



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



Diseño de un Sistema contra Incendios mediante la utilización de la Herramienta CFAST en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL

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: Fernanda Betsabe Zurita Castro

Tutor: Msc. Manolo Alexander Córdova Suárez

Ambato – Ecuador

Enero - 2020

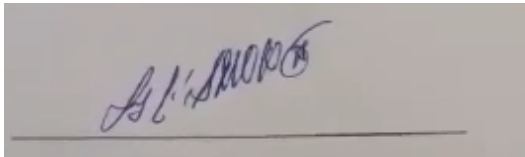
APROBACIÓN DEL TUTOR

Msc. Manolo Alexander Córdova Suárez

CERTIFICA:

Que el presente trabajo de titulación ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

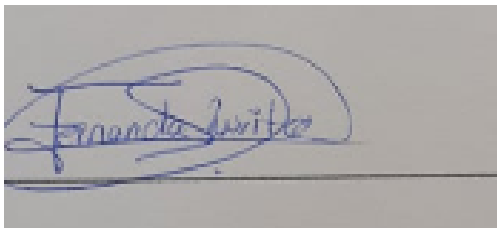
Ambato, 09 de Diciembre del 2019

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature is cursive and appears to read 'M. A. Córdova Suárez'. Below the signature is a horizontal line.

Msc. Manolo Alexander Córdova Suárez
C.I. 180284250-8
TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Zurita Castro Fernanda Betsabe manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Bioquímica son absolutamente originales, auténticos; a excepción de las citas que han sido debidamente referenciados.

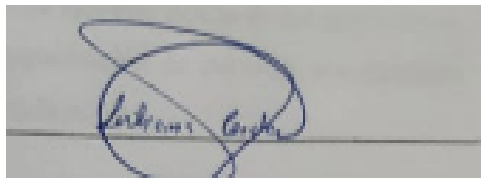


Fernanda Betsabe Zurita Castro
C.I. 1804659785
AUTOR

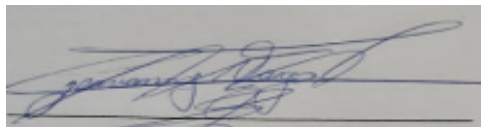
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO

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

Para constancia firman:

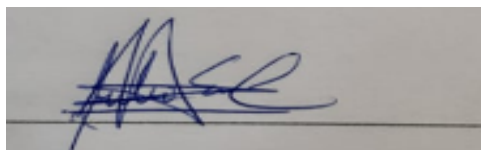


Presidente del Tribunal



Ing. Mg. José Geovanny Vega Pérez

C.I. 0502622806



Msc. Julio César Sosa Cárdenas

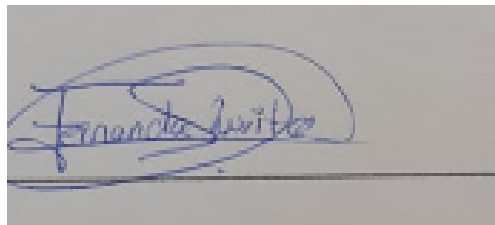
C.I. 1716650849

Ambato, 24 de Diciembre del 2019

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto 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.



Fernanda Betsabe Zurita Castro

C.I. 1804659785

AUTOR

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	iii
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DE TRIBUNAL DE GRADO.....	iv
DERECHOS DE AUTOR.....	v
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	3
EL PROBLEMA.....	3
1.1 Tema.....	3
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 General.....	4
1.3.2 Específicos	5
CAPÍTULO II.....	6
2.1 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.1 Incendio.....	6
2.1.2 Fases de un incendio	7
2.1.3 Formación del humo.....	8
2.1.4 Sistema contra incendios	10
2.1.5 Rociadores convencionales	11
2.1.6 CFAST	11
2.2 Antecedentes investigativos	12
2.3 Hipótesis	14
2.3.1 Hipótesis Nula.....	14

2.3.2 Hipótesis Alternativa.....	15
2.4 Señalamiento de variables de la hipótesis.....	15
2.4.1 Variable Independiente.....	15
2.4.2 Variable Dependiente.....	15
CAPÍTULO III.....	16
3. MATERIAL Y METODOS	16
3.1 Materiales.....	16
3.2 Métodos	16
3.2.1 Determinación de las condiciones de extinción por agua	16
3.2.2 Simulación CON CFAST.....	19
3.3 Verificación de la hipótesis	23
CAPÍTULO IV.....	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1 Determinación de las condiciones de extinción por agua	24
4.2 Simulación con CFAST	27
4.2.1 Determinación de parámetros a simular (Simulation).....	27
4.2.2 Determinación de propiedades térmicas de materiales para pisos, techos, paredes (Thermal Properties)	28
4.2.3 Gráfica de los compartimentos a simular en CFAST (Compartments).....	28
4.2.4 Ubicación de aperturas de ventilación sobre pared (Wall Vents)	30
4.2.5 Fuego	32
4.2.6 Determinación del sistemas de detección y supresión (Detection/ Suppresion).....	34
4.3 Verificación de hipótesis	50
CAPÍTULO V.....	54
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. Conclusiones	54
5.2 Recomendaciones.....	55
MATERIAL DE REFERENCIA	56
Referencias bibliográficas	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características de fuegos Clase A y B	11
Tabla 2.	Ecuaciones diferenciales que describen las condiciones del sistema.....	12
Tabla 3.	Plantilla para Áreas de las distintas dependencias de LACONAL.....	61
Tabla 4.	Clasificación y características de las ocupaciones de Riesgos	62
Tabla 5.	Requisitos para demanda de chorros de mangueras y duración del suministro de agua para un sistema de rociadores diseñado hidráulicamente.....	66
Tabla 6.	Propiedades térmicas de los materiales de construcción.....	67
Tabla 7.	Propiedades de paquetes constructivos.....	70
Tabla 8.	Clasificación de temperaturas.....	76
Tabla 9.	Criterios de diseño para RL, RO y RE.....	77
Tabla 10.	Condiciones de extinción por agua.....	24
Tabla 11.	Número de rociadores para cada compartimento.....	25
Tabla 12.	Caudal total y volumen de agua para la fuente de abastecimiento	26
Tabla 13.	Especificación del entorno para desarrollar la simulación	27
Tabla 14.	Plantilla para Propiedades Térmicas para pisos, techos y paredes	28
Tabla 15.	Plantilla para dimensiones para los compartimentos de LACONAL.....	29
Tabla 16.	Plantilla para Dimensiones de las aperturas de ventilación sobre pared	31
Tabla 17.	Parámetros para describir la combustión de la simulación	33
Tabla 18.	Plantilla para distribución de sprinklers para toda el área de operación.....	34
Tabla 19.	Resultados de la simulación con sprinklers	37
Tabla 20.	Tiempo de activación de los sprinklers en cada compartimento	38
Tabla 21.	Resumen estadístico	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Triángulo de Fuego	7
Figura 2.	Desarrollo del humo en un incendio	10
Figura 3.	Curva Área/densidad	63
Figura 4.	Descarga de agua de un rociador de ½” y 17/32” de orificio nominal ...	65
Figura 5.	Dimensiones para el tanque de abastecimiento de agua	27
Figura 6.	Compartimentos de LACONAL.....	30
Figura 7.	Aperturas de ventilación sobre pared.....	32
Figura 8.	Distribución de sprinklers en el área de operación	35
Figura 9.	Evolución de temperatura y producción de humo a los cero segundos ..	39
Figura 10.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 75 segundos	40
Figura 11.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 200 segundos ...	41
Figura 12.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 700 segundos ...	42
Figura 13.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 2100 segundos .	43
Figura 14.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 10800 segundos	44
Figura 15.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 0 segundos	45
Figura 16.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 75 segundos	46
Figura 17.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 200 segundos ...	47
Figura 18.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 700 segundos ...	48
Figura 19.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 2200 segundos .	49
Figura 20.	Evolución de temperatura y producción de humo a los 86400 segundos	50
Figura 21.	Gráfico Caja y Bigotes. Representación que describe la temperatura en cada simulación	52

RESUMEN

Se realizó una simulación de un incendio en un recinto cerrado con la herramienta CFAST, considerando la combustión del mobiliario de oficina, materiales y equipos en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato. El diseño se desarrolló en dos fases, la primera con la determinación de las condiciones de extinción por agua, para un área de 264.04 m² se obtiene 24 sprinklers para un diseño óptimo, considerando un caudal total para el sistema de 4119.02 L/min y un volumen de agua para la fuente de abastecimiento de 596645.17 L según las normas NFPA 13 y UNE 12845. La segunda fase se simuló un incendio bajo condiciones ambientales de temperatura promedio de 20 °C, humedad de 53%, presión atmosférica de 101500 Pa y límites de oxígeno de 5%. Se determinó el tiempo de simulación, las propiedades térmicas de materiales para piso, techos y paredes, las dimensiones y coordenadas geométricas de cada compartimento, la ubicación de aperturas de puertas y ventanas en cada uno de los compartimentos, las curvas HRR, las coordenadas de cada uno de los objetos producidos como origen del incendio y la ubicación de cada rociador. Los perfiles de temperatura máxima de los gases calientes fueron de 114°C a los 75 segundos de la simulación. El tiempo en el que el laboratorio llegó a 20 °C fue a los 2110 segundos y el tiempo de evacuación del humo fue a los 10800 segundos en la simulación con sprinklers.

Palabras clave: Sistema contra incendios, movimiento de humo, sprinklers, extinción de incendios.

ABSTRACT

A fire simulation was conducted in an enclosed enclosure with CFAST, considering the combustion of office real estate, materials and equipment in the LACONAL of the University Technical of Ambato. The design was developed in two phases. The first with the determination of water extinguishing conditions for an area of 264.04 m² is obtained 24 sprinklers for an optimal design, considering a total flow rate for the system of 4119.02 L/min and a volume of water for the supply source of 596645.17 L according to NFPA 13 and UNE 12845. The second phase simulated a fire under environmental conditions of average temperature of 20 °C, humidity of 53%, atmospheric pressure of 101500 Pa and oxygen limits of 5%. The simulation time, thermal properties of materials for floor, ceilings and walls, the geometric dimensions and coordinates of each compartment, the location of door and window openings in each of the compartments, HRR curves, the coordinates of each of the objects produced as the fire source, and the location of each sprinkler were determined. The maximum temperature profiles of the hot gases were 114 °C at 75 seconds of the simulation. The time when the lab reached 20 °C was 2110 seconds and the smoke evacuation time was 10800 seconds in the simulation with sprinklers.

Keywords: Fire fighting system, smoke movement, sprinklers, fire extinguishing

INTRODUCCIÓN

Los incendios son una de las mayores catástrofes naturales y en varios casos son inducidos por el hombre. Durante los últimos años han aumentado su frecuencia, causando daños irremediables en vidas humanas y en pérdidas materiales. Cabe recalcar que en incendios provocados en plantas industriales, explosiones químicas, etc, han provocado pérdidas irreparables, desde la imagen de la empresa hasta desastres cuantiosos **(Lozano & León, 2017)**.

El presente estudio se realizó en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL creado por el H. Consejo Universitario de la Universidad Técnica de Ambato, en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, mediante Resolución 406-2002 CUP, cuenta con personal de alta capacidad y aptos para desarrollar análisis en materias primas, productos en proceso, productos terminados, alimentos naturales, aguas, balanceados y otros productos afines, que certifican la seguridad en los resultados analíticos. LACONAL dispone de instalaciones físicas modernas, equipamiento, materiales, reactivos y suministros para llevar a cabo los métodos de ensayos normalizados **(UTA, 2019)**.

La mayoría de las actividades que se desarrollan en la LACONAL presentan algún grado de riesgo para la salud de los funcionarios, docentes y estudiantes es por ello que el Sistema contra Incendios permitirá mejorar la eficiencia del personal para responder ante un incendio pues se reduce el tiempo requerido para identificar la situación.

El atributo más importante de los Modelos de Simulación Computacional de Incendios es su capacidad para predecir, de manera rigurosa y realista, el comportamiento del incendio dentro de unos límites preestablecidos (**Abreu, Portilla, Urrutia, & Santos**).

CFAST (Consolidated Model os Fire Growth and Smoke Transport) es un Modelo desarrollado por el NIST (National Institute of Standars and Technology), de gran aplicación hoy en día por Investigadores de incendios, Arquitectos, Ingenieros etc. para calcular el movimiento del humo, sus gases y temperatura en las dos zonas del compartimento (**Peacock, Jones, Reneke, & Forney, 2005**).

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1 Tema

Diseño de un Sistema contra Incendios mediante la utilización de la Herramienta CFAST en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL.

1.2 Justificación

Por la necesidad de evitar daños en sus instalaciones, infraestructuras, equipos y principalmente en el cuidado de los usuarios, hace imperioso el diseño de un sistema contra incendios para las instalaciones de la misma.

Según estimaciones recientes publicadas por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), en 2,78 millones de trabajadores mueren cada año de accidentes del trabajo y enfermedades profesionales, además 17 de cada 1000 accidentes de trabajo, han sido por explosiones e incendios, de los cuales 12 han sido mortales.

La importancia de la propuesta reside fundamentalmente en disminuir el tiempo de respuesta ante un incendio debido a que en la actualidad no presenta un sistema contra incendios que permita la identificación de peligros y evaluación de riesgos de incendios presentes en las áreas de LACONAL, de tal manera que se pueda proponer acciones de control para resguardar el bienestar físico del personal y reducir daños y costos que podrían causarse en las instalaciones y sus zonas cercanas. Con pérdidas

económicas que alcanzan un valor de 700000 dólares en equipos y consumible sin contar con la infraestructura.

De acuerdo al Decreto Ejecutivo 2393 en el Capítulo II: INSTALACIÓN DE DETECCIÓN DE INCENDIOS Art. 154. En los locales de alta concurrencia o peligrosidad se instalarán sistemas de detección de incendios, cuya instalación mínima estará compuesta por los siguientes elementos: equipo de control y señalización, detectores y fuente de suministro. Además la legislación ecuatoriana obliga a desarrollar y ejecutar medidas de prevención de incendios con la aplicación y ejecución de los planes de emergencia que aparecen en la Decisión 584 del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, El Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección contra incendios 1257 y la Resolución CD 513, emitida el 4 de marzo del 2016 por el Consejo Directivo del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social.

Mediante la utilización de CFAST lograremos simular las condiciones de un incendio y hacer un seguimiento de distintas variables como puede ser la temperatura de la capa de humos, habiendo definido previamente todos los parámetros necesarios como la geometría de los espacios a estudiar, el incendio de diseño y los sistemas de supresión existentes (**Acosta, 2017**).

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar un Sistema contra Incendios en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL mediante la utilización de la herramienta CFAST para la instalación técnica de rociadores.

1.3.2 Específicos

- Determinar las condiciones de extinción por agua en las áreas críticas del Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL.
- Establecer las condiciones Físicoquímicas y Termodinámicas de los materiales estructurales necesarios para correr la simulación CFAST.
- Simular la activación del sistema de alarma de detección temprana en un incendio mediante el uso de la herramienta CFAST.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Incendio

Un incendio es una reacción química de oxidación - reducción fuertemente exotérmica, siendo los reactivos el oxidante y el reductor. En terminología de incendios, el reductor se denomina combustible y el oxidante, comburente; las reacciones entre ambos se denominan combustión **(Duarte & Piqué, 2001)**.

La Coordinación Nacional de Protección Civil sustenta que para que pueda producirse el incendio es preciso que coexistan tres elementos como: combustible, comburente y energía de activación, el cual se denomina “TRIANGULO DE FUEGO” **(Cabrerá, 2016)**.

El inicio de una combustión requiere la conversión del combustible a su estado gaseoso por calentamiento. El combustible puede encontrarse en cualquiera de los tres estados de la materia: sólido, líquido y gaseoso. Los gases combustibles son producidos de los combustibles sólidos por pirólisis. Esta es definida como la descomposición química de una sustancia por intermedio de la acción del calor **(Bounlandier , Fernández, Garayoa, Orta, & Anitua, 2017)**.



Figura 1. Triángulo de Fuego
Fuente: Cabrera, 2016

2.1.2 Fases de un incendio

1. **Incipiente:** El calor radiante calienta el combustible y empieza el proceso de combustión (Gandarillas, 2016). El oxígeno se mantiene perdurable produciendo vapor de agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono, mínimas cantidades de dióxido de azufre y otros gases provocando un aumento de calor alcanzando los 530 °C (Piedra& Valdivieso, 2013).

2. **Crecimiento:** Si en el compartimento existe una cantidad suficiente de oxígeno, el combustible adicional se incluye en el incendio por la liberación de calor del foco primario, lo que provocará un gran aumento en la temperatura del compartimento, facilitando el comienzo de la estratificación térmica de los gases en función a la temperatura y densidad (Gandarillas, 2016). La concentración de oxígeno disminuye y los productos de pirólisis y subproductos inflamables comienzan arder en combustión incompleta formando el CO. Los componentes que intervienen en la etapa de crecimiento del incendio dependen del volumen del compartimento, altura y forma del

techo, tamaño y número de ventilación, capacidad térmica de la estructura para disipar calor y características del cerramiento.

3. **Flashover:** El incendio se ha desarrollado totalmente, la cantidad de calor producido por unidad de tiempo es aproximadamente igual al calor desprendido por unidad de tiempo produciendo un equilibrio térmico en el incendio, provocado por la convección, radiación y conducción. Si se efectúa tareas de sofocación con agua, el calor latente de vaporización incide en el balance termodinámico, reduciendo la temperatura del incendio, disminuyendo la intensidad y duración del mismo (**Córtes, 2010**).

4. **Decaimiento:** El fuego reduce su tamaño y se produce el consumo total del combustible disponible, la disminución del fuego puede ser resultado de los servicios de incendio o de forma natural, cuando no existe oxígeno suficiente para compensar la combustión (**Cárdenas, 2015**).

2.1.3 Formación del humo

Al originarse un incendio, una de las causas de pérdidas humanas es debida a los humos producidos en el incendio, dicho humo es la forma que tiene el incendio de propagarse y avanzar a lo largo de un edificio o espacio donde se esté produciendo el mismo. Esta propagación de humo depende de una serie de condicionantes, como la geometría y los materiales de construcción del espacio donde se produce el incendio y por otra las propiedades del fuego como temperatura, presión, etc (**Naranjo & Núñez, 2017**).

El desarrollo de humo se da en cuatro pasos:

- 1. Formación de capa de humo en el techo:** Los gases producidos de la combustión se elevan por la diferencia de densidad entre estos y el aire presente en los compartimentos, ampliándose a lo largo del techo y formando una capa delgada de gases calientes. Además se arrastra aire frío del ambiente y este disminuye la temperatura de las capas.

Los gases que se producen en el incendio golpean el techo y forman nuevamente capa de gases calientes hasta cargar completamente el área del techo.

- 2. Periodo de llenado de humo en el compartimento:** La capa de humo desciende porque el aire que ingresa enfría continuamente provocando que la densidad aumente. El esparcimiento de gases no se detiene debido a que el incendio continúa produciendo gases de combustión. El periodo de llenado de humo termina cuando el compartimento se llena en su totalidad de humo o hasta que se termina la cantidad de oxígeno o combustible para completar el triángulo de fuego.
- 3. Periodo preflashover:** El compartimento se encuentra totalmente lleno de humo, existe una pérdida de calor que afecta el balance de energía induciendo a que esta descienda y continúe propagándose.
- 4. Periodo postflashover:** Presenta un daño mayor en la instalación debido a que los materiales combustibles se incendian y el compartimento se encuentra completamente en llamas.

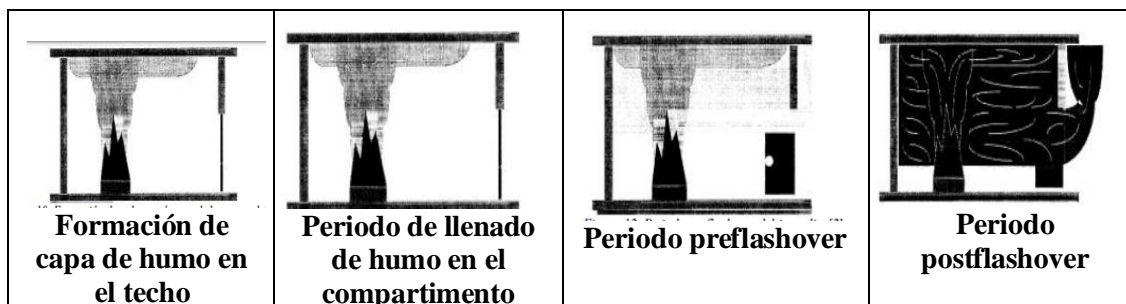


Figura 2. Desarrollo del humo en un incendio

Fuente: Arguello & Cadena, 2009

2.1.4 Sistema contra incendios

Un sistema contra incendios es un conjunto de medidas que se disponen en cualquier tipo de construcción para protegerlos contra el fuego y evitar la propagación del fuego y efectos de los gases tóxicos, salvaguardar la vida de las personas y proteger la estructura de la edificación (SYNIXTOR, 2015).

El tipo más común de Sistemas de Protección Contra incendios es el que se fundamenta en el uso de agua (Lozano & León, 2017). El agua es el agente extintor más utilizado porque extingue el fuego por enfriamiento y puede ser empleada en forma de chorro o finamente pulverizada. El agua a chorro, se emplea en fuegos de clase "A". El agua pulverizada se utiliza en fuegos de clase "A y B", cuando se trate de líquidos combustible. Además es barata y fácilmente disponible, en comparación con otros líquidos. (ISASTUR, 2009). Por tanto es esencial que se disponga de un suministro como el uso de rociadores que será la primera fuente que se utilice contra los incendios en LACONAL.

Tabla 1. *Características de fuegos Clase A y B*

Fuego	Características
Clase A	Producidos por materiales combustibles ordinarios como madera, papel y plástico.
Clase B	Producidos por líquidos y gases inflamables.

Adaptado de **(Balladares & Bermeo, 2012)**

2.1.5 Rociadores convencionales

Los rociadores convencionales son una gama básica de rociadores y accesorios para sistemas de sprinklers de tubería húmeda, con destino a la protección de viviendas, oficinas, comercios, almacenes y locales industriales.

2.1.6 CFAST

La simulación computacional es un modelo que puede manejar frecuentemente para el análisis y diseños propuestos o deseados, siendo más económica y seguro que la experimental física. **(Martínez et al., 2011)**.

CFAST es un simulador que tiene distribución gratuita y su instalación debe cumplir los requerimientos como presentar un procesador rápido de 256 MB **(Peacock et al., 2005)**.

Es un modelo de dos zonas utilizado para evaluar humo, fuego, y temperatura en los compartimentos de un recinto durante un incendio **(Arguello & Cadena, 2009)** basado en 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 como presión, altura de la capa de humos y temperatura (Alvear, 2007).

Tabla 2. Ecuaciones diferenciales que describen las condiciones del sistema

Variable	Ecuación
Masa	$\frac{dm_i}{dt} = m_i$
Energía	$\frac{dE_i}{dt} = \frac{1}{\gamma} (h_i + V_i \frac{dP}{dt})$
Temperatura	$\frac{dT_i}{dt} = \frac{1}{Cp\rho_i V_i} ((h_i - Cp m_i T_i + V_i \frac{dP}{dt})$
Volumen	$\frac{dV_i}{dt} = \frac{1}{P\gamma} ((\gamma - 1) h_i + V_i \frac{dP}{dt})$
Presión	$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma-1}{V} (h_L + h_v)$
Densidad	$\frac{d\rho_i}{dt} = \frac{1}{CpT_i V_i} ((h_i - Cp m_i T_i) - \frac{V_i}{\gamma-1} \frac{dP}{dt})$

Fuente: Arguello & Cadena, 2009

CFAST implementa un incendio como una masa combustible que cede calor a una velocidad prescrita por el usuario, la energía es cedida por el combustible y se crean los productos de combustión mientras este se quema, además reconoce la transferencia de calor por radiación, convección y conducción (GUNT, 2018) ya entre los gases presentes en ambas capas. Por otro lado, CFAST no incluye un modelo de pirólisis para predecir el crecimiento del incendio.

2.2 Antecedentes investigativos

A principios de la década de los ochenta, comenzaron a desarrollarse modelos de campo en los que las ecuaciones de energía y conservación de masa se resolvieron de diferentes maneras, aunque las limitaciones computacionales forzaron el uso de estos modelos en compartimentos muy pequeños (Giménez, 2012)

(Alvear, 2007) destaca los fundamentos de la dinámica del incendio introduciendo los caracteres conceptuales de los modelos computacionales y el procedimiento para usarlos correctamente para el análisis ingenieril, además de la verificación y validación de los modelos para una correcta simulación.

La NFPA es una organización autorizada para crear y mantener las normas y requisitos específicos que deben cumplir los diferentes tipos de ocupación para la prevención contra incendios y así contar con un sistema de protección eficiente apta para proteger la integridad estructural y de los ocupantes ante una imprevista emergencia (Ramírez, 2016).

La norma NFPA 13 facilita los requisitos mínimos para el diseño e instalación de sistemas de rociadores automáticos contra incendio y sistemas de rociadores para protección contra la exposición al fuego, incorporando el carácter y adecuación de las fuentes de abastecimiento de agua y la selección de los rociadores. (NFPA, 2016)

Actualmente en el Ecuador existen ordenanzas Oficiales y Acuerdos Ministeriales para la Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios, en conformidad con la Ley de Defensa Contra Incendios según el (MIES, 2009). Sin embargo, es el Cuerpo de Bomberos de cada localidad quien complementa estas normas aplicándolos a cada tipo de riesgo y para ello se fundamentan en normas internacionales como la NFPA.

El artículo 41 del Registro oficial del (MIES, 2009) considera que en aquellas edificaciones donde el servicio de protección contra incendios requiera de instalación estacionaria de agua para este fin, se debe proveer del caudal y presión suficientes, aún en caso de suspensión del suministro energético o de agua de la red general (municipal).”

NIST ejecuto una validación de CFAST empleando predicciones para experimentar cinco incendios diferentes, estos cálculos se utilizaron para validar el código CFAST, los cinco experimentos incluyeron dos pruebas de habitación individual con y sin quemaduras de pared, dos pruebas multisala y de nivel único con tres y cuatro compartimentos, y una prueba multisala y multinivel. Un resumen de estos resultados son presentado para indicar el nivel de precisión visto por CFAST estos resultados expresan que se necesita mejoras en su algoritmos (**Mendoza, 2015**).

Según documentación de la NFPA referente a rociadores descubrió que del año 2010 al año 2014, “la tasa de lesiones civiles fue un 27% más baja y la tasa de lesiones de bomberos en incendios por 1.000 incendios fue un 67% menor en propiedades que presentaban rociadores que en incendios en propiedades sin rociadores o sistemas de extinción automática. Esto indica un argumento de lo importante que puede ser una instalación adecuada de los sistemas de rociadores automáticos (**Secureweek, 2018**).

(**Migoya, 2003**) realizó una investigación desarrollando un modelo que permita la simulación y análisis de situaciones accidentales con fuego, prediciendo las condiciones ambientales que se darán en el recinto, principalmente desde el punto de vista de la seguridad de los usuarios y de los equipos de rescate y extinción, permitiendo tener un método del que se puedan extraer recomendaciones de actuación y planes de evacuación eficientes.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis Nula

La simulación de un Sistema contra incendios mediante el uso de rociadores en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL con la utilización de

CFAST No incide en la disminución de temperaturas finales de los 18 compartimentos.

2.3.2 Hipótesis Alternativa

La simulación de un Sistema contra incendios mediante el uso de rociadores en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL con la utilización de CFAST SI incide en la disminución de temperaturas finales de los 18 compartimentos.

2.4 Señalamiento de variables de la hipótesis

2.4.1 Variable Independiente

Diseño del Sistema contra incendios

2.4.2 Variable Dependiente

Disminuir las temperaturas finales de los compartimentos de LACONAL

CAPÍTULO III

3. MATERIAL Y METODOS

3.1 Materiales

- Computadora
- Software CFAST
- Dispositivo de almacenamiento de información USB
- Impresora

3.2 Métodos

3.2.1 Determinación de las condiciones de extinción por agua

Para el diseño de un sistema de protección se calculó las siguientes condiciones:

3.2.1.1 Determinación del área total del emplazamiento (LACONAL)

Para utilizar CFAST se determinó dimensiones de largo, ancho y altura, de las siguientes dependencias de LACONAL, posteriormente se calculó el área total o área de operación como se muestra en la Tabla 3 (Ver Anexo C) considerando las áreas limítrofes A_L y áreas de apertura A_w de cada dependencia con las siguientes fórmulas (Cordova, 2019).

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

$$\text{Ecuación 2: } A_L = 2 * D * W + 2 h (D+W)$$

Donde:

A_L= Área limítrofe (m²)

D= Largo (m)

W= ancho (m)

h= Altura (m)

$$\text{Ecuación 3: } A_w = H * B$$

Donde:

A_w = Área de aperturas (m²)

H= Largo de la apertura (m)

B= Ancho de la apertura (m)

3.2.1.2 Categorización del riesgo en el sector del incendio.

Para establecer las condiciones de extinción por agua mediante la utilización de rociadores se definió correctamente la clasificación del riesgo del laboratorio según las NFPA 13, esta norma se refiere exclusivamente a la instalación de rociadores y a su abastecimiento de agua (**Duarte & Piqué, 2001**). Se identificó si LACONAL tendrá ocupación de riesgo leve, riesgo ordinario grupo 1, riesgo ordinario grupo 2, riesgo extra grupo 1, riesgo extra grupo 2, a partir de la Tabla 4. (Anexo D) (**Cruz & Lozano, 2012**).

3.2.1.3 Determinación del caudal total de rociadores

Subsecuentemente, a partir de la Figura 3 tomada de la norma 13 NFPA (Anexo E) y con el riesgo identificado y el área de diseño en m², se obtuvo el valor de la densidad para realizar el cálculo de caudal de agua de los rociadores como se muestra a continuación (ver Anexo F):

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

Donde:

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

Ad: Área de operación (m²)

ρ: Densidad (L/min/ m²)

3.2.1.4 Cálculo del número de rociadores en el área de diseño

El diseño estará sujeto a la normativa técnica del NFPA 13, para esto se utilizó rociadores convencionales debido a que estos son utilizados específicamente para riesgo extra (**Quezada, 2015**).

Para calcular el número de rociadores en el área de diseño se requirió datos como la presión de trabajo del rociador según el tipo de riesgo que fue 75 psi según el Art 37. Presión mínima de agua para incendios. Se obtuvo el valor de descarga que es el caudal de cada rociador ubicada en la Figura 4, (ver anexo G) (**Torres, 2019**). El cálculo se realizó a partir de la siguiente ecuación (ver anexo F).

$$\text{Ecuación 5: Número de Rociadores} = \frac{Q_{TR}}{Q_R}$$

Donde:

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

Q_R: Caudal de rociadores (L/min)

3.2.1.5 Cálculo del caudal total del sistema

Posteriormente se determinó el caudal total del sistema (**Lozano & León, 2017**), a partir de la Tabla 5, se determinó el flujo total combinado de mangueras inferiores y

exteriores (Anexo H), este valor se consideró como el caudal de las mangueras Q_{mang} . Con estos datos se obtuvo el caudal total del sistema (ver anexo F):

$$\text{Ecuación 6: } Q_{total} = (1.15 * Q_{TR}) + Q_{mang}$$

Donde:

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

Q_{mang} : Caudal de las mangueras (L/min)

3.2.1.6 Determinación del volumen de agua para la fuente de abastecimiento

Para determinar la capacidad de la fuente de abastecimiento (ver anexo F), se utilizó valores para el caudal total del sistema y el valor de la duración en minutos (**Lozano & León, 2017**) que se obtuvo a partir de la Tabla 5 (ver anexo H). Y se aplicó la siguiente fórmula.

$$\text{Ecuación 7: } V = Q_{total} * t$$

Donde:

V : Volumen (L)

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

t : Tiempo (min)

3.2.2 Simulación CON CFAST

3.2.2.1 Determinación de parámetros a simular (Simulation)

Para llevar a cabo la simulación en CFAST en la pestaña << Simulation >> se detalló ciertos datos como:

- Tiempo de simulación en segundos (simulation time): Es el período de tiempo en el cual el simulador va a afectar dicho caso.
- Intervalo de salida de texto (text output interval): Es el tiempo en cada impresión de valores de salida.
- Intervalo de salida de la hoja de cálculo (spreadsheet output interval): Es el tiempo entre las salidas de los resultados del modelo en un formato compatible con hojas de cálculo.
- Intervalo de salida de vista de humo (smokeview output interval): Es el tiempo entre las salidas de los resultados del modelo en un formato compatible con smokeview.
- Temperatura interior y exterior, humedad y presión.

A continuación se presionó el botón << Save >>.

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

Subsecuentemente, en la pestaña de << Thermal Properties >> se presionó el botón << add >> y se colocó valores como densidad en kg/m^3 , conductividad térmica en $\text{kW}/(\text{m } ^\circ\text{C})$, calor específico en $\text{kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C})$, espesor en m y emisividad (adimensional) de cada material de construcción tomados a partir de características térmicas de los materiales de construcción de la Norma Ecuatoriana de la construcción (**MIDUVI, 2018**) como se presenta en la Tabla 6 (ver anexo I). Se presionó << Save >> en cada material agregado.

La Tabla 7 presenta propiedades de paquetes constructivos (**MIDUVI, 2018**) para cada elemento que conforma la envolvente de una edificación (ver anexo J)

3.2.2.3 Graficar compartimentos a simular en CFAST (Compartments)

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

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

3.2.2.4 Ubicación de aperturas de ventilación sobre pared (Wall Vents)

En esta pestaña se definió cada apertura, en primer lugar se presionó el botón << Add >> y se seleccionó cada compartimento que presente apertura conectada con otro compartimento.

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.

3.2.2.5 Fuego (Fires)

Posteriormente se establecieron las características que tendrá la curva de fuego a simular para objetos como silla tapizada, armario, sofá, aparatos electrónicos y papel:

- 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 K): Es la cantidad de energía que un combustible puede contribuir al flujo de calor en un incendio controlada por las propiedades químicas y físicas del combustible y el área de superficie del combustible, los productos que actuaron como combustible y provocaron el incendio fueron a partir de una silla tapizada, sofá, papel, armario y equipos **(Bounagui, Kashef, & Benichou, 2004)**
- Se insertó datos de moléculas de gases combustibles (índices medios molares) y calor de combustión en KJ/Kg s (ver anexo K).

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

3.2.2.6 Determinación del sistemas de detección y supresión (Detection/Suppression)

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:** Cargado por el usuario, se utilizó una temperatura de 70 °C tomada de la norma NFPA13 como se muestra en la Tabla 8. (ver anexo L).
- **RTI:** Tiempo de respuesta característico del rociador (RTI) en $(m\ s)^{0.5}$. según la Norma NFPA 13 se utilizó un valor de $80\ (m\ s)^{0.5}$
- **Densidad de pulverización:** Densidad de diseño en m/s que será la cantidad de agua capaz de suministrar el rociador (**Catalina & Gonzalo, 2013**) determinado a partir de la Tabla 9 tomada de la norma UNE 12845 (ver anexo M).

Para ejecutar el programa se colocó en la pestaña << Simulation >> y se presionó el botón << Save >> y luego el botón << Run >>.

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

3.3 Verificación de la hipótesis

Los datos arrojados de las dos simulaciones se analizaron en el programa estadístico Statgraphics Centurion XVII mediante el análisis de t de student, comparando los valores de las temperaturas con y sin sprinklers en los 18 compartimentos con la finalidad de verificar si existen diferencias significativas o no entre las simulaciones.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación de las condiciones de extinción por agua

Aplicando la metodología para la determinación de las condiciones de extinción por agua se identificó que LACONAL tiene un riesgo extra grupo 1 ver Tabla 10, debido a que la dosis y combustibilidad de los contenidos es considerablemente elevada y están en presencia de poco o ningún líquido inflamable o combustible, polvo, pelusas u otros materiales que introducen la posibilidad de presencia de incendios con un rápido incremento y elevados índices de liberación de calor.

Tabla 10. *Condiciones de extinción por agua*

Área total	Tipo de riesgo	Caudal total de Rociadores Q_{TR}
m ²		L/min
236.55	Riesgo extra tipo 1	4119.02

Nota: Para el área total no se utilizó el área de la sala de reactivos 1, sala de reactivos 2 y corredor de mantenimiento.

Considerando la curva área/ densidad y área total o área de operación establecida y con el tipo de riesgo (Riesgo Extra Grupo I) se utilizó el valor de 15.6 L/min/m² y se obtuvo un caudal total de rociadores como se muestra en la Tabla 10.

Se requiere 24 rociadores para cubrir el área de operación establecida como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. *Número de rociadores para cada compartimento*

Dependencias	Área m²	Número de rociadores
Administración	40.21	4
Baño de clientes	4.22	1
Oficina de dirección técnica	15.91	2
Vestidor y baño de Mujeres	12.46	2
Sala de balanzas	10.26	1
Vestidor y baño de Hombres	16.13	2
Área de Fisicoquímica	74	6
Área Aséptica	34.89	3
Área estéril	6.17	1
Área instrumental	22.30	2
Total	264.04	24

Para abastecer el sistema de rociadores se utilizó el valor del flujo total combinado o caudal de mangueras inferiores y exteriores, y se determinó el caudal total del sistema.

Según el Art. 41 del Registro oficial del (**Ministerio de Inclusión Económica y Social, 2009**) destacan que “En aquellas edificaciones donde el servicio de protección contra incendios requiera de instalación estacionaria de agua para este fin, se debe prever del caudal y presión suficientes, aún en caso de suspensión del suministro energético o de agua de la red general (municipal).” Por tanto se calculó el volumen del reservorio para el abastecimiento de agua como se muestra en la Tabla 12.

El tipo de tubería será de acero galvanizado unidas por soldadura de cedula 10 para tamaños de hasta 5 pulgadas (127 mm) o unidas con accesorios roscados de cedula 40 en tamaños menores a 8 pulgadas (203mm). El diseño está conformado por tres tipos

de tuberías, la primera es considerada como ramales en las cuales se colocan los rociadores, la segunda como tubería principal transversal que alimenta a los ramales y la tercera es la tubería principal de alimentación que provee a la tubería principal transversal. Además deben presentar una válvula de alivio con un diámetro no menor a ¼ de pulgada (6.4mm) calibrada. Al mismo tiempo se debe instalar un manómetro en cada tubería vertical de alimentación del sistema por encima y por debajo de cada válvula.

Tabla 12. Caudal total y volumen de agua para la fuente de abastecimiento

Presión	El flujo total combinado o caudal de mangueras inferiores y exteriores	Caudal total del sistema Q_T	Volumen de agua para la fuente de abastecimiento V
Psi	L/min	L/min	L
75	18925.5	6629.37	596641

Nota. Se utilizará un rociador de 1/2” de orificio nominal con una presión de descarga de 75 Psi descargará 182 L/min de caudal para cada rociador.

Las dimensiones del tanque para la fuente de abastecimiento de agua son de 11.294 m de altura y 8.382 m de ancho (**Tankeros, 2019**) como se muestra en la Figura 5. La potencia del motor de la bomba que será empleado en el suministro de agua es de 51.91 HP y se seleccionó un equipo de bombeo conducido por un motor de combustión interna a diesel (**Silva, 2015**).

El motor a diesel de ignición por compresión ha demostrado ser el más eficiente y confiable de los motores de combustión interna para conducir bombas contra incendios (**Cedeño, 2010**)

Respecto al combustible este debe ser tal que tenga un reservorio para 8 horas

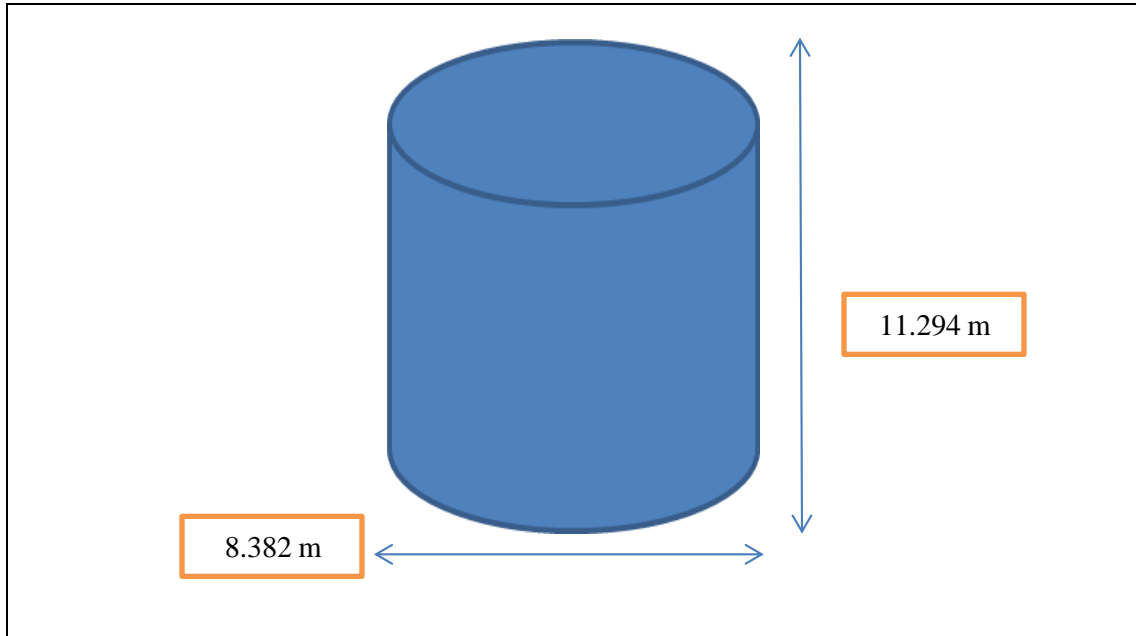


Figura 5. Dimensiones para el tanque de abastecimiento de agua

4.2 Simulación con CFAST

4.2.1 Determinación de parámetros a simular (Simulation)

Aplicando la metodología para la simulación de CFAST y Smokeview, se procedió con los ingresos de los parámetros principales del tiempo de simulación e intervalos y las condiciones de simulación (condiciones termohigrométricas del sitio) correspondientes a la ciudad de Ambato, ver Tabla 13.

Tabla 13. Especificación del entorno para desarrollar la simulación

Tiempo de simulación e intervalos			Condiciones de simulación		
Tiempo de simulación	S	6000	Temperatura interior	°C	20
Intervalo de salida de texto	s	50	Humedad	%	53
Intervalo de salida de la hoja de cálculo	s	10	Temperatura exterior	°C	20

Tiempo de simulación e intervalos			Condiciones de simulación		
Intervalo de salida de vista de humo	s	10	Presión	Pa	101500
			Límites de oxígeno*	%	5

Nota. El tiempo de simulación no debe superar los 86400 seg (1 día). Considerando las mismas condiciones en el interior y exterior del laboratorio en las que se desarrolló el incendio. No se consideraron los compartimentos como adiabáticos. *El límite de oxígeno para que se produzca la simulación.

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

Las propiedades térmicas se definieron considerando materiales de construcción de obra civil disponibles en el Ecuador (MIDUVI, 2018), CFAST consideró un solo tipo de material para paredes piso y techo en todo el sitio de la simulación, ver Tabla 14.

Tabla 14. Plantilla para Propiedades Térmicas para pisos, techos y paredes

Material	ID	Conductividad kW/(m °C)	Calor específico kJ/(kg °C)	Densidad kg/m ³	Espesor m	Emisividad
Paredes	Ladrillo	0.0008	0.840	1800	0.15	0.93
Piso	Hormigón	0.0014	0.837	2220	0.05	0.93
Techo	Placa de yeso*	0.0029	1	600	0.0065	0.9
Ventana	Vidrio	0.0009	0.83	2500	0.6	0.9
Puerta	Metal	0.05	0.38	7800	0.0016	0.9
Puerta	Madera	0.00019	1.7	700	0.042	0.95

Adaptado de (MIDUVI, 2018).

Nota. *La placa de yeso es el principal elemento del falso techo en LACONAL. No se consideró ventilación mecánica porque la mayoría de tiempo esta desactivada

4.2.3 Gráfica de los compartimentos a simular en CFAST (Compartments)

La tabla 15 muestra las dimensiones de cada compartimento que conforma el laboratorio y la posición geométrica de los compartimentos en la simulación

puntualizando las coordenadas geométricas como la posición X, Y, Z que establecen el origen para fijar el sistema de referencia de cada una de los compartimentos, ver figura 6.

Tabla 15. *Plantilla para dimensiones para los compartimentos de LACONAL*

#	Compartimento	Ancho m	Largo m	Alto m	Posición X	Posición Y	Posición Z	Techo	Pared	Suelo
1	Corredor de mantenimiento	5.20	1.76	2.46	0	0	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
2	Área instrumental	5.20	4.29	2.46	0	1.76	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
3	Área Aséptica	5.20	6.71	2.46	0	6.05	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
4	Área estéril	2.45	2.52	2.46	2.75	10.24	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
5	Área Microbiológica	2.28	1.67	2.46	4.06	6.05	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
6	Área de Físicoquímica	5.80	12.76	2.46	5.20	0	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
7	Sala de reactivos 2	3.60	2.76	2.46	11	10	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
8	Corredor 1	3.60	1.30	2.46	11	8.7	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
9	Sala de balanzas	3.60	2.85	2.46	11	5.85	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
10	Corredor 2	4.73	1.49	2.46	11	4.36	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
11	Vestidor y baño de hombres	3.70	4.36	2.46	11	0	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
12	Sala de reactivos 1	3.52	2.39	2.46	14.60	10.37	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
13	Oficina de dirección técnica	3.52	4.52	2.46	14.60	5.85	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
14	Corredor 3	2.44	1.49	2.46	15.73	4.36	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
15	Vestidor y baño de mujeres	2.86	4.36	2.46	14.7	0	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
16	Administración	5.82	6.91	2.46	18.12	5.85	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón
17	Recepción de muestras	2.86	1.49	2.46	18.17	4.36	0	Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón

#	Compartimento	Ancho m	Largo m	Alto m	Posición X	Posición Y	Posición Z	Techo	Pared	Suelo
18	Baño de clientes	3.30	1.28	2.46	17.57	3.08	0	yeso Placa de yeso	Ladrillo	Hormigón

Nota. No se encontró flujos convectivos de aire puntuales (puertas ni ventanas abiertas o rotas) por condiciones de acreditación del Laboratorio. No se consideró el desnivel en la entrada porque CFAST no permite el ingreso de rampas. Se tomó la esquina inferior izquierda de la cara frontal del laboratorio para ubicar los distintos compartimentos.

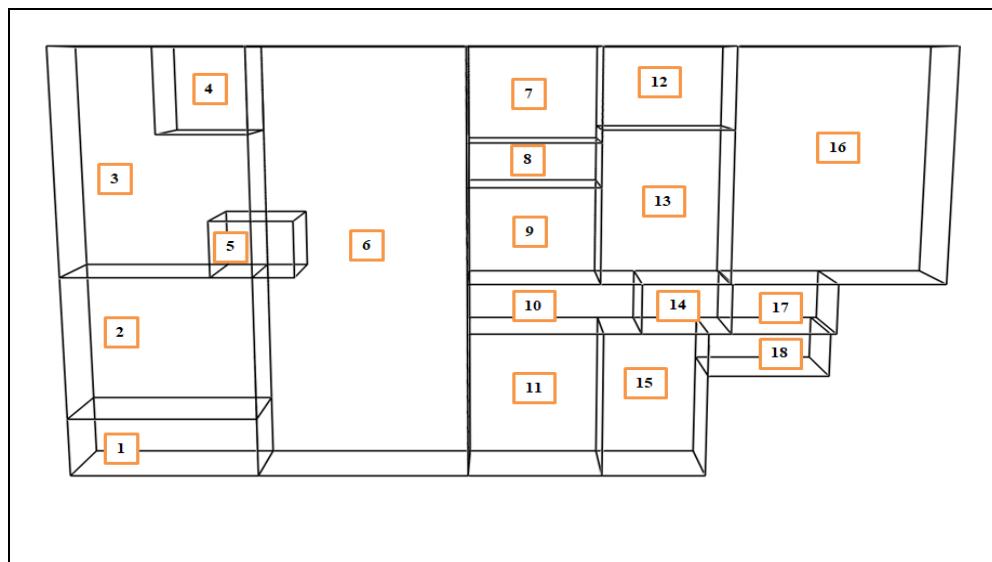


Figura 6. Compartimentos de LACONAL

Nota. 1. Corredor de mantenimiento 2. Área Instrumental 3. Área Aséptica 4. Área Estéril 5. Área Microbiológica 6. Área Fisicoquímica 7. Sala de Reactivos 2, 8. Corredor 2, 9. Sala de Balanzas, 10. Corredor 1, 11. Vestidor y Baño de Hombres, 12. Sala de Reactivos 1 13. Oficina de Dirección Técnica, 14. Corredor 3, 15. Vestidor y Baño de Mujeres, 16. Administración, 17. Recepción de muestras, 18. Baño de clientes.

4.2.4 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 16, determinando la conexión entre estos sistemas de ventilación.

Tabla 16. *Plantilla para Dimensiones de las aperturas de ventilación sobre pared*

Número	Primer compartimento	Segundo compartimento	Sill m	Soffit M	Width m	Vent offset m	Face
1	Administración	Outside	1.39	2.35	6.05	0.35	Right
2	Oficina de Dirección Técnica	Corredor 3	1.18	2.42	2.4	1.1	Front
3	Corredor 1	Sala de Balanzas	1.39	2.42	2.44	1	Front
4	Recepción de Muestras	Outside	0	2.42	1.45	0	Right
5	Administración	Recepción de Muestras	0	2.42	0.91	0	Front
6	Corredor 3	Recepción de Muestras	0	2.42	1.45	0	Right
7	Corredor 2	Corredor 3	0	2.42	1.45	0	Right
8	Recepción de Muestras	Baño de Clientes	0	2.42	0.91	1.8	Front
9	Corredor 2	Oficina de Dirección Técnica	0	2.42	0.91	3.62	Rear
10	Corredor 2	Vestidor y Baño de Mujeres	0	2.42	0.91	3.7	Front
11	Corredor 2	Vestidor y baño de Hombres	0	2.42	0.91	2.79	Front
12	Área de Fisicoquímica	Corredor 2	0	2.42	1.45	4.36	Right
13	Área de Fisicoquímica	Corredor 1	0	2.42	1.26	8.7	Right
14	Corredor 1	Sala de Balanzas	0	2.42	0.91	0	Front
15	Sala de Reactivos 2	Corredor 1	0	2.42	0.91	0	Front
16	Sala de Reactivos 1	Oficina de Dirección Técnica	0	2.42	0.91	0	Front
17	Corredor de Mantenimiento	Área Instrumental	0	2.42	0.91	4.29	Rear
18	Sala de Reactivos 1	Oficina de Dirección Técnica	1.18	2.42	2.55	1	Front
19	Área Instrumental	Área de Fisicoquímica	0	2.42	0.91	3.38	Right
20	Área Aséptica	Área Microbiológica PM	0	2.42	1.65	0	Right
21	Área Microbiológica	Área Aséptica	0	2.42	1.65	0	Left
22	Área Microbiológica	Área Fisicoquímica	0	2.42	1.65	0	Right
23	Área Instrumental	Área Microbiológica	0	2.42	0.91	4.29	Rear
24	Área Aséptica	Outside	1.65	2.35	3.04	0.75	Left
25	Área Aséptica	Área Fisicoquímica	1.18	2.42	5.09	1.62	Right

26	Área Instrumental	Outside	1.65	2.35	2.3	1.7	Left
27	Área Fisicoquímica	Sala de Balanzas	1.18	2.42	2.85	5.85	Right
28	Área Estéril	Área Aséptica	1.18	2.42	2.45	0	Front
29	Área Estéril	Área Aséptica	0	2.42	1	1.52	Left
30	Corredor 1	Oficina de Dirección Técnica	0	2.42	1.26	0	Right

Nota. Se asumió que las puertas y ventanas permanecen cerradas durante todo el tiempo de la simulación

Para el caso de estudio, la ubicación de las aperturas de ventilación está representada en la Figura 7.

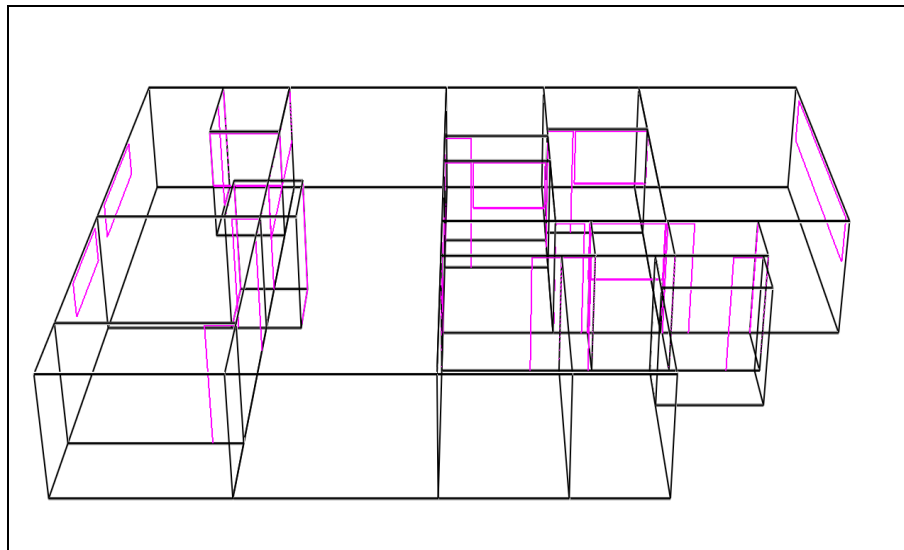


Figura 7. Aperturas de ventilación sobre pared

4.2.5 Fuego

Para la simulación del incendio en el Laboratorio se utilizó las curvas HRR siendo un parámetro clave para describir la combustión de los materiales, los rendimientos de los productos de combustión como CO y hollín, las coordenadas de cada uno de los objetos y equipos de laboratorio fueron introducidas como el origen del incendio correspondiente a la ubicación en el laboratorio como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. *Parámetros para describir la combustión de la simulación*

#	Fuego	C	Encendido por	Punto fijo s	Px m	Py m	Pz m	Pico HRR	Qc kJ/kg	Masa molar
1	Silla tapizada	9	Tiempo	0	1.5	2.1	0	2099.6	171000	C ₂₅ H ₄₂ O ₆ N ₂
2	Silla tapizada	16	tiempo	0	1	5.75	0	2099.6	17100	C ₂₅ H ₄₂ O ₆ N ₂
3	Silla tapizada	16	tiempo	0	5	1.5	0	2099.6	17100	C ₂₅ H ₄₂ O ₆ N ₂
4	Aparatos electrónicos	4	Tiempo	0	1.73	1.4	0	280	27000	C ₈ H ₈
5	Aparatos electrónicos	2	Tiempo	0	3.46	1.4	0	280	27000	C ₈ H ₈
6	Aparatos electrónicos	3	Tiempo	0	1	4	0	280	27000	C ₈ H ₈
7	Aparatos electrónicos	3	Tiempo	0	1	5.8	0	280	27000	C ₈ H ₈
8	Aparatos electrónicos	6	Tiempo	0	4.5	10	0	280	27000	C ₈ H ₈
9	Aparatos electrónicos	6	Tiempo	0	1	10	0	280	27000	C ₈ H ₈
10	Aparatos electrónicos	6	Tiempo	0	1	4	0	280	27000	C ₈ H ₈
11	Aparatos electrónicos	6	Tiempo	0	2.7	1	0	280	27000	C ₈ H ₈
12	Aparatos electrónicos	16	Tiempo	0	2	5	0	280	27000	C ₈ H ₈
13	Aparatos electrónicos	16	Tiempo	0	4	5	0	280	27000	C ₈ H ₈
14	Sofá	16	Tiempo	0	2.5	2	0	3447	18900	C ₂₅ H ₄₂ O ₆ N ₂
15	Armario	15	Tiempo	0	2.5	2.5	0	4500	18100	C ₆ H ₁₀ O ₅
16	Armario	11	Tiempo	0	2.8	2.5	0	4500	18100	C ₆ H ₁₀ O ₅
17	Papel	13	Tiempo	0	1.5	1.5	0	240	17100	C ₆ H ₁₀ O ₅
18	Aparatos electrónicos	13	Tiempo	0	2.8	4	0	280	27000	C ₈ H ₈
19	Aparatos electrónicos	6	Tiempo	0	2.9	7	0	280	27000	C ₈ H ₈
20	Aparatos electrónicos	6	Tiempo	0	2.9	2.5	0	280	27000	C ₈ H ₈
21	Armario	16	Tiempo	0	1.5	0.5	0	4500	18100	C ₆ H ₁₀ O ₅
22	Aparatos electrónicos	2	Tiempo	0	1	2	0	280	27000	C ₈ H ₈
23	Papel	16	Tiempo	0	4.5	5.5	0	240	17100	C ₆ H ₁₀ O ₅
24	Aparatos electrónicos	6	Tiempo	0	1	12	0	280	27000	C ₈ H ₈
25	Aparatos electrónicos	6	Tiempo	0	5	12	0	280	27000	C ₈ H ₈
26	Aparatos electrónicos	9	Tiempo	0	1.5	1	0	280	27000	C ₈ H ₈
27	Aparatos electrónicos	9	Tiempo	0	1.3	0.8	0	280	27000	C ₈ H ₈

4.2.6 Determinación del sistemas de detección y supresión (Detection/Suppression)

En el caso de estudio se realizó 2 simulaciones, la primera simulación a partir de una temperatura de activación de 70 °C, un RTI de 80 (m s)^{0.5} y 0.000125 m/s para la densidad de diseño, comparando distintos tiempos que determinaron temperaturas de las capas superiores de gases calientes y de las capas inferiores, así como la producción de humo.

La ubicación de los sprinklers cumplió con la norma NFPA 13 que establece que se deben ubicar a una distancia mínima de 102 mm de la pared, deben presentar una distancia no menor a 1.8 m entre rociadores y la distancia entre el deflector del rociador y el techo, no debe ser inferior a 25.4 mm ni superior a 305 mm, ver Tabla 18.

Tabla 18. *Plantilla para distribución de sprinklers para toda el área de operación*

Número	Compartimento	Posición X M	Posición Y m	Posición Z m	Temperatura de Activación °C	RTI (m s) ^{0.5}	Densidad de diseño m/s
1	Área Instrumental	2.6	3.29	2.4346	70	80	0.000125
2	Área Instrumental	2.6	1	2.4346	70	80	0.000125
3	Área Aséptica	1	1	2.4346	70	80	0.000125
4	Área Aséptica	4.20	1	2.4346	70	80	0.000125
5	Área Aséptica	1	5.71	2.4346	70	80	0.000125
6	Área Estéril	1.2	1.25	2.4346	70	80	0.000125
7	Área Fisicoquímica	2.9	1.88	2.4346	70	80	0.000125
8	Área Fisicoquímica	2.9	3.68	2.4346	70	80	0.000125
9	Área Fisicoquímica	2.9	5.48	2.4346	70	80	0.000125
10	Área Fisicoquímica	2.9	7.28	2.4346	70	80	0.000125
11	Área Fisicoquímica	2.9	9.08	2.4346	70	80	0.000125
12	Área Fisicoquímica	2.9	10.88	2.4346	70	80	0.000125
13	Vestidor y Baño de Hombres	1.85	3.36	2.4346	70	80	0.000125
14	Vestidor y Baño de Hombres	1.85	1	2.4346	70	80	0.000125
15	Sala de Balanzas	1.8	1.3	2.4346	70	80	0.000125
16	Oficina de	1.76	3.52	2.4346	70	80	0.000125

	Dirección Técnica						
17	Oficina de Dirección Técnica	1.76	1	2.4346	70	80	0.000125
18	Vestidor y Baño de Mujeres	1.43	3.36	2.4346	70	80	0.000125
19	Vestidor y Baño de Mujeres	1.43	1	2.4346	70	80	0.000125
20	Administración	1	1	2.4346	70	80	0.000125
21	Administración	4.82	1	2.4346	70	80	0.000125
22	Administración	1	5.91	2.4346	70	80	0.000125
23	Administración	4.82	5.91	2.4346	70	80	0.000125
24	Baño de Clientes	1.65	0.64	2.4346	70	80	0.000125

En la primera simulación se introdujo 24 sprinklers, de tal forma que cubrieron toda el área de operación, ver Figura 8.

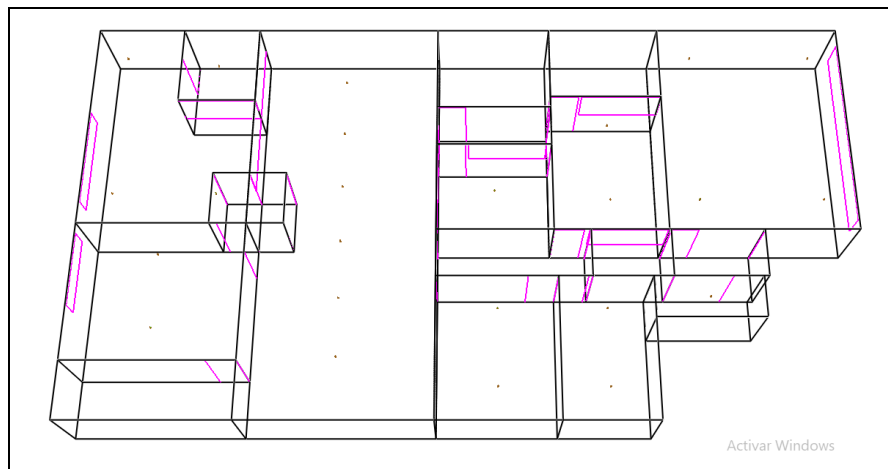


Figura 8. Distribución de sprinklers en el área de operación

La segunda simulación no utilizó ningún sprinkler

Subsecuentemente, se simuló el escenario con un tiempo de 2500 segundos y se obtuvo las temperaturas de los gases de las capas superiores e inferiores y el tamaño del fuego que se desarrolló en cada compartimento.

Se puede observar en la Tabla 19 la diferencia de temperaturas en las dos simulaciones, la primera simulación llegó a 21.5 °C en la capa de gases superiores en el compartimento 15 (vestidor y baño de mujeres) y 21.6 °C en el compartimento 4 (Área estéril) en la capa de gases inferiores, mientras que en la segunda simulación ningún compartimento llegó a temperatura ambiente, la temperatura de la capa superior llegó hasta 157.1 °C en el compartimento 15 (vestidor y baño de mujeres) y en la capa inferior hasta 82.3 °C en el compartimento 4 (Área estéril) . Por tanto se puede indicar que la capa superior es aquella en donde los productos de la combustión se liberan y acumulan con una alta temperatura y baja densidad, mientras que la capa inferior sirve como la fuente de frío que contiene oxígeno y a su densidad mayor permanecen cerca del suelo.

Tabla 19. Resultados de la simulación con sprinklers

Compartimentos	SIMULACIÓN 1 (CON ROCIADORES)			SIMULACION 2 (SIN ROCIADORES)		
	Temperatura de la capa de gases superior °C	Temperatura de la capa de gases inferior °C	Tamaño del fuego Kw	Temperatura de la capa superior °C	Temperatura de la capa inferior °C	Tamaño del fuego kW
1	20.8	20	0	83.2	38.6	0
2	21.5	21.5	0	114	68.4	70
3	21.5	21.2	0	113.1	73.8	70
4	21.6	21.6	0	112.5	82.3	35
5	21.4	21.1	0	112.1	71.1	0
6	21.6	21.6	0	128.4	83.6	350
7	20.6	20	0	77	36.2	0
8	21.1	20.6	0	101.4	70.6	0
9	21.2	20.1	0	105.8	56.9	0
10	21.2	20.1	0	124.8	31.2	0
11	21.3	21.3	0	150.5	54.3	150
12	20.7	20.1	0	85.3	40.7	0
13	21	20	0	98.3	59.5	38
14	20.8	20	0	107.4	26.6	0
15	21.5	21.5	0	157.1	56.4	150
16	20.3	20.3	0	116.9	48.2	369.6
17	20.2	20	0	93.4	24.9	0
18	20.2	20	0	70.9	24.9	0

Simulación 1

El tiempo de activación de cada sprinklers en cada compartimento se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. *Tiempo de activación de los sprinklers en cada compartimento*

Número de sprinkler	Tiempo de activación S	Compartimento
20	18	Administración
13	24	Vestidor y baño de hombres
19	24	Vestidor y baño de mujeres
18	28	Vestidor y baño de mujeres
24	28	Baño de Clientes
14	29	Vestidor y baño de hombres
21	45	Administración
22	48	Administración
23	94	Área de Físicoquímica
17	107	Oficina de Dirección Técnica
15	107	Sala de Balanzas
16	116	Oficina de dirección técnica
7	490	Área de Físicoquímica
10	490	Área de Físicoquímica
5	500	Área Aséptica
6	500	Área Estéril
12	502	Área de Físicoquímica
8	503	Área de Físicoquímica
1	516	Área Instrumental
11	516	Área de Físicoquímica
2	521	Área Instrumental
9	527	Área de Físicoquímica
3	539	Área Aséptica
4	553	Área Aséptica

En la Figura 9 (a y b) se muestra el comportamiento del sistema desde el tiempo cero con una temperatura de 20°C, producido en la zona de fuego y zona de humos.

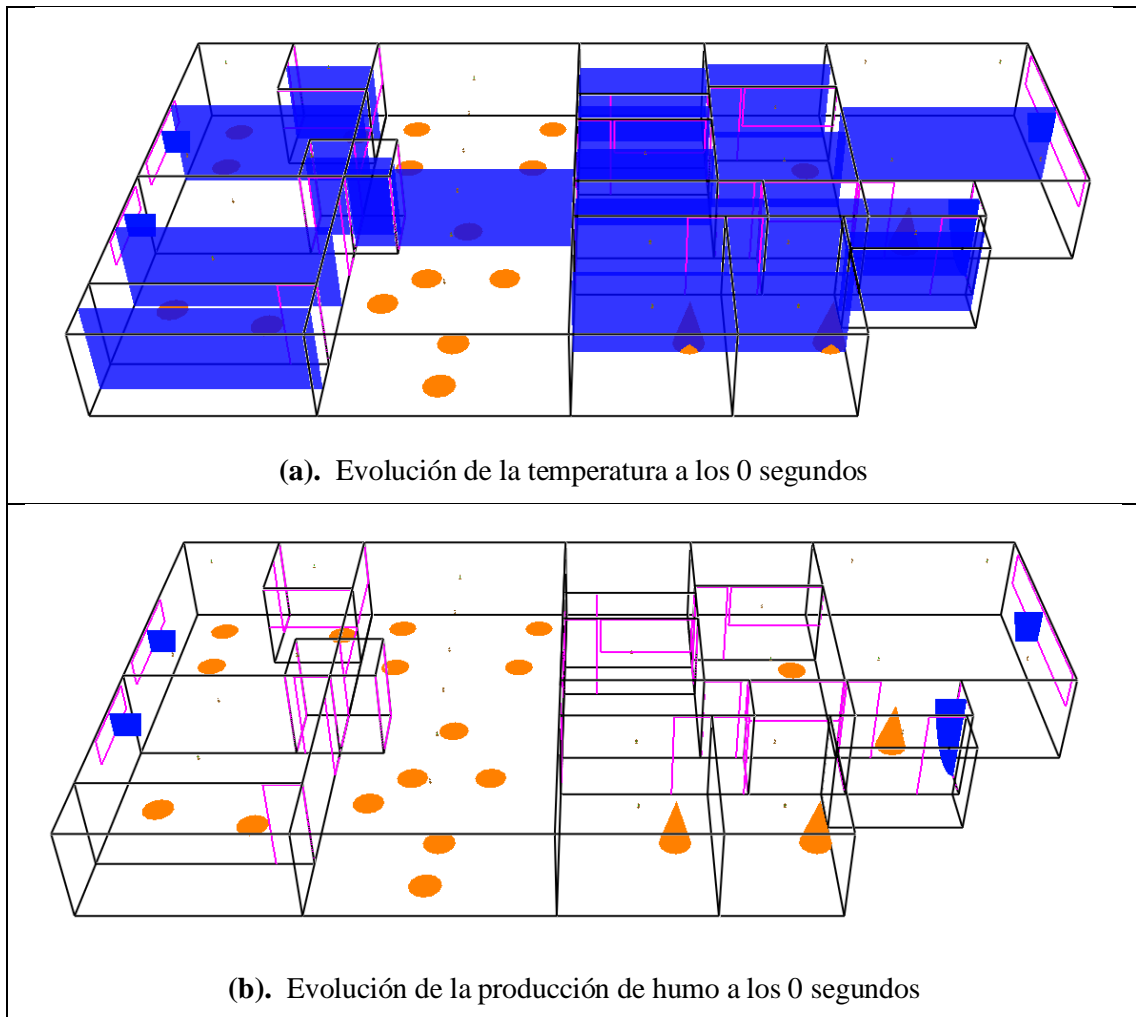


Figura 9. Evolución de temperatura y producción de humo a los cero segundos

Transcurridos los 75 segundos alcanzó la temperatura máxima de 114 °C en el compartimento 15, lo que significa un grave daño al sistema de cableado que atraviesa el techo de la instalación, por ello se generará graves consecuencias a los sistemas de ventilación, 109 °C en el compartimento 11, 93.3 °C en el compartimento 10, 67.4 °C en el compartimento 16, todas y en las capas inferiores 51 °C. Los compartimentos restantes alcanzaron una temperatura de 43.1 °C como se muestra en la Figura 10 (a).

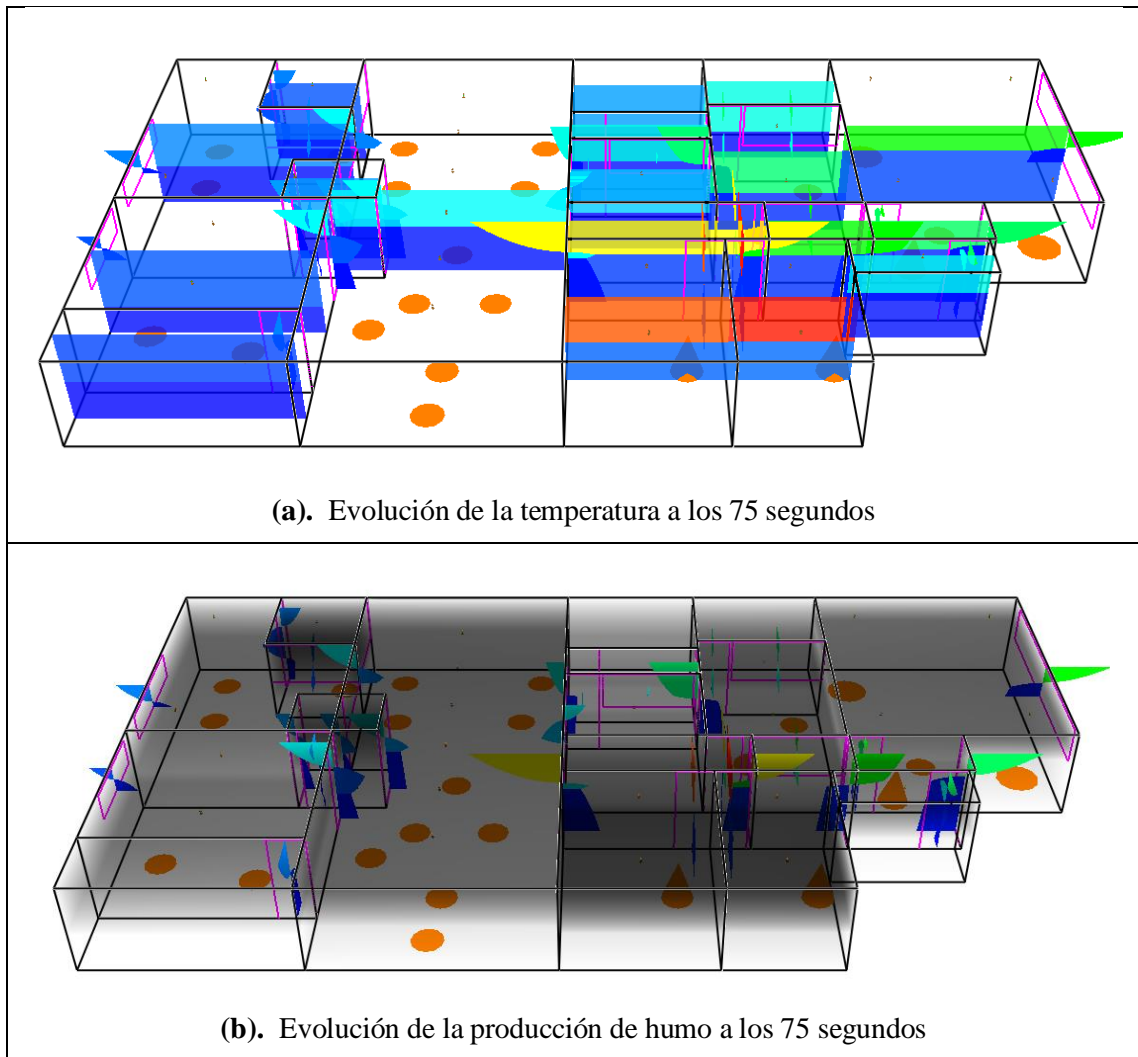


Figura 10. Evolución de temperatura y producción de humo a los 75 segundos

La Figura 11 (a) muestra que después de 200 segundos, los compartimentos 10,11, 12, 13,14 y 15 disminuyeron su temperatura a 59 °C, el compartimento 16 y 18 una temperatura de 30 °C. La Figura 11 (b) muestra un aumento de la producción de humo.

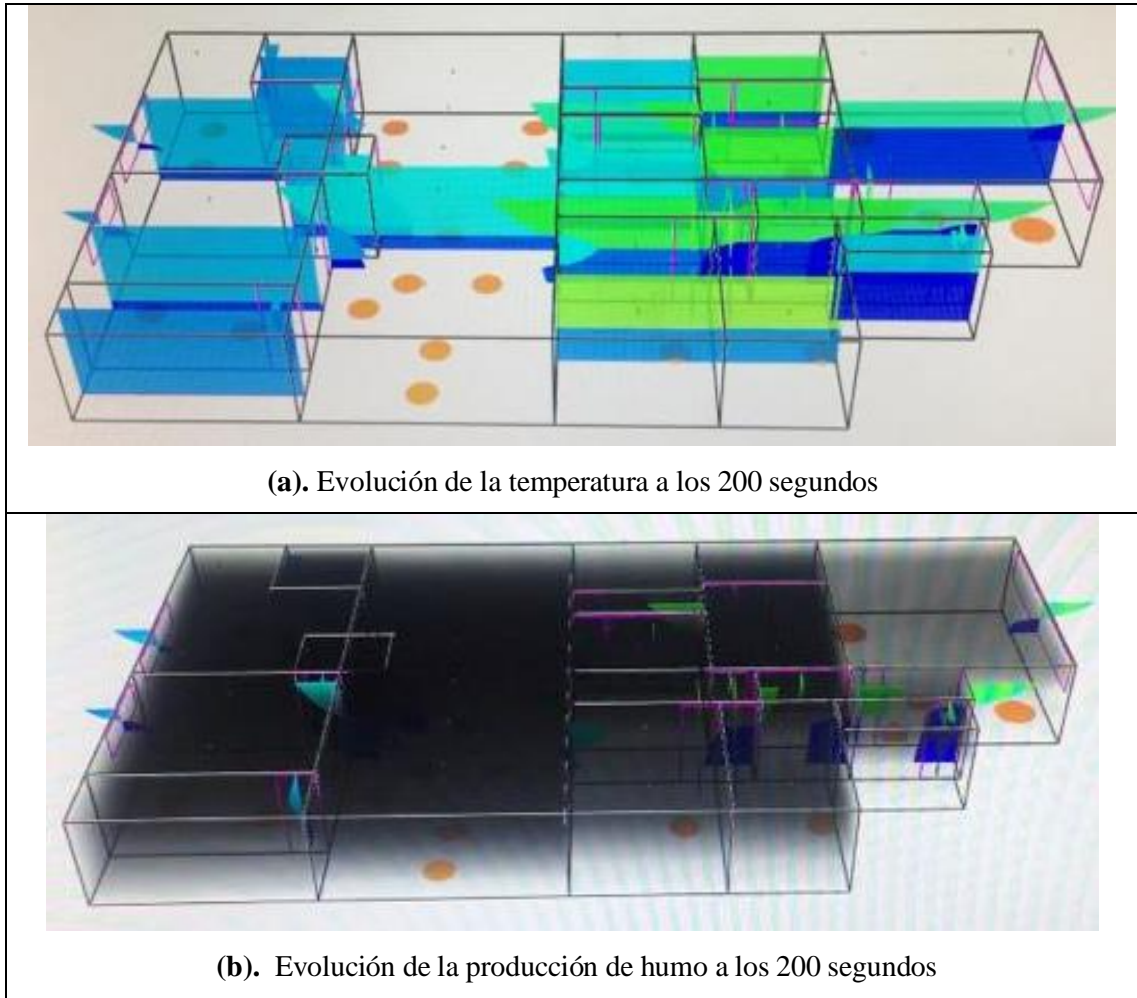


Figura 11. Evolución de temperatura y producción de humo a los 200 segundos

A los 700 segundos los compartimentos 7 hasta 18 disminuyeron su temperatura a 38.8 °C, mientras que en los compartimentos 2, 3, 4, 5 y 6 se observó que su temperatura aumentó a 63.1°C como se muestra en la Figura 12 (a). En este tiempo en la Figura 12 (b) se pudo observar que la instalación está completamente llena, lo cual representa graves deterioros de puertas y ventanas porque podrían sufrir procesos de corrosión debido a los ácidos que presenta el humo.

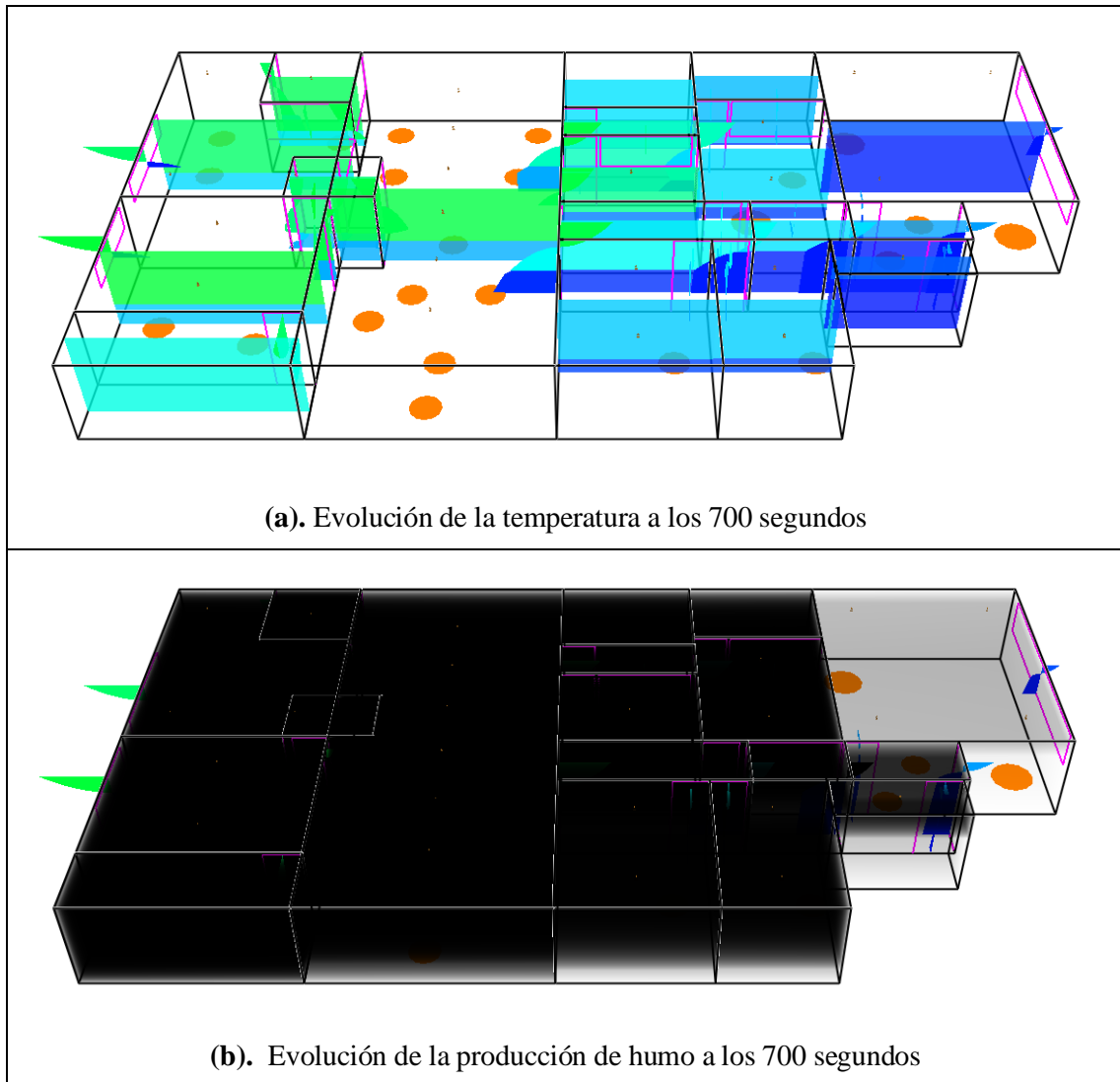


Figura 12. Evolución de temperatura y producción de humo a los 700 segundos

Finalmente en la Figura 13 (a) a los 2110 segundos todos los compartimentos llegaron hasta los 20.2 °C, sin embargo en la Figura 13 (b) solamente los compartimentos 11, 15, 16, 17 y 18 mostraron una disminución de humo y los compartimentos restantes no.

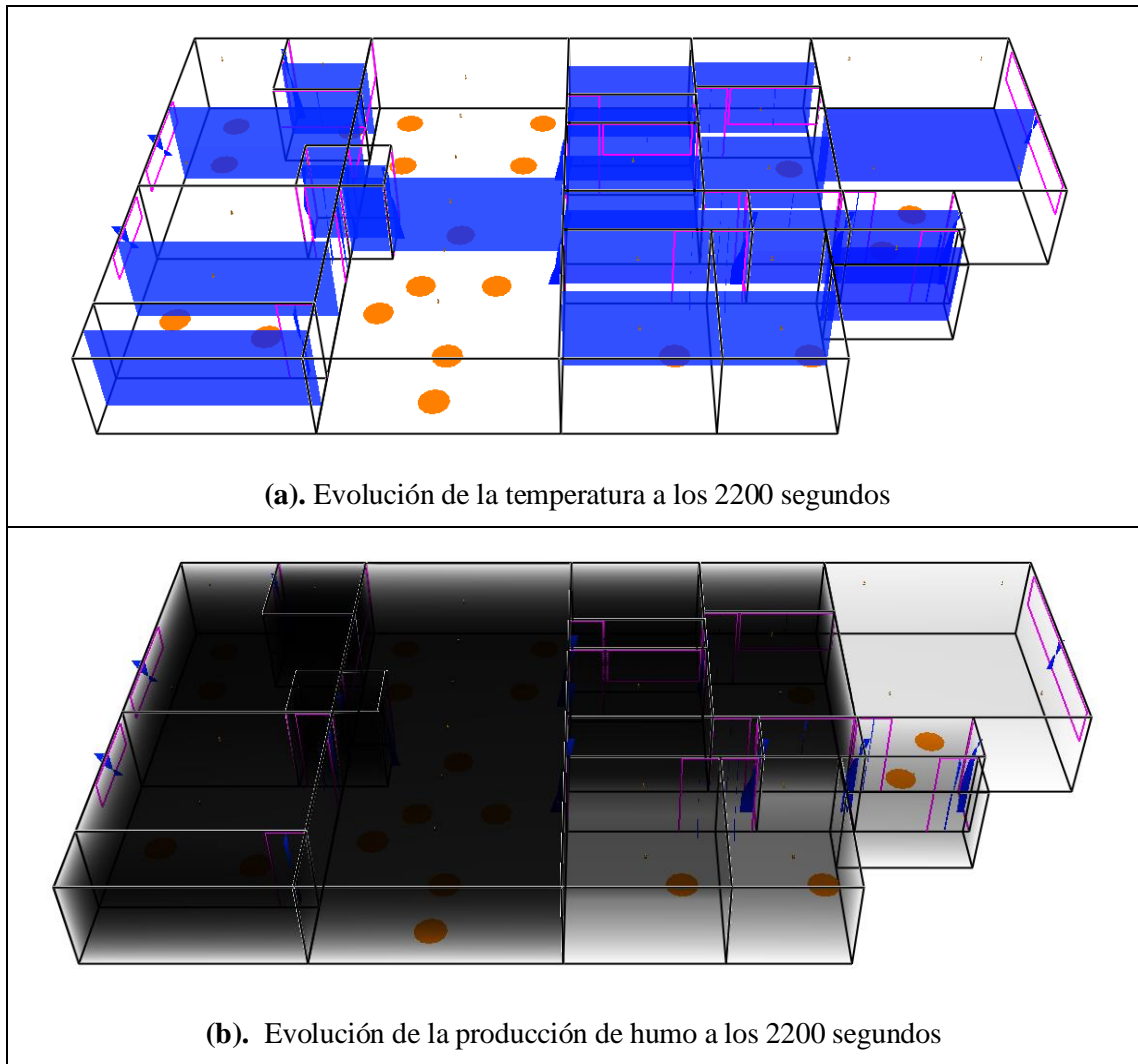


Figura 13. Evolución de temperatura y producción de humo a los 2200 segundos

A los 10800 segundos la instalación está libre de humo como se muestra en la Figura 14.

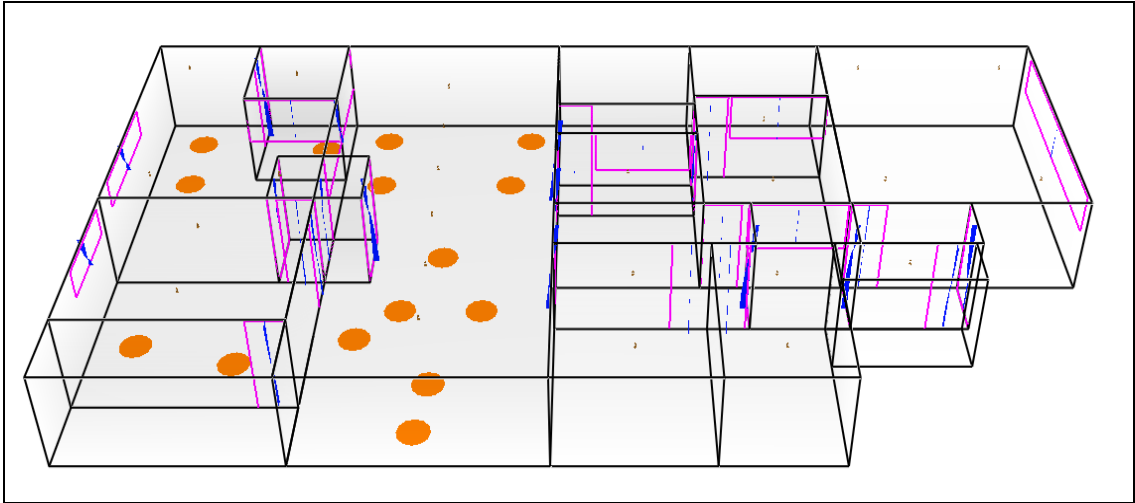


Figura 14. Evolución de temperatura y producción de humo a los 10800 segundos

Simulación 2

En la Figura 15 (a y b) se muestra el comportamiento del sistema desde el tiempo cero con una temperatura de 20°C, producido en la zona de fuego y zona de humos.

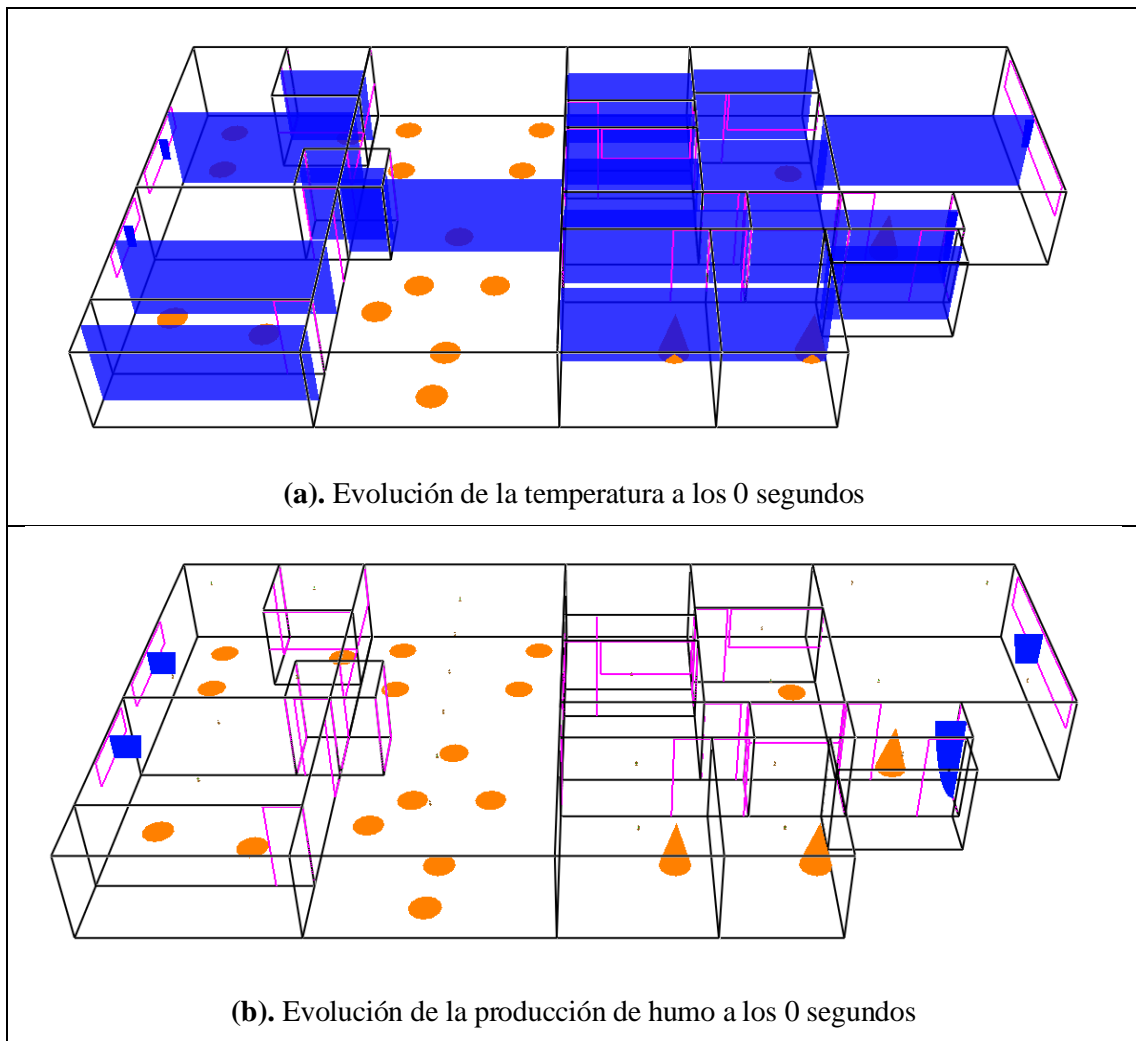


Figura 15. Evolución de temperatura y producción de humo a los 0 segundos

Transcurridos los 75 segundos los compartimentos 11 y 15 alcanzaron una temperatura de 139 °C mientras que los compartimentos restantes llegan a una temperatura de 33 °C como se muestra en la Figura 16 (a). La Figura 16 (b) indicó

que todos los compartimentos presentaron humo en su interior principalmente el compartimento 4,5, 11, 15 y 16.

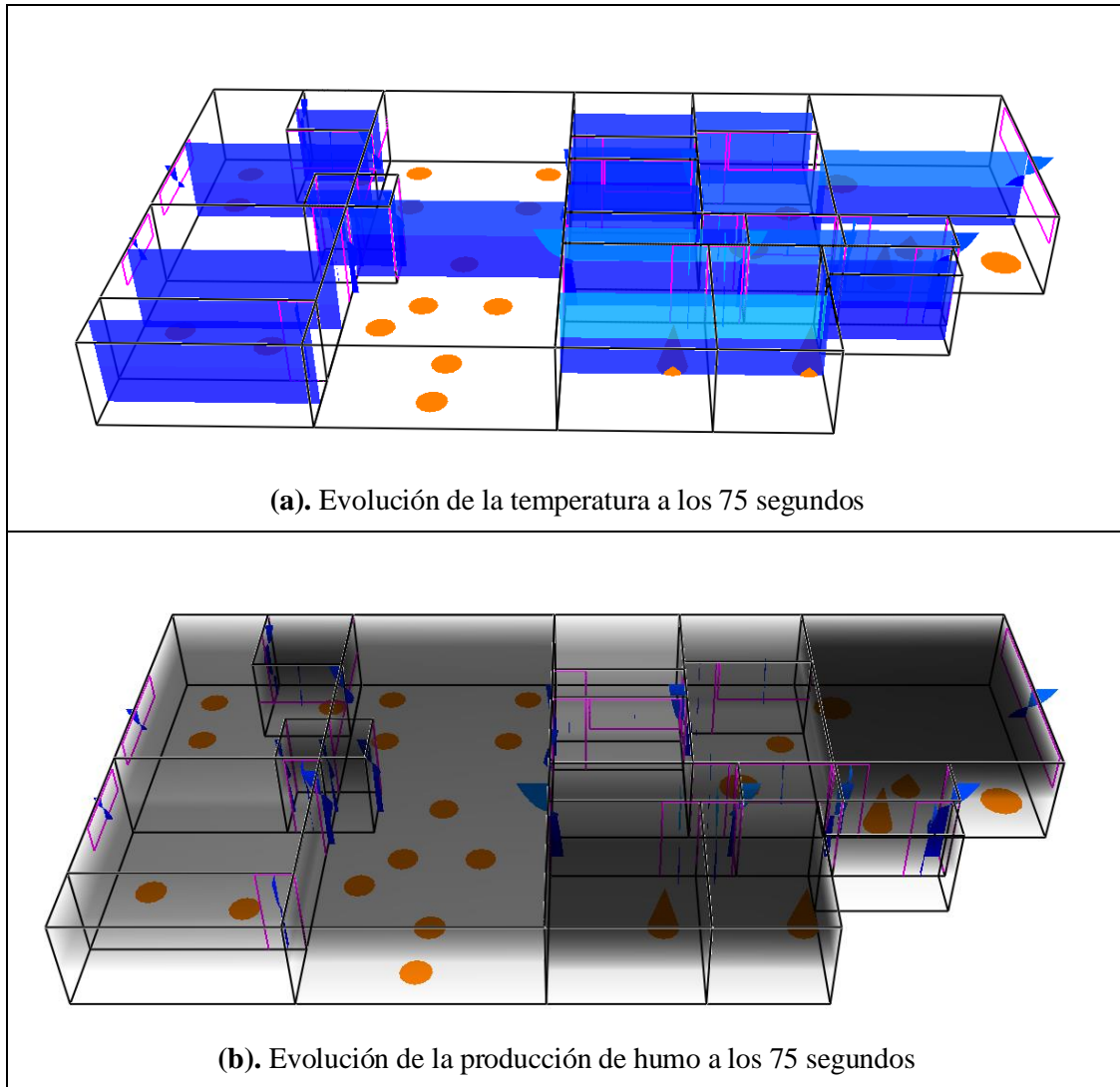


Figura 16. Evolución de temperatura y producción de humo a los 75 segundos

A los 200 segundos los compartimento 11, 15 y 16 alcanzaron una temperatura máxima de 616 °C, el tamaño del fuego cubre casi la totalidad del compartimento como se muestra en la Figura 17 (a). La Figura 17 (b) muestra un aumento en la cantidad de humo en todos los compartimentos del laboratorio.

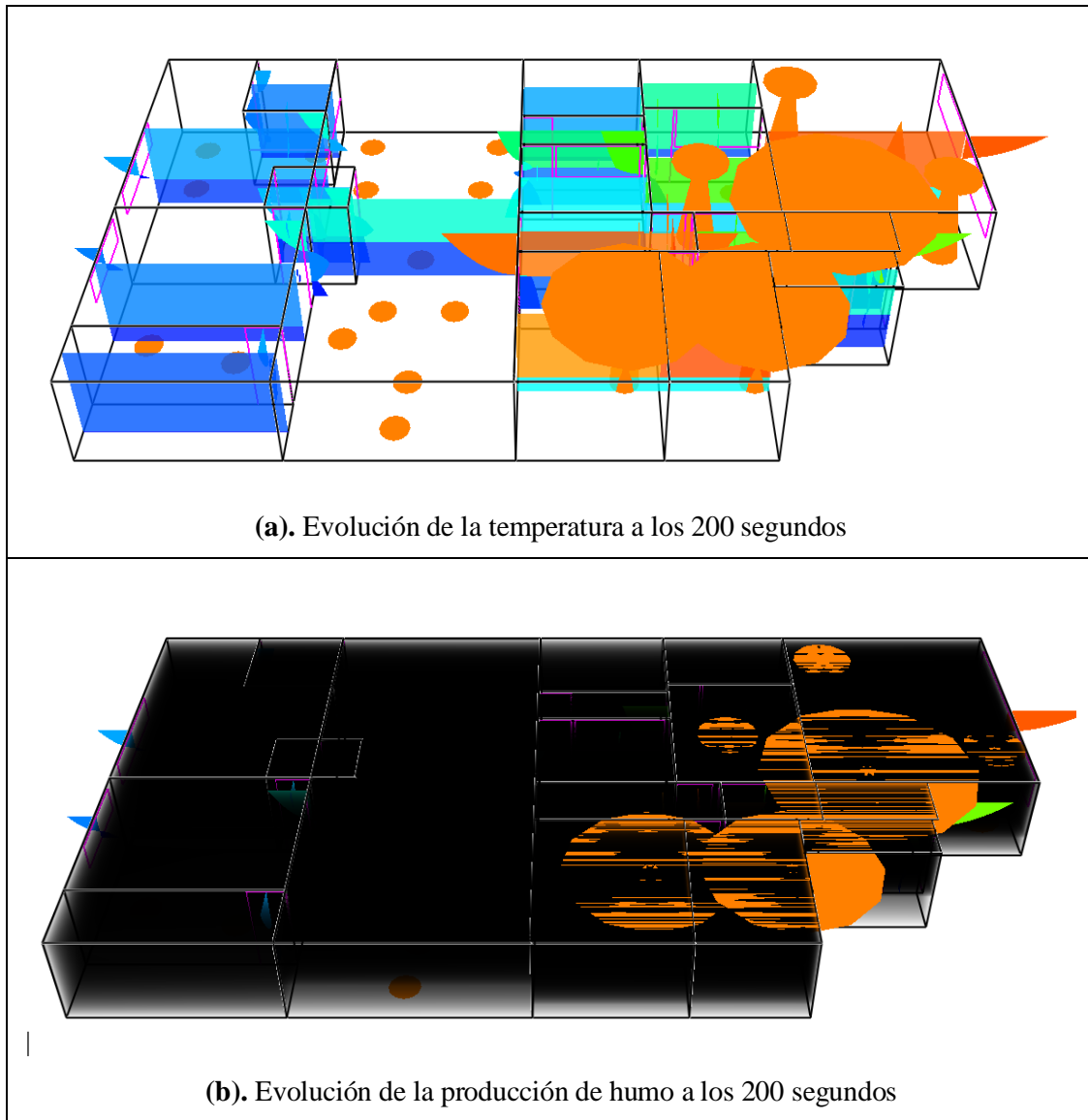


Figura 17. Evolución de temperatura y producción de humo a los 200 segundos

A los 700 segundos los compartimentos 7 hasta 18 disminuyeron su temperatura a 236 °C como se observa en la Figura 18 (a). El humo cubrió a este tiempo completamente la instalación ver Figura 18 (b).

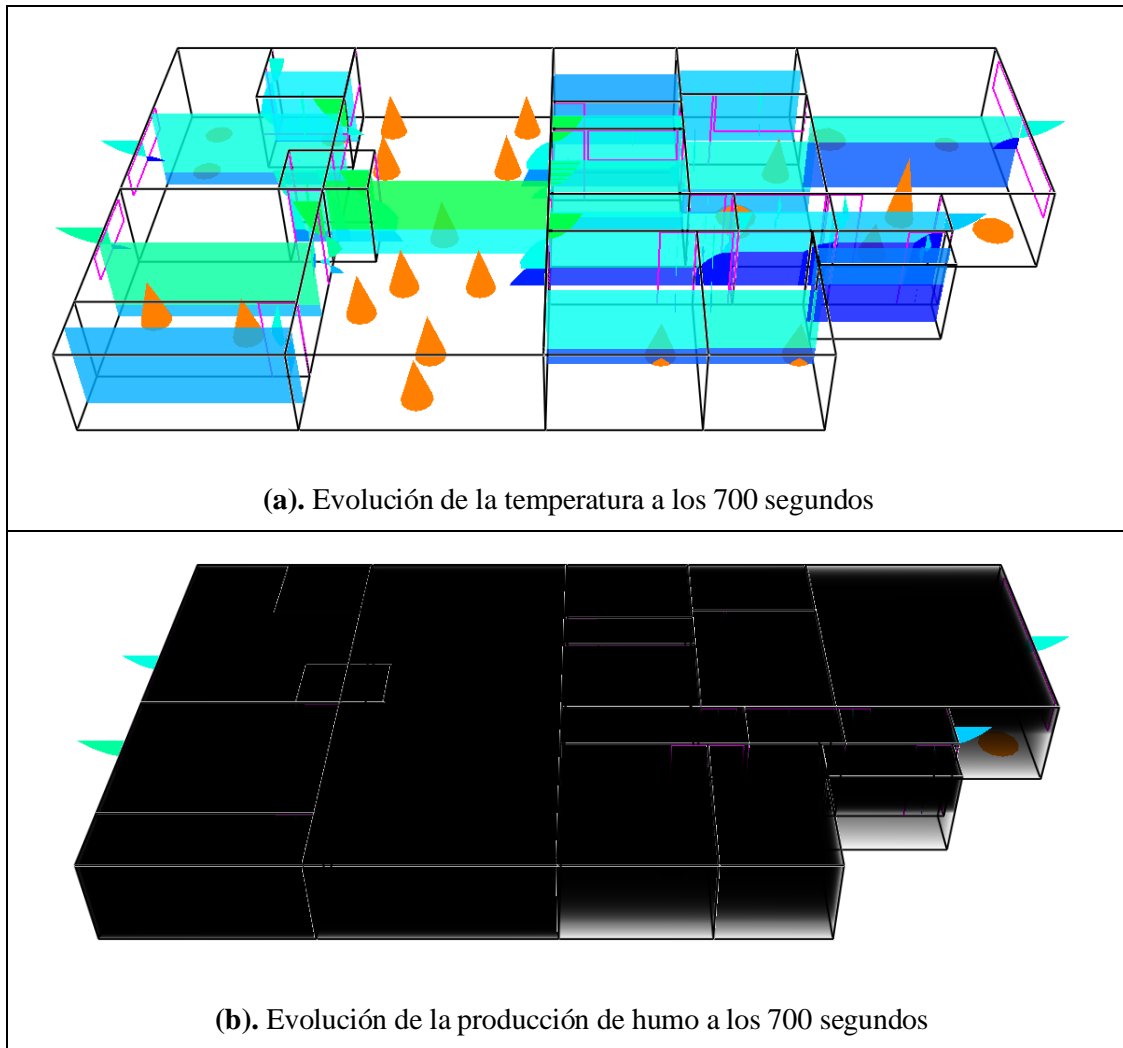


Figura 18. Evolución de temperatura y producción de humo a los 700 segundos

La Figura 19 (a) muestra que a los 2110 segundos se observó que los compartimentos disminuyeron su temperatura a 192°C. Sin embargo la Figura 19 (b) muestra que la cantidad de humo no se redujo.

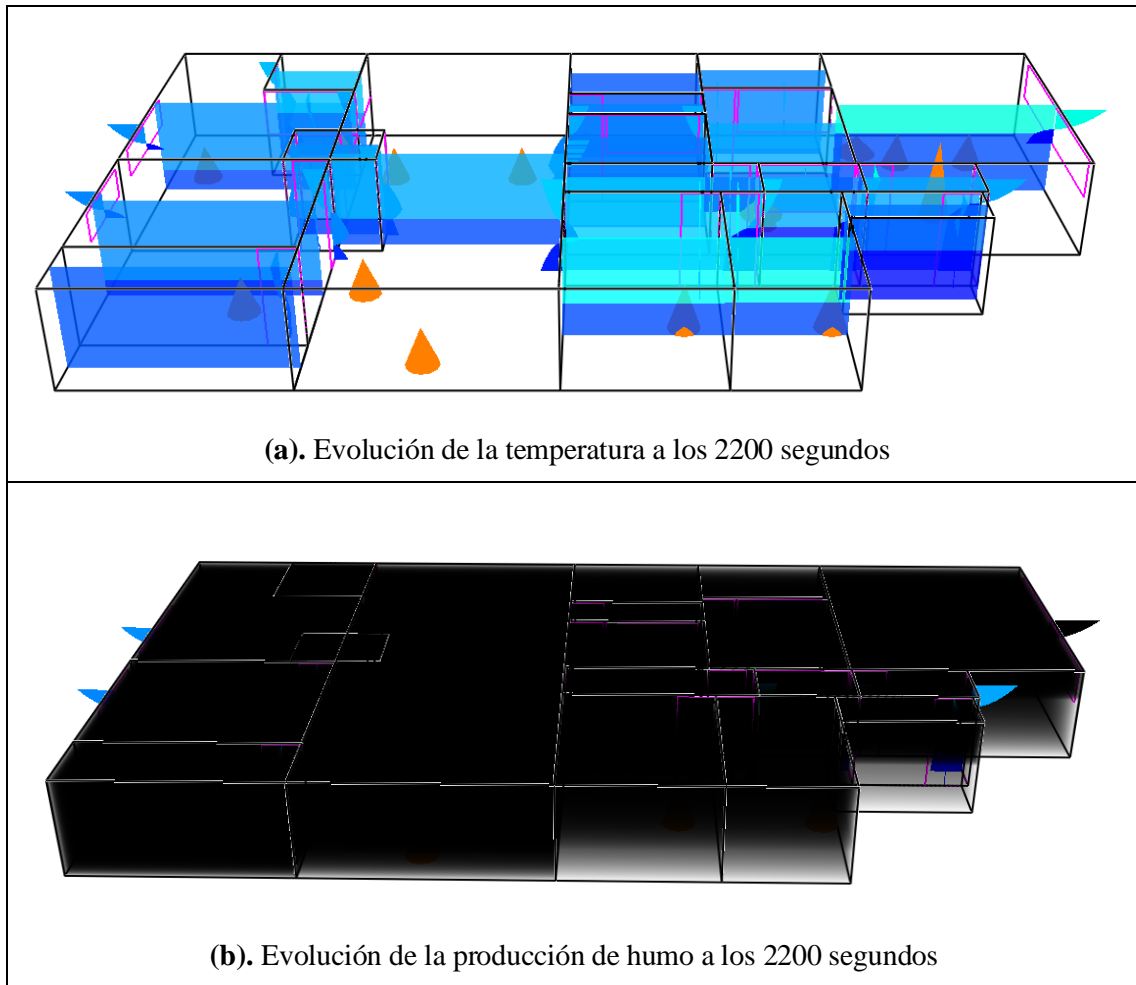


Figura 19. Evolución de temperatura y producción de humo a los 2200 segundos

Transcurridos los 86400 segundos (1 día), los compartimentos no alcanzaron la capa fría y llegaron a 181°C, ver Figura 20 (a). Se puede apreciar en la Figura 20 (b) que la producción de humo se mantiene en la misma cantidad.

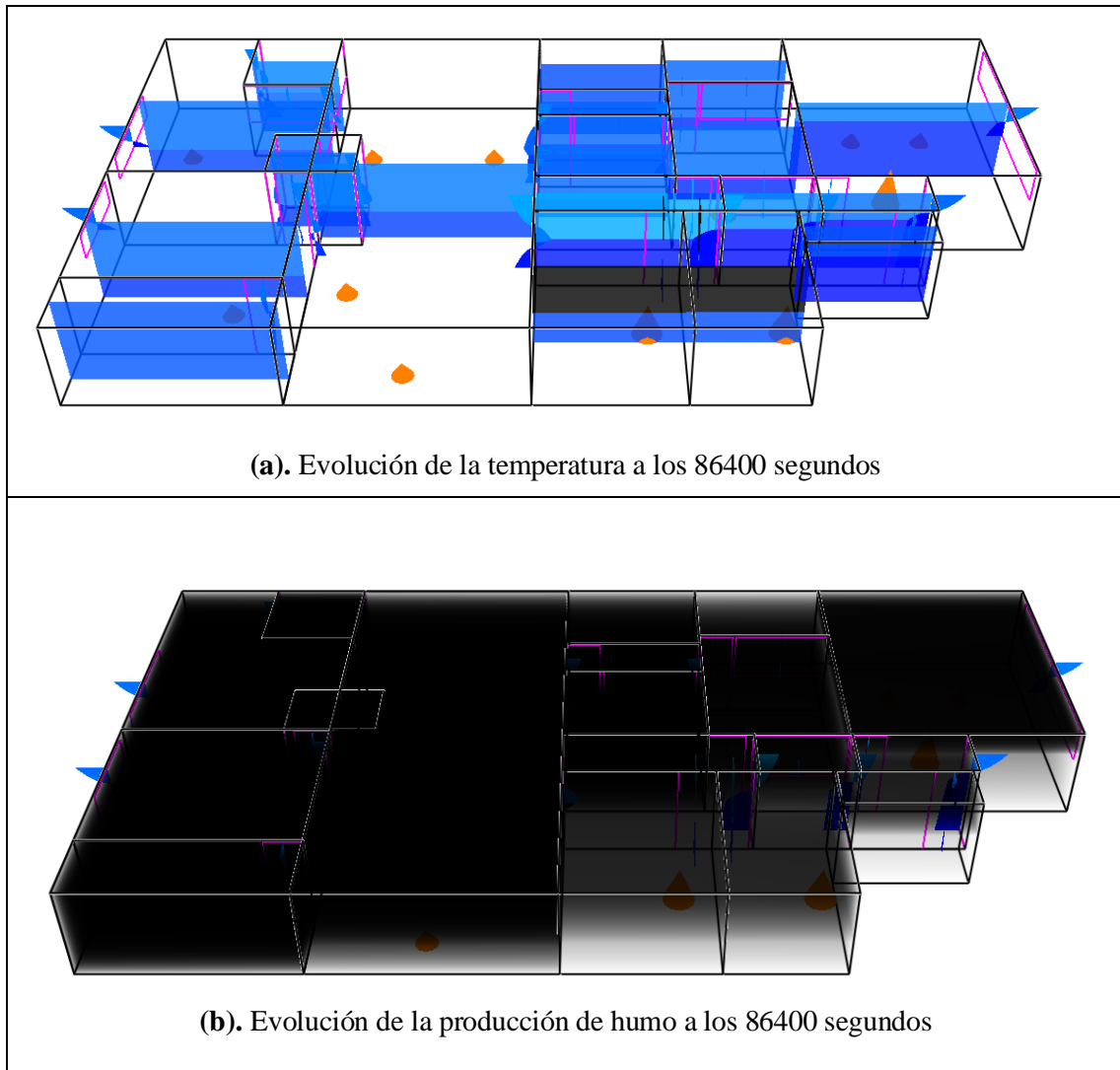


Figura 20. Evolución de temperatura y producción de humo a los 86400 segundos

4.3 Verificación de hipótesis

Para la verificación de las hipótesis se empleó el diseño estadístico prueba t de student para comparar las medias de las dos muestras a partir de la simulación 1 y simulación 2. Para ello se dedujo un resumen estadístico como se muestra en la Tabla 21.

El rango para que esté oficialmente dentro de los parámetros normales es desde -2 a +2, el sesgo de curtosis en la simulación 1 están dentro del rango con un valor de 1.4 , la simulación 2 está fuera del rango normal debido a que presenta un valor de 86.2, por tanto hay diferencia significativa de la normalidad entre el sesgo estandarizado y curtosis estandarizada para la simulación 1 y simulación 2.

Tabla 21. Resumen estadístico

	SIMULACION 1	SIMULACION 2
Recuento	18	18
Promedio	21,0167	109,006
Desviación Estándar	0,47558	23,1228
Coefficiente de Variación	2,26287%	21,2125%
Mínimo	20,2	70,9
Máximo	21,6	157,1
Rango	1,4	86,2
Sesgo Estandarizado	-0,815537	0,67655
Curtosis Estandarizada	-0,827488	0,0583258

Comparación de Medias

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de SIMULACION 1: 21,0167 +/- 0,236501 [20,7802, 21,2532]

Intervalos de confianza del 95,0% para la media de SIMULACION 2: 109,006 +/- 11,4987 [97,5068, 120,504]

Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -87,9889 +/- 11,0783 [-99,0672, -76,9106]

Prueba t de student para comparar medias

Las medias de las temperaturas en la simulación 1 (con rociadores) y la simulación 2 (sin rociadores) son iguales.

Hipótesis nula: $media1 = media2$

Las medias de las temperaturas en la simulación 1 (con rociadores) y la simulación 2 (sin rociadores) no son iguales

Hipótesis Alternativa: $media1 \neq media2$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -16,141$ valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$ y se acepta la hipótesis alternativa, esto quiere decir que la simulación de un Sistema contra Incendios mediante el uso de rociadores en la LACONAL a través de la utilización de CFAST si incide en la disminución de temperaturas finales de los 18 compartimentos.

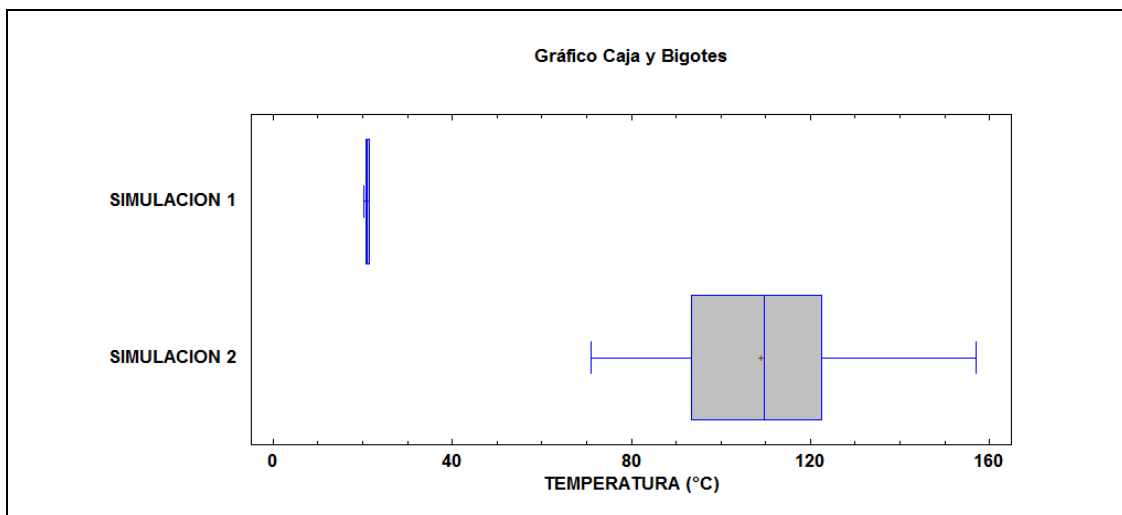


Figura 21. *Gráfico Caja y Bigotes.* Representación que describe la temperatura en cada simulación

La Figura 21 despliega 2 diagramas de caja y bigotes, una para cada simulación, se observó la variación de temperaturas en la simulación 1 son ínfimas, sin embargo en

la simulación 2 la parte rectangular de la gráfica se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, la parte izquierda de la caja es mayor que la de la derecha; ello quiere decir que las temperaturas comprendidas entre el 25% y el 50% de la simulación 2 está más dispersa que entre el 50% y el 75%. La línea central dentro de la caja indica la localización de la mediana. El bigote de la izquierda es más corto que el de la derecha; por ello el 25% de las temperaturas están más concentrados que el 25% de las temperaturas más altas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Las condiciones de extinción para el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL corresponden para un área de 264.04 m², un caudal total para el sistema de 4119.02 L/min y un volumen de agua para la fuente de abastecimiento de 596645.17 L según las normas NFPA 13 y UNE 12845, siendo el compartimento más crítico el área de Administración.

Las condiciones Físicoquímicas y Termodinámicas de los materiales estructurales en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL para paredes, piso y techo fueron conductividad en kW/(m °C), calor específico en kJ/(kg °C), densidad en kg/m³, espesor en m y emisividad, necesarios para correr la simulación CFAST según la Norma Ecuatoriana de la construcción.

El tiempo de activación más temprano fue en el sprinkler 20 a los 17 segundos ubicado en el compartimento 16 (Administración) debido a que presentó una carga ponderada de fuego y el último en el sprinkler 4 a los 553 segundos en el compartimento 3 (Área aséptica) con una presión de 101500 Pa, una temperatura promedio de 20 °C equivalentes a la ciudad de Ambato, un porcentaje de oxígeno del 5% según la simulación 1 con el CFAST y la norma NFPA 13 y UNE 12845.

5.2 Recomendaciones

Establecer cuál es la variable más significativa en la Simulación.

Comparar con otro simulador, por ejemplo FDS, es un simulador desarrollado igualmente que CFAST por la National Institute of Standards and Technology, el cual es un modelo computacional de dinámica de fluidos, enfocado al transporte de calor y de gases de un incendio.

Realizar una simulación de explosión para evaluar el efecto de explosiones sobre elementos estructurales sencillos, como vigas, columnas o paredes

MATERIAL DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas

- Abreu, J. A. C., Portilla, I. D. A., Urrutia, I. M. L., & Santos, I. P. E. DINAMICA DEL INCENDIO EN EDIFICIOS MEDIANTE MODELADO Y SIMULACIÓN COMPUTACIONAL: CFAST, OZONE, FDS.
- Acosta. (2017). Seminario práctico de modelización del fuego en recintos Seminario práctico de modelización del fuego en recintos Madrid.
- Alvear. (2007). Modelado y simulación computacional de incendios en la edificación: Ediciones Díaz de Santos.
- Balladares , I., & Bermeo, A. (2012). Diseño de un sistema de seguridad industrial para el edificio de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional. Quito, 2012.
- Bounagui, A., Kashef, A., & Benichou, N. (2004). Heat Release Methods.
- Bounlandier , J., Fernández, F., Garayoa, J., Orta, C., & Anitua , P. (2017). Manuel de Extinción de Incendios Pamplona
- Cabrera, J. (2016). TRIANGULO DEL FUEGO OXIGENO CALOR COMBUSTIBLE Sólidos / Pirólisis. España.
- Cárdenas, C. (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., Universidad Austral de Chile.
- Catalina, A., & Gonzalo, D. (2013). Evaluación de rociadores automáticos de acuerdo con la norma UNE-EN 12845.
- Cedeño, L (2010). Proyecto, Construcción e Instalación de Sistema Contra Incendio para una Central de Generación Eléctrica Escuela Superior Politécnica del Litoral

- Cordova, M. (2019). FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA PARA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS. EXTINCIÓN POR AGUA Y ESPUMAS. . Ambato.
- Córtes, M. (2010). DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO IGNÍFUGO PARA APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN. Mexico.
- Cruz, L., & Lozano, M. (2012). Diseño de un Sistema Contra Incendios para el Área de Producto Terminado de una Planta Elaboradora de Pinturas.
- Duarte , G., & Piqué, T. (2001). Evaluación del Riesgo de Incendio. Centro Nacional de Condiciones de trabajo, España.
- Giménez. (2012). Historia de los inicios de los rociadores para la protección contra incendios. Prefireblog.
- GUNT. (2018). Ingeniería Térmica
- Izquierdo, Á. (2013). Rociadores Automáticos. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid.
- Lozano, E. M., & León, N. B. (2017). Diseño de un Sistema Contra Incendio para una Empresa Productora de Cereales: Universidad Estatal de Guayaquil Ecuador.
- Martínez, B., Ruiz Rosado, O., Gallardo López, F., Pérez Hernández, P., Martínez Becerra, Á., & Vargas Villamil, L. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura. Tropical and subtropical agroecosystems, 14(3), 999-1010.
- MIDUVI. (2018). Norma Ecuatoriana de la Construcción
- MIES. (2009). Registro Oficial.
- Migoya , E. (2003). Modelo zonal para la simulación del movimiento de humos y gases calientes en incendios: aplicación a túneles de carretera. Industriales.
- Naranjo, L., & Núñez, E. (2017). ESTADO DEL ARTE DE LOS DIFERENTES METODOS DE CÁLCULO DE UN SISTEMA DE EVACUACIÓN DE HUMOS.
- NFPA. (2016). NFPA 13 Standard for the Installation of sprinkler systems.

- Peacock, R. D., Jones, W., Reneke, P., & Forney, G. (2005). CFAST–Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User’s Guide. NIST Special Publication, 1041.
- Quezada, V. (2015). TRABAJO DE TITULACIÓN “DISEÑO DE UNA RED DE AGUA PARA ACCIONAR SPRINKLERS CONTRA INCENDIOS EN EL EDIFICIO 7000 MULTIMEDIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE”.
- Ramírez, J. (2016). Diseño de un sistema de distribución de agua para la instalación de hidrantes en la sede central del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Secureweek. (2018). NFPA 13-2019: Norma para la instalación de sistemas de rociadores.
- Silva, M (2015). Diseño del Sistema Hidráulico de Extinción contra incendios de los edificios de la contraloría en Guayaquil bajo norma NFPA 13. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Tankeros, 2019. Depósitos para reserva de agua. España
- Torres, T. (2019). Estructura y diseño técnico de sistema de Protección Contra Incendios en una Industria de Plástico Bajo Norma NFPA.

ANEXOS

Anexo A

Aprobación del Tema



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
Y BIOTECNOLOGÍA
CONSEJO DIRECTIVO
Av. Los Chasquis y Río Payamino
Teléfonos: 032400987 032400989
E-mail: fcial@uta.edu.ec



RESOLUCIÓN: FCIAB-0967-CD-P-2019

Consejo Directivo de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, en sesión ordinaria efectuada el primero de agosto de dos mil diecinueve, en conocimiento del Acuerdo FCIAB-UT-BQ-246-2019, enviado por la Dra. Mayra Paredes presidenta de la Unidad de Titulación de la Carrera de Ingeniería Bioquímica, mediante el cual adjunta el Informe de validación y autorización del Cambio de Modalidad de Titulación solicitado por la señorita ZURITA CASTRO FERNANDA BETSABE, de "PROPUESTA TECNOLÓGICA" a la Modalidad de Titulación "SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS PRÁCTICAS DE INVESTIGACIÓN Y/O INTERVENCIÓN", con el tema Preliminar "DISEÑO DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA CFAST EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS LACONAL", y tutor sugerido al Mg. Manolo Córdova, Profesor de la Facultad.

RESUELVE:

APROBAR EL Cambio de Modalidad de Titulación solicitado por la señorita ZURITA CASTRO FERNANDA BETSABE, de "PROPUESTA TECNOLÓGICA" a la Modalidad de Titulación "SISTEMATIZACIÓN DE EXPERIENCIAS PRÁCTICAS DE INVESTIGACIÓN Y/O INTERVENCIÓN", con el tema Preliminar "DISEÑO DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA CFAST EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS LACONAL", y tutor sugerido al Mg. Manolo Córdova, Profesor de la Facultad.

Ambato, 01 de agosto de 2019

Atentamente,

Dra. Jacqueline Ortiz
PRESIDENTA





C.C.
DECANATO
SUBDECANATO
COORDINACIÓN ALIMENTOS
ZURITA CASTRO FERNANDA BETSABE
SECRETARIA DE FACULTAD

JOE/ADP

Anexo B

Certificación de la fase experimental

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
LABORATORIO DE CONTROL Y ANÁLISIS DE ALIMENTOS, LACONAL 
Dirección: Av. Los Chasquis y Río Payamino, Campus Huachi, Ambato- Ecuador Teléfono: 2400987 ext. 5517

Certificación N. 2019-LACONAL-09
Ambato, 06 de diciembre de 2019

CERTIFICACIÓN


Por medio del presente, a petición de la interesada, Srta. Fernanda Betsabe Zurita Castro, Ci: 1804659785, estudiante de Décimo semestre (prórroga gratuita) de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología, Carrera de Ingeniería Bioquímica, **Certifico** que la Srta. Fernanda Zurita ha realizado la parte experimental del trabajo de titulación con el tema: "Diseño de un Sistema contra Incendios mediante la utilización de la herramienta CFAST en el Laboratorio de Control y Análisis de Alimentos LACONAL" desde el 17 de julio hasta el 21 de octubre de 2019 bajo la coordinación del Ing. Manolo Córdova.

Las actividades que la Srta. Fernanda Zurita realizó son las siguientes:

- Mediciones de cada compartimento
- Mediciones de ventanas y puertas en cada compartimento
- Ubicación de las coordenadas posición x, y, z para cada compartimento incluido ventanas y puertas
- Ubicación de coordenadas de los objetos a simular

La interesada puede hacer uso del presente como considere conveniente

Atentamente,


Ing. Gladys Risueño
DIRECTORA (E)
Laboratorio LACONAL

Anexo C

Tabla 3. *Plantilla para Áreas de las distintas dependencias de LACONAL*

Dependencias	Área (m²)
Administración	40.21
Baño de clientes	4.22
Sala de reactivos 1	8.41
Oficina de dirección técnica	15.91
Vestidor y baño de Mujeres	12.46
Sala de reactivos 2	9.93
Sala de balanzas	10.26
Vestidor y baño de Hombres	16.13
Área de Fisicoquímica	74
Área Aséptica	34.89
Área estéril	6.17
Área instrumental	22.30
Corredor de mantenimiento	9.15
Área total	264.04

Anexo D

Tabla 4. *Clasificación y características de las ocupaciones de Riesgos*

Clasificación de ocupaciones	Características
Riesgo leve	La cantidad y/o combustibilidad de los contenidos es baja, y se esperan incendios con bajo índice de liberación de calor.
Riesgo ordinario grupo 1	La combustibilidad es baja. La cantidad de combustible es moderada. Las pilas de almacenamiento no superan los 2.4 m de altura y se esperan incendios con un índice de liberación de calor moderado.
Riesgo ordinario grupo 2	La combustibilidad es baja. La cantidad de combustible es de moderada a alta, las pilas de almacenamiento de combustibles no superan los 3.7 m de altura, y se esperan incendios con índice de liberación de calor moderados a altos
Riesgo 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.

Anexo E

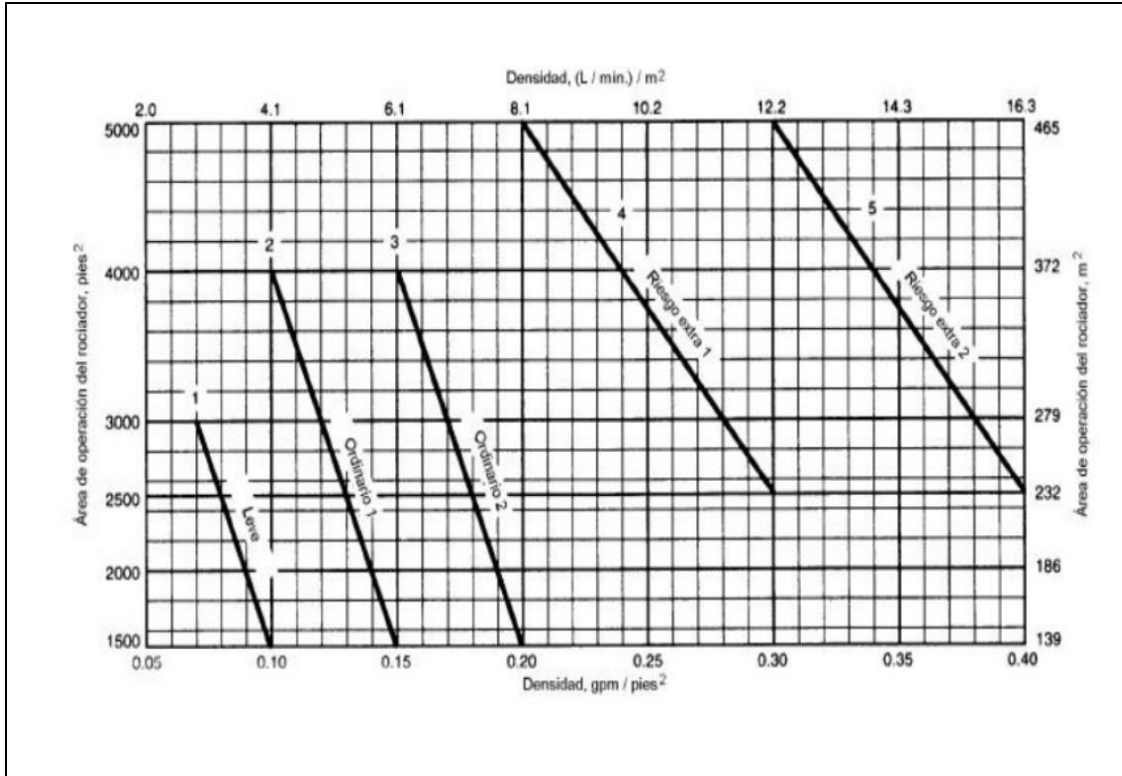


Figura 3. Curva Área/densidad

Fuente: Norma 13 NFPA

Anexo F

Caudal total de rociadores

$$Q_{TR} = Ad * \rho$$
$$Q_{TR} = 264.04 \text{ m}^2 * 15.6 \text{ L/min/ m}^2$$
$$Q_{TR} = 4119.02 \text{ L/min}$$

Número de Rociadores

$$\text{Número de Rociadores} = \frac{Q_{TR}}{Q_R}$$
$$\text{Número de Rociadores} = \frac{4119.02 \text{ L/min}}{182 \text{ L/min}}$$
$$\text{Número de Rociadores} = 23.76 \approx 24$$

Caudal total del sistema

$$Q_{\text{total}} = (1.15 * Q_{TR}) + Q_{\text{mang}}$$
$$Q_{\text{total}} = (1.15 * 4119.02 \text{ L/min}) + 1892.5 \text{ L/min}$$
$$Q_{\text{total}} = (1.15 * 4119.02 \text{ L/min}) + 1892.5 \text{ L/min}$$
$$Q_{\text{total}} = 6629.37 \text{ L/min}$$

Volumen de abastecimiento de agua

$$V = Q_{\text{total}} * t$$
$$V = 6629.37 \text{ L/min} * 90 \text{ min}$$
$$V = 596643.57 \text{ L}$$

Anexo G

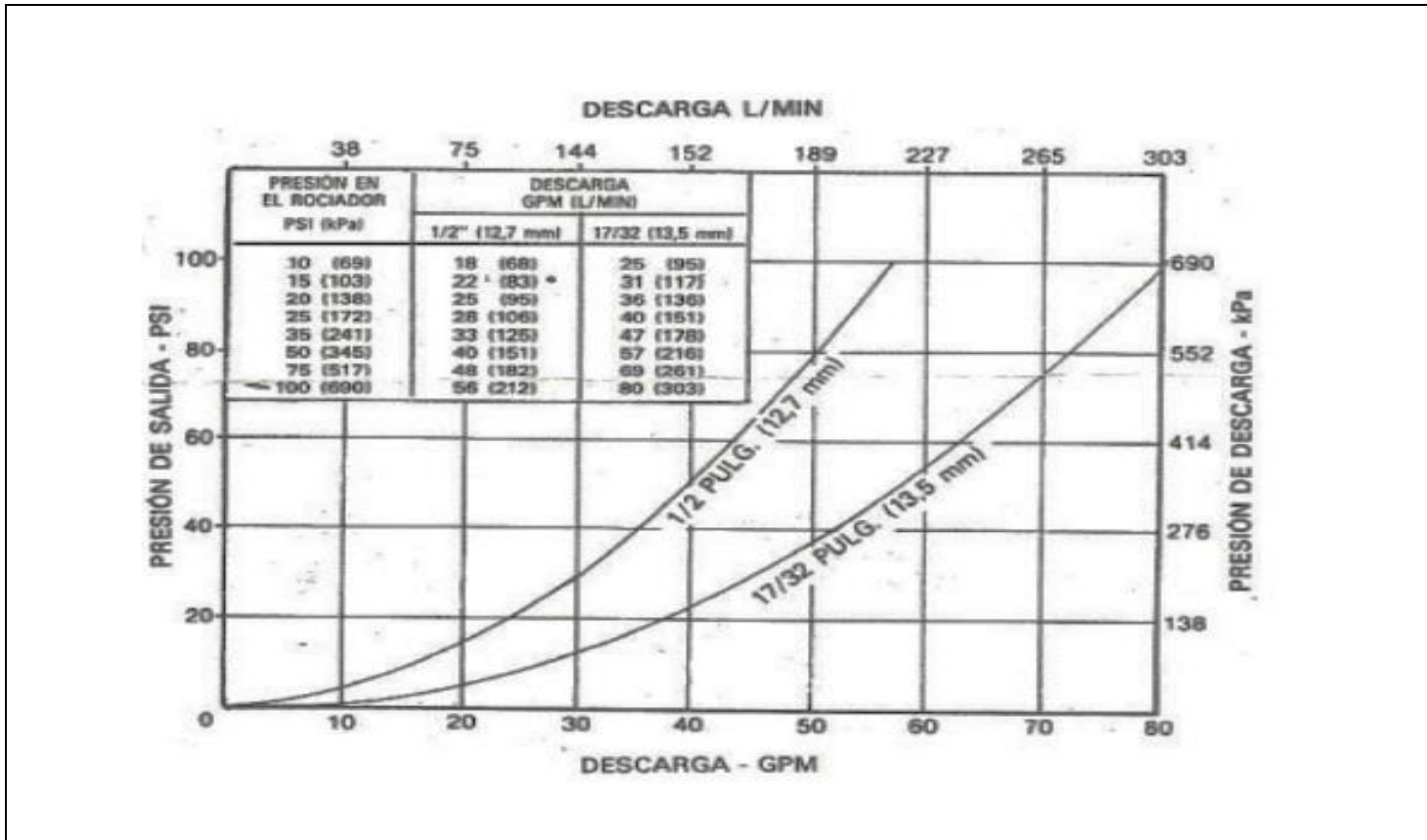


Figura 4. Descarga de agua de un rociador de 1/2" y 17/32" de orificio nominal

Anexo H

Tabla 5. *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

Anexo I

Tabla 6. *Propiedades térmicas de los materiales de construcción*

Tipo de material	Material	Propiedades térmicas		
		Conductividad térmica $\frac{K}{\left(\frac{W}{mK}\right)}$	Calor específico C_p $\left(\frac{J}{kgK}\right)$	Densidad ρ $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
Piedra	Piedra – piedra compacta	3.49	840.1	2880
	Roca compacta	3.50	880.1	2750
	Piedra	1.83	712.1	2200
Asbestos, hormigón, bloques de hormigón	Hormigón	1.40	837.1	2220
	Concreto de mediana densidad	1.35	1000.1	1800
	Hormigón armado	1.63	1050.1	2400
	Asbesto	0.36	1050.1	1500
	Fibrocemento	0.93	1250.1	2000
	Bloque de concreto	0.62	840.1	1040
	Concreto muy baja densidad	0.05	-	305
	Bloque de concreto	0.49	-	-
	Bloque hormigón celular vapor L	0.35	-	600
	Bloque hormigón celular vapor M	0.41	-	800
	Bloque hueco hormigón L	0.44	-	1000
	Bloque hormigón celular vapor p	0.47	-	1000
	Bloque hueco hormigón M	0.49	-	1200
	Bloque hueco hormigón P	0.56	-	1400
	Bloque hormigón ligero macizo	0.33	1050.1	1000
	Bloque hormigón ligero	0.56	1050	1400
Lana mineral (panel)	0.042	1030	12	
Lana mineral (manta/rollo)	0.038	1030	25	

	Poliestireno expandido (EPS)	0.04	1450	15
	Poliestireno extruido (XEPS)	0.035	1400	40
	Espuma de poliuretano	0.025	1400	30
	Espuma de urea formaldehído	0.04	1400	10
Materiales aislantes	Fibra de vidrio	0.046 a 0.048	800	7.5 a 8.2
	Lana de roca o lana de escoria	0.036 a 0.037	800	32 a 37
		0.033 a 0.035	800	45
	Celulosa en spray para cavidades en paredes	0.039 a 0.040	-	26 a 42
	Fibra de vidrio en spray para cavidades en paredes o áticos	0.039 a 0.042	-	16
		0.033 a 0.037	-	29 a 37
		Ladrillo común	0.80	840
	Ladrillo de sílice	1.07	-	1900
	Ladrillo de magnesita	2.68	1130	2000
	Ladrillo macizo	0.87	1330	1800
	Ladrillo aireado	0.30	840	1000
	Ladrillo quemado	0.85	840	1500
Ladrillos, adobes	Ladrillo	0.75	880	1730
	Ladrillo al cromo	2.32	840	3000
	Adobe	0.95	920	1600
	Adobe	0.58	850	1280
	Ladrillo hueco	0.49	-	1200
	Ladrillo perforado	0.76	-	1600
	Ladrillo sílico – calcáreo	0.79	-	1600
	Ladrillo cerámico macizo	0.87	-	1800
	Gypsum	0.25	1000	900
Yesos	Placas de escayola	0.3	-	800
	Mortero de yeso	0.76	-	1000
	Placas de yeso	0.29 - 0.58	-	600 – 1200
	Yeso	0.81	837	1800
		Maderas frondosas	0.2	-

	Madera de coníferas	0.14	-	600
	Contrachapado	0.14	-	600
	Plywood 19.0 mm	0.10	1880	450
	Tablero de partículas de madera	0.14	1700	600
	Tablero aglomerado de partículas	0.08	-	650
	Tableros de fibra orientada	0.13	1700	6510
Maderas	Madera de roble	0.19	2390	700
	Madera	0.13	1381	840
	Madera de abedul	0.14	1884	650
	Madera de alerce	0.11	1298	650
	Madera de arce	0.34	1591	750
	Madera de chopo	0.15	1340	650
	Madera de fresno	0.34	1591	750
	Madera de haya	0.14	1340	800
	Madera de haya blanca	0.14	1340	700
	Madera de pino	0.16	1298	650
	Madera de pino blanco	0.11	1465	550
	Madera de roble	0.20	2386	850
	Plásticos	Policarbonato	0.19 – 0.22	1200

Anexo J

Tabla 7. *Propiedades de paquetes constructivos*

Elemento constructivo	Paquete constructivo	Componentes	Espesor (cm)	Densidad ($\frac{Kg}{m^3}$)	Conductividad térmica ($\frac{W}{mK}$)
Paredes	Ladrillo sin revestimientos	Ladrillo	15	1920	0.72
		Enlucido exterior	1	1300	0.5
	Ladrillo con revestimientos	Ladrillo	15	1920	0.72
		Enlucido interior	1	1760	0.72
	Bloque de concreto (15cm)	Enlucido exterior	1	1300	0.5
		Bloque de concreto	15	1040	0.62
		Enlucido interior	1	1760	0.72
	Bloque de concreto (20cm)	Enlucido exterior	1	1300	0.5
		Bloque de concreto	20	1040	0.62
		Enlucido interior	1	1760	0.72
	Madera (paneles OSB)	Panel OSB	1.27	650	0.105
	Caña no revestida	Caña guadua	0.6	714	0.3
	Caña revestida	Enlucido exterior	1	1300	0.5
		Caña guadua	1	714	0.3
		Enlucido interior	1	1760	0.72
Adobe	Adobe	30	1440	0.76	
Hormigón	Hormigón	15	2000	1.13	
Panel	Lámina metálica	0.04	7800	50	

	metálico	Poliuretano	10	30	0.04
		Lámina metálica	0.04	7800	50
	Panel de	Gypsum	2	900	0.3
	gypsum	Poliuretano	10	30	0.04
	aislado	Gypsum	2	900	0.3
	Panel OSB	OSB	0.6	650	0.1
	aislado	Poliuretano	10	30	0.04
		OSB	0.6	650	0.1
	Panel de	Triplex	0.6	525	0.12
	triplex aislado	Poliuretano	10	30	0.04
		Triplex	0.6	525	0.12
	Losa	Hormigón armado	10	2400	2.3
	hormigón				
Techos	Teja	Teja de arcilla	2.5	2000	1
	Zinc	Zinc	0.6	7200	110
	Paja	Paja	2	270	0.09
	Fibrocimiento	Panel de	0.6	1120	1
		fibrocemento			
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
	Vidrio simple	Vidrio transparente	0.3	-	0.9
	(3 mm)				
	Vidrio simple	Vidrio con lamina	0.3	-	0.9

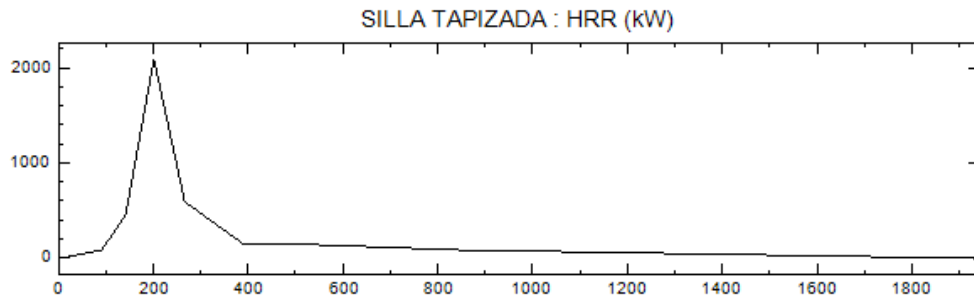
Ventanas	Vidrio simple	Vidrio transparente	0.6	-	0.9
	(6 mm)				
		Vidrio transparente	0.3	--	0.9
	Vidrio doble	Aire	0.6	-	-
(3mm)	Vidrio transparente	0.3	-	0.9	

Anexo K

Curvas HRR

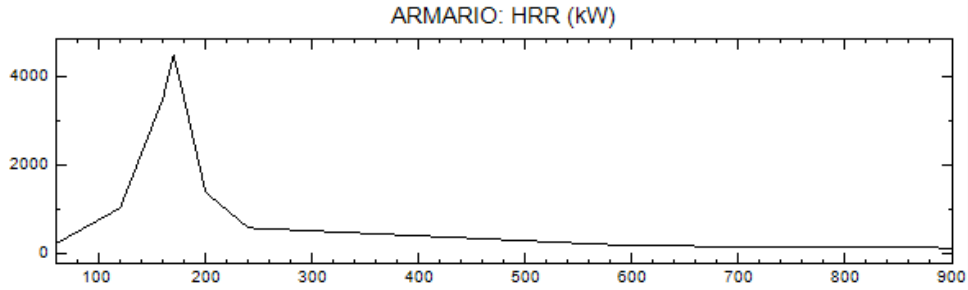
1. Plantilla para la curva HRR de una silla tapizada

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



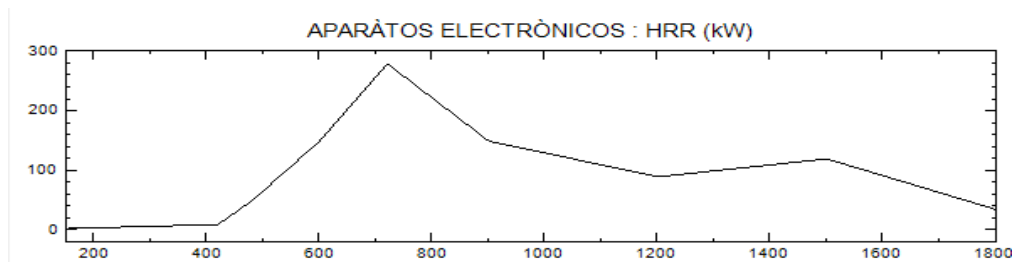
2. Plantilla para la curva HRR de un armario

Tiempo S	HRR KW	Altura m	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
60	250	0	0.500	0.0062	0.015
120	1050	0	0.500	0.0062	0.015
160	3500	0	0.500	0.0062	0.015
170	4500	0	0.500	0.0062	0.015
180	3500	0	0.500	0.0062	0.015
200	1400	0	0.500	0.0062	0.015
240	600	0	0.500	0.0062	0.015
600	200	0	0.500	0.0062	0.015
900	150	0	0.500	0.0062	0.015



3. Plantilla para la curva HRR de aparatos electrónicos

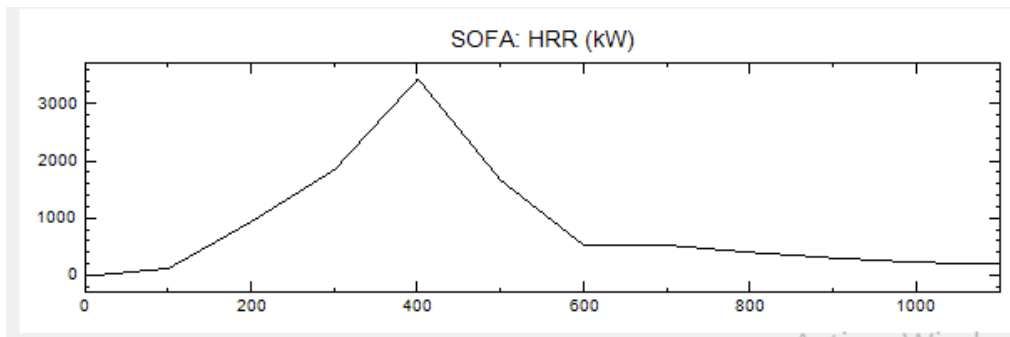
Tiempo S	HRR KW	Altura m	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
150	3	0	0.500	0.0617	0.164
420	10	0	0.500	0.0617	0.164
480	50	0	0.500	0.0617	0.164
600	150	0	0.500	0.0617	0.164
720	280	0	0.500	0.0617	0.164
900	150	0	0.500	0.0617	0.164
1200	90	0	0.500	0.0617	0.164
1500	120	0	0.500	0.0617	0.164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



4. Plantilla para la curva HRR para sofá

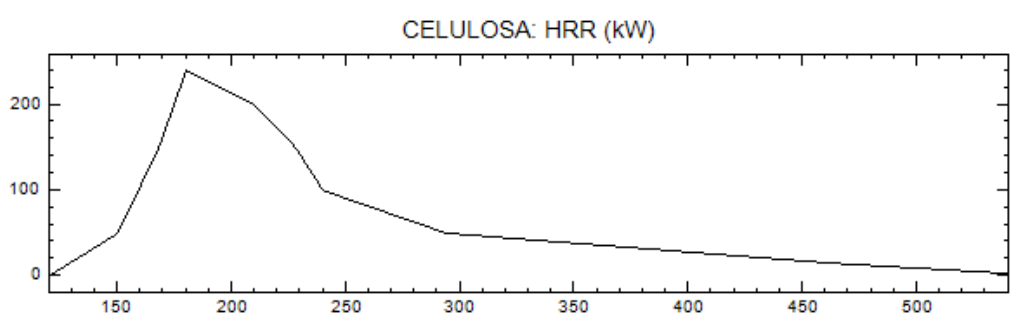
Tiempo S	HRR KW	Altura M	Área m ²	Rendimiento de CO	Rendimiento de hollín
0	0	0	0.500	0.0494	0.131
100	135.9	0	0.500	0.0494	0.131
200	953.9	0	0.500	0.0494	0.131
300	1864	0	0.500	0.0494	0.131
400	3447	0	0.500	0.0494	0.131
500	1667	0	0.500	0.0494	0.131

600	531.7	0	0.500	0.0494	0.131
700	539.3	0	0.500	0.0494	0.131
800	415.9	0	0.500	0.0494	0.131
900	317.4	0	0.500	0.0494	0.131
1000	240.8	0	0.500	0.0494	0.131
1100	216.6	0	0.500	0.0494	0.131



5. Plantilla para la curva HRR para celulosa

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



Anexo L

Tabla 8. *Clasificación de temperaturas*

Temperatura máxima en el techo		Ámbito de temperatura		Clasificación de temperatura	Código de color	Color de la ampolla de vidrio
°F	°C	°F	°C			
100	38	135 a 170	57 a 77	Ordinaria	Sin color o negro	Naranja o rojo
150	66	175 a 225	79 a 107	Intermedia	Blanco	Amarillo o verde
225	107	250 a 300	121 a 149	Alta	Azul	Azul
300	149	325 a 375	163 a 191	Extra alta	Rojo	Violeta
375	191	400 a 475	204 a 246	Extra muy alta	Verde	Negro
475	246	500 a 575	260 a 302	Ultra alta	Naranja	Negro
625	329	650	343	Ultra alta	Naranja	Negro

Anexo M

Tabla 9. *Criterios de diseño para RL, RO y RE*

Clase de riesgo	Densidad de diseño	Área de operación m²	
Riesgo leve	m/s 0.0000375	Mojada o acción previa 84	Seca o alterna 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.