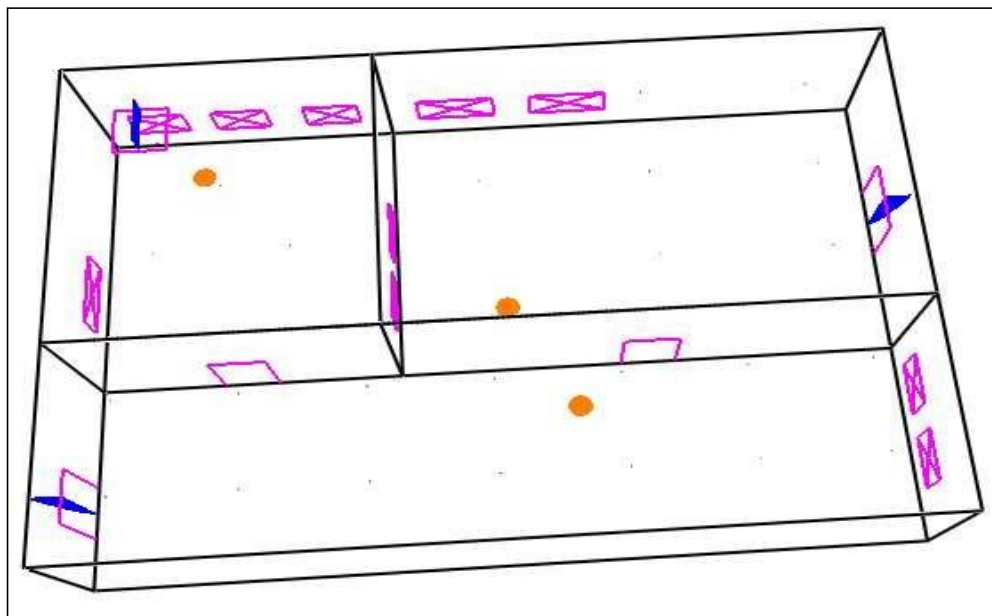


Figura 7: Plano de pasteurizadora El Ranchito con la ubicación de los rociadores (sprinklers)

Considerando que los sprinklers se activan alrededor de los 167°C hasta los 218°C se muestran los gráficos de los principales tiempos del incendio.

A los 90 segundos el simulador muestra que se alcanza una temperatura de 24 para los compartimientos 1 y 2, mientras que el tercer compartimento se mantiene a 20.8 °C.

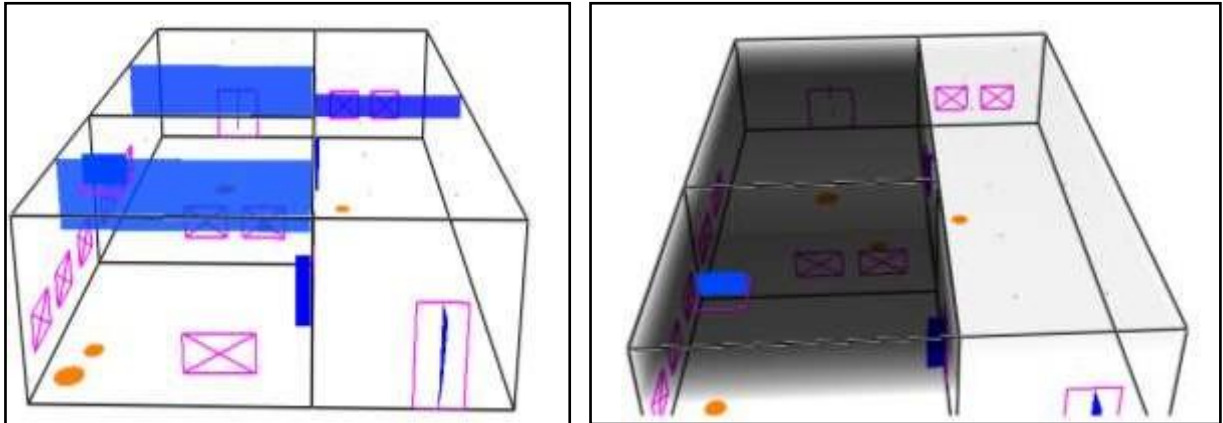


Figura 8: a) Evolución de temperatura en los 90s. b) Evolución de humo a los 90s.

Transcurridos los 180 segundos se tiene que el área de envasado aséptico alcanza los 64.2 °C, el compartimiento 2 tetrapack llega a los 47°C y por último el tercer compartimento que le pertenece a tratamiento térmico en ese punto llega a 28.2°C, hasta ese punto siendo el menos afectado. Sabiendo que, en su mayoría los equipos solo resisten a temperaturas de 30-35°C, para este punto los sistemas de envasado de los compartimientos 1 y 2 ya habrán colapsado su sistema interno. (Ordoñez & Nieto, 2010)

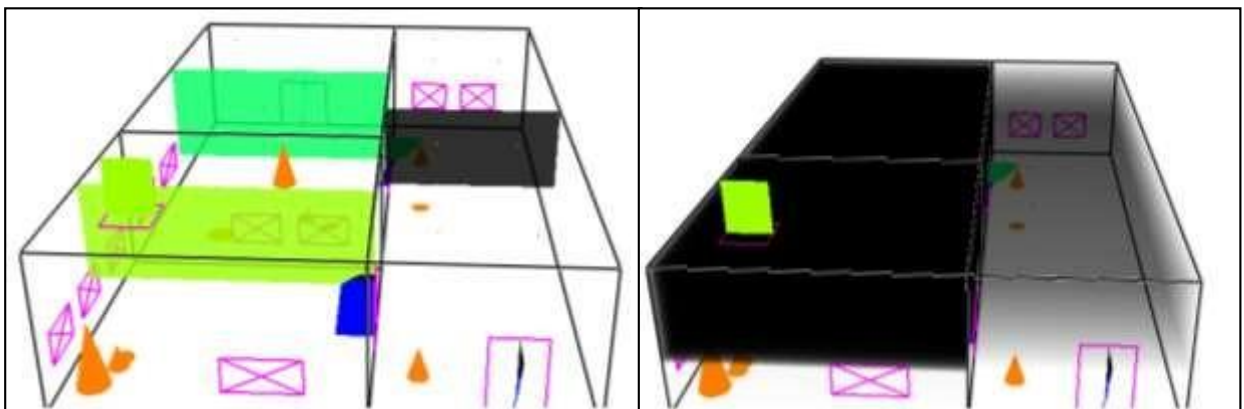


Figura 9: a) Temperatura a los 180 s. b) Evolución de humo a los 180s.

Una vez llegado a los 290 segundos el compartimento 1 llega a su temperatura máxima 86.8°C, por otra parte, el segundo compartimento llega a los 66.6 °C y el tercero a 39.9°C. Mientras que el humo cubre por completo el compartimento 1 y 2 dejando ya nublado el compartimento 3. Como se muestra en la figura 10. A partir de este punto los sprinklers terminan de activarse y de aquí en adelante la temperatura de los compartimentos empieza a bajar.

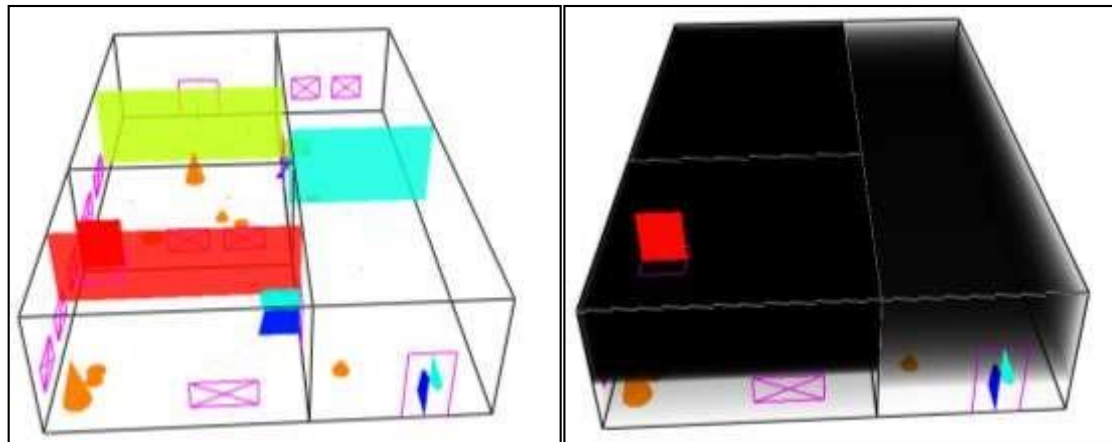


Figura 10: Evolución de temperatura y producción de humo a los 290 segundos

La Figura 11 como pasados los 335 segundos la temperatura empieza decrecer por la activación de los sprinklers, teniendo una temperatura de 75.9 °C para el primer compartimiento, 70.9 para el segundo y 41.2°C para el tercero.

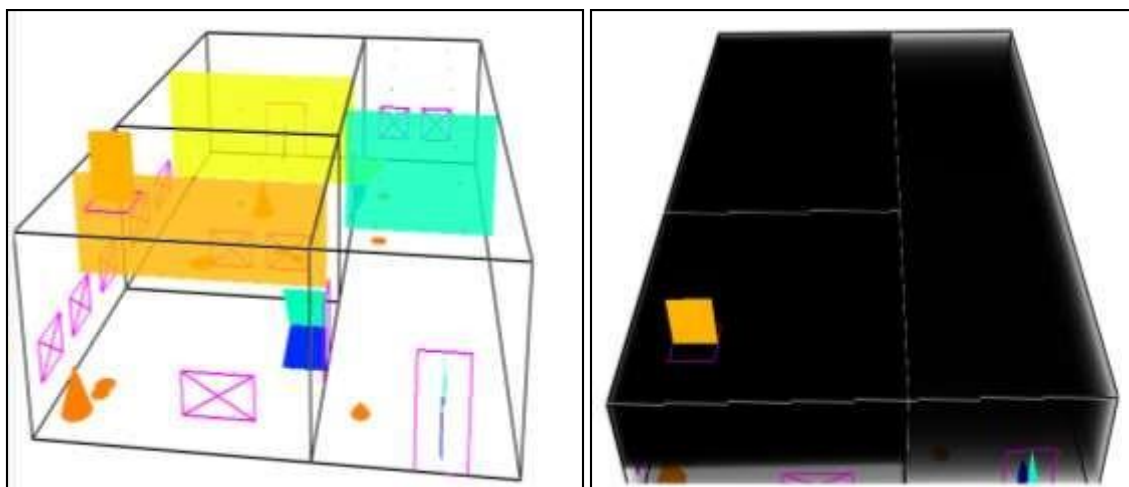


Figura 11: Evolución de temperatura y producción de humo a los 290 segundos

Para cuando llego a los 36740 segundos las temperaturas del compartimiento 1 se encuentran a 25.3°C, el compartimiento 2 a 22.1°C y el tercero a 35.9°C. Aquí se puede evidenciar que en el compartimiento 2 al hallarse el mayor número de rociadores activos es uno de los compartimientos que más baja su temperatura, a diferencia del compartimiento 3, el cual al no activarse ningún sprinklers, tarda más tiempo en bajar su temperatura. Por otra parte, en este punto el humo de la cabina 1 está casi disipado.

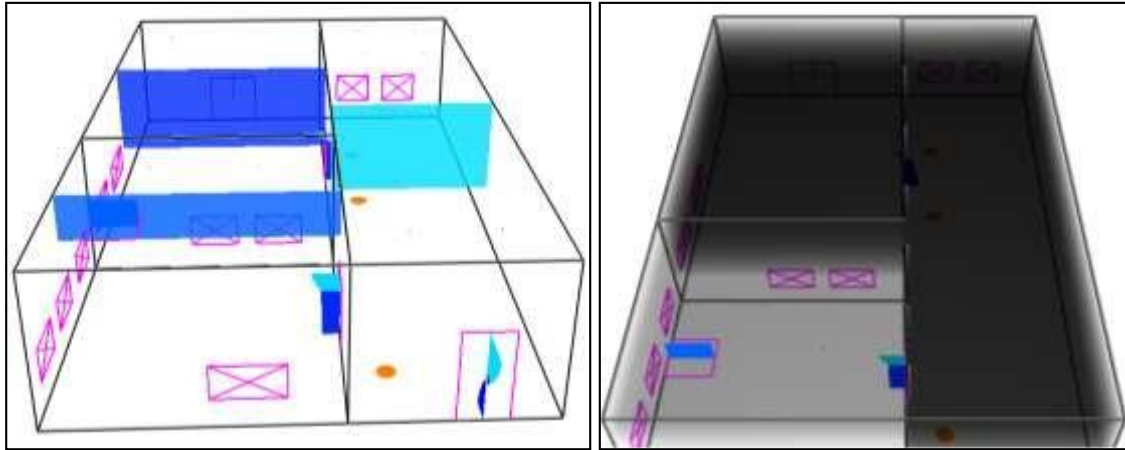


Figura 12: Evolución de temperatura y producción de humo a los 36740 segundos

4.3.5. Simulación con hidróxido de aluminio al 9%

Para la segunda simulación se mantiene los datos de construcción y materiales, así como las curvas de HRR. Para esta simulación se realiza la adición del ignifugo hidróxido de aluminio al 9%.

En la Figura 13 se puede observar los compartimientos en los 100 primeros segundos donde la temperatura del compartimiento 1 y 2 se encontraron en los 23.1°C, mientras que el tercero compartimiento estaba en los 20°C. Aquí la temperatura todavía no puede causar daño a las maquinarias presentes en el lugar, por otro lado, en este punto ya empieza a

haber presencia de humo en los compartimientos 1 y 2.

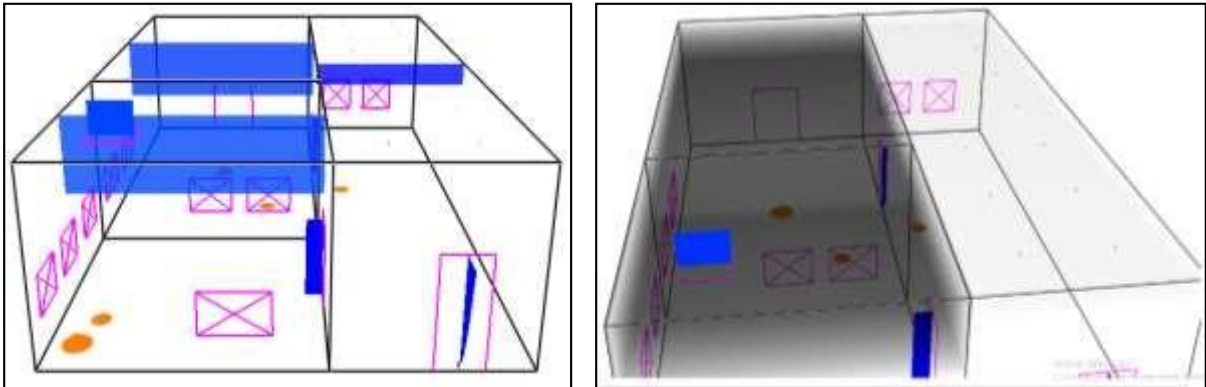


Figura 13: Evolución de la a) temperatura y b) humo a los 100 segundos

Para los 250 segundos la temperatura del primer compartimento tomó su punto máximo de 79.4°C , precedido por el segundo compartimento con 65.4°C y 35.5°C para el tercero, aquí los equipos de envasado, puertas y material eléctrico ya sufrieron daños graves por la presencia de humo t elevada temperatura, y la capa de humo llegó a los tres compartimentos.

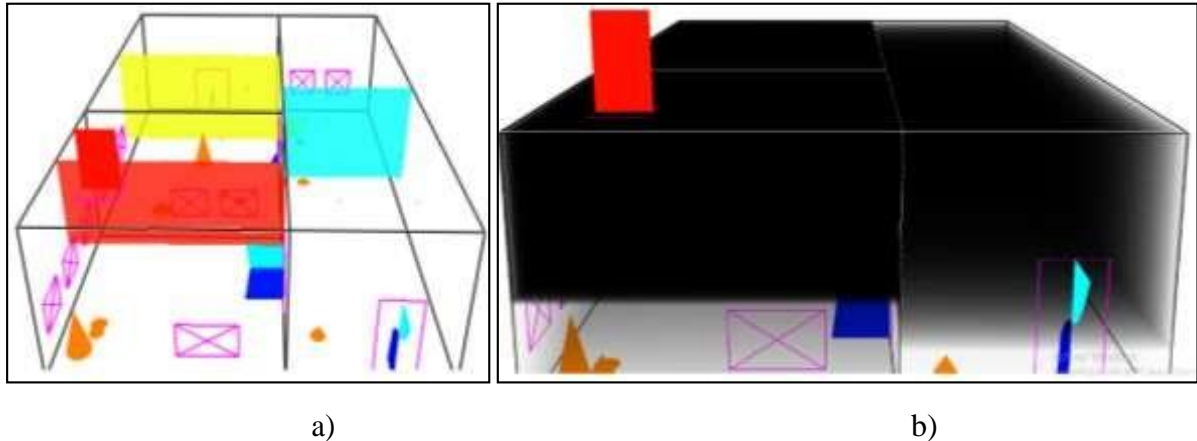
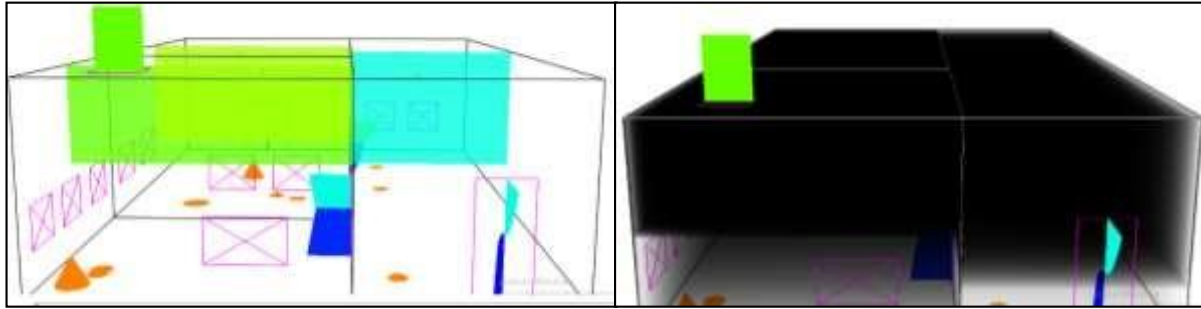


Figura 14: Evolución de la a) temperatura y b) humo a los 250 segundos

Una vez alcanzado los 330 segundos empezó el declive de la temperatura, entonces el compartimento 1 presento una temperatura de 56.6°C , seguido del segundo con 60.4 y el tercero con 36.2 . De igual forma las capas de humo comenzaron a disiparse.

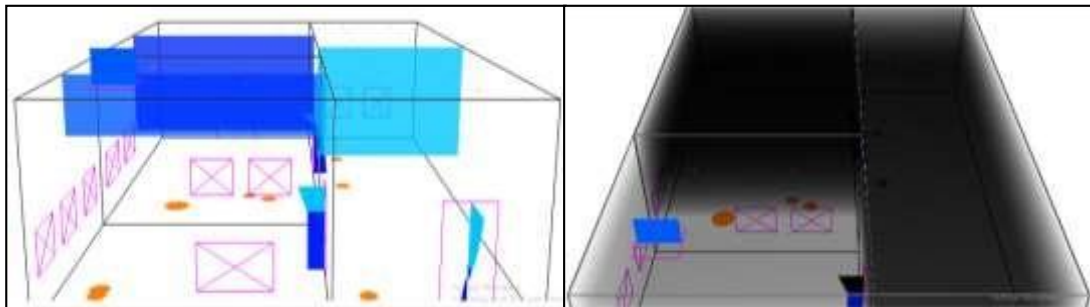


a)

b)

Figura 15: Evolución de la a) temperatura y b) humo a los 330 segundos

A los 15000 la temperatura de los compartimentos llegó a la normal, es decir, el envasado aséptico bajo a 25.5° C, la envasadora tetrapack 23.3°C y tratamiento térmico los 31° C. nuevamente al igual que en la primera simulación se puede decir que el tercer compartimento es el último en bajar su temperatura por la presencia nula de rociadores activados.



a)

b)

Figura 16: Evolución de la a) temperatura y b) humo a los 15000 segundos

Una vez culminadas las simulaciones se pudo hacer las correspondientes comparaciones entre la simulación con agua y con ignífugo, encontrando así las siguientes diferencias que se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13: *Diferencia en la activación de los rociadores.*

#	Numero de sprinkler	Ubicación	Tiempo de activación (s) AGUA	Tiempo de activación (s) IGNIFUGO
1	28	Tetrapack	218	236
2	16	Tetrapack	217	235
3	17	Tetrapack	208	225
4	7	Tetrapack	209	227
5	6	Tetrapack	204	221
6	4	Envasado aséptico	203	221
7	8	Tetrapack	202	219
8	2	Envasado aséptico	193	210
9	3	Envasado aséptico	190	206
10	5	Envasado aséptico	186	201
11	11	Tetrapack	183	197
12	9	Tetrapack	182	196
13	1	Envasado aséptico	169	181
14	10	Tetrapack	161	173

La primera diferencia encontrada es la activación de los rociadores, puesto que con el ignifugo se tardan más en encender debido a que, la elevación de la temperatura en los compartimentos es más lenta, sin afectar en la numero y ubicación de los rociadores encendidos. Por otra parte, en la simulación con agua los compartimentos alcanzaron temperaturas cercanas al ambiente a los 36740 segundos como se muestra en la Figura 12, mientras que con el uso del ignifugo hidróxido de aluminio a los 15000 segundos los compartimentos alcanzaron estas temperaturas. Encontrando así que el ignifugo mejora en un 40% la eficiencia de enfriamiento.

Tabla 14: Comparación de las simulaciones con agua y con hidróxido de aluminio.

Simulación	Tiempo De Enfriamiento Total (s)	Eficiencia %
Agua	36740	
Hidróxido de Aluminio	15000	40%

4.4. Verificación de hipótesis

Para la verificación de las hipótesis se empleó el diseño estadístico prueba t de student, que permitió comparar las medias de las muestras obtenidas de la simulación 1 y 2. Para ello se utilizó un nivel de confianza del 95%. Con un número de muestras de 9, siendo las de mayor incidencia en el cambio de temperatura.

Tabla 15: Diferencia de tiempos de duración del incendio.

Temperaturas durante el incendio	Tiempo de duración del incendio usando rociadores	
	Agua	Hidróxido de aluminio
25	143	100
28	150	120
46	190	160
80	250	210
87	290	250
76	330	290
54	530	480
45	980	890
39	1080	990

A continuación, en la Tabla 16 se muestran los valores obtenidos para el análisis de t de student.

Tabla 16: *Valores para la comparación de t de student.*

Promedio de las diferencia	45.3
Numero de muestras	9
Grados de libertad	8
Alfa	0.05
Desviación estándar	23.3130865
t critico	1.85954804
t experimental	5.82934397

Una vez comparado el t calculado, con el t crítico, se puede decir que, a un nivel de confianza del 95%, si existe diferencia significativa entre los métodos.

Por lo que se acepta la hipótesis, siendo mejor el método utilizando el ignifugo inorgánico hidróxido de aluminio al 9%.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Pasteurizadora El Ranchito, quien presenta un riesgo extra grado 1, tiene un área operacional de 424.27 m², donde se realizó una simulación utilizando rociadores con agua como agente extintor, y para la segunda simulación hidróxido de aluminio al 9%. Siendo la segunda la mejora para nuestro caso de estudio, presentando una mejora en el tiempo de enfriamiento del sistema de 40%.

Por tanto se puede decir que, el hidróxido de aluminio al unirse con los gases generados durante la combustión, fueron formando moléculas de agua, y gases no inflamables, lo que permitió que el enfriamiento se diera de manera más rápida que al hacerlo simplemente con agua, por lo que, autores como **(Poza, 2020)**, en sus trabajos aconsejan el uso de esta sustancia por sus altos beneficios, tanto económicos como ambientales.

Tanto la normativa NFPA13, como la UNE12845 tratan acerca de los requisitos para la implantación de un sistema contra incendios, por lo que al considerar los parámetros impuestos por estas normativas se pudo concluir diciendo que ingresan dentro del tipo de riesgo extra grado 1, por la alta presencia de material combustible como cartón, maquinaria extra manejada con sistemas de gas y maquinarias con fluido combustible en uso.

Con los datos adquiridos en las dos normativas utilizadas en este trabajo se pudo obtener que se requiere de 28 rociadores para el área total de operaciones, considerando que cada uno de estos debe ser ubicado de tal manera que ninguno le afecta al otro durante su activación. De los cuales tan solo se activaron 14 sprinklers, que permitieron evidenciar las variaciones en cuanto al tiempo de activación, que como se mostró en la Tabla 13, al colocar el ignifugo se presentó un tiempo más tardío de activación, pero con más rápida efectividad de enfriamiento del sistema.

5.2. Recomendaciones

Considerar el área de operación total del sistema, para la correcta selección del simulador, así como de la normativa a aplicar.

Tomar como consideración la capacidad del computador al momento de realizar la instalación del simulador, ya que requiere de gran espacio para poder realizar la simulación de manera rápida.

Es importante que se tome en cuenta el uso de compuestos orgánicos como agentes extintores, puesto que en su mayoría son amigables para el ambiente, presentan mayor eficacia en el tiempo de acción y se requiere de poca cantidad.

CAPÍTULO VI

6. MATERIAL DE REFERENCIA

6.1.1. Referencias bibliográficas

- Acosta, A. (2017). *Seminario práctico de modelización del fuego en recintos*. Madrid.
- Aira, J., & García, J. (Septiembre de 2007). *Cuerpo de Bomberos Santo Domingo*. Obtenido de <http://dragodsm.com/pdf/dragodsm-investigacion-incendio-12-2011.pdf>
- Alvear, D., Rein, G., Capote, J., Torero, J., Lázaro, M., & Abreu, O. (2007). *MODELADO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DE INCENDIOS EN LA EDIFICACION*. España: Ediciones Días Santos.
- Arguello, M. P., & Cadena, J. E. (2009). *ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA PROPAGACIÓN DE FUEGO EN UN LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA*. Bogotá.
- Balsells, J. (2018). *DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA SOBRE RIESGOS AMBIENTALES EN COMBATE DE INCENDIOS ESTRUCTURALES*. Guatemala.
- Borbor & Banchon. (2019). *ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS DEL TEATRO UNIVERSITARIO CORRESPONDIENTE A LA UNIVERSIDAD DE SANTA ELENA MEDIANTE LAS NORMAS NEC 2014 Y NFPA*. La Libertad -Ecuador.
- Borja, D. A., Córdova, M. A., Villacrés, E. P., & Montes, K. S. (2021). *Simulación de la eficacia de ignífugos inorgánicos en la extinción de incendios con CFAST. Caso de un laboratorio químico*. Ambato.
- Boulandier, J. (2018). *Productos, propagación y métodos de extinción*. España.
- Boulandier, J., Fernández, F., Garayoa, J., Orta, C., & Anitua, P. (2017). *Manuel de Extinción de Incendios*. Pamplona.
- Burkhart, D. (2016). *Norma para Extintores Portátiles Contra Incendios*. Orlando, Florida: ANSI.
- Campoverde, P. e. (2019). Norma para Extintores Portátiles Contra Incendios,. *Escuela Superior Politecnica del Litoral*, 8-10.
- Cárcamo, M. (2007). Técnicas de investigación de incendios. (*Tesis de grado*). Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Cárdenas, C. M. (2015). *ANÁLISIS NORMATIVO Y SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO*

EN CASO DE INCENDIO DEL EDIFICIO INSTITUTO DE OBRAS CIVILES, DE LA FACULTAD DE CS. DE LA INGENIERÍA, A TRAVÉS DEL SOFTWARE DE MODELACIÓN FDS. . Valdivia.

Castro, F. Z. (2020). *Diseño de un Sistema contra Incendios mediante la utilización de la Herramienta CFAST en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL.* Universidad Tecnica de Ambato, Ambato.

Córdova, M. (2019). *FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA PARA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS. EXTINCIÓN POR AGUA Y ESPUMAS.* Ambato .

Cortés, M. (2010). *Desarrollo de un material compuesto ignífugo para aplicación en la industria de la construcción .* México .

Cruz L. (2012). *Diseño de un Sistema Contra Incendio para el Área de Producto.* Guayaquil: Espol.

Duarte , G., & Piqué, T. (2015). *Evaluación del Riesgo de Incendio.* España: Centro Nacional de Condiciones de trabajo.

Dueñas et al. (2010). *Bases del manejo clínico de la intoxicación por humo de incendios.* *ScienceDirect*, 619.

Engineering Laboratory. (2019). *CFAST, Fire Growth and Smoke Transport Modeling.* *FIRE RESEARCH DIVISION*, 8.

Episcopo, D. (2012). *El fenómeno físico – químico del fuego.* *Seguridad en Ambientes Laborales*, 11.

Expower. (2015). *Resultado de la combustión .* España.

Fernanda, Z. C. (2020). *Diseño de un Sistema contra Incendios mediante la utilización de la Herramienta CFAST en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL.* Universidad Tecnica de Ambato, Ambato.

Flora, B. (2012). *Estudio de la Influencia del Tamaño de Partícula de Hidróxidos Metálicos de Al y Mg (Micro y nano) y el efecto sinérgico de sus Mezclas en las propiedades Mecánicas y de Retardancia a la flama de Compuestos a Base de Polietileno de alta densidad.* Centro de Investigaciones de Química Avanzada, Saltillo.

Galáhn A. (23 de Junio de 2016). *Blog de seguridad contra incendios.* Obtenido de <https://elblogdelaseguridadcontraincendios.es/conoces-las-estadisticas-de-incendios-mundiales/>

- Gemman G, J. (14 de Marzo de 2019). *Cuadernos de seguridad*. Obtenido de <https://cuadernosdeseguridad.com/2019/03/los-incendios-provocaron-perdidas-por-525-millones-de-euros-en-2018/>
- González, O. (2009). Los retardantes de fuego . *Ingeniería de Protección contra el Fuego*.
- Graham, T., & Makhviladze, G. (1995). On the theory of flashover development, fire safety Journal. *ScienceDirect*, 259.
- Lázaro M. (s.f.). *DINAMICA DEL INCENDIO EN EDIFICIOS MEDIANTE MODELADO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL: CFAST, OZONE, FDS*. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, España.
- Loguzzo N. (2012). *LDF*. Obtenido de <https://ldf.com.ar/los-productos-de-la-combustion/>
- Martínez et al. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Scielo*.
- Medina, M. (2017). *REPRODUCCIÓN EN FDS DE UN INCENDIO REAL DE APARCAMIENTO*. Catalunya - España: Escola d' Enginyeria de Barcelona.
- Menzinger, M. (2013). *Cálculo y diseño del sistema contra incendios de una nave industrial*. España.
- MIDUVI. (2018). *Norma Ecuatorina de la Construcción*. Quito.
- MINISTERIO DE INCLUSION ECONOMICA Y SOCIAL. (2009, 02 de abril). *REGLAMENTO DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS*. Acuerdo Ministerial. Obtenido de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-11/REGLAMENTO%20DE%20PREVENCIÓN%2C%20MITIGACIÓN%20Y%20PROTECCIÓN%20CONTRA%20INCENDIOS.pdf>
- Ministerio de Industria, C. y. (2019). *Reglamento de Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales* .
- MOLANO, P. A. (2017). *DISEÑO DEL SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE EXTINCIÓN Y DETECCIÓN PARA LA FACULTAD TECNOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, CONFORME A LA NORMA NFPA Y LA NSR-10*. Bogota- Colombia.
- Navarro C. (2015). *"Efectos de un aditivo mineral en la flamabilidad de materiales compuestos a base de polipropileno y Polietileno"*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, México.

- Navarro, C. (2015). Efecto de un aditivo mineral en la flamabilidad de materiales compuestos a base de polipropileno y polietileno. (*Tesis de Posgrado*). Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C, Yucatán.
- Neira J. (2008). *Protección contra Incendios*. España: Fundación Confemetal.
- NFPA 13. (1996). *Norma para la Instalación de Sistema de Rociadores*.
- Nielsen, C. (s.f.). *AN ANALYSIS OF PRE-FLASHOVER*. School of Engineering, New Zealand .
- OIT (Organización Mundial del Trabajo). (12 de Abril de 1999). *La OIT estima que se producen más de un millón de muertos en el trabajo cada año*. Obtenido de https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_008562/lang--es/index.htm
- Ordoñez, J. P., & Nieto, L. G. (2010). *MANTENIMIENTO DE SISTEMAS ELECTRICOS DE DISTRIBUCION*. UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, Guayaquil.
- Paredes Villacis, D. M. (2018). *ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE RETARDANTES DE LLAMA (HIDRÓXIDO DE ALUMINIO, HIDRÓXIDO DE MAGNESIO) EN UN MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO CON MATRIZ POLIMÉRICA UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS METÁLICAS*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Parrales, B. (2019). *DISEÑO DE UN PLAN DE EMERGENCIA CONTRA INCENDIOS*. Guayaquil.
- Peacock, R., Jones, W., Reneke, P., & Forney, G. (2005). *CFAST - Modelo consolidado de fuego. Crecimiento y Transporte de humo*. Washington: Oficina de Imprenta del Gobierno de EE. UU.
- Pearce, E. M. (1975). Flame retardants. *Environmental Health Perspectives*, 59-69.
- Pons V. (2002). *Dinamica del fuego*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=242974>
- Pos Grau, V. (2017). *Dinamica del fuego orige y causa de los incendios*. Madrid: ASELF.
- Pozo, D. (2020). *Eficacia de ignífugos inorgánicos (hidróxido de aluminio, hidróxido de magnesio) en la velocidad de combustión de calamagrostis intermedia de páramos de Ecuador*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Prada F. (14 de 06 de 2006). *El Fuego; Química y espectáculo*. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-ElFuego-2006399.pdf>

- SURA, C. –A. (2010). Manipulación y almacenamiento de. *ARP- SURA*, 10.
- Unapucha J. (24 de Octubre de 2020). Historia de la planta El Ranchito. (J. Sunta, Entrevistador)
- UNE-EN 12845. (Octubre de 2016). *NORMA ESPAÑOLA*. Obtenido de https://www.academia.edu/33241450/norma_espa%C3%B1ola_UNE_EN_12845
- Vélez F. (2018). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE RED CONTRA INCENDIOS PARA LA EMPRESA INDUSTRIAS MORARBE S.A.* INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO, Medellín.
- William, D., & Callister, J. (2007). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. España: EDITORIAL REVERTÉ.
- Zapata, J. (2011). *DISEÑO DE UN PLAN DE EMERGENCIA CONTRA INCENDIOS*. Colombia.
- Zurita, F. (2020). *Diseño de un Sistema contra Incendios mediante la utilización de la Herramienta CFAST en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL*. Universisa Tecnica de Ambato, Ambato.

6.1.2. ANEXOS

Anexos A

Aprobación del Tema



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
Y BIOTECNOLOGÍA
CONSEJO DIRECTIVO
Av. Los Chacabambos y Río Payamón
Teléfono: 0324600007 0324000009
E-mail: fciab@uta.edu.ec



RESOLUCIÓN: FCIAB-1440-CD-P-2020

El Consejo Directivo de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, en sesión ordinaria efectuada el diez de diciembre de dos mil veinte, en conocimiento del Acuerdo no. FCIAB-UT-BQ-2020-0298-AC, convocado por el Mg. Alex Valencia presidente de la Unidad de Titulación de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, mediante el cual mediante el cual remite el Proyecto de Trabajo Titulación, Modalidad de Titulación: "Sistematización de Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención" con el tema: "SIMULACIÓN DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS (CFAST), UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN KNO3/K2CO3 INORGÁNICA DILUIDA, EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTEURIZADORA EL RANCHITO", presentado por ella señorita SANTA GORDILLO JESSICA FERNANDA estudiante de la Carrera de Ingeniería Bioquímica y sugiere como tutor al Mg. Marcelo Córdoba, Profesor de la Facultad, para su aprobación, confiere al documento adjunto.

RESUELVE:

APROBAR el Proyecto de Trabajo de Titulación, Modalidad de Titulación: "Sistematización de Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención" con el tema: "SIMULACIÓN DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS (CFAST), UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN KNO3/K2CO3 INORGÁNICA DILUIDA, EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTEURIZADORA EL RANCHITO", presentado por ella señorita SANTA GORDILLO JESSICA FERNANDA estudiante de la Carrera de Ingeniería Bioquímica.

DESIGNAR como Tutor del Trabajo Titulación, Modalidad de Titulación: "Sistematización de Experiencias Prácticas de Investigación y/o Intervención" con el tema: "SIMULACIÓN DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS (CFAST), UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN KNO3/K2CO3 INORGÁNICA DILUIDA, EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTEURIZADORA EL RANCHITO", presentado por ella señorita SANTA GORDILLO JESSICA FERNANDA estudiante de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, como tutor al Mg. Marcelo Córdoba, Profesor de la Facultad.

INFORMAR a ella señorita SANTA GORDILLO JESSICA FERNANDA, estudiante de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología que conforme al **REGLAMENTO DE RÉGIMEN ACADÉMICO, Disposición Tercera.-** "Aquellos estudiantes que no hayan culminado y aprobado la opción de titulación encargada en el período académico de culminación de estudios (es decir aquel en el que el estudiante se matriculó en todas las actividades académicas, que requiera aprobar para concluir su carrera o programas), lo podrán desarrollar en un plazo adicional que no excederá el equivalente a 2 períodos académicos ordinarios, para lo cual, deberán solicitar a la autoridad académica pertinente la correspondiente prerrogativa, el primer período adicional no requerirá de pago por concepto de matrícula o aranceles.

En este caso, la IEN deberá garantizar el derecho de titulación en los tiempos establecidos en esta disposición y de acuerdo a lo determinado en el artículo 5, literal a), de la LOES.

(Disposición agregada mediante Resolución RPC-SD-15-N°146-2014, adoptada por el Pleno del CES en su Décima Tercera Sesión Ordinaria, desarrollada el 09 de abril de 2014 y reformada mediante ResoluciónRPC-SE-03-N°004-2016, adoptada por el Pleno del Consejo de Educación Superior en su Tercera Sesión Extraordinaria, desarrollada el 22 de marzo de 2016), y oficio N° CES-CES-2019-0408-CO, remitido por el Consejo de Educación Superior, así como Resolución: 3278-CU-P-2020, de, mediante la cual se aprueba el "SEGUNDO RÉGIMEN TRANSITORIO PARA LAS ACTIVIDADES ACADÉMICAS Y ADMINISTRATIVAS, ASÍ COMO PARA LA GESTIÓN INTERNA DE TRÁMITES DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, y sus respectivas reformas.

Ambato, 10 de diciembre de 2020

Atentamente,

Presidente



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA BIQUÍMICA
AV. LOS CHACABAMBOS Y RÍO PAYAMÓN
TEL. 0324600007 0324000009
WWW.UTA.EDU.EC

Anexos B

Carta de aceptación para aplicación de la fase experimental



CARTA DE ACEPTACIÓN

Sancado: 22 de junio del 2021

Msc. Ing. Alex Valencia
PRESIDENTE DE LA UNIDAD DE TITULACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGIA CARRERA DE INGENIERIA BIOQUIMICA

Bajo el pedido de la Sra. JUNTA GORDILLO JESSICA FERNANDA, estudiante egresada de la carrera de ingeniería bioquímica del Universidad Técnica de Ambato con cédula de identidad 050378503-2

Notificamos que damos por aceptado la elaboración del trabajo teórico – práctico titulado: "SIMULACIÓN DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS (CFAST), UTILIZANDO UNA SOLUCIÓN INIFUGA INORGANICA DILUIDA, EN EL AREA DE PRODUCCION DE PASTEURIZADORA EL RANCHITO".

Atentamente,



Ing. Jenny Guato
Gerente Operaciones
PASTEURIZADORA
EL RANCHITO CIA. LTDA

Firma Ing. Jenny Guato No. (012)2385154-115
2066221

 Dirección: Vía Luperón-603 - Av. 0000 - Km. 2,5 - Píedra Neiva - C.A.
 Teléfono: (012) 238 5154

 C.A. Pasterizadora El Ranchito S.A. - C.V. - C.A. - C.V. - C.A. - C.V.
 Correo electrónico: pasterizadora@elranchito.com.ec

Anexos C

Tabla 17: *Clasificación y características de las ocupaciones de Riesgos según NFPA13*

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 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
Riesgo extra grupo 2	Cantidades moderadas a considerables de líquidos inflamables o combustibles, o donde se resguarden cantidades importantes de productos combustibles.

Anexos D

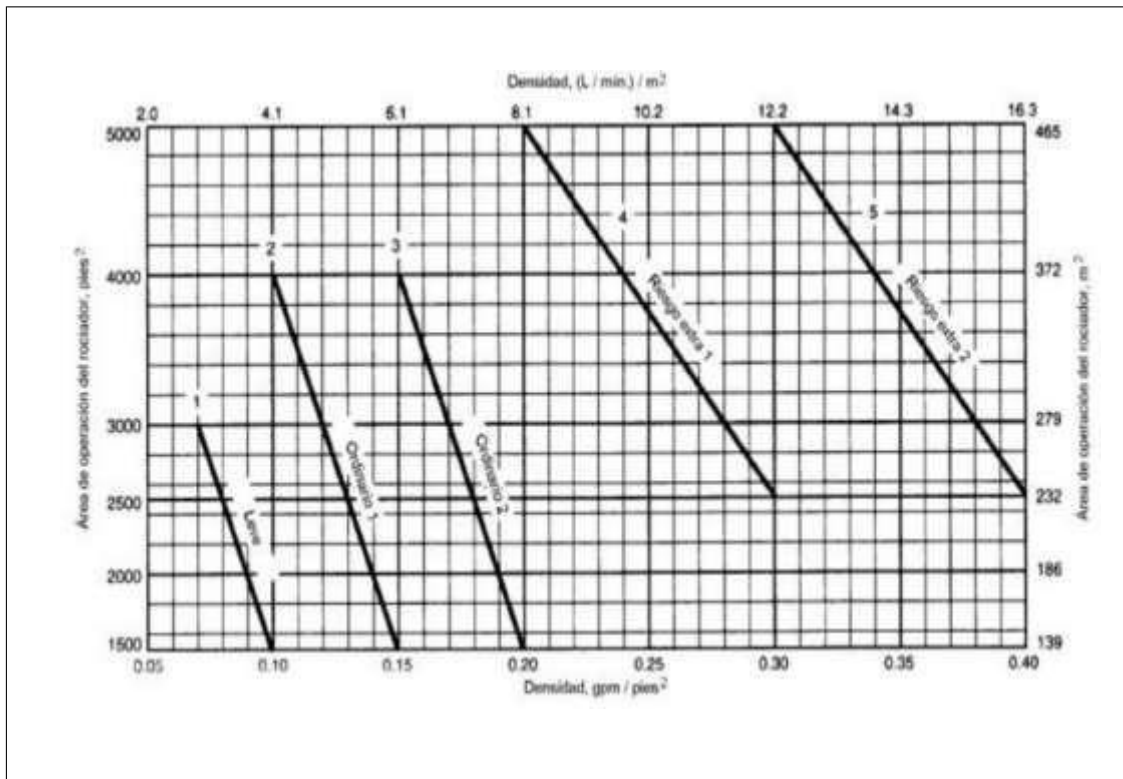


Figura 17: Curva Área/densidad

Fuente: Norma 13 NFPA

Anexos E

Caudal total de rociadores

$$Q_{\text{total}} = A * q$$

$$Q_{\text{total}} = 424.27 \text{ m}^2 * 12.2 \text{ L/min/ m}^2$$

$$Q_{\text{total}} = 5176.09 \text{ L/min}$$

Número de Rociadores

$$N = \frac{Q_{\text{total}}}{Q_{\text{rociador}}} = \frac{5176.09 \text{ L/min}}{100 \text{ L/min}} = 51.76$$

$$\frac{5176.09 \text{ L/min}}{100 \text{ L/min}} = \frac{5176.09}{100} = 51.76$$

$$N = 51.76 \approx 52$$

Caudal total del sistema

$$Q_{\text{sistema}} = (N * Q_{\text{rociador}}) + Q_{\text{reserva}}$$

$$Q_{\text{sistema}} = (1.15 * 5176.09 \text{ L/min}) + 1892.5 \text{ L/min}$$

$$Q_{\text{sistema}} = 7845.0035 \text{ L/min Volumen}$$

de abastecimiento de agua

$$V = Q_{\text{sistema}} * t$$

$$V = 7845.0035 \text{ L/min} * 90 \text{ min}$$

$$= 53697921.3 \text{ L}$$

Anexo F

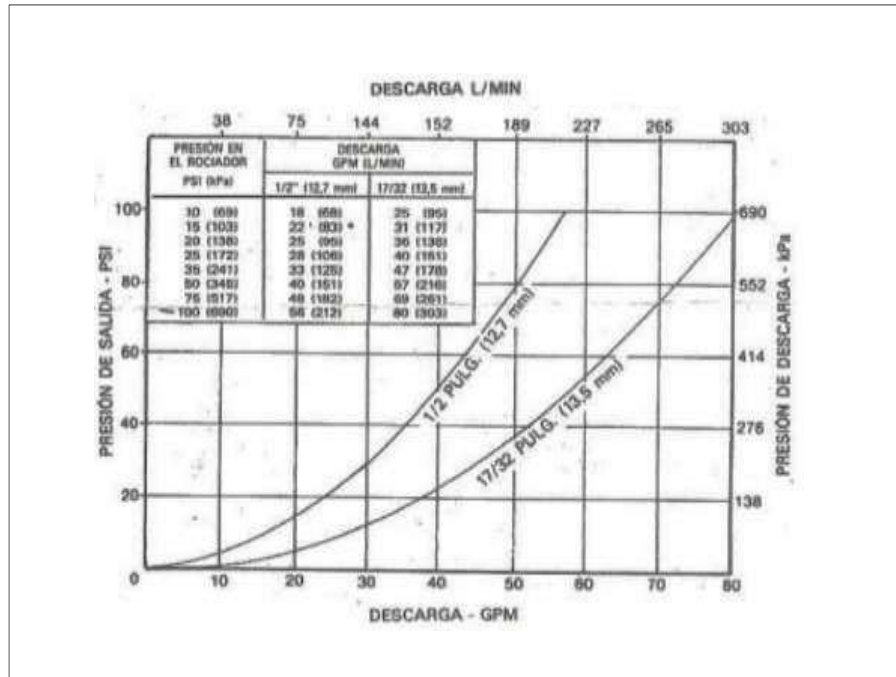


Figura 18: Descarga de agua de un rociador de 1/2" y 17/32" de orificio nominal

Anexos G

Tabla 18: Paquetes constructivos para compartimentos del área operacional.

Elemento constructivo	Paquete constructivo	Componentes	Espesor (cm)	Densidad ($\frac{\square}{\square}$)	Conductividad térmica ($\frac{\square}{\square}$)
Paredes	Ladrillo sin revestimientos	Ladrillo	15	1920	0.72
	Ladrillo con revestimientos	Enlucido exterior	1	1300	0.5
		Ladrillo	15	1920	0.72
		Enlucido interior	1	1760	0.72
Bloque de	Enlucido exterior	1	1300	0.5	

	concreto (15cm)	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
	Fibro cemento	Panel de fibrocemento	0.6	1120	1
Piso	Hormigón	Piedra	10	2	3.49
		Polietileno	0.04	920	0.33
		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: (MIDUVI, 2018)

Anexos H

Tabla 19: *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

Anexos I

Curvas HRR

Tabla 20: Plantilla para la curva HRR de una silla tapizada

Tiempo S	HRR KW	Altura m	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
0	0	0	1	0.0494	0.131
90	90.5	0	1	0.0494	0.131
140	452.5	0	1	0.0494	0.131
200	2099.6	0	1	0.0494	0.131
265	597.3	0	1	0.0494	0.131
390	144.8	0	1	0.0494	0.131
540	144.8	0	1	0.0494	0.131
840	90.5	0	1	0.0494	0.131
1940	0	0	1	0.0494	0.131

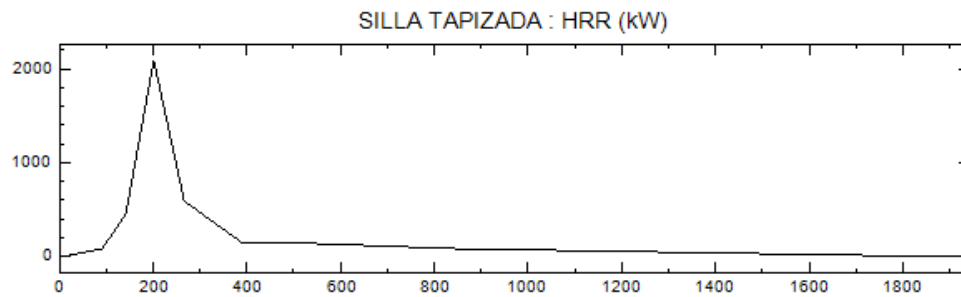


Tabla 21: Plantilla para la curva HRR de una silla tapizada + 9% de ignifugo

Tiempo S	HRR KW	Altura m	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
0	0	0	1	0.0494	0.131
90	63.35	0	1	0.0494	0.131
140	316.75	0	1	0.0494	0.131
200	1469.72	0	1	0.0494	0.131
265	418.11	0	1	0.0494	0.131
390	101.36	0	1	0.0494	0.131
540	101.36	0	1	0.0494	0.131
840	63.35	0	1	0.0494	0.131
1940	0	0	1	0.0494	0.131

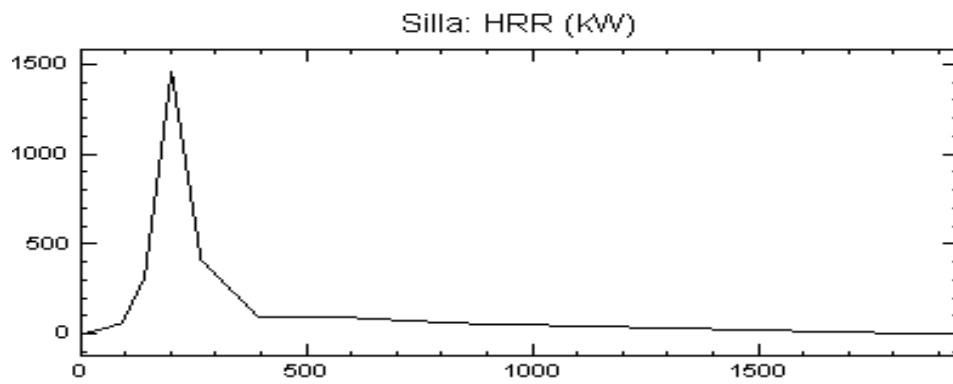


Tabla 22: Plantilla para la curva HRR de aparatos electrónicos

Tiempo S	HRR KW	Altura m	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
150	3	0	0.500	0.0617	0.164
420	10	0	0.500	0.0617	0.164
480	50	0	0.500	0.0617	0.164
600	150	0	0.500	0.0617	0.164
720	280	0	0.500	0.0617	0.164
900	150	0	0.500	0.0617	0.164
1200	90	0	0.500	0.0617	0.164
1500	120	0	0.500	0.0617	0.164
1800	35	0	0.500	0.0617	0.164

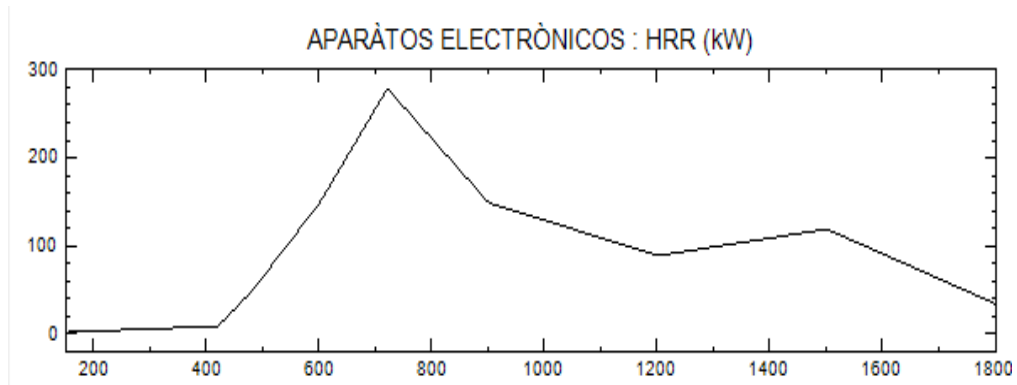


Tabla 23: Plantilla para aparatos eléctricos con hidróxido de aluminio 9%

Tiempo S	HRR KW	Altura m	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
150	2.1	0	0.500	0.0617	0.164
420	7	0	0.500	0.0617	0.164
480	35	0	0.500	0.0617	0.164
600	105	0	0.500	0.0617	0.164
720	196	0	0.500	0.0617	0.164
900	105	0	0.500	0.0617	0.164
1200	63	0	0.500	0.0617	0.164
1500	84	0	0.500	0.0617	0.164
1800	24.5	0	0.500	0.0617	0.164

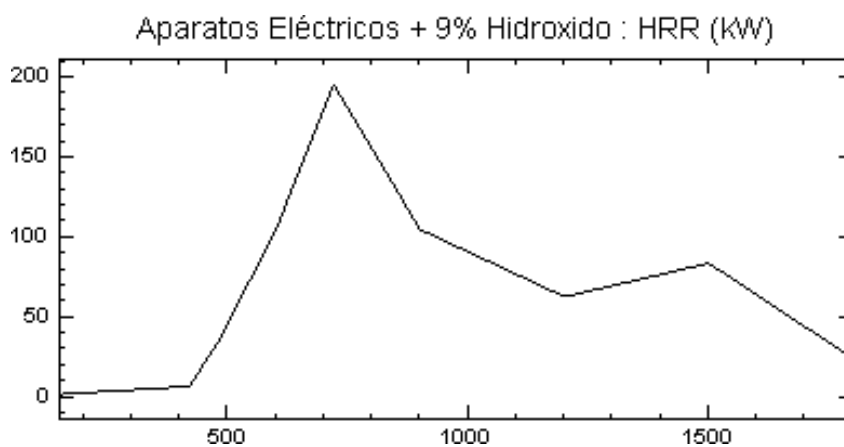


Tabla 24: Plantilla para la curva HRR de Celulosa (Cartón)

Tiempo S	HRR KW	Altura M	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
120	0	0	0.400	0.0062	0.015
150	50	0	0.400	0.0062	0.015
168	150	0	0.400	0.0062	0.015
180	240	0	0.400	0.0062	0.015
210	200	0	0.400	0.0062	0.015
228	150	0	0.400	0.0062	0.015
240	100	0	0.400	0.0062	0.015
294	50	0	0.400	0.0062	0.015
462	15	0	0.400	0.0062	0.015
540	30	0	0.400	0.0062	0.015

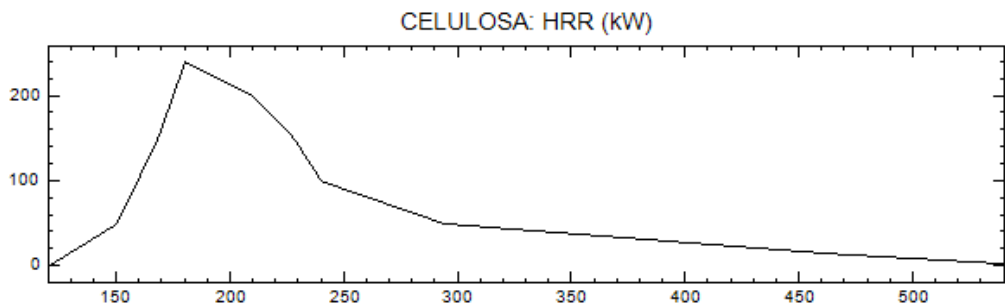
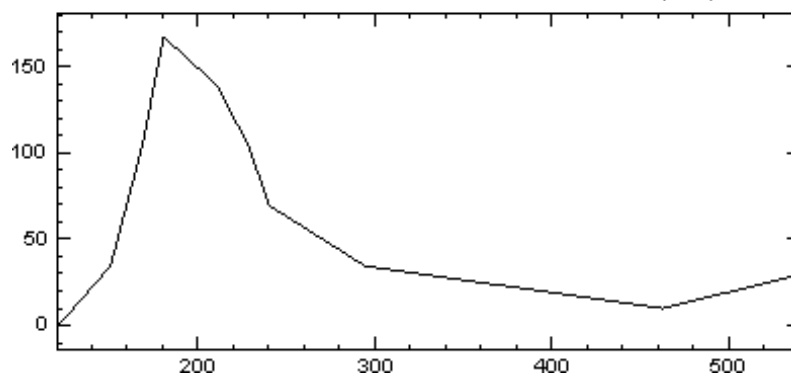


Tabla 25: Plantilla para Celulosa con hidróxido de aluminio 9%

Tiempo S	HRR KW	Altura M	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
120	0	0	0.400	0.0062	0.015
150	35	0	0.400	0.0062	0.015
168	105	0	0.400	0.0062	0.015
180	168	0	0.400	0.0062	0.015
210	140	0	0.400	0.0062	0.015
228	105	0	0.400	0.0062	0.015
240	70	0	0.400	0.0062	0.015
294	35	0	0.400	0.0062	0.015
462	10.5	0	0.400	0.0062	0.015
540	21	0	0.400	0.0062	0.015

Cartón + 9% hidroxido de aluminio: HRR (kW)



Anexos J

Tabla 26: *Identificación de áreas de operación.*

CLASE DE RIESGO	DENSIDAD DE DISEÑO	AREA DE OPERACIÓN	
		MOJADA O ACCION PREVIA	SECA O ALTERNA
RL	2.25	84	Se usa RO1
RO1	5	72	90
RO2	5	144	180
RO3	5	216	270
RO4	5	360	Se usa REP1
REP1	7.5	260	325
REP2	10	260	325
REP3	12.5	260	325

Anexos K

Tabla 27: Criterios de diseño para RL, RO y RE

Clase de riesgo	Densidad de diseño	Área de operación m ²	
		Mojada o acción previa	Seca o alterna
	m/s		
Riesgo leve	0.0000375	84	No se permite Usar RO1
Riesgo ordinario 1	0.0000833	72	90
Riesgo ordinario 2	0.0000833	144	180
Riesgo ordinario 3	0.0000833	216	270
Riesgo ordinario 4	0.0000833	360	No se permite Usar RE1
Riesgo extra 1	0.000125	260	325
Riesgo extra 2	0.00016	260	325
Riesgo extra 3	0.00020	260	325

Nota. Requiere consideración especial, los sistemas de diluvio no están cubiertos por esta norma.