

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

"ANÁLISIS DE LA FLAMABILIDAD DE PLACAS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) UTILIZADAS EN TOMACORRIENTES CON EL FIN DE DETERMINAR SU ÍNDICE DE FLAMABILIDAD, SEGÚN LA NORMA NTE INEN-ISO 11925-2."

AUTOR: Alexis Gabriel Guayaquil Peralta

TUTOR: Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"ANÁLISIS DE LA FLAMABILIDAD DE PLACAS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) UTILIZADAS EN TOMACORRIENTES CON EL FIN DE DETERMINAR SU ÍNDICE DE FLAMABILIDAD, SEGÚN LA NORMA NTE INEN-ISO 11925-2."**, elaborado por el estudiante **Alexis Gabriel Guayaquil Peralta**, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0550558068, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025



.....

Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Alexis Gabriel Guayaquil Peralta, con C.I. 0550558068, declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ANÁLISIS DE LA FLAMABILIDAD DE PLACAS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) UTILIZADAS EN TOMACORRIENTES CON EL FIN DE DETERMINAR SU ÍNDICE DE FLAMABILIDAD, SEGÚN LA NORMA NTE INEN-ISO 11925-2."**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2025



.....

Alexis Gabriel Guayaquil Peralta

C.I. 0550558068

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental 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 Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento 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.

Ambato, febrero 2025



.....

Alexis Gabriel Guayaquil Peralta

C.I. 0550558068

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante Alexis Gabriel Guayaquil Peralta de la carrera de Mecánica bajo el tema: **"ANÁLISIS DE LA FLAMABILIDAD DE PLACAS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) UTILIZADAS EN TOMACORRIENTES CON EL FIN DE DETERMINAR SU ÍNDICE DE FLAMABILIDAD, SEGÚN LA NORMA NTE INEN-ISO 11925-2."**.

Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. María Belén Paredes Robalino, Mg.	**Ing. Christian Byron Castro Miniguano, Mg.**
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

Con gran alegría dedico este trabajo de titulación a mi familia, quienes han sido el soporte, la guía y el impulso a lo largo de mi aventura académica, llenándome de sabiduría, enseñanzas, paciencia y la determinación necesaria para finalizar esta etapa.

Expreso mi más grande agradecimiento a mi familia, Wenseaslao Guayaquil, Consuelo Peralta e Isabel Guayaquil, cuyo apoyo, amor y grandes sacrificios me dieron las fuerzas y valentía para recorrer este duro camino y alcanzar este logro. Estoy sumamente agradecido por depositar toda su fe y confianza en mí, por demostrarme el verdadero amor de una familia y no decaer por más difícil que sea la situación, ustedes me enseñaron que con paciencia y esfuerzo todo se puede lograr.

Además, también dedico esta tesis a mi segunda familia, Omar Balseca, Karina Peralta, Esteban Balseca, Eva Villacis y Luis Peralta quienes también me acompañaron durante este duro camino, supieron darme su apoyo cuando más los necesite, nunca me han dejado solo y siempre han estado presentes en cada etapa de mi vida, ustedes también forman parte de este logro que he alcanzado. Su amor y cariño siempre los llevo presentes y tendrán siempre mi eterna gratitud.
Con mucho amor y cariño,

Alexis Gabriel Guayaquil Peralta.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por ayudarme a recorrer este camino tan difícil, darme las herramientas necesarias para avanzar en esta etapa y poder superar cada desafío que se me ha presentado.

Expreso mi más grande agradecimiento a mi familia Wenseaslao Guayaquil, Consuelo Peralta e Isabel Guayaquil, quienes han hecho sacrificio tras sacrificio para que yo pueda obtener este logro, sin su apoyo y amor incondicional no pude haber llegado tan lejos, gracias por creerme en mí, gracias por siempre estar ahí, por jamás dejarme solo, por siempre estar unidos aunque la situación se torne muy difícil, de ustedes aprendí que rendirme no es una opción, que siempre abra solución para todo tarde o temprano, que el esfuerzo y trabajo duro siempre serán recompensados, este logro no es solo mío, es por ustedes y de ustedes quienes fueron, son y serán siempre las personas más importantes en mi vida.

A mi segunda familia, Omar Balseca, Karina Peralta, Esteban Balseca, Eva Villacis y Luis Peralta, gracias por toda la ayuda y amor brindando a lo largo de este camino, estoy sumamente agradecido por el apoyo que me dan, por extenderme la mano y siempre estar ahí para mí.

Y por último quiero agradecer a los amigos que me acompañaron en toda esta aventura, por demostrarme el verdadero significado de la amistad, por haber peleado juntos hombro con hombro en las situaciones más difíciles, gracias por haber compartido risas, lágrimas y sangre juntos, los llevare siempre en mi corazón y nunca olvidare cada historia que hemos vivido juntos.

Con amor, gratitud y cariño,
Alexis Gabriel Guayaquil Peralta.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL viii

ÍNDICE DE TABLAS xii

ÍNDICE DE FIGURAS xiii

RESUMEN EJECUTIVO xviii

ABSTRACT xix

CAPÍTULO I 1

MARCO TEÓRICO 1

1.1. Antecedentes Investigativos 1

1.2. Fundamentación teórica 3

1.2.1. Índice de flamabilidad 3

1.2.2. Policloruro de vinilo (PVC) 3

1.2.3. Características del PVC 4

1.2.4. Aplicaciones del PVC 5

1.2.5. Tomacorrientes 5

1.2.6. Ciencia del fuego 6

1.2.7. Combustible 7

1.2.8. Caracterización térmica 8

1.2.9. Ensayo de flamabilidad 12

1.2.10. Normativas 12

1.2.11. Gases producidos por la combustión 15

1.2.12. Cámara Termográfica 15

1.2.13. Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) 16

1.3. Objetivos 16
1.3.1. Objetivo General: 16
1.3.2. Objetivos Específicos: 16
1.4. Hipótesis 17
CAPÍTULO II 18
METODOLOGÍA 18
2.1. Materiales, equipos y herramientas. 18
2.1.1. Materiales 18
2.1.1.1. Características del material de muestra a ensayar 18
2.1.1.2. Tapas de tomacorrientes de PVC 19
2.1.2. Equipos 20
2.1.3. Herramientas 21
2.2. Métodos 23
2.2.1. Ubicación 23
2.2.2. Tipo de Investigación 23
2.2.3. Población y muestra 23
2.2.4. Recolección de información 25
2.2.5. Procesamiento de la información y Análisis Estadístico 25
2.2.6. Variables 25
2.3. Procedimiento general de ensayos de flamabilidad 26
2.3.1. Procedimiento para realizar los ensayos bajo la norma NTE INEN-ISO 11925-2 26
2.4. Medición del cambio de temperaturas presentes en el material sometido al fuego mediante el uso de la cámara termográfica. 38
2.5. Captación de gases producidos mediante el medidor de gases 39
2.6. Metodología general para el desarrollo de la simulación 40
CAPÍTULO III 45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 45
3.1. Análisis y discusión de los resultados 45

3.1.1. Datos obtenidos bajo la norma NTE INEN-ISO 11925-2 para policloruro de vinilo (PVC). 46
3.1.1.1. Probetas longitudinales y transversales sometidas a llama a borde 46
3.1.1.2. Probetas longitudinales y transversales sometidas a llama en superficie 49
3.1.2. Análisis e interpretación de resultados 51
3.1.2.1. Análisis del ensayo de probetas a borde a 30 segundos 51
3.1.2.2. Análisis del ensayo de probetas a borde a 60 segundos 52
3.1.2.3. Análisis del ensayo de probetas a superficie a 30 segundos 53
3.1.2.4. Análisis del ensayo de probetas a superficie a 60 segundos 54
3.1.3. Discusión de resultados 55
3.2. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación según la norma UNE-EN 13501:1 61
3.3. Análisis de gases captados en la combustión del PVC 62
3.4. Comparación de resultados obtenidos mediante ensayos experimentales de flamabilidad con la simulación de ensayos de flamabilidad mediante software especializado 64
3.4.1. Resultados de cámara térmica y simulación en tipo de ensayo a superficie por 60 segundos 65
3.4.2. Interpretación de variación de temperaturas 68
3.4.3. Porcentaje de variación de temperaturas obtenidas en ensayo a superficie de 60 segundos 69
3.4.4. Resultados de cámara térmica y simulación en tipo de ensayo a superficie por 30 segundos 69
3.4.5. Interpretación de variación de temperaturas 72
3.4.6. Porcentaje de variación de temperaturas obtenidas en ensayo a superficie de 30 segundos 72
3.4.7. Resultados de cámara térmica y simulación en tipo de ensayo a borde por 60 segundos 73
3.4.8. Interpretación de variación de temperaturas 76
3.4.9. Porcentaje de variación de temperaturas obtenidas en ensayo a borde de 60 segundos 76

3.4.10. Resultados de cámara térmica y simulación en tipo de ensayo a borde por 30 segundos 76
3.4.11. Interpretación de variación de temperaturas 79
3.4.12. Porcentaje de variación de temperaturas obtenidas en ensayo a borde de 30 segundos 79
3.4.13. Resumen de temperaturas y variaciones obtenidas 80
3.5. Validación de hipótesis 80
3.5.1. Cálculo de la Prueba binominal 80
CAPÍTULO IV 83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 83
4.1. Conclusiones 83
4.2. Recomendaciones 84
BIBLIOGRAFÍA 86
APÉNDICE A: GUÍA GENERAL PARA SIMULAR ENSAYOS DE FLAMABILIDAD EN SOFTWARE ESPECIALIZADO 91
Creación del modelo 3D 91
Programa especializado en la simulación de incendios en 3D 92
Creación de combustible 100
Creación de material 102
Parámetros del material 102
Creación de superficies 105
Creación de Slices 111
Asignación de superficies a objetos 114
Creación de malla y sus parámetros 116
Parámetros de análisis 121
Como ejecutar la simulación 125
Como ejecutar la simulación en la nube. 126
Ventana de visualización de resultados 131
ANEXOS 135

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I PROPIEDADES DEL PROPANO 8
TABLA II PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN ADICIONALES 14
TABLA III EQUIPOS 20
TABLA IV HERRAMIENTAS 21
TABLA V ROTULACIÓN DE PROBETAS 24
TABLA VI PESOS DE PROBETAS ANTES Y DESPUÉS DEL ACONDICIONAMIENTO 32
TABLA VII PARÁMETROS ESTABLECIDOS 45
TABLA VIII DATOS OBTENIDOS A BORDE A 30 SEGUNDOS 46
TABLA IX DATOS OBTENIDOS A BORDE A 60 SEGUNDOS 47
TABLA X DATOS OBTENIDOS A SUPERFICIE A 30 SEGUNDOS 49
TABLA XI DATOS OBTENIDOS A SUPERFICIE A 60 SEGUNDOS 50
TABLA XII ANÁLISIS DE PARÁMETROS A BORDE A 30 SEGUNDOS 52
TABLA XIII ANÁLISIS DE PARÁMETROS A BORDE A 60 SEGUNDOS 53
TABLA XIV ANÁLISIS DE PARÁMETROS A SUPERFICIE A 30 SEGUNDOS 54
TABLA XV ANÁLISIS DE PARÁMETROS A SUPERFICIE A 60 SEGUNDOS .. 55
TABLA XVI RECOPILACIÓN DE RESULTADOS 56
TABLA XVII CLASIFICACÓN SEGÚN UNE – EN 13501:1 62
TABLA XVIII ANÁLISIS DE GASES 62
TABLA XIX RECOPILACIÓN DE DATOS DE TEMPERATURAS Y VARIACIONES OBTENIDOS 80
TABLA XX RECOPILACIÓN DE DATOS OBTENIDOS 81

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Codificación de probetas 23
Fig. 2 Probetas codificadas 24
Fig. 3 Diagrama de flujo de ensayo 28
Fig. 4 Propiedades del PVC de la página Matweb 29
Fig. 5 Probeta a ensayar 30
Fig. 6 Probetas dentro de la cámara de acondicionamiento 30
Fig. 7 Parámetros de acondicionamiento 31
Fig. 8 Pesaje de probetas acondicionadas 31
Fig. 9 Cámara de combustión 34
Fig. 10 Tamaño de llama 35
Fig. 11 Quemador a 45° 35
Fig. 12 Probeta ensayada a borde 36
Fig. 13 Punto de aplicación de la llama 37
Fig. 14 Aproximación de la llama a superficie 37
Fig. 15 Medidor de gases ubicado en la parte superior de la cámara. 39
Fig. 16 Diagrama de flujo de simulación 41
Fig. 17 Formato .Stl de almacenamiento 42
Fig. 18 Cámara de combustión 43
Fig. 19 FDS Simulation 43
Fig. 20 Resumen de ensayo de flamabilidad 57
Fig. 21 Probeta ensayada a borde a 30 segundos 58
Fig. 22 Probeta ensayada a borde a 60 segundos 59
Fig. 23 Probeta ensayada a superficie a 30 segundos 60
Fig. 24 Probeta ensayada a superficie a 60 segundos 61
Fig. 25 Colores en la superficie y escala de temperaturas 65
Fig. 26 Temperaturas a superficie a los 20 segundos en simulación 66
Fig. 27 Temperaturas a superficie a los 20 segundos captadas en cámara termográfica 66
Fig. 28 Temperaturas a superficie a los 40 segundos en simulación 67
Fig. 29 Temperaturas a superficie a los 40 segundos captadas en cámara termográfica 67

Fig. 30 Temperaturas a superficie a los 60 segundos en simulación..... 68
Fig. 31 Temperaturas a superficie a los 60 segundos captadas en cámara termográfica 68
Fig. 32 Temperaturas a superficie a los 10 segundos en simulación..... 69
Fig. 33 Temperaturas a superficie a los 10 segundos captadas en cámara termográfica 70
Fig. 34 Temperaturas a superficie a los 20 segundos en simulación..... 70
Fig. 35 Temperaturas a superficie a los 20 segundos captadas en cámara termográfica 71
Fig. 36 Temperaturas a superficie a los 30 segundos en simulación..... 71
Fig. 37 Temperaturas a superficie a los 30 segundos captadas en cámara termográfica 72
Fig. 38 Temperaturas a borde a los 20 segundos en simulación 73
Fig. 39 Temperaturas a borde a los 20 segundos captadas en cámara termográfica .. 73
Fig. 40 Temperaturas a borde a los 40 segundos en simulación 74
Fig. 41 Temperaturas a los 40 segundos captadas en cámara termográfica 74
Fig. 42 Temperaturas a borde a los 60 segundos en simulación 75
Fig. 43 Temperaturas a los 60 segundos captadas en cámara termográfica 75
Fig. 44 Temperaturas a los 10 segundos en simulación 76
Fig. 45 Temperaturas a los 10 segundos captadas en cámara termográfica 77
Fig. 46 Temperaturas a los 20 segundos en simulación 77
Fig. 47 Temperaturas a los 20 segundos captadas en cámara termográfica 78
Fig. 48 Temperaturas a los 30 segundos en simulación 78
Fig. 49 Temperaturas a los 30 segundos captadas en cámara termográfica 79
Fig. 50 Cámara de combustión en software CAD..... 91
Fig. 51 Logo de PyroSim 92
Fig. 52 Registro de correo electrónico 92
Fig. 53 Correo de verificación de cuenta 93
Fig. 54 Prueba gratuita de PyroSim 93
Fig. 55 Solicitud de prueba gratuita 94
Fig. 56 Última versión del programa 94
Fig. 57 Ingreso de clave del programa 95
Fig. 58 Programa por 30 días activado 95

Fig. 59 Interfaz de PyroSim 2024 96
Fig. 60 Sección de ayudas en la interfaz de PyroSim 96
Fig. 61 Página oficial de tutoriales de PyroSim 97
Fig. 62 Tu primer fuego 97
Fig. 63 Opción para importar archivos 98
Fig. 64 Archivos en formato Stl para importar 98
Fig. 65 Opciones de importe de archivo Stl 99
Fig. 66 Pieza importada 99
Fig. 67 Cámara de combustión en PyroSim 100
Fig. 68 Opciones de la pestaña Model 100
Fig. 69 Interfaz de la sección Edit Reactions 101
Fig. 70 Pestaña de New Particle 101
Fig. 71 Selección del combustible en la pestaña de Edit Particle 102
Fig. 72 Emisividad de materiales comunes [40] 104
Fig. 73 Espectroscopía de absorción UV/Visible de (PVC/PS) con longitud de onda a diferente concentración 104
Fig. 74 Propiedades térmicas para el material creado 105
Fig. 75 Materiales creados para usar en simulación FDS 105
Fig. 76 Nombre y tipos de superficies en PyroSim 106
Fig. 77 Asignación del material a la superficie creada 108
Fig. 78 Configuración de la sección Reaction de la superficie de la probeta 108
Fig. 79 Heat Release Rate Per Area (HRRRPUA) para PVC rígido 109
Fig. 80 Configuración de Surface Props 109
Fig. 81 Configuración de la superficie Burner 110
Fig. 82 Tiempos de activación de la fuente de calor 111
Fig. 83 Slices en 2D para la visualización de resultados 112
Fig. 84 Slices asignados 112
Fig. 85 Propiedades de Slice 113
Fig. 86 Slice en 3D 113
Fig. 87 Slice en 3D de temperatura y velocidad 114
Fig. 88 Objetos que constituyen la simulación 114
Fig. 89 Propiedades del objeto 115
Fig. 90 Asignación de superficie para el objeto 115

Fig. 91 Coordenadas de ubicación de la malla y dimensión de nodos 116
Fig. 92 Menú Refine Mesh 117
Fig. 93 Partición de malla 117
Fig. 94 Malla rodeando la sección de la probeta 118
Fig. 95 Bloque de malla que rodea la probeta refinada 118
Fig. 96 Mesh Alignment Test 119
Fig. 97 Malla desalineada 119
Fig. 98 Malla creada para simulación 119
Fig. 99 Open Mesh Boundaries 120
Fig. 100 Propiedades de sección de malla 120
Fig. 101 Malla finalizada 121
Fig. 102 Sección de configuración de la simulación en la barra de herramientas ... 121
Fig. 103 Parámetros de simulación 122
Fig. 104 Tiempo de simulación 122
Fig. 105 Tipo de simulación 123
Fig. 106 Parámetros de salida 123
Fig. 107 Parámetros del ambiente 124
Fig. 108 Temperatura de pared como parámetro de salida 124
Fig. 109 Opciones para correr la simulación 125
Fig. 110 Tiempo de procesado de simulación 125
Fig. 111. Run FDS Cloud 126
Fig. 112 Cloud FDS Parameters 126
Fig. 113. Página de registro de Cloud HPC 127
Fig. 114 Account – Profile 127
Fig. 115 Simulación ejecutada en Cloud HPC 128
Fig. 116 Mensaje de simulación finalizada 128
Fig. 117 List Storage de nuestra cuenta de Cloud HPC 129
Fig. 118 Archivos generados en Cloud HPC 129
Fig. 119 Archivos dentro de carpeta descomprimida 130
Fig. 120 Ventana de visualización de simulación generada en la nube 130
Fig. 121 Pestaña de View Results 131
Fig. 122 Árbol de operaciones de la pestaña View Results 131
Fig. 123 Fuego modelado 132

Fig. 124 Resultados FDS obtenidos 132
Fig. 125 Paleta de colores 133
Fig. 126 FDS Preferences 133
Fig. 127 Archivos de visualización 134

RESUMEN EJECUTIVO

La seguridad contra incendios es crucial en los materiales constructivos, por lo que se implementan normas de seguridad con certificados que garanticen su seguridad.

La investigación realizada analiza la flamabilidad de placas de policloruro de vinilo (PVC) utilizadas en tomacorrientes, evaluadas bajo la norma NTE INEN – ISO 11925 – 2. El objetivo de este ensayo es determinar el índice de flamabilidad del PVC, el material fue acondicionado para cumplir los parámetros que impone la norma y expuestas a una fuente de llama durante un periodo de tiempo (30 y 60 segundos) en dos tipos de configuración: borde y superficie, además de longitudinal y transversal. Los parámetros evaluados según la normativa fueron la ignición, propagación de llama hasta los 150 mm, goteo de material y la ignición del papel filtro. Los gases generados fueron captados mediante el medidor de gases, la caracterización térmica y el uso de una cámara termográfica fueron de utilidad para la elaboración de una simulación de ensayos de flamabilidad.

Los resultados en los ensayos se registraron y analizaron según la norma, ayudando a determinar el índice de flamabilidad, por las características del material, el policloruro de vinilo (PVC) posee un índice de flamabilidad bajo y se lo clasificó según su comportamiento de reacción al fuego como: A1 – s2, d0. Por último, se analizaron los niveles de toxicidad de los gases emitidos y en los resultados de la simulación se analizó la variación porcentual de temperaturas entre el real y el simulado, como aporte complementario a esta investigación.

Palabras clave: Caracterización térmica, norma NTE INEN – ISO 11925 – 2, policloruro de vinilo, PVC, ignición, auto extinguible.

ABSTRACT

Fire safety is crucial in construction materials, making the implementation of safety standards with certifications essential to ensure their reliability.

This research analyzes the flammability of polyvinyl chloride (PVC) plates used in electrical outlets, evaluated under the NTE INEN – ISO 11925 – 2 standard. The objective of this test is to determine the flammability index of PVC. The material was conditioned to meet the parameters imposed by the standard and exposed to a flame source for 30 and 60 seconds in two configurations: edge and surface, as well as longitudinal and transverse orientations. The parameters evaluated according to the standard included ignition, flame propagation up to 150 mm, material dripping, and filter paper ignition. The gases generated were captured using a gas meter, while thermal characterization and the use of a thermographic camera were valuable in developing a flammability test simulation.

The test results were recorded and analyzed according to the standard, helping to determine the flammability index. Due to its characteristics, polyvinyl chloride (PVC) has a low flammability index and was classified based on its fire reaction behavior as: A1 – s2, d0. Finally, the toxicity levels of the emitted gases were analyzed, and the simulation results revealed the percentage variation in temperatures between the actual and simulated scenarios, providing a complementary contribution to this research.

Keywords: Thermal characterization, NTE INEN – ISO 11925 – 2 standard, polyvinyl chloride, PVC, ignition, self-extinguishing.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

Antecedentes

En el campo de la construcción de lugares habitables por el ser humano, la elección de materiales de construcción es de suma importancia, es fundamental que sean seguros y confiables para garantizar la seguridad de los ocupantes y a la vez garantizar la protección de la inversión de cada una de las familias como menciona [1].

Los polímeros se han convertido a lo largo de los años, en un material muy utilizado dentro del ámbito de la ingeniería, disponen de un gran número y cada vez va creciendo esa cifra, esto para poder solventar las diferentes necesidades que van surgiendo en cada nuevo proyecto, investigación o trabajo que se realice dentro de la industria, así como menciona [2], estos materiales son utilizados para muchos fines, como dispositivos electrónicos, carcazas, mecanismos para electrodomésticos, etc. Se hace énfasis en polímeros especiales, los cuales fueron diseñados especialmente para realizar una tarea, en general, la modificación de sus características para mejorar sus propiedades es una de las ventajas que muestran los polímeros frente a otros tipos de materiales.

El PVC como menciona en [3] es un tipo de polímero sintético el cual es adquirido por medio de la polimerización del cloruro de vinilo, el cual, además, es la materia prima para la preparación del PVC. El policloruro de vinilo (PVC) se utiliza con aditivos, según [4], para mejorar sus propiedades como la flexibilidad, aumentar su vida útil y abaratar costos. El PVC de tipo suspensión, es el utilizado en las tapas de tomacorrientes, ya que sus aplicaciones más comunes para este tipo de PVC son; láminas, discos, perfiles, piezas inyectadas etc. Según [5], expone las características del policloruro de vinilo (PVC) con lo cual afirma que es ampliamente utilizado como material fundamental en entornos constructivos, debido a su excelente resistencia y densidad. El PVC no es soluble en agua como indica [6], además de ser resistente a la abrasión y los impactos, con propiedades que lo hacen ideal para su uso en áreas de vital importancia. La combinación de estas características hace que el policloruro de

vinilo sea una elección fiable y confiable para utilizarse como tapas de tomacorriente, ya que ofrece una superficie resistente, de fácil acceso y que puede soportar varias aplicaciones, las tapas de tomacorriente de PVC son conocidos por su fiabilidad, su fácil obtención y en términos de diseño y apariencia su gran versatilidad lo hacen una opción muy común entre los materiales de construcción. Se presentan en una amplia gama de estilos y texturas que encajan perfectamente con el estilo del área en la cual será implementado, lo cual permitirá adaptarse a cualquier estilo de interiores.

El conocimiento y análisis de la flamabilidad de materiales es una parte de la ingeniería y construcción de estructuras, interviniendo fundamentalmente en términos de seguridad. Dicha propiedad esta referida a la susceptibilidad de un material a encenderse y sostener una combustión cuando se expone a una fuente de ignición. Los antecedentes de este tema comprenden una gama amplia de aspectos relacionados con la flamabilidad de materiales, que parte desde su importancia en la industria y la protección contra incendios hasta los ensayos que someten al material a pruebas y las regulaciones que serán aplicables. El conocimiento de la flamabilidad de un material es esencial en la industria, esto va a garantizar la seguridad de las personas que intervenga, como trabajadores, la protección del ambiente y la integridad de las instalaciones, como menciona en [7], se debe plantear que es necesario una evaluación de flamabilidad en un material de construcción para garantizar la seguridad y un servicio óptimo. Según menciona [8], el factor de seguridad es un parámetro muy interesante para tomar en cuenta, el cual señala también una metodología denominada NFPA que ayudara a resolver interrogantes a lo largo de nuestra investigación.

La seguridad contra incendios, tal como menciona [9], es uno de los requisitos en construcciones estructurales, en caso de existir un incendio, la estructura no debe interferir en la evacuación de los usuarios, además de que representan un riesgo muy elevado para la vida humana, el medio ambiente y el lugar en donde se ubica. Es relevante la implementación de medidas de seguridad, para la prevención, detección y extinción del fuego para así, minimizar riesgos. Una inversión en seguridad significa protección de vidas, planes de evacuación eficaces y preservar bienes importantes y conservar la reputación de una empresa, así como menciona [9].

1.2. Fundamentación teórica

Es de gran trascendencia estar al tanto de términos técnicos que serán utilizados en el proyecto, para ayudar con su comprensión y facilitar la toma de decisiones. El dominio de estos términos será vital para garantizar la realización de este proyecto, ayudará a buscar soluciones efectivas y evaluar correctamente los riesgos que puedan existir. Hacer uso de un lenguaje técnico ayudara a los ingenieros mecánicos a entender los conceptos relacionados con la flamabilidad, poder comunicarse de mejor manera y teniendo una colaboración mucho más fluida.

Se utiliza la norma ISO 13943, la cual brinda el vocabulario adecuado para poder comunicarnos y hablar sobre la seguridad contra incendios. Esta norma internacional brinda un vocabulario técnico y definiciones relacionadas con las propiedades que involucran la resistencia al fuego, propagación e ignición de ciertos materiales, como menciona [10], facilitando la comunicación y comprensión a profesionales e interesados en proyectos de seguridad contra incendios y la evaluación de riesgos.

1.2.1. Índice de flamabilidad

El índice de flamabilidad está definido según dice [11], como la distancia en la que el fuego recorre o se traslada, de una posición inicial y se propaga en un determinado periodo de tiempo, dado este índice, existen un grupo de materiales capaces de soportar la exposición al fuego directamente. “Flamabilidad” hace referencia a la rapidez y aptitud con la que ciertos materiales tienden a arder. Dicha flamabilidad, en condiciones normales, supone una fuerte amenaza.

1.2.2. Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo, o PVC por sus siglas en Inglés, es un tipo de material sintético de gran versatilidad por sus diferentes variantes y formulaciones, según manifiesta [12], este es el quinto plástico de mayor uso en el mundo, con cerca de 61 toneladas métricas de fabricación al año. El uso del PVC está muy presente en la industria de los materiales de construcción, ya que el 75% de estos hace uso del PVC.

Este plástico surge a través de la polimerización del monómero del cloro etileno, como comenta [13], los componentes del PVC son derivados del cloruro de sodio y del gas natural o del petróleo, además de incluir cloro, hidrogeno y carbono. En su estado base

u original, este es un polvo blanquecino y amorfo. La resina que da como resultado la antes mencionada polimerización o proceso de polimerización, arroja como resultado un plástico versátil que sirve para producir una variedad de objetos flexibles o rígidos.

Hablando de características del PVC, se puede resaltar que es un plástico termoestable, ya que [13], habla que se puede calentar mediante la exposición al fuego y se puede moldear con facilidad, y al enfriarse este mantiene la forma adoptada sin presentar nuevas modificaciones. Su forma de obtención es un tanto curiosa, ya que se obtiene mediante un craqueo del petróleo, esto quiere decir que, se rompen los enlaces químicos del compuesto para así, conseguir diferentes propiedades y usos.

Esto da como resultado el etileno, y al ser combinado con el cloro que se obtiene del cloruro de sodio, da como resultado el etileno diclorado, que después pasa a ser cloruro de vinilo. Luego de la polimerización este pasa hacer PVC o cloruro de polivinilo, y mediante otros procesos y con la combinación de aditivos y pigmentos, así como también estabilizadores o plastificantes, dan lugar a una variedad de objetos.

1.2.3. Características del PVC

El policloruro de vinilo al ser un material sumamente versátil presenta muchas características y estas varían según el uso para el cual se fabrica un determinado objeto:

- **Versatilidad.** Gracias a la utilización de ciertos aditivos como estabilizadores, plastificantes entre otros, el PVC se transforma en un material tanto flexible como rígido, y así puede ser utilizado para una variedad de aplicaciones.
- **Resistente y liviano.** Al presentar un bajo peso, su fortaleza frente a la abrasión, su resistencia mecánica y resistencia al impacto, lo convierte en un material clave para usarse en el campo de la construcción y edificación.
- **Aislante eléctrico.** Este material no conduce la electricidad, es un excelente aislante.
- **Rentable.** Presenta un costo casi nulo de mantenimiento en su vida útil, además de también presentar un bajo costo de instalación.
- **Estabilidad.** Es un material estable e inerte, el cual es empleado en lugares donde predomina la higiene. Los catéteres y bolsas para sangre son producidos con PVC.

- **Longevidad.** Los productos fabricados en PVC presentan un periodo de vida útil de cerca de 60 años, como se puede apreciar en sus diferentes aplicaciones como tuberías, es un material sumamente resistente, según el estado en donde este empleado, este puede alargar más su duración.
- **Seguridad.** Este material se emplea eficazmente para aislar y proteger instalaciones eléctricas en hogares, oficinas y en las fábricas industriales, ya que, por la presencia del cloro, este no se consume fácilmente por el fuego, y una vez la fuente de calor se retira, este procede a apagarse.
- **Reciclable.** Esta característica es de gran relevancia, ya que esta particularidad, facilita la reconversión del PVC, y así, puede ser redirigido a la formación de otros objetos útiles y así evitar que sean arrojados en rellenos sanitarios y además hay que agregar que no aporta a la formación de gases por ser inerte.

1.2.4. Aplicaciones del PVC

- **Construcción.** El PVC según [14], se emplea como tuberías de agua potable en sistemas de distribución y evacuación, puertas, suelos, persianas, ventanas, tejados, piscinas, etc.
- **Aplicaciones médicas.** Está muy presente en este campo, ya que, los tubos y bolsas para sueros, plasma y sangre son fabricados con PVC, además de guantes quirúrgicos.
- **Electricidad y electrónica.** Se utiliza para revestimientos de cables en sistemas eléctricos de hogares (electrodomésticos, telefonía, paneles de control etc.), de industrias (subestaciones eléctricas, plantas eléctricas, etc.) cajas de distribución, tapas de interruptores, canalizaciones eléctricas, etc.
- **Agricultura.** Láminas de impermeabilización de balsas y canales para riego, además de tuberías para sistemas de riego y drenaje, mangueras, plásticos como revestimientos para invernaderos.

1.2.5. Tomacorrientes

Estos son dispositivos los cuales, tienen contactos hembras para la conexión de una clavija (enchufe) y terminales para la conexión a los circuitos de salida, como dice [15].

1.2.6. Ciencia del fuego

En la combustión, mediante un proceso químico que se basa principalmente en la oxidación, el cual se ve expresado en forma de llamas, es donde se da lugar la liberación de una cantidad considerable de energía. En todo proceso de combustión, se ven involucrado dos elementos: un combustible que arde y un producto de la combustión, este generalmente suele ser el oxígeno en forma de O_2 gaseoso, como menciona [16].

Por medio de investigaciones, se conoce que existen varios tipos de reacciones de combustión, estas en función de cómo se produzcan.

En función de la cantidad del constituyente:

Combustión completa: Este tipo de combustión es provocado cuando los materiales combustibles reaccionan con un mayor nivel de oxidación. Como mencionan en [17], los productos de la reacción, así como los vapores no incluirán materiales inflamables.

Combustión incompleta: Este tipo de combustión se da lugar cuando no se llega al grado máximo de oxidación y, además, que existan materiales inflamables en los gases o humos producto de la reacción.

Transferencia de calor

La transferencia de calor es un componente de suma importancia en las llamas, ya que este influye en la ignición, el crecimiento, la propagación, la disminución y la extinción del fuego. La mayoría de los indicadores físicos que los científicos usan para determinar el origen y la causa de una reacción de combustión se basan en la transferencia de calor [18].

Se han estudiado 3 tipos de y transferencia de calor los cuales serán detallados a continuación:

Conducción: Este tipo de transferencia se produce cuando una sustancia con una mayor cantidad de partículas energéticas se transfiere a otra sustancia de menor nivel energético, dando lugar a una interacción entre dichas partículas. Este tipo de interacción está presente en sólidos, líquidos o gases.

Convección: La transferencia de energía tiene lugar en una superficie sólida y un líquido o gas que se encuentra en movimiento, mientras más rápido sea el movimiento del fluido, la transferencia de calor por convección será mucho mayor.

Radiación: La energía que se presenta en forma de ondas electromagnéticas es emitida por la materia, por medio de cambios de configuración electrónica de los átomos. Aquí no será necesario de un medio interventor.

Fuentes de ignición

Las fuentes de ignición actúan de manera fundamental en el proceso de inflamación, de manera que se podrá determinar la gravedad de la propagación en caso de un incendio, si será de mayo o menor magnitud, al instante de la combustión del material. Según mencionan en [19], a continuación, se detallan los tres tipos de fuentes de ignición más importantes:

- **Fuentes de ignición abierta:** Este tipo de fuente se da origen cuando existe una fuga de gas, o algún tipo de mezcla de gases, el cual siempre permanecerá activa.
- **Fuentes de ignición ocultas:** Producto de un quemado de gas dentro de una hornilla, ya que esta fuente de ignición retrasa el inicio de la mezcla de gases.
- **Fuentes de ignición intermitentes:** Se dan lugar en situaciones aleatorias, en presencia de una fuga de gas, por ejemplo, el chispazo al momento de presionar el timbre.

1.2.7. Combustible

El combustible para utilizar según menciona en [10], es el propano comercial con un 95% de pureza mínima. Este es un combustible de tipo gaseoso, utilizado en una gran variedad de situaciones alrededor del mundo, por su alta eficiencia es el adecuado ya que necesitamos tener un tipo de fuente de llama continua y estable.

Según [20], por su alta eficiencia energética, posee una ventaja frente a otros tipos de combustible, ya que, produce mucho más calor con una cantidad mucho menor de combustible. A continuación, en la TABLA I se detalló las características del gas propano.

TABLA I

PROPIEDADES DEL PROPANO [21].

Densidad del propano	Masa molar del propano	Punto de ebullición del propano	Punto de fusión del propano	Temperatura crítica del propano	Poder calorífico del propano
1,83 kg/m^3	44 g/mol	−42 ℃	−188 ℃	94 ℃	22000 $Kcal/m^3$

1.2.8. Caracterización térmica

Uno de los aspectos más importantes a conocer de un material son sus propiedades termo físicas, esto con el fin de determinar si un material es el adecuado como establece [3], para determinado entorno en el cual será utilizado. Los principales parámetros que se evalúan al momento de revisar las características térmicas de los materiales son la conductividad térmica y la difusividad, tanto como en régimen variable y en régimen estacionario.

Para la determinación la conductividad térmica se empleó una serie de variables y fórmulas matemáticas que, por medio de los datos recolectados en los ensayos, determinaran el valor de dicha característica térmica, así como mencionan en [3].

Densidad

Es una magnitud que se refiere a la cantidad de masa contenida por un determinado volumen, como menciona [22], se puede usar en términos absolutos o relativos. Se menciona en [23] que se puede obtener valores de densidad mediante ensayos físicos, los cuales consisten en la determinación de masa por unidad de volumen, expresadas en g/cm^3.

Para obtener el valor de la densidad de un polímero, hay que seguir ciertas normas que especifican su obtención, la norma ASTM D 792 por ejemplo, la cual establece dos métodos de obtención según [24], el método A que consiste en la inmersión para plásticos sólidos sin huecos (excepto polvos) y el método B que se basa en picnometría líquida para partículas, polvos, escamas, gránulos o pequeñas piezas de acabadas.

El PVC utilizado en tapas de tomacorrientes es un material termoplástico estable, se caracteriza por su bajo peso específico, comparado a otros materiales, este puede

convertirse en un material liviano sin tendencia a una débil resistencia. Como menciona [23] se puede obtener valores de densidad mediante ensayos físicos, los cuales consisten en la determinación de masa por unidad de volumen, expresadas en g/cm^3.

Conductividad térmica

La conductividad térmica (abreviada como $k, \lambda \, o$ K) es uno de los tres métodos existentes de transferencias de calor, esta se refiere a la habilidad intrínseca que posee un material de transferir o conducir el calor. La conductividad térmica tiene origen en la agitación molecular y contacto, no es el resultado del movimiento de masa del solido en si mismo. Según [25], este tipo de transferencia se dará hasta alcanzar el equilibrio térmico, la velocidad con la cual se transfiere el calor estará en función del gradiente de temperatura y también de las características que posea el material.

El Sistema Internacional de Unidades (Unidades SI) lo cuantifica como $W/m * K$ (vatios por metro por grado Kelvin), además agregando que es el recíproco de la resistencia térmica.

Esta característica térmica se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$k = \frac{Q * L}{A * (T2 - T1)} \qquad (1)$$

$Q =$ flujo de calor (W)

$L =$ longitud o espesor del material (m)

$A =$ superficie del material (m^2)

$T2 - T1 =$ gradiente de temperatura (K)

La conductividad térmica de los materiales es la propiedad que determina su aplicación, si un material posee una baja conductividad térmica, serán excelentes aislantes en hogares y empresas, al contrario de esto, si el material posee un alto valor de conductividad térmica, este será excelente en aplicaciones donde se requiera que el calor se mueva de manera rápida y eficiente [26].

Existen diferentes métodos experimentales que se rigen a normas internacionales para su empleo, esto con la finalidad de avalar los resultados que estas prácticas arrojen. Ya

que existen una muy amplia gama de materiales y cada uno con propiedades únicas, la forma en la cual se obtiene el valor de conductividad térmica varia en la forma de su obtención en función de sus propiedades, como menciona en [27] para metales se utiliza un método experimental denominado método de barras cortadas, este método es muy eficaz para materiales metálicos. Para el PVC o en general polímeros aislantes es una característica muy importante ya que, al trabajar con un polímero aislante, el valor de la conductividad térmica será relativamente bajo, al igual que en los metales, los polímeros aislantes requieren otro método de obtención, ya que las propiedades de estos dos grupos de materiales son muy diferentes.

Según [28], el método experimental se denomina Aparato de plato caliente con guarda (APCG), el procedimiento que sigue este método es diferente al de las barras cortadas, el APCG se basa en la norma internacional ASTM C177 – 97. Como se plasma en [29], se establecen todos los requisitos generales para su construcción. Además, para poder obtener resultados más precisos y exactos también menciona que se debe poseer un amplio conocimiento en mediciones térmicas y práctica en la teoría de la transferencia de calor relacionadas con los materiales y sistemas de aislamientos térmicos

Calor especifico

Al igual que en los otros dos parámetros anteriores, el calor especifico y su método de obtención se rigen bajo normas internacionales, cabe resaltar que estos ensayos realizados a materiales son realizados en las condiciones típicas de uso, con parámetros como temperaturas, tiempo, etc. Según [30], el método utilizado en la mayoría de los materiales, se denomina calorimetría diferencial de barrido (DSC), a diferencia de la calorimetría clásica, en la cual su proceso es isotérmico, la DSC es un procedimiento dinámico.

Se puede definir este término según [25] como, la cantidad de calor que se deberá aplicar a una cierta unidad de masa sea un plástico, metal o madera, para que aumente su temperatura en un grado, existen diferentes unidades y diferentes términos como capacidad calorífica o capacidad térmica.

Se denomina al calor especifico de una unidad de masa como c, y la fórmula para su obtención se detalla a continuación:

$$Q = m * c * \Delta T \quad (2)$$

$Q =$ la cantidad de energía calorífica perdida o ganada (J)

$m =$ masa de la sustancia (kg)

$c =$ la capacidad calorífica especifica de la sustancia (J/kg*°C)

$\Delta T =$ cambio de temperatura de la sustancia (°C)

Emisividad

Esta propiedad como habla en [25], se refiere a cuan próximo esta un objeto de ser un cuerpo negro, debido a que este absorbe la mayoría de radiación irradiada en comparación a otro material, se designa como la letra ε y su valor se ubica entre el intervalo de $0 \leq \varepsilon \leq 1$.

Coeficiente de absorción

Esta propiedad indica hasta qué punto una luz de una longitud de onda particular puede penetrar el material antes de ser absorbido, según [31], un material con un bajo coeficiente de absorción, la luz no será absorbida correctamente, y si en dado caso el material es lo suficientemente delgado, este permanecerá transparente a esa longitud de onda, representado con la letra griega α.

El mol

Se puede definir como una unidad de medida especifica al número de átomos o moléculas en una muestra de materia. El mol como menciona en [32], es el vínculo entre una propiedad macroscópica fácil de medir, masa aparente y el número de átomos, moléculas, etc. Al ir de acuerdo con su definición, "1 mol de cualquier elemento contiene el mismo número de átomos que 1 mol de cualquier otro elemento", según [32].

Masa molar

La masa molar de un compuesto será la masa en gramos de 1 mol de esa sustancia, esta propiedad se expresa en gramos por mol (g/mol) [32].

1.2.9. Ensayo de flamabilidad

Este tipo de ensayos realizados en materiales constructivos específicos a utilizar es de suma importancia no solo por el hecho de saber si un material es sensible al contacto con el fuego, o conocer cómo se comporta frente a las llamas. Además, los resultados que arroja el ensayo sirven para conocer las características específicas de combustión que tiene un material que en la práctica son de suma importancia en el ámbito constructivo y proporcionando información clave en la seguridad, como menciona [19]. Agregando que, al realizar el ensayo, proporciona una premisa de cómo podría empezar un incendio, partiendo de un evento aleatorio, así como podría ser un cruce de cables provocando un corto circuito, y dando lugar al fuego que se propaga de manera rápida en ciertos lugares y consumiendo todo lo que esté a su paso, ocasionando perdidas mortales y monetarias.

El fin de realizar este tipo de evaluaciones, además de cumplir con reglamentos y normativas, también ayuda a clasificar el material según su desempeño contra el fuego y nivel de riesgo. Ayudando así a la selección más optima del tipo material a utilizar en cierto entorno y para una aplicación especifica, llegando a garantizar la seguridad y el cumplimiento de las normativas, para así evitar la pérdida de bienes materiales y asegurando la protección del ser humano.

1.2.10. Normativas

Las normativas que rigen todos los ensayos, experimentos y construcción de equipos para la obtención de propiedades son un conjunto de reglamentos y estándares establecidos por entidades gubernamentales, organismos de normalización e instituciones internacionales. Estas rigen cada actividad antes mencionada con el fin de asegurarse que se realice de manera correcta, estén avalados y aseguren obtener resultados relevantes.

Algunas de las normativas de más renombre a nivel internacional incluyen:

Normativas de la Unión Europea (UE)

Normativa UNE-EN 13501

La clasificación de materiales de construcción basándose en su comportamiento frente a las llamas es de suma importancia, basándose en esta clasificación se puede

determinar los materiales y productos óptimos para un determinado proyecto o aplicación. En el campo constructivo esta clasificación ayuda a identificar la flamabilidad de los materiales en términos de seguridad frente a posibles escenarios de incendios. Esto es especialmente de suma importancia en escenarios como edificios públicos o edificaciones donde se concentren grandes cantidades de personas, donde la seguridad de estos grupos sea primordial. La incorporación de estos materiales clasificados por su comportamiento frente al fuego contribuye a la creación de ambientes seguros y a la protección de vidas y de propiedad en caso de incendios. Esta clasificación no solo ayuda a cumplir requisitos estéticos y de funcionamiento, además asegura su rendimiento adecuado en términos de seguridad [33].

UNE-EN 13501:1 Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego

Esta sección de la normativa se utiliza para materiales que son sometidos a ensayos de reacción al fuego, lo cual estable que:

A1: No combustible. Sin contribución en grado máximo al fuego. Nivel en el que se integran aquellos productos que, en ninguna fase del incendio, pueden contribuir al mismo.

A2: No combustible. Sin contribución en grado menor al fuego. Nivel en el que se integran los productos con poder calorífico muy limitado, que en un incendio plenamente desarrollado no aportan, de modo significativo, una carga al fuego ni contribuyen a su desarrollo.

B: Combustible. Productos combustibles con contribución muy limitada al fuego.

C: Combustible. Productos combustibles con contribución limitada al fuego.

D: Combustible. Productos combustibles con contribución media al fuego.

E: Combustible. Productos combustibles con contribución alta al fuego.

F: Sin clasificar. Nivel en el que se integran los productos que no pueden satisfacer ninguna de las exigencias anteriores o cuyas prestaciones no han sido sometidas a ninguna valoración.

A la clasificación se suma los siguientes subíndices que se muestra en la TABLA II:

TABLA II

PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN ADICIONALES [33]

Según la capacidad de los humos (smoke)	**Según la caída de gotas o partículas inflamadas (drop):**
S1: Velocidad y cantidad de emisión baja.	d0: No gotas.
S2: Velocidad y cantidad de emisión media.	d1: No gotas t > 10s
S3: Velocidad y cantidad de emisión elevada.	d2: No clasificado

Esta sección es de ayuda ya que, debido a la naturaleza del ensayo de flamabilidad, se puede interpretar los resultados y asociarlos a esta clasificación, categorizando así al PVC.

Normativas de Estados Unidos

La American Society for Testing and Materials (ASTM), es una organización internacional la cual desarrolla y publica normas para una amplia gama de productos, materiales y sistemas. Se pueden mencionar normativas para la obtención de propiedades como la conductividad térmica o la densidad, estas normas regulan los métodos de obtención de estos valores para diferentes materiales. Estas normativas establecen el alcance de los métodos, los parámetros que deben seguir y garantiza los resultados obtenidos. ASTM C177 – 97 establece el método de obtención de la conductividad térmica, basándose en el diseño y funcionamiento de una máquina específica para materiales aislantes o polímeros [29]. Muchas de estas normativas son utilizadas para la obtención de propiedades de los materiales, el estudio de aparatos, el diseño y construcción de estos.

Normativa Ecuatoriana

Norma NTE INEN – ISO 11925 – 2

Esta normativa de ensayos de reacción al fuego fue diseñada con el fin de determinar el comportamiento de los productos frente a las llamas (Anexo 2). El método expone un ensayo especifico de exposición de los productos frente a una fuente de fuego, del

tamaño de una cerilla, llevándose a cabo de manera vertical para observar su propagación y así evaluar la inflamabilidad, se realizan a borde o superficie de la muestra durante un periodo de tiempo de 15, 30 o 60 segundos. El desprendimiento del material, es decir, la propagación de gotas depende de la ignición del papel filtro colocado debajo de la muestra ensayada [10].

1.2.11. Gases producidos por la combustión

Los gases producidos en un incendio pueden llegar a ser irritantes y/o asfixiantes, estos humos son generados por la combinación de aire caliente, partículas en suspensión que no han quemado y diversas concentraciones de gases tóxicos. Como menciona [34], por medio de la pirolisis y combustión se generan gases tóxicos y no tóxicos, la toxicidad de dichos gases depende potencialmente de las condiciones en las que se desarrolla un incendio y la composición de los materiales de los cuales se liberan.

El instrumento de medición disponible en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica posee 6 tipos de lecturas de gases, estos son:

- CH_4: Metano.
- O_2: Oxígeno.
- H_2S: Ácido sulfúrico.
- CO: Monóxido de carbono.
- CO_2: Dióxido de carbono.
- NO_2: Dióxido de nitrógeno.

Estos gases son los más comunes y es de suma importancia el análisis de la presencia de estos al momento de la ignición del PVC, ya que en casos reales donde el material este presente en un escenario de incendio potencial, sus gases también afectarán al ser humano.

1.2.12. Cámara Termográfica

En términos generales una cámara termográfica se refiere al dispositivo que capta y mide la radiación infrarroja de los objetos y crea una imagen térmica que muestra la gama de colores que representan una escala de temperaturas. El uso de cámaras varía dependiendo el ámbito en la cual sea aplicada, ya que su campo de estudio es extenso, existen muchos tipos de cámaras. Como menciona [35], estos dispositivos capturan

imágenes basándose en la radiación térmica infrarroja emitida por los objetos. Esta radiación para el ojo humano es imperceptible, pero una cámara termográfica puedo hacerlo visible.

Estos dispositivos son de mucha ayuda para capturar en imágenes o videos la variación de temperaturas que existe en objetos o superficies, es por ello que el uso de la cámara termográfica disponible en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica fue de suma importancia para este estudio.

1.2.13. Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

La "Dinámica de Fluidos Computacional" (CFD, por sus siglas en Inglés), a emergido como una muy importante herramienta en el mundo de la ingeniería, tan versátil utilizada para mejor productos y procesos de manera eficiente y económica. Para [36], la simulación por CFD, ayuda a entender y analizar fenómenos relacionados con la dinámica de fluidos, transferencia de calor y fuerzas aerodinámicas. Debido a la naturaleza de nuestra investigación, se analizó los fenómenos producidos por transferencia de calor y varios fenómenos térmicos, al ser una herramienta tan versátil será de mucha ayuda, ya que, se realizó diferentes simulaciones, agregando parámetros o condiciones que se determinó, según menciona en [37], es la manera más eficiente de contrastar resultados obtenidos de métodos experimentales de investigación.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

- Analizar la flamabilidad de placas de policloruro de vinilo (PVC) utilizadas en tomacorrientes con el fin de determinar su índice de flamabilidad, según la norma NTE INEN-ISO 11295-2.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Analizar los parámetros para la caracterización térmica del policloruro de vinilo (PVC) utilizado en tomacorrientes.
- Realizar las pruebas respectivas para tabular datos sobre la reacción al fuego de las tapas de tomacorriente de policloruro de vinilo, al someterse a la acción

directa de la llama, de acuerdo con los parámetros que establece la norma NTE INEN-ISO 11295-2.

- Determinar el índice de flamabilidad en base a los resultados obtenidos de los ensayos, bajo las condiciones establecidas por la norma.

1.4. Hipótesis

- Hipótesis verdadera: el índice de flamabilidad incide en la flamabilidad de materiales de construcción.

Esta premisa se basa en el índice de flamabilidad, como variable que representa la probabilidad de un posible consumo del material frente a las llamas, debería tener una influencia significativa en las propiedades de las placas de policloruro de vinilo (PVC). Al asumir esta hipótesis, se postula que las características del material, evaluadas según la norma NTE INEN-ISO 11925-2, están directamente relacionadas con su susceptibilidad a la combustión.

- Hipótesis nula: el índice de flamabilidad no incide en la flamabilidad de materiales de construcción.

Esta hipótesis se instaura con la intención de examinar de manera ardua si existe o no una relación estadísticamente relevante entre el índice de flamabilidad y la flamabilidad del material, evaluada conforme a la norma NTE INEN-ISO 11925-2.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales, equipos y herramientas.

2.1.1. Materiales

2.1.1.1. Características del material de muestra a ensayar

Se presentan las características del material empleado en la realización de esta investigación. Se empleó canaletas de PVC para realizar las probetas de las medidas solicitadas, dichas canaletas fabricadas en el mismo material utilizado en tapas de tomacorriente marca Topline, se utilizó las canaletas para facilitar el acondicionamiento según las especificaciones normativas para formar las probetas.

Detalle:

- Marca: Topline.
- Modelo: Blanco.
- Material: PVC.
- Canaleta con Adhesivo.
- Resistente a altos impactos.
- Brinda un acabado duradero pero versátil.
- Puede operar entre un rango de temperatura de -40 °C a 65 °C.
- Buen aislamiento, capaz de resistir un voltaje de 25 kV, lo que garantiza un sistema seguro.
- Diseño sólido, especialmente para polvo.
- A prueba de humedad, resistente a los álcalis, resistente al envejecimiento.
- Fácil instalación.
- Peso ligero.
- Fácil de cortar, transportar, doblar y manipular.
- Dimensiones: 100 cm (Ancho) x 50 cm (Alto) x 2m (Longitud).

2.1.1.2. Tapas de tomacorrientes de PVC

- **Generalidades**

Las tapas de tomacorriente son utilizadas en toda instalación eléctrica, esencialmente las tapas fabricadas en policloruro de vinilo (PVC) son de las opciones más frecuentes para el consumidor, esto por su bajo costo y sus características que lo hacen una muy buena opción. Este tipo de tapas ofrece gran variedad de ventajas por su resistencia al desgaste y fácil instalación, sus diferentes diseños hacen de este material uno de los más requeridos, brindando elegancia a cualquier sitio en el que vaya a hacer instalado.

- **Ventajas**

Las tapas de tomacorriente de PVC ofrecen muchas ventajas al consumidor, lo que lo hace una muy buena opción frente a otras tapas fabricadas en otro material.

- **Asilamiento eléctrico:** El PVC por su naturaleza es un excelente aislante eléctrico, lo que lo hace ideal para aplicaciones en las cuales se puedan ver involucrado el riesgo de corto circuitos o descargas.
- **Durabilidad:** Es un material resistente a golpes y desgaste, garantizado conservar su forma inicial y funcionalidad inclusive en ambientes de uso frecuente.
- **Resistencia a la humedad y agentes químicos:** El PVC no se corroe ni se degrada frente a la humedad, lo que lo hace el más indicados para uso en lugares expuestos al ambiente o baños.
- **Fácil limpieza y mantenimiento:** La superficie de este material no acumula polvos y se puede limpiar fácilmente con agua o detergentes comunes sin afectar a su estructura.
- **Versatilidad estética:** Por sus diferentes diseños de fabricación, es muy fácil combinarlo con la decoración del entorno.
- **Costo accesible:** El PVC ofrece una excelente relación calidad – precio en comparación a otras tapas fabricadas en otro material, por lo tanto, reduciendo el costo para el consumidor final y también los costos de producción.
- **Ligereza:** Al ser un material muy ligero, esto facilita su trasporte y además de eso su instalación sin comprometer la resistencia de este.

- **Propiedades físicas**

Este tipo de material destaca por su ligereza y resistencia mecánica, lo que les da la capacidad de soportar golpes, arañazos e impactos sin deformarse ni romperse fácilmente. La rigidez que presenta este material lo ayuda a mantener su integridad estructural incluso en largos periodos de tiempo. Hay que destacar su baja absorción de humedad, lo cual evita hinchazones o diferentes deterioros a causa del agua.

- **Propiedades térmicas**

Las tapas de tomacorriente de PVC poseen una baja conductividad térmica, lo que provoca que no pueda trasmitirá fácilmente el calor, manteniendo la seguridad del material sin calentarse de manera excesiva en condiciones normales de uso. Haciéndolo vital en instalaciones eléctricas donde se busca minimizar la transferencia de calor para reducir riesgos de accidentes o daños a los demás componentes.

Una propiedad que destaca es su resistencia a la deformación por calor, soportando temperaturas de servicio de hasta aproximadamente 60 – 70 °C sin perder sus propiedades mecánicas. Si el PVC llegara a exponerse al fuego, este material es auto extinguible, lo que significa que, si se retira la fuente de calor o fuego, este procederá a apagarse, reduciendo considerablemente la propagación del fuego.

2.1.2. Equipos

La TABLA III se detalla los equipos que se utilizaron para el desarrollo de esta investigación, los cuales jugaron un papel importante para llevar a cabo el estudio.

TABLA III

EQUIPOS

Equipos	Descripción	Imagen
Cámara de acondicionamiento	Instrumento utilizado para acondicionar el material a 23° y humedad del aire.	

TABLA III

EQUIPOS (continuación)

Cámara de ensayo de reacción al fuego de materiales de construcción	Cámara requerida (NTE INEN-ISO 11925-2, licencia: 002-005-000098168), para realizar el ensayo.	
Desecador	Objeto requerido para mantener seco el papel filtro.	

2.1.3. Herramientas

En la TABLA IV se presentan todas las herramientas utilizadas en el transcurso de este estudio, el cual se basa en una normativa que abarca el empleo exacto del tiempo, precisión y cálculo.

TABLA IV

HERRAMIENTAS

Herramientas	Descripción	Imagen
Cronómetro	Instrumento utilizado para el control del tiempo	

TABLA IV

HERRAMIENTAS (continuación)

Medidor de gases	Instrumento utilizado para medir la emisión de gases generados en el ensayo	
Cámara termográfica	Instrumento utilizado para observar el comportamiento del fuego a través del material	
Calibrador pie de rey	Herramienta utilizada para tomar las medidas exactas de la probeta	
Balanza	Utilizada para medir el peso de cada probeta	
Papel filtro	Material utilizado para receptar posible goteo de material, se ubica en la bandeja de aluminio	
Papel aluminio	Material utilizado para formar pequeñas bandejas que serán utilizados en el ensayo	

2.2. Métodos

2.2.1. Ubicación

La investigación se llevará a cabo en las instalaciones de la Universidad Técnica de Ambato en el Laboratorio LIM- UTA.

2.2.2. Tipo de Investigación

La investigación está enfocada en elementos experimentales y analíticos. Se llevarán a cabo estudios y ensayos experimentales para obtener datos reales, los cuales se interpretarán analíticamente mediante un valor el cual se medirá según la norma NTE INEN-ISO 11925-2.

Por lo tanto, se establecen que estos 2 tipos de investigación serán los necesarios para abarcar el trabajo de titulación:

- Experimental: El presente proyecto está clasificado como un estudio de tipo experimental, ya que se pretende examinar la flamabilidad del material de construcción, por lo que se realizará unas muestras para someterlas a diferentes pruebas térmicas.
- Descriptivo: En este proyecto experimental, se emplea un enfoque descriptivo, ya que una vez que la muestra está sometida a las pruebas térmicas, se debe describir que está sucediendo con el material.

2.2.3. Población y muestra

Para el presente proyecto se utilizó 24 probetas del material para determinar la su reacción frente a las llamas y el índice de inflamabilidad.

Se etiquetó las probetas con diferente codificación (Fig. 1 y Fig. 2).

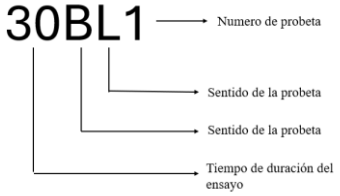


Fig. 1 Codificación de probetas

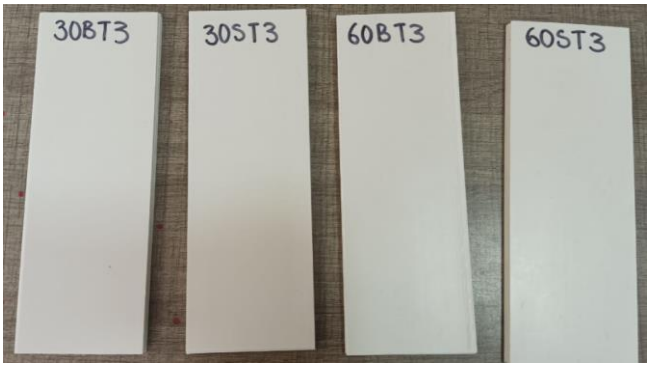


Fig. 2 Probetas codificadas

En la TABLA V se expone la codificación de las probetas, los cuales describen y permiten identificar el tiempo y la orientación a los que estarán sometidas.

TABLA V

ROTULACIÓN DE PROBETAS

N°	**Código**	**Dirección**	**Tipo**	**Tiempo**
1	30BL1	Longitudinal	Borde	30 segundos
2	30BL2	Longitudinal	Borde	30 segundos
3	30BL3	Longitudinal	Borde	30 segundos
4	30BT1	Trasversal	Borde	30 segundos
5	30BT2	Trasversal	Borde	30 segundos
6	30BT3	Trasversal	Borde	30 segundos
7	30SL1	Longitudinal	Superficial	30 segundos
8	30SL2	Longitudinal	Superficial	30 segundos
9	30SL3	Longitudinal	Superficial	30 segundos
10	30ST1	Trasversal	Superficial	30 segundos
11	30ST2	Trasversal	Superficial	30 segundos
12	30ST3	Trasversal	Superficial	30 segundos
13	60BL1	Longitudinal	Borde	60 segundos
14	60BL2	Longitudinal	Borde	60 segundos
15	60BL3	Longitudinal	Borde	60 segundos
16	60BT1	Trasversal	Borde	60 segundos
17	60BT2	Trasversal	Borde	60 segundos
18	60BT3	Trasversal	Borde	60 segundos

TABLA V

ROTULACIÓN DE PROBETAS (continuación)

19	60SL1	Longitudinal	Superficial	60 segundos
20	60SL2	Longitudinal	Superficial	60 segundos
21	60SL3	Longitudinal	Superficial	60 segundos
22	60ST1	Trasversal	Superficial	60 segundos
23	60ST2	Trasversal	Superficial	60 segundos
24	60ST3	Trasversal	Superficial	60 segundos

2.2.4. Recolección de información

La recolección de información sobre usuario de tomacorrientes de PVC involucra la recolección de diversos datos demográficos, preferencias de diseño y necesidades específicas de los consumidores. Con la necesidad de hallar o identificar patrones de uso, constituyentes de elección de adquisición, así también considerar aspectos como la durabilidad, facilidad de instalación y mantenimiento que atraen a aquellos que eligen este tipo de accesorios para sus espacios habitables o de trabajo.

2.2.5. Procesamiento de la información y Análisis Estadístico

Los datos obtenidos en los diversos ensayos experimentales fueron analizados mediante lo establecido con la bibliografía y además la norma NTE INEN-ISO 11925-2 y procesados estadísticamente con una hoja de cálculo.

2.2.6. Variables

- Variable independiente: Placas de policarbonato de vinilo (PVC).

Es un polímero sintético el cual es adquirido por medio de la polimerización del cloruro de vinilo, el cual, además, es usado como materia prima para la preparación del PVC. El PVC de tipo suspensión, es el utilizado en las placas que sirven como tapas, ya que, en entornos constructivos, por sus propiedades es el más adecuado para este tipo de usos.

- Variable dependiente: Índice de flamabilidad.

La elección del índice de flamabilidad en este estudio, como variable dependiente se basa en su papel prioritario al momento de realizar el ensayo, ya que como indica la norma NTE INEN-ISO 11925-2, las placas de policarbonato de vinilo estarán sometidas a pruebas térmicas, y al momento de entrar en contacto con el fuego, el índice de flamabilidad ayudará a determinar cómo es su comportamiento frente a las llamas, el índice depende de las placas y como estas reaccionen ante las pruebas. La variable dependiente se convierte en un indicador principal para evaluar el comportamiento de las placas de policarbonato de vinilo en contacto con una fuente de calor constante durante un periodo de tiempo.

2.3. Procedimiento general de ensayos de flamabilidad

2.3.1. Procedimiento para realizar los ensayos bajo la norma NTE INEN-ISO 11925-2

A continuación, se especifican los pasos a seguir para realizar una investigación exitosa (Anexo 1).

1. Acondicionar el material base a las medidas que la norma NTE INEN-ISO 11925-2 exige, con el fin de cumplir los parámetros del ensayo.
2. Etiquetar las muestras con código de identificación.
3. Pesar las muestras en una balanza y anotar sus valores.
4. En 12 probetas trazar una línea a 150 mm del borde inferior para el ensayo a borde inferior y en las otras 12 muestras trazar una línea a 40 mm del borde inferior y a partir de ahí trazar otra línea más a 150 mm de la línea antes trazada, para realizar el ensayo a superficie expuesta.
5. Introducir en las cámaras de acondicionamiento por 48 horas.
6. Realizar otro pesaje con las probetas acondicionadas para verificar si el acondicionamiento se realizó de manera exitosa.
7. Adquirir papel filtro y recortar en trozos de 100 mm x 50 mm para ser introducidas en el desecador.

8. Realizar pequeñas bandejas de aluminio de 100 mm x 50 mm con una profundidad de 10 mm.
9. Preparar con anticipación la cámara termográfica y calibrarla.
10. Colocar la probeta en el porta muestra, de manera que, la muestra este al nivel que toque el mechero con la señal de la probeta.
11. Encender el quemador en posición vertical y permitir que la llama se estabilice a una altura de 20 mm.
12. El mechero se inclina a 45° y se empuja hasta que entre en contacto con la probeta por 15 segundos o 30 segundos.
13. Comenzar la grabación con la cámara termográfica.
14. Para cada probeta ensayada se registra lo siguiente:

a) Si se originó ignición.
b) Si la parte superior de la llama alcanzo la marca de 150 mm sobre el punto de aplicación y el momento justo cuando se produce.
c) La presencia de partículas o gotas del material causadas por la inflamación del papel filtro.
d) Observaciones del comportamiento del material ensayado.

15. Finalizado el procedimiento los resultados obtenidos son recopilados en fichas.
16. Se determinan los parámetros que la norma establece.
17. Se generan los informes.
18. Se realiza la verificación de la hipótesis.

Se observa el diagrama de flujo del método a seguir para la realización del ensayo y obtener resultados rápidos y correctos (Fig. 3).

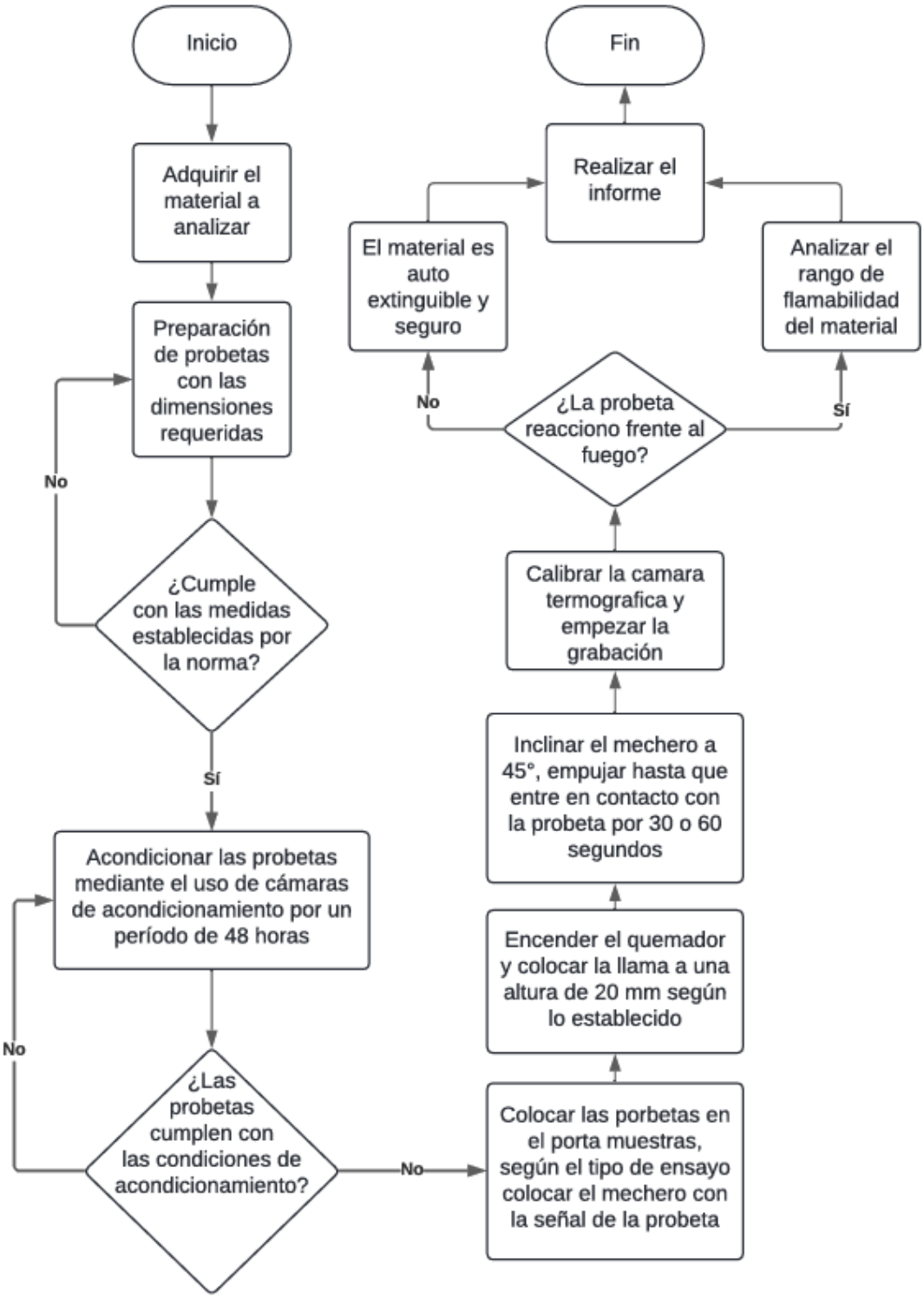


Fig. 3 Diagrama de flujo de ensayo

Adquisición (ficha técnica del material)

Para la adquisición del material a estudiar, se revisó varias fichas técnicas, catálogos de fabricantes y bases de datos Matweb (Fig. 4), para poder comprender su composición, es importante conocer las propiedades del PVC que se utiliza en tapas de tomacorrientes, para el análisis de la caracterización térmica y el índice de flamabilidad, ya que sus propiedades y composición puede influir en los resultados obtenidos. Al conocer la composición del PVC de tapas de tomacorrientes, se prevé su comportamiento frente al fuego, situaciones en las que esté involucrado la transferencia de calor, la velocidad de propagación del fuego y posible emisión de gases tóxicos.

Propiedades físicas	Métrico	Inglés
Densidad	1,16 - 1,65 g/cc	0,0419 - 0,0596 lb/pulgada³
Contenido de relleno	10,0 - 20,0 %	10,0 - 20,0 %
Contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV)	0,300 - 0,500 g/l	0,300 - 0,500 g/l
Tamaño de partícula	63,0 - 250 µm	63,0 - 250 µm
Prueba de viscosidad	61,0 - 116 cm³/g	0,610 - 1,16 dl/g
Espesor	3000 - 12000 micrones	118 - 472 millones
Contracción lineal del molde	0,000500 - 0,0120 cm/cm	0,000500 - 0,0120 pulg./pulgada
Flujo de fusión	3,50 - 54,0 g/10 min	3,50 - 54,0 g/10 min
Flujo espiral	53,3 - 119 centímetros	21,0 - 47,0 pulgadas
Colores ASTM	-15,8 - 81,0	-15,8 - 81,0

Propiedades mecánicas	Métrico	Inglés
Dureza, Rockwell R	100 - 111	100 - 111
Dureza, Shore A	76,0 - 95,0	76,0 - 95,0
Dureza, Shore D	45,0 - 88,0	45,0 - 88,0
Dureza, Shore C	69,0 - 90,0	69,0 - 90,0
Resistencia a la tracción, máxima	14,3 - 55,2 MPa	2080-8000 psi
Resistencia a la tracción, límite elástico	3,45 - 73,1 MPa	500-10600 psi
Alargamiento en la rotura	2,00 - 330 %	2,00 - 330 %
Alargamiento en el límite elástico	3,10 - 6,00 %	3,10 - 6,00 %
Módulo de elasticidad	1,82 - 7,03 GPa	264 - 1020 ksi
Resistencia a la fluencia por flexión	50,7 - 104 MPa	7350-15100 psi
Módulo de flexión	0,220 - 6,43 GPa	31,9 - 933 ksi
Izod Impact, con muescas	0,160 - 14,0 J/cm	0,300 - 26,2 ft-lb/in
	5,30 - 5,30 J/cm a temperatura -10,0 - -10,0 °C	9,93 - 9,93 ft-lb/in a temperatura de 14,0 - 14,0 °F
	0,267 - 11,7 J/cm a temperatura -40,0 - 10,0 °C	0,500 - 21,9 ft-lb/in a temperatura de -40,0 - 50,0 °F
	0,267 - 11,7 J/cm @ Grosor 3,18 - 3,18 mm	0,500 - 21,9 ft-lb/in @ Grosor 0,125 - 0,125 in
Izod Impact, sin muescas	0,392 - 9,70 J/cm	0,735 - 18,2 libras-pie/pulgada
Izod Impact, con muescas (ISO)	1,96 - 11,8 kJ/m²	0,934 - 5,60 ft-lb/in²
Impacto Charpy sin muescas	NOTESE BIEN	NOTESE BIEN
Impacto Charpy, con muescas	0,250 - 1,10 J/cm²	1,19 - 5,24 ft-lb/in²
Caída de dardos, energía total	19,8 - 21,9 J a temperatura -18,0 - 0,000 °C	14,6 - 16,2 ft-lb a temperatura -0,400 - 32,0 °F
	19,8 - 21,9 J @ Grosor 1,85 - 1,85 mm	14,6 - 16,2 ft-lb @ Grosor 0,0728 - 0,0728 in
Energía total de caída de dardos	11,1 - 280 J/cm	0,0208 - 0,525 ft-lb/mil
	40,0 - 66,7 J/cm a temperatura 0,000 - 0,000 °C	0,0749 - 0,125 ft-lb/mil a temperatura de 32,0 - 32,0 °F

Fig. 4 Propiedades del PVC de la página Matweb

Preparación de las probetas y acondicionamiento

La evaluación del índice de flamabilidad de los materiales de construcción se lleva a cabo mediante una cámara de combustión, conforme indica la norma NTE INEN-ISO 11925-2.

Las probetas del material a ensayar deben ajustarse a las medidas solicitadas por la norma NTE INEN-ISO 11925-2. Las dimensiones en cada muestra son 250 mm de longitud y 90 mm de ancho (Anexo 5) (Fig. 5).

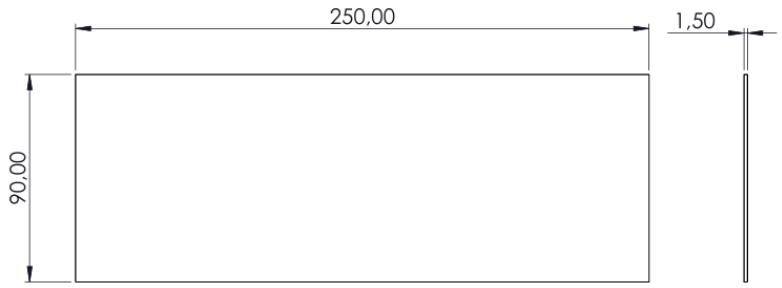


Fig. 5 Probeta a ensayar

La realización del proceso de acondicionamiento del material sirve para que las probetas a ensayar estén en condiciones representativas y óptimas para la evaluación frente al fuego. Ya que están dirigidos por la norma, hay que seguir los parámetros de acondicionamiento que establece dicha norma. El acondicionamiento de las probetas incluye acciones de corte o moldeo según las dimensiones que requiera y como sea la forma inicial de las muestras, además de eliminar impurezas en la superficie o contaminantes que todavía sigan presentes, ya que esto podría afectar los resultados del ensayo, agregando que el almacenamiento en condiciones ambientales ayuda a garantizar la estabilidad de las propiedades del material. Las muestras son introducidas a la cámara de acondicionamiento, aquí pueden someterse a condiciones ambientales como la humedad o la temperatura.

Se aprecia como las probetas se encuentran dentro de la cámara de acondicionamiento (Fig. 6).



Fig. 6 Probetas dentro de la cámara de acondicionamiento

La temperatura de acondicionamiento debe ajustarse aproximadamente a 23° Celsius con una variación aceptable de ± 2 °C, una humedad relativa de 50% con variación aceptable del ± 5% (Fig. 7). El datalogger ayuda a registrar los datos de las cámaras para saber si el acondicionamiento se está realizando con los parámetros correctos.



Fig. 7 Parámetros de acondicionamiento

Se toma el peso de cada muestra antes de ingresar a las cámaras de acondicionamiento (Fig. 8), esto con el fin de saber si el material, después de salir de la cámara está bien acondicionado, ya que al cumplir 48 horas de haber ingresado a las cámaras, de nuevo se registran los pesos con los que salieron las muestras y se realiza una comparativa para saber si existe diferencia con los pesos antes registrados, posteriormente se realiza otra medición de pesos para comprobar si el acondicionamiento se realizó de manera exitosa.



Fig. 8 Pesaje de probetas acondicionadas

En la TABLA VI se registran los pesos como indica la norma, antes y después de 48 horas, con el fin de garantizar las condiciones correctas de humedad y que esto se mantenga constante.

TABLA VI

PESOS DE PROBETAS ANTES Y DESPUÉS DEL ACONDICIONAMIENTO

Medición de peso de probetas				
N°	**Probeta/código**	**Peso inicial (g)**	**Peso a 24 horas**	**Peso a 48 horas**
1	30BL1	59,29	59,29	59,29
2	30BL2	61,54	61,51	61,51
3	30BL3	59,81	59,79	59,79
4	30BT1	61,37	61,35	61,35
5	30BT2	58,94	58,91	58,91
6	30BT3	61,5	61,48	61,48
7	30SL1	59,53	59,51	59,51
8	30SL2	61,61	61,59	61,59
9	30SL3	61,01	61	61
10	30ST1	58,74	58,72	58,72
11	30ST2	58,85	58,83	58,83
12	30ST3	60,11	60,1	60,1
13	60BL1	59,03	59,01	59,01
14	60BL2	60,98	60,97	60,97
15	60BL3	59,24	59,22	58,22
16	60BT1	59,68	59,66	59,66
17	60BT2	59,09	59,07	59,07
18	60BT3	58,55	58,53	58,53

TABLA VI

PESOS DE PROBETAS ANTES Y DESPUÉS DEL ACONDICIONAMIENTO

(continuación)

19	60SL1	60,95	60,93	60,93
20	60SL2	63,31	63,29	63,29
21	60SL3	60,61	60,59	60,59
22	60ST1	61,33	61,3	61,3
23	60ST2	60,49	60,47	60,47
24	60ST3	60,69	60,68	60,60

Papel filtro y bandeja.

El papel filtro utilizado debe ser un papel de filtro nuevo con una masa por unidad de área de (75 $\pm$ 15) g/m^2 y con un contenido de cenizas menor del 0,1%. El papel de filtro se debe conservar en un desecador antes de su uso en el ensayo. La bandeja debe ser de 100 mm x 50 mm y una profundidad de 10 mm, con un espesor de 0,175 mm $\pm$ 0,025 mm, fabricada con lámina de aluminio. La bandeja se sitúa bajo el porta muestras y se sustituye para cada ensayo.

Cámara de combustión

La cámara de combustión (Fig. 9) está construida con hojas de acero inoxidable y cuenta con puertas de cristal resistente al calor para facilitar el acceso y la observación desde el frente y uno de los lados. Debe tener una ventilación adecuada a través de una abertura cuadrada en la parte inferior, fabricada en acero inoxidable de 1,5 mm de espesor, con una altura de 50 mm y una abertura de 25 mm x 25 mm. Para asegurar la ventilación, la cámara debe estar a 40 mm de altura sobre soportes que mantengan los laterales libres. La velocidad del aire en el eje central de la chimenea debe ser de (0,7 ± 0,1) m/s, medida con la llama piloto encendida y la campana extractora funcionando. Además, la cámara debe ubicarse bajo una campana extractora adecuada.

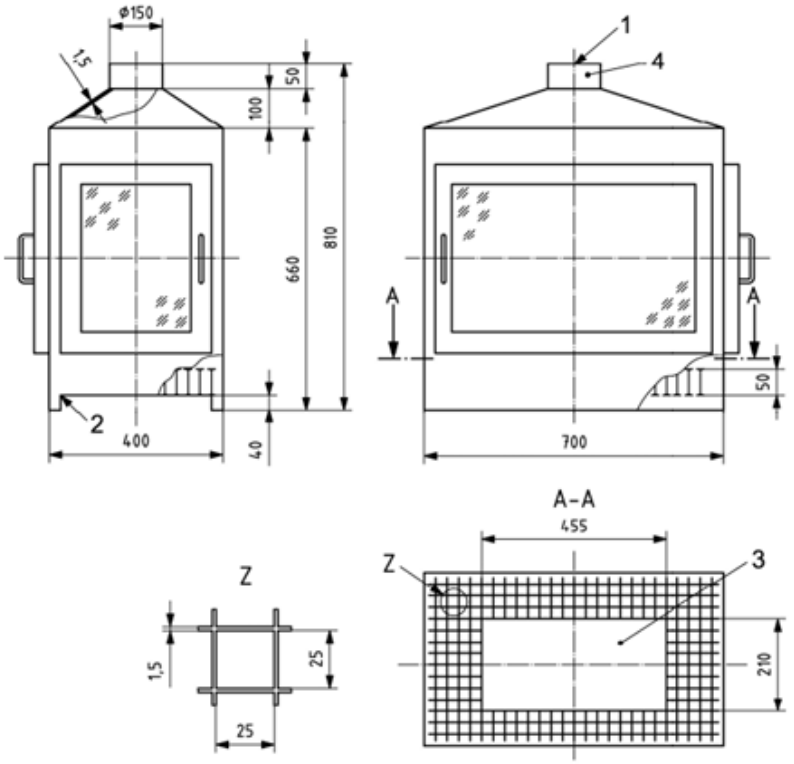


Fig. 9 Cámara de combustión

Ensayo de flamabilidad

La norma NTE INEN-ISO 11925-2 establece los procedimientos a seguir para evaluar la flamabilidad de materiales de construcción mediante ensayos realizados en una cámara de combustión. Este procedimiento esta estandarizado, ya que expone un proceso específico para determinar el comportamiento que tiene un material para resistir la propagación del fuego después de haber sido sometido a una fuente de ignición. Dentro de los lineamientos de la norma se presentan las condiciones de prueba, duración e intensidad de llama, por ejemplo, así también como presenta los criterios para clasificar la inflamabilidad del material en función de los resultados que los ensayos arrojen. Dentro de los lineamientos también se presentan las condiciones que deben tener las muestras a evaluar y su proceso de preparación, además de cómo se deben interpretar los resultados obtenidos. Con todos estos lineamientos estandarizados se puede interpretar los resultados de una manera concisa y objetiva sobre como los materiales de construcción utilizados en muchos sectores industriales se comporta frente al fuego.

Proceso de encendido de la llama

Para la preparación de la llama, se debe colocar el quemador en posición vertical y posicionar la flama a una altura de 20 mm como está establecido, para lo cual se utilizó una galga con la medida solicitada (Fig. 10).



Fig. 10 Tamaño de llama

Seguido de medir la altura de la llama se inclina el mechero a 45° y se empuja al interior de la cámara para que haga contacto con la probeta, se visualiza la inclinación del mechero como establece la norma (Fig. 11).

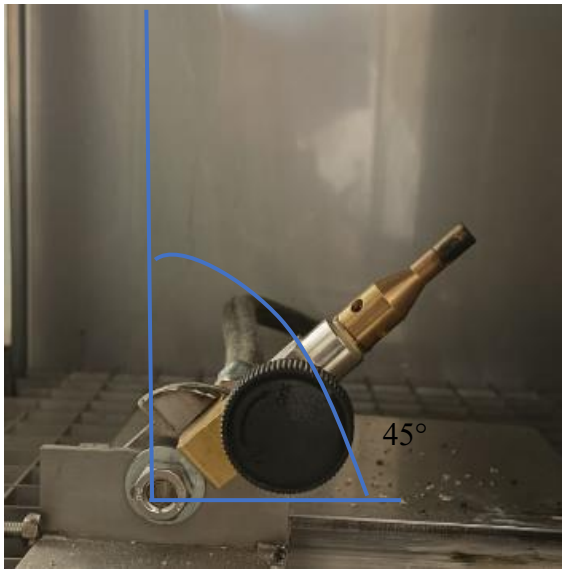


Fig. 11 Quemador a 45°

Condiciones de exposición

El ensayo de inflamabilidad se puede realizar tanto a borde expuesto como a superficie expuesta o en ambas áreas.

Borde expuesto

Como establece la norma, para productos que son monocapa o multicapa esencialmente planos de espesor total menor o igual que 3 mm, la llama se debe aplicar en el punto medio de la parte inferior de la muestra (Fig. 13).

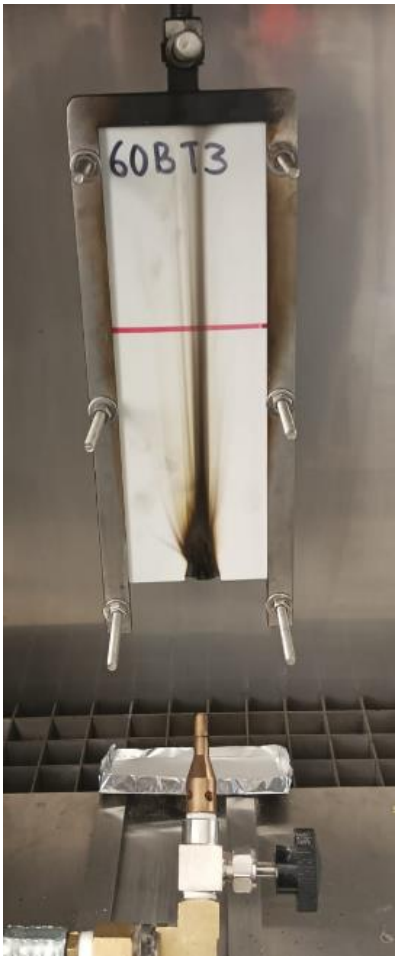


Fig. 12 Probeta ensayada a borde

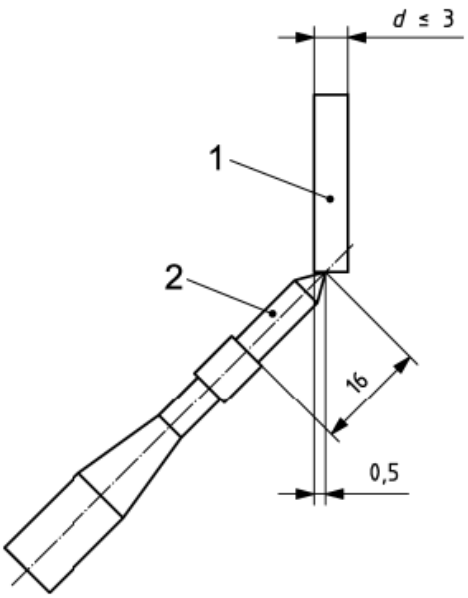


Fig. 13 Punto de aplicación de la llama

Superficie expuesta

Para productos esencialmente planos, la llama se debe aplicar sobre el eje de la muestra a 40 mm sobre el borde inferior, se debe ensayar toda la superficie que pueda quedar expuesta en el trabajo (Fig. 14).

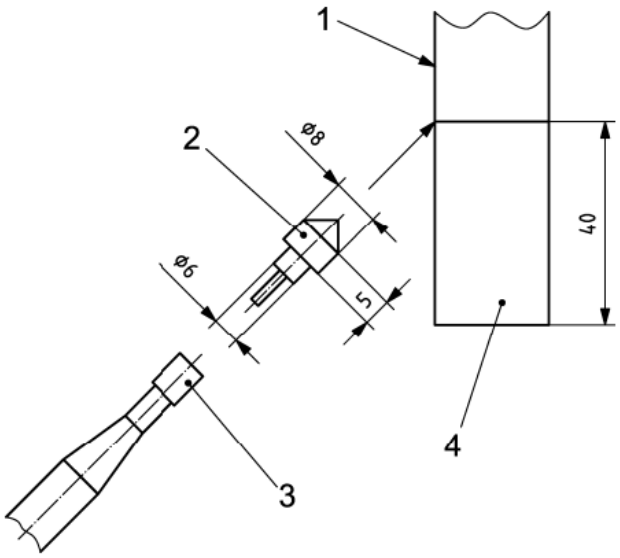


Fig. 14 Aproximación de la llama a superficie

Tiempo

El tiempo ejecutado para los diferentes dos tipos de ensayo fueron de 30 segundos y 60 segundos, por lo cual la norma establece que:

- Si la llama se aplica durante 30 segundos, el período total del ensayo debe ser de 60 segundos desde el inicio de la aplicación de la llama.
- Si la llama se aplica durante 60 segundos, el período total del ensayo debe ser de 120 segundos desde el inicio de la aplicación de la llama.

2.4. Medición del cambio de temperaturas presentes en el material sometido al fuego mediante el uso de la cámara termográfica.

Para captar la variación de temperaturas que se generó en el proceso de combustión y como se distribuye dichas temperaturas, se utilizó la cámara termográfica disponible en el Laboratorio de Ingeniería Civil y Mecánica, la cual cuenta con su certificado (Anexo 10) y además el software para visualizar los videos o imágenes en el computador (Anexo 12).

A continuación, se enumera los pasos para el correcto uso de la cámara termográfica:

1. Se verifica el funcionamiento de la cámara mediante tomas de prueba, la cámara cuenta con varios gatillos que actúan como botones, para grabar video, capturar imágenes y guardar videos, se presiona una vez el gatillo más grande para grabar, de nuevo se presiona para detener la grabación y se vuelve a presionar para guardar el archivo, se presiona el gatillo más pequeño para realizar una captura, se realizó varias grabaciones de prueba para comprobar que los videos se guarden correctamente.
2. Para captar de mejor manera los datos, se debe calibrar la distancia a la cual se ubicó la cámara en función del objeto u objetos que se requiere analizar.
3. Otro parámetro por configurar es la escala de temperaturas, la cámara disponible cuenta con varias escalas, las cuales van desde 0 °C – 120 °C, 0 °C – 650 °C, 120 °C – 1200 °C, se escogió la escala de 0 °C – 650 °C por su rango amplio.
4. Cuando la cámara se calibra correctamente, se ubica sobre un trípode para tener mayor estabilidad al momento de grabar y se ubicaron dos puntos de

importancia, uno en el punto de aplicación de la llama y otro en la marca de 150 mm.

5. Se inicia la grabación en conjunto con el ensayo de flamabilidad para capturar la variación de temperaturas en los puntos asignados anteriormente y como el fuego se propaga alrededor de la probeta, se debe grabar el antes, durante y después de la exposición del fuego frente al material, es decir unos segundos antes y unos segundos más de la duración del ensayo.
6. Se guarda los videos generados en la memoria interna
7. El software se instala en el computador y se copian los videos almacenados en la cámara hacia el computador.
8. Se utiliza el software para la visualización y posterior análisis de los videos grabados sobre el comportamiento del fuego alrededor de la superficie de la probeta y sus variaciones de temperaturas.

2.5. Captación de gases producidos mediante el medidor de gases

Se utilizó el medidor de gases disponible en el Laboratorio (Anexo 11), el instrumento se calibra y se ubica en la parte superior de la cámara de combustión (Fig. 15), esta herramienta posee una sonda la cual capta los gases producidos, y se ubica en esa posición debido a que la mayoría de los gases fueron expulsados por el extractor ubicado en la parte superior de la cámara, se visualiza en su pantalla los gases que se pueden medir y sus valores en porcentajes y partículas por millón (ppm), el medidor emite una alarma al momento de captar niveles altos de gases, esta alarma indica que los gases producidos empiezan a ser perjudiciales para la salud.



Fig. 15 Medidor de gases ubicado en la parte superior de la cámara.

2.6. Metodología general para el desarrollo de la simulación

A continuación, se menciona los pasos realizados para completar la simulación del comportamiento térmico del ensayo de flamabilidad (ver Apéndice A):

1. Se especificó el modelo geométrico que se va a representar mediante un programa de modelado CAD.
2. Se comienza el modelado CAD siguiendo los parámetros establecidos por la normativa
3. Finalizado el proceso de diseño sin presentar ningún error y cumpliendo con los parámetros que establece la norma, se procede a guardar los archivos en el formato adecuado para posteriormente exportarlos.
4. Se selecciona el programa a utilizar para realizar la simulación de ensayos de flamabilidad.
5. Se instala el software en el computador y se comienza a manejarlo para utilizarlo de mejor manera.
6. Se procede a la exportación del modelado geométrico de los objetos.
7. Se revisa que la exportación de archivos no haya tenido ninguna alteración y continuamos.
8. La simulación el software solicitó ingresar ciertas propiedades del material, estas son; densidad, conductividad térmica, calor especifico, emisividad y coeficiente de absorción.
9. Se realiza una investigación sobre estas 5 propiedades para seleccionar el valor más acercado a la realidad, con el fin de obtener resultados muy cercanos a los registrados en los ensayos de flamabilidad.
10. Se configura los parámetros de nuestra simulación, materiales, combustible, tiempo de simulación, condiciones de frontera, etc.
11. Se completa la configuración general de la simulación, se genera una malla y se configura.
12. Se genera una simulación de prueba para verificar que no se presenten errores.
13. Se corrigen los errores si estos llegaran a aparecer y de nuevo se corre otra simulación de prueba.

14. Una vez que los parámetros estén configurados de manera correcta, se genera una nueva malla rodeando al objeto de interés, en este caso la probeta, de una malla mucho más fina para obtener resultados más precisos.
15. Completada la simulación, arroja resultados y estos se comparan con los obtenidos con la cámara termográfica.
16. Los datos recopilados se plasman en el documento junto a los datos obtenidos por medio de la cámara termográfica y se comparan.
17. Para evaluar el porcentaje de variación entre resultados, según [38] un porcentaje comprendido entre el 10% es aceptable.

En la (Fig. 16) se observa el diagrama de flujo del método a seguir para la realización de la simulación y obtener resultados .

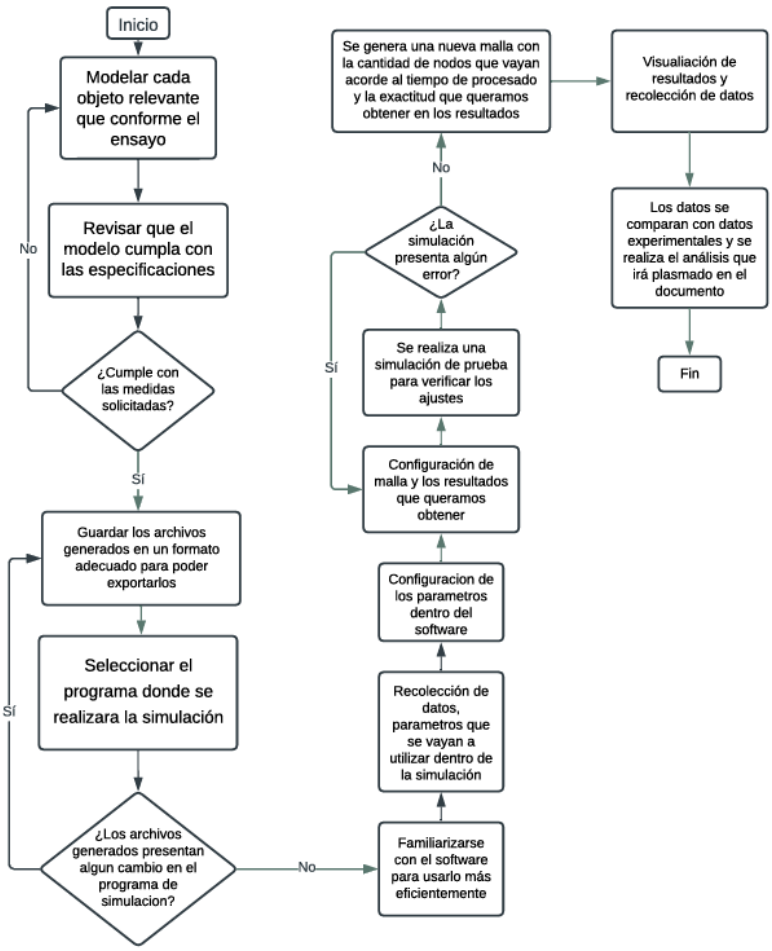


Fig. 16 Diagrama de flujo de simulación

La cámara de combustión fue modelada conforme a lo estipulado en la norma NTE INEN – ISO 11925 – 2 (Anexo 4), mediante un programa de modelado CAD, los archivos generados por el programa de diseño se almacenaron en formato .Stl (Fig. 17).

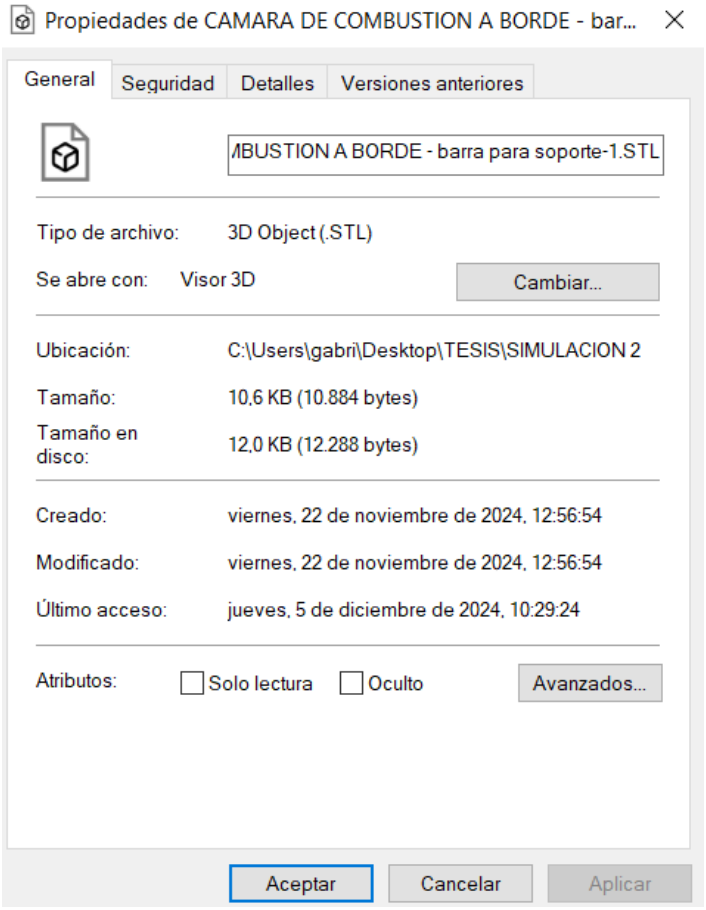


Fig. 17 Formato .Stl de almacenamiento

Programa especializado para realizar un estudio FDS

Por la naturaleza del ensayo, se eligió un programa especializado para simular una fuente de ignición, recrear la transferencia de calor hacia el material y visualizar las diferencias de temperaturas en la superficie de la probeta, PyroSim es un software especializado en el modelado y simulación de escenarios de incendios en 3D y fue el indicado para el estudio. Los archivos antes mencionados fueron exportados al programa, de forma que se ubiquen correctamente (Fig. 18), se verifica que no exista ningún error y se prosiguió con la configuración.

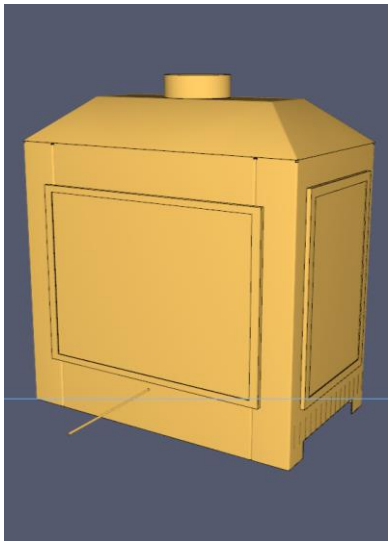


Fig. 18 Cámara de combustión

Dentro del programa se realizó la configuración adecuada para recrear el ensayo de flamabilidad, se adoptaron los aspectos más significativos para que la simulación sea lo más cercana a la realidad. Especies, reacciones, materiales, superficies, fuente de calor y demás parámetros fueron configurados alrededor de todo el estudio de simulación (ver Apéndice A), para obtener los resultados esperados.

Al finalizar la configuración de todos los parámetros que intervinieron, los archivos son guardados, y seguido se ejecutó el procesado de los mismo (Fig. 19).

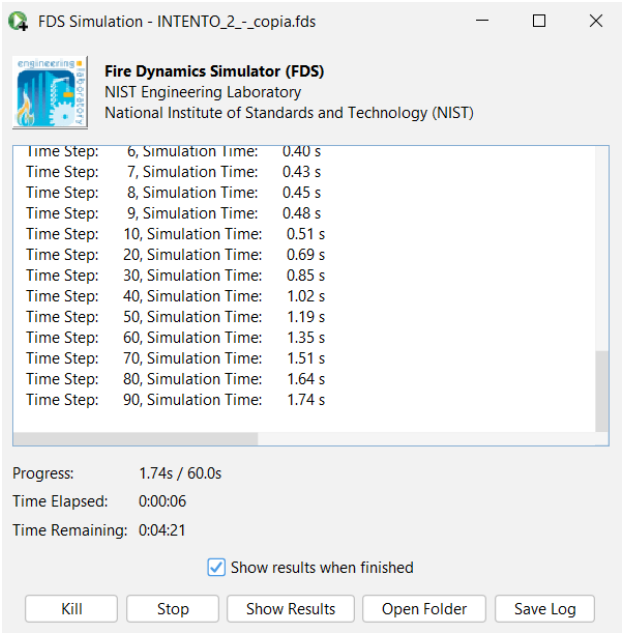


Fig. 19 FDS Simulation

Al realizar la configuración se presentaron errores que invalidaron el procesado de los archivos, estos errores fueron identificados y corregidos satisfactoriamente. Se ejecuto un nuevo archivo con las correcciones pertinentes y así se finalizó con la simulación de ensayos de flamabilidad.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

En esta sección se detallaron los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados en los materiales que fueron sometidos al mencionado experimento previo.

Como menciona anteriormente en la norma, los datos recolectados de cada probeta serán expresados mediante la TABLA VII cómo se expone en [10]. Detallando los siguientes parámetros:

Ignición. – se denomina a este término al proceso que pone marcha una combustión, si existe presencia de llama sostenida.

La llama alcanza 150 mm. – en las probetas se traza una marca a partir del borde inferior de 150 mm y en superficie desde 40 mm del borde inferior hasta alcanzar 150 mm, esto con el fin de determinar si el fuego alcanza dicha marca durante todo el proceso de combustión.

Tiempo para alcanzar los 150 mm. – si el fuego llegara a la marca de los 150 mm, se registra el tiempo exacto en el cual la llama alcanza dicha marca.

Ignición del papel filtro. – si llegara a existir desprendimiento del material, este recaería en el papel filtro colocado debajo de la probeta, provocando que el papel filtro se inflamara.

TABLA VII

PARÁMETROS ESTABLECIDOS [10].

Parámetro	Tipo	Registro
Ignición	Sí/no	-
La llama alcanza 150 mm	Sí/no	-
Tiempo para alcanzar los 150 mm	Número	t_{150}
Ignición del papel filtro	Sí/no	-

Todos los datos recolectados serán separados en diferentes tablas según el tipo de ignición (de superficie, borde inferior o borde vertical).

3.1.1. Datos obtenidos bajo la norma NTE INEN-ISO 11925-2 para policloruro de vinilo (PVC).

3.1.1.1. Probetas longitudinales y transversales sometidas a llama a borde

TABLA VIII

DATOS OBTENIDOS A BORDE A 30 SEGUNDOS

	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD			
	Informe sobre los resultados del ensayo de reacción al fuego de los materiales de construcción			
	Código: 30BL-BT	**Versión:** 00	**Fecha:** 18/11/2024	**Página:** 1 de 1

DATOS INFORMATIVOS			
Lugar:	LIM-UTA	**Equipo:**	Cámara de combustión
Responsable de Ejecución:	Guayaquil Gabriel	**Tutor:**	Ing. Víctor Espín

INFORMACIÓN DE PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Prueba de Inflamabilidad		
Tipo de material:	Policloruro de vinilo (PVC)	**Normativa:**	ISO 11925-2
Dimensiones:	250mmx90mm	**N° Ítem:**	1
Tiempo de Ignición:	30 segundos	**Punto de Aplicación:**	Borde

RESULTADOS DE ENSAYO SEGÚN LA NORMA ISO 11925-2

N° Ítem:	**Ignición**	**Tiempo que tardo en ocurrir (s)**	**La punta de la llama alcanza 150 mm**	**Tiempo en que ocurre (s)**	**Presencia de gotas/Partículas inflamadas**	**Ignición del papel filtro**	**Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)**
30BL1	Si	8	No	0	No	No	0
30BL2	Si	7	No	0	No	No	0
30BL3	Si	9	No	0	No	No	0

TABLA VIII

DATOS OBTENIDOS A BORDE A 30 SEGUNDOS (continuación)

30BT1	Si	9	No	0	No	No	0
30BT2	Si	8	No	0	No	No	0
30BT3	Si	9	No	0	No	No	0

Observaciones del comportamiento físico del espécimen de prueba: No presenta desprendimiento del material

Visualización del resultado Final de la Muestra

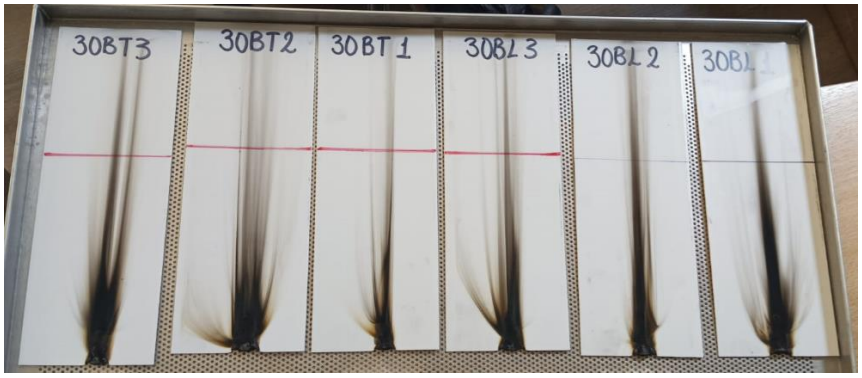


TABLA IX

DATOS OBTENIDOS A BORDE A 60 SEGUNDOS

	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD			
	Informe sobre los resultados del ensayo de reacción al fuego de los materiales de construcción			
	Código: 60BT-BL	**Versión:** 00	**Fecha:** 18/11/2024	**Página:** 1 de 1
DATOS INFORMATIVOS				
Lugar:	LIM-UTA	**Equipo:**	Cámara de combustión	
Responsable de Ejecución:	Guayaquil Gabriel	**Tutor:**	Ing. Víctor Espín	
INFORMACIÓN DE PARÁMETROS DE ENSAYO				
Tipo de ensayo:	Prueba de Inflamabilidad			
Tipo de material:	Policloruro de vinilo (PVC)	**Normativa:**	ISO 11925-2	
Dimensiones:	250mmx90mm	**N° Ítem:**	2	

TABLA IX

DATOS OBTENIDOS A BORDE A 60 SEGUNDOS (continuación)

Tiempo de Ignición:	60 segundos	**Punto de Aplicación:**	Borde

RESULTADOS DE ENSAYO SEGÚN LA NORMA ISO 11925-2

N° Ítem:	**Ignición**	**Tiempo que tardo en ocurrir (s)**	**La punta de la llama alcanza 150 mm**	**Tiempo en que ocurre (s)**	**Presencia de gotas/Partículas inflamadas**	**Ignición del papel filtro**	**Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)**
60BL1	Si	7	No	0	No	No	0
60BL2	Si	8	No	0	No	No	0
60BL3	Si	8	No	0	No	No	0
60BT1	Si	9	No	0	No	No	0
60BT2	Si	8	No	0	No	No	0
60BT3	Si	9	No	0	No	No	0

Observaciones del comportamiento físico del espécimen de prueba: El fuego se extingue al momento de retirar la fuente de calor.

Visualización del resultado Final de la Muestra



3.1.1.2. Probetas longitudinales y transversales sometidas a llama en superficie

TABLA X

DATOS OBTENIDOS A SUPERFICIE A 30 SEGUNDOS

	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD			
	Informe sobre los resultados del ensayo de reacción al fuego de los materiales de construcción			
	Código: 30SL-ST	**Versión:** 00	**Fecha:** 18/11/2024	**Página:** 1 de 1

DATOS INFORMATIVOS			
Lugar:	LIM-UTA	**Equipo:**	Cámara de combustión
Responsable de Ejecución:	Guayaquil Gabriel	**Tutor:**	Ing. Víctor Espín

INFORMACIÓN DE PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Prueba de Inflamabilidad		
Tipo de material:	Policloruro de vinilo (PVC)	**Normativa:**	ISO 11925-2
Dimensiones:	250mmx90mm	**N° Ítem:**	3
Tiempo de Ignición:	30 segundos	**Punto de Aplicación:**	Superficie

RESULTADOS DE ENSAYO SEGÚN LA NORMA ISO 11925-2

N° Ítem:	**Ignición**	**Tiempo que tardo en ocurrir (s)**	**La punta de la llama alcanza 150 mm**	**Tiempo en que ocurre (s)**	**Presencia de gotas/Partículas inflamadas**	**Ignición del papel filtro**	**Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)**
30SL1	Si	23	No	0	No	No	0
30SL2	Si	22	No	0	No	No	0
30SL3	Si	22	No	0	No	No	0
30ST1	Si	21	No	0	No	No	0
30ST2	Si	21	No	0	No	No	0
30ST3	Si	22	No	0	No	No	0

Observaciones del comportamiento físico del espécimen de prueba: No presenta desprendimiento del material

TABLA X

DATOS OBTENIDOS A SUPERFICIE A 30 SEGUNDOS (continuación)

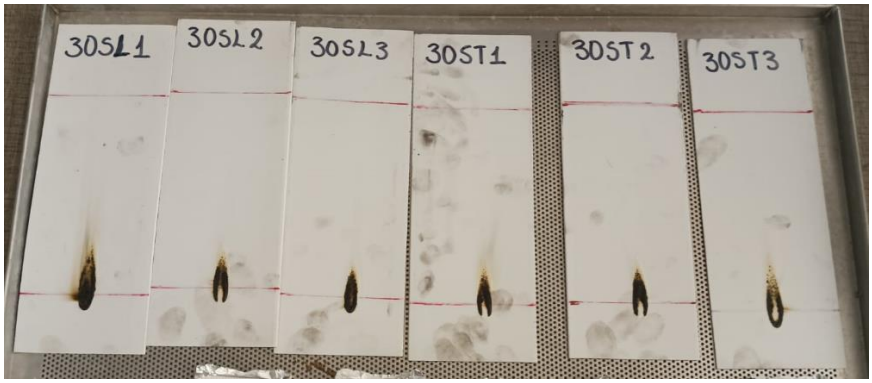
Visualización del resultado Final de la Muestra


TABLA XI

DATOS OBTENIDOS A SUPERFICIE A 60 SEGUNDOS

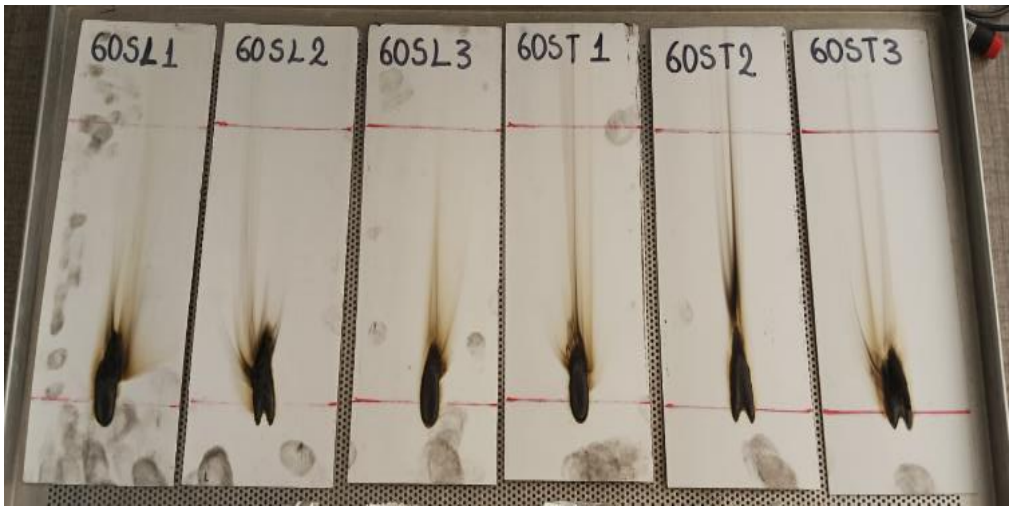
	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD			
	Informe sobre los resultados del ensayo de reacción al fuego de los materiales de construcción			
	Código: 60SL-ST	**Versión:** 00	**Fecha:** 18/11/2024	**Página:** 1 de 1
DATOS INFORMATIVOS				
Lugar:	LIM-UTA	**Equipo:**	Cámara de combustión	
Responsable de Ejecución:	Guayaquil Gabriel	**Tutor:**	Ing. Víctor Espín	
INFORMACIÓN DE PARÁMETROS DE ENSAYO				
Tipo de ensayo:	Prueba de Inflamabilidad			
Tipo de material:	Policloruro de vinilo (PVC)	**Normativa:**	ISO 11925-2	
Dimensiones:	250mmx90mm	**N° Ítem:**	4	
Tiempo de Ignición:	60 segundos	**Punto de Aplicación:**	Superficie	
RESULTADOS DE ENSAYO SEGÚN LA NORMA ISO 11925-2				

TABLA XI

DATOS OBTENIDOS A SUPERFICIE A 60 SEGUNDOS (continuación)

N° Ítem:	Ignición	Tiempo que tardo en ocurrir (s)	La punta de la llama alcanza 150 mm	Tiempo en que ocurre (s)	Presencia de gotas/Partículas inflamadas	Ignición del papel filtro	Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)
60SL1	Si	22	No	0	No	No	0
60SL2	Si	23	No	0	No	No	0
60SL3	Si	21	No	0	No	No	0
60ST1	Si	21	No	0	No	No	0
60ST2	Si	22	No	0	No	No	0
60ST3	Si	22	No	0	No	No	0
Observaciones del comportamiento físico del espécimen de prueba: No presenta desprendimiento del material							

Visualización del resultado Final de la Muestra



3.1.2. Análisis e interpretación de resultados

3.1.2.1. Análisis del ensayo de probetas a borde a 30 segundos

En la TABLA XII se realizó el análisis de los factores antes mencionados al inicio del capítulo, de las probetas de policloruro de vinilo (PVC) acondicionadas, con la aplicación de llama a borde en un periodo de tiempo de 30 segundos:

TABLA XII

ANÁLISIS DE PARÁMETROS A BORDE A 30 SEGUNDOS

Factores	**Análisis**
Se produjo ignición	Según la TABLA VIII, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), se produjo ignición.
La llama alcanza 150 mm	Según la TABLA VIII, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no alcanza la marca de 150 mm.
Presencia de partículas o gotas	Según la TABLA VIII, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no hubo presencia de goteo o desprendimiento de material o partículas.
Ignición del papel filtro	Según la TABLA VIII, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no se produjo ignición del papel filtro

3.1.2.2. Análisis del ensayo de probetas a borde a 60 segundos

En la TABLA XIII se realizó el análisis de los factores antes mencionados al inicio del capítulo, de las probetas de policloruro de vinilo (PVC) acondicionadas, con la aplicación de llama a borde en un periodo de tiempo de 60 segundos:

TABLA XIII

ANÁLISIS DE PARÁMETROS A BORDE A 60 SEGUNDOS

Factores	Análisis
Se produjo ignición	Según la TABLA IX, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), se produjo ignición.
La llama alcanza 150 mm	Según la TABLA IX, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no alcanza la marca de 150 mm.
Presencia de partículas o gotas	Según la TABLA IX, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no hubo presencia de goteo o desprendimiento de material o partículas.
ignición del papel filtro	Según la TABLA IX, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no se produjo ignición del papel filtro

3.1.2.3. Análisis del ensayo de probetas a superficie a 30 segundos

En la TABLA XIV se realizó el análisis de los factores antes mencionados al inicio del capítulo, de las probetas de policloruro de vinilo (PVC) acondicionadas, con la aplicación de llama a borde en un periodo de tiempo de 30 segundos:

TABLA XIV

ANÁLISIS DE PARÁMETROS A SUPERFICIE A 30 SEGUNDOS

Factores	Análisis
Se produjo ignición	Según la TABLA X, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), se produjo ignición.
La llama alcanza 150 mm	Según la TABLA X, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no alcanza la marca de 150 mm.
Presencia de partículas o gotas	Según la TABLA X, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no hubo presencia de goteo o desprendimiento de material o partículas.
ignición del papel filtro	Según la TABLA X, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no se produjo ignición del papel filtro.

3.1.2.4. Análisis del ensayo de probetas a superficie a 60 segundos

En la TABLA XV se realizó el análisis de los factores antes mencionados al inicio del capítulo, de las probetas de policloruro de vinilo (PVC) acondicionadas, con la aplicación de llama a borde en un periodo de tiempo de 60 segundos:

TABLA XV

ANÁLISIS DE PARÁMETROS A SUPERFICIE A 60 SEGUNDOS

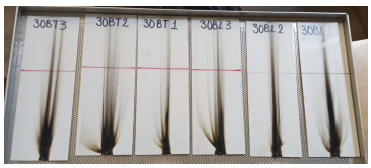
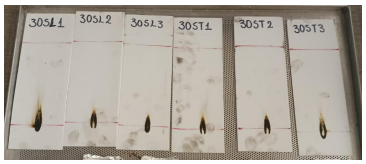
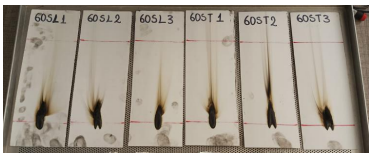
Factores	Análisis
Se produjo ignición	Según la TABLA XI, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), se produjo ignición.
La llama alcanza 150 mm	Según la TABLA XI, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no alcanza la marca de 150 mm.
Presencia de partículas o gotas	Según la TABLA XI, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no hubo presencia de goteo o desprendimiento de material o partículas.
ignición del papel filtro	Según la TABLA XI, y al informe del Laboratorio de investigación para ensayos de flamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, (Anexo 3), no se produjo ignición del papel filtro.

3.1.3. Discusión de resultados

En este apartado la TABLA XVI, se presenta de manera simple y resumida los resultados de los diferentes tipos de ensayos realizados en la presente investigación por medio de una tabla representativa; en la cual se enlistan los datos obtenidos y una tabla comparativa entre cada uno de los materiales ensayados.

TABLA XVI

RECOPILACIÓN DE RESULTADOS

PROBETAS	TABLA RESUMEN DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
	Codificación	**Ignición**	**La llama alcanza los 150 mm**	**Tiempo para alcanzar los 150 mm**	**Ignición del papel filtro**
	30BL1	Si	No	0	No
	30BL2	Si	No	0	No
	30BL3	Si	No	0	No
	30BT1	Si	No	0	No
	30BT2	Si	No	0	No
	30BT3	Si	No	0	No
	30SL1	Si	No	0	No
	30SL2	Si	No	0	No
	30SL3	Si	No	0	No
	30ST1	Si	No	0	No
	30ST2	Si	No	0	No
	30ST3	Si	No	0	No
	60BL1	Si	No	0	No
	60BL2	Si	No	0	No
	60BL3	Si	No	0	No
	60BT1	Si	No	0	No
	60BT2	Si	No	0	No
	60BT3	Si	No	0	No
	60SL1	Si	No	0	No
	60SL2	Si	No	0	No
	60SL3	Si	No	0	No
	60ST1	Si	No	0	No
	60ST2	Si	No	0	No
	60ST3	Si	No	0	No

Se presentó un resumen entre cada una de las probetas ensayadas con su serie de codificación, el motivo por el cual se obtienen una línea recta es que en cada uno de los ensayos realizados se obtienen valores de cero, tanto de forma longitudinal y transversal, esto quiere decir que ningún material llegó a la marca de los 150 mm, debido a estos resultados se determina que el material ensayado es auto extinguible sin importar la dirección en la cual las probetas estén preparadas (Fig. 20).

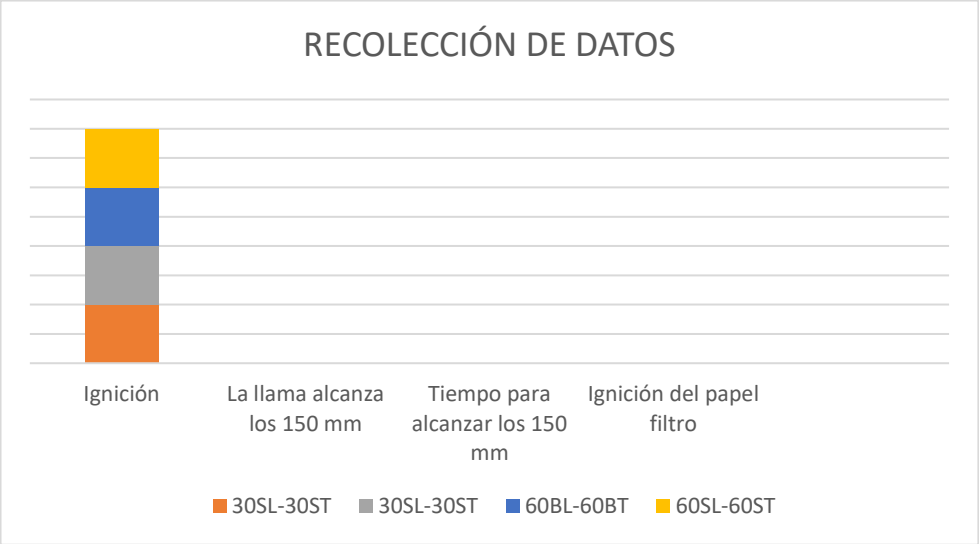


Fig. 20 Resumen de ensayo de flamabilidad

Conforme a los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizado en el material de policloruro de vinilo (PVC), a continuación, se dio a conocer el análisis y la interpretación de cada una de las fichas.

Interpretación del ensayo sometido a llama a borde a 30 segundos.

Para este apartado se requirió 6 probetas, 3 transversales y 3 longitudinales, las cuales antes fueron adecuadas para cumplir con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN-ISO 11925-2. Seguido de haber permanecido 48 horas en las cámaras de acondicionamiento, las probetas fueron introducidas en la cámara de combustión para los ensayos de reacción al fuego para materiales de construcción, donde fueron sometidas a la reacción del fuego en el borde inferior durante un periodo de tiempo de 30 segundos. En estos ensayos según las fichas, se produjo ignición del material, sin embargo, no sobrepasó el límite de 150 mm establecido y tampoco se presenció goteo ni desprendimiento del material, por ende, tampoco hubo ignición del papel filtro (Fig. 21), por esto se considera que el material es auto extinguible.



Fig. 21 Probeta ensayada a borde a 30 segundos

Interpretación del ensayo sometido a llama a borde a 60 segundos.

Para este ensayo se requirió 6 probetas, 3 transversales y 3 longitudinales, las cuales antes fueron adecuadas para cumplir con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN-ISO 11925-2. Seguido de haber permanecido 48 horas en las cámaras de acondicionamiento, las probetas fueron introducidas en la cámara de combustión para ensayos de reacción al fuego para materiales de construcción, donde fueron sometidas a la reacción del fuego en el borde inferior durante un periodo de tiempo de 60 segundos. En este ensayo de mayor duración se evidenció que, se produjo ignición del material, pero de igual forma sobrepasó el límite de 150 mm establecido, no existió ignición del papel filtro ya que no hubo goteo ni desprendimiento de material (Fig. 22), por esto se considera que el material es auto extinguible.



Fig. 22 Probeta ensayada a borde a 60 segundos

Interpretación del ensayo sometido a llama a superficie a 30 segundos.

Para este ensayo se requirió 6 probetas, 3 transversales y 3 longitudinales, las cuales antes fueron adecuadas para cumplir con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN-ISO 11925-2. Seguido de haber permanecido 48 horas en las cámaras de acondicionamiento, las probetas fueron introducidas en la cámara de combustión para ensayos de reacción al fuego para materiales de construcción, donde fueron sometidas a la reacción del fuego en el borde inferior durante un periodo de tiempo de 30 segundos en la parte superficial de la probeta. En este ensayo se evidencio que, se produjo ignición del material por varios instantes y de igual forma la llama no sobrepaso el límite de 150 mm establecido, no hubo goteo ni desprendimiento de material y tampoco existió ignición del papel filtro (Fig. 23), por esto se considera que el material es auto extinguible.



Fig. 23 Probeta ensayada a superficie a 30 segundos

Interpretación del ensayo sometido a llama a superficie a 60 segundos.

Para este ensayo se requirió 6 probetas, 3 transversales y 3 longitudinales, las cuales antes fueron adecuadas para cumplir con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN-ISO 11925-2. Seguido de haber permanecido 48 horas en las cámaras de acondicionamiento, las probetas fueron introducidas en la cámara de combustión para ensayos de reacción al fuego para materiales de construcción, donde fueron sometidas a la reacción del fuego en el borde inferior durante un período de tiempo de 30 segundos en la parte superficial de la probeta. En este ensayo con más duración de tiempo de exposición a la llama se evidencio que, se produjo ignición del material, la llama no sobrepasó el límite de 150 mm establecido, no se presenció goteo ni desprendimiento de material y tampoco existió ignición del papel filtro (Fig. 24), por esto se considera que el material es auto extinguible.

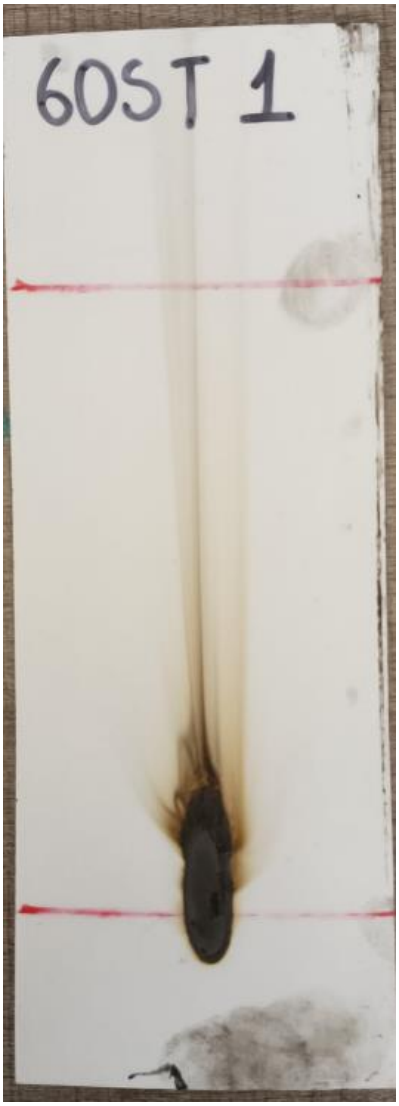


Fig. 24 Probeta ensayada a superficie a 60 segundos

Índice de flamabilidad

Según el análisis de los parámetros que impone la norma NTE INEN-ISO 11925-2, el índice de flamabilidad se puede interpretar combinando los aspectos evaluados (Fig. 20) y el análisis realizado para cada tipo de configuración de ensayo, por lo que se determinó que el índice de flamabilidad del policloruro de vinilo (PVC) es bajo.

3.2. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación según la norma UNE-EN 13501:1

En la TABLA XVII, se clasificó el PVC según los resultados obtenidos de su comportamiento frente al fuego:

TABLA XVII

CLASIFICACÓN SEGÚN UNE – EN 13501:1

CLASIFICACIÓN DEL PVC	
A1	El material por su naturaleza aislante no es combustible
s2	La emisión de los humos es media.
d0	No se presenció goteo ni desprendimiento del material
Clasificación de la reacción al Fuego: A1 – s2, d0	

Este material fue clasificado como un material auto extinguible, por sus propiedades hacen de este material un buen aislante ya que frente a las llamas su comportamiento es muy optimo.

3.3. Análisis de gases captados en la combustión del PVC

En esta sección se detalló los gases producidos por la combustión del PVC y su análisis, el medidor de gases fue el instrumento utilizado para recopilación de datos. La TABLA XVIII detalla los efectos de los gases producto de la combustión, sus efectos como menciona [39] y los valores generados en los ensayos realizados:

TABLA XVIII

ANÁLISIS DE GASES

Gases	**Concentración en el aire**	**Efectos**	**Valor Obtenido**	**Análisis**
CH_4	a) 12 – 16 % Oxigeno b) 10 – 14 % c) 6 – 10 % d) Por debajo del 6 %	a) Aumenta el ritmo de la respiración y pulso b) Trastorno emocional, fatiga, respiración interrumpida c) Nausea y vómito, colapso y pérdida de la conciencia d) Movimientos convulsivos, posible colapso respiratorio y muerte	0 %LEL	La ausencia de gas metano indica que el material no genera hidrocarburos simples.

TABLA XVIII

ANÁLISIS DE GASES (continuación)

O_2	a) Concentraciones del 21% b) Concentraciones de 12 - 15 % c) Concentraciones de 10 - 12 % d) Concentraciones del 6 &	a) Condiciones normales b) Perdida de coordinación muscular en los movimientos del esqueleto c) Continua la conciencia, pero falta de juicio y el esfuerzo muscular provoca fatiga d) Se produce la muerte entre 6 a 8 minutos	20,9 %	El valor indica que el oxígeno se presenta en concentraciones aceptables, sin embargo, en periodos más prolongados este valor puede llegar a disminuir.
H_2S	a) 0,1 – 0,2 ppm b) 4,2 – 7 ppm c) 10 ppm d) 300 – 500 ppm e) 1000 – 2000 ppm	a) Umbral odorífico b) Olor molesto c) TLV d) Edema pulmonar e) Colapso inmediato con parálisis respiratorio	2,5 ppm	La presencia de este gas indica que sus efectos son mínimos, sin embargo, en casos extremos puede llegar a ser mortal.
CO	a) 50 ppm b) 0,01 % c) 0,04 – 0,05 % d) 0,06 – 0,07 % e) 0,12 – 0,15 % f) 1500 ppm g) 0,4%	a) TLV b) Exposición durante varias horas sin efecto. c) Exposición durante 1 hora sin efectos d) Produce efectos apreciables al cabo de una hora e) Efectos peligrosos al cabo de 1 hora f) IPVS f) Mortal al cabo de una hora.	88 ppm	Este gas es altamente toxico, sin embargo, no presenta mayores efectos durante la realización del ensayo.
CO_2	a) 5000 ppm b) 50000 ppm c) 5 – 6% d) > 10%	a) TLV b) IPVS c) Sensación de respiración forzada, raramente produce disnea d) Disnea, dolor de cabeza, sudoración, jadeo, parestesias y un sentimiento general de malestar	008 vol.%	El valor registrado de dióxido de carbono es relativamente bajo, lo cual no provoca efectos mayores.

TABLA XVIII

ANÁLISIS DE GASES (final)

NO_2	a) 3 ppm b) 25 ppm c) 50 ppm d) 150 ppm e) 300 ppm f) 500 ppm	a) TLV. b) Exposición prolongada (6 a 8 semanas) provoca bronquitis y bronconeumonía. c) IPVS. Exposición prolongada (6 a 8 semanas) bronquitis, neumonitis focal. d) Al cabo de 3 a 5 semanas de exposición, bronquiolitis obliterante fatal. e) Exposición de 2 a 10 días, bronconeumonía fatal. f) Al cabo de 48 horas edema pulmonar agudo fatal.	0,55 ppm	Los valores registrados de dióxido de nitrógeno en este caso no presentan un peligro para el ser humano, sin embargo, son perjudiciales en más concentraciones y en periodos largos de exposición, en caso de incendio estos valores pueden aumentar y amplificar sus efectos.

La TABLA XVIII indica el análisis de todos los gases que se captaron mediante el medidor de gases y sus posibles efectos, ya que el periodo de exposición de los gases va acorde al del ensayo de flamabilidad y que se realizó en condiciones controladas, sus efectos no inciden mayormente, sin embargo, la presencia de estos gases producidos por el PVC en un incendio prolongado podría ser perjudicial para la salud.

3.4. Comparación de resultados obtenidos mediante ensayos experimentales de flamabilidad con la simulación de ensayos de flamabilidad mediante software especializado

Los videos captados con la cámara termográfica durante la realización del ensayo de flamabilidad fueron de ayuda para el análisis del comportamiento frente al fuego en la superficie de los materiales ensayados y sus cambios de temperatura a través de su software de análisis. Estos datos obtenidos fueron comparados con los datos que arrojó la simulación realizada para ensayos de flamabilidad. Para todos los ensayos, el rectángulo Ar1 en las imágenes de la cámara termográfica (Fig. 27), representa las dimensiones de la probeta, el marcador Sp2 es un punto de análisis cercano a los 150 mm del punto de exposición al fuego y el marcador Sp1 es el punto más cercano al punto de exposición de la llama hacia la probeta. Además, también se consideró un

desfase de tiempo en las capturas de la cámara termográfica para todos los análisis, ya que, se empezó las grabaciones segundos antes de que la probeta y el fuego hagan contacto (Fig. 27).

Para obtener la temperatura de la simulación, se tomó como referencia el rango de colores que se presentó en la superficie de la probeta para obtener un valor promedio de temperatura (Fig. 25), por ejemplo, la escala de colores verdes que va entre 260 °C y 390 °C, con un promedio de 325 °C, este fue el valor de temperatura que se utilizó en todos los análisis, ya que no es posible a diferencia del software de la cámara termográfica ubicar un punto especifico donde censa la temperatura, es por ello que se tomó en cuenta los rangos de temperatura según los colores en la superficie.

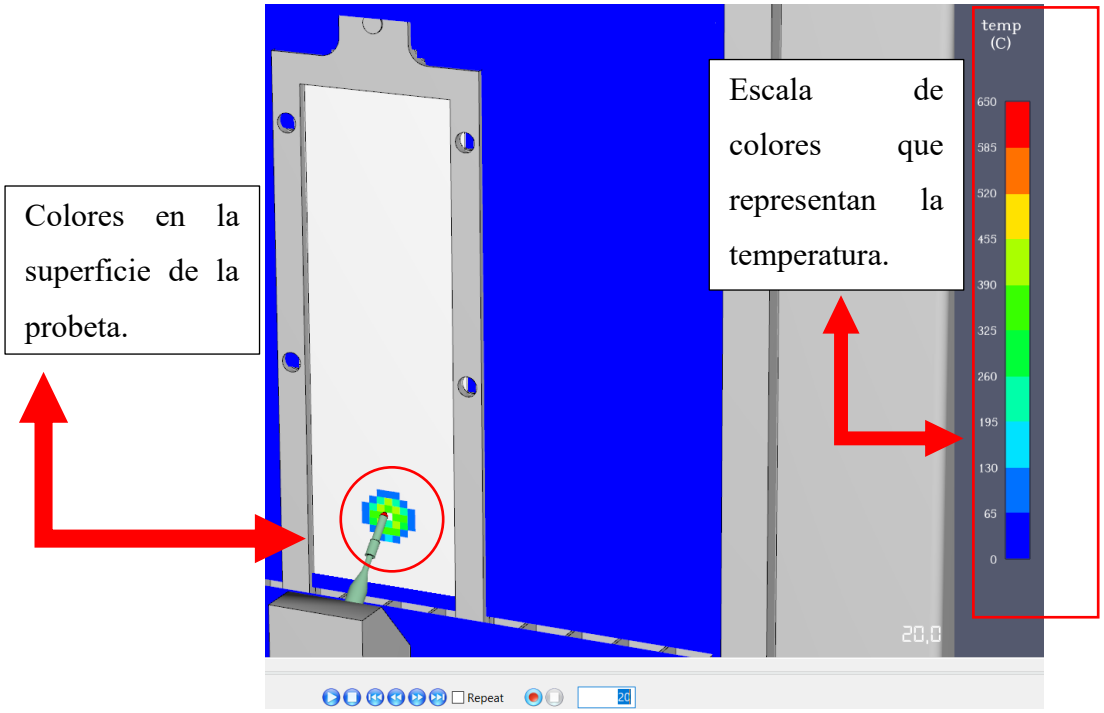


Fig. 25 Colores en la superficie y escala de temperaturas

3.4.1. Resultados de cámara térmica y simulación en tipo de ensayo a superficie por 60 segundos

La exposición de la llama hacia a la probeta fue de 60 segundos, se analizó por periodos de 20 segundos hasta completar 60 segundos.

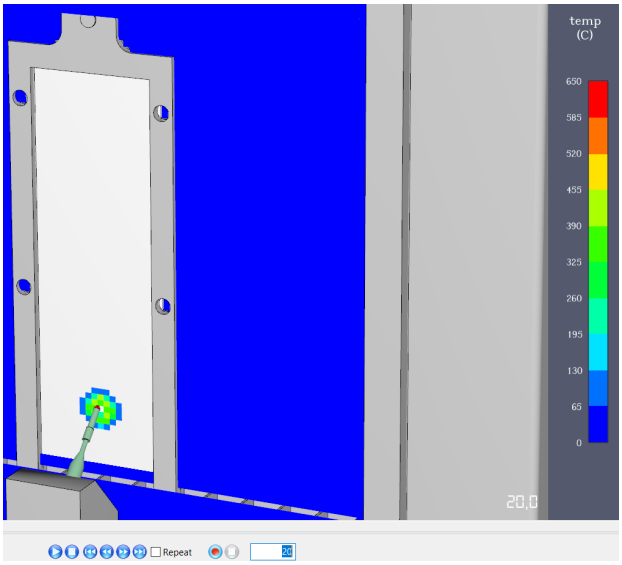
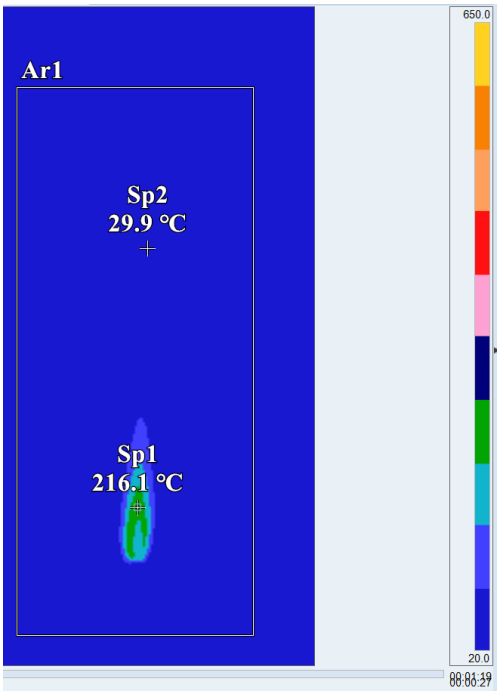


Fig. 26 Temperaturas a superficie a los 20 segundos en simulación



El valor ubicado superiormente es el tiempo total de grabación y el valor ubicado en la parte inferior, es el valor de análisis, con su desfase desde que comenzó la grabación. Lo mismo se considerará para todos los demás análisis.

Fig. 27 Temperaturas a superficie a los 20 segundos captadas en cámara termográfica

El fondo azul representa la temperatura ambiente, en el punto Sp2 se registra un leve aumento de temperatura, la temperatura registrada en el ensayo experimental, en el punto Sp1 fue de 216,1 °C (Fig. 27) y la temperatura registrada en la simulación es alrededor de 250 °C (Fig. 26).

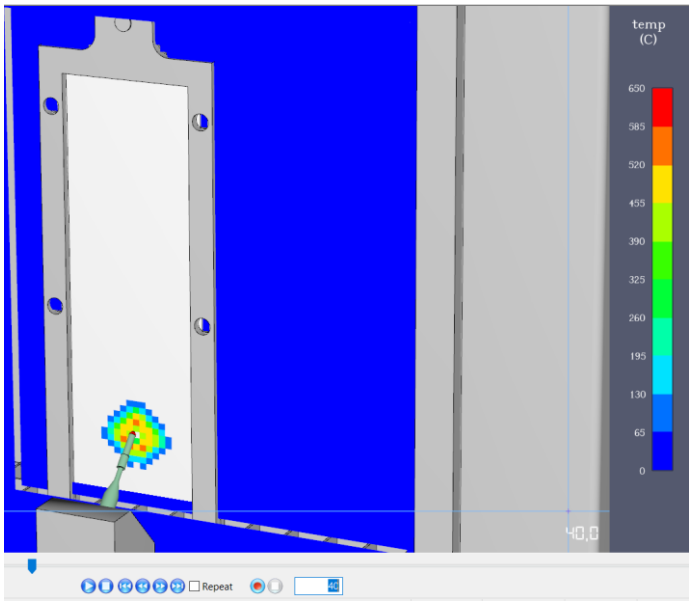


Fig. 28 Temperaturas a superficie a los 40 segundos en simulación

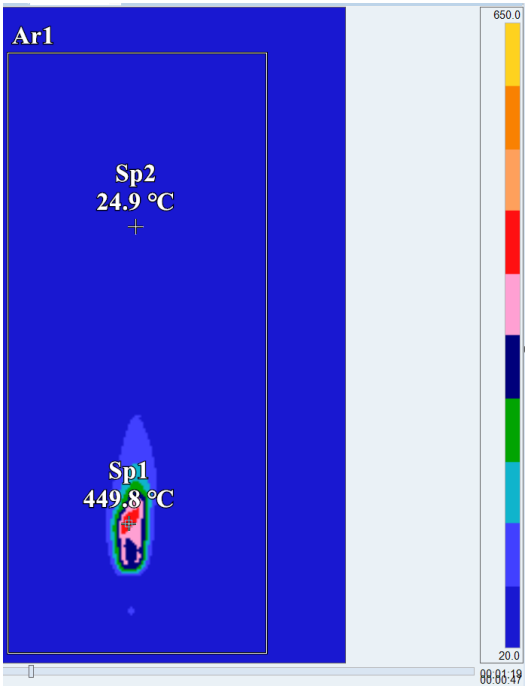


Fig. 29 Temperaturas a superficie a los 40 segundos captadas en cámara termográfica

El punto Sp2 no registra un aumento de temperatura, la temperatura registrada en el ensayo experimental en el punto Sp1 fue de 449,8 °C (Fig. 29) y la temperatura obtenida en la simulación es de alrededor de 490 °C (Fig. 27).

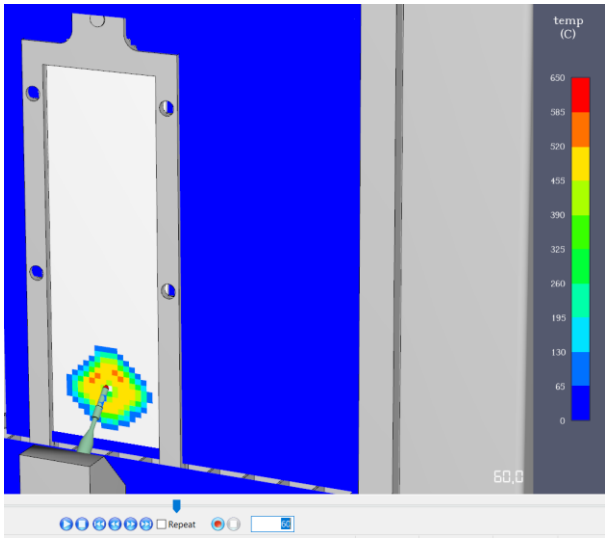


Fig. 30 Temperaturas a superficie a los 60 segundos en simulación

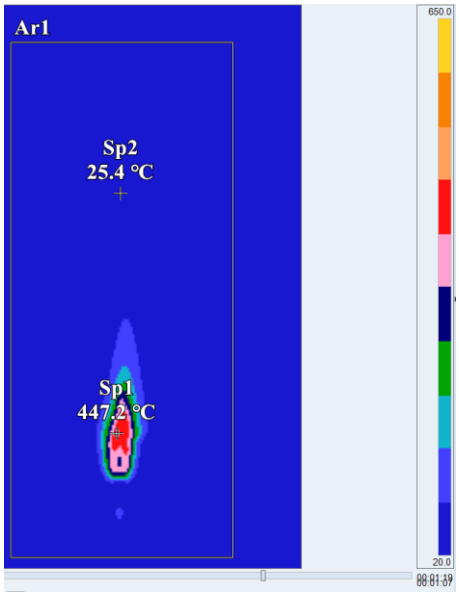


Fig. 31 Temperaturas a superficie a los 60 segundos captadas en cámara termográfica

Completado el tiempo de exposición de llama de 60 segundos, en el punto Sp2 registra una temperatura de 31,7 °C, en la simulación arrojó como resultado una temperatura alrededor de 460 °C (Fig. 30) y se registró una temperatura en el ensayo experimental de 447,2 °C (Fig. 31).

3.4.2. Interpretación de variación de temperaturas

Las temperaturas en los puntos Sp2 no excedieron los 35 °C, es decir que el fuego no alcanzó a calentar esa zona de la probeta y esto se contrasta que en la simulación en ningún momento del tiempo de exposición la llama se extiende hasta las cercanías del

punto Sp2, es decir que no alcanza la marca de 150 mm. Las temperaturas en el punto Sp1 registradas en el ensayo experimental y las obtenidas en la simulación muestran una semejanza con varios grados de variación, la simulación también mostró el modelado de propagación del fuego.

3.4.3. Porcentaje de variación de temperaturas obtenidas en ensayo a superficie de 60 segundos

Se evaluó la variación de temperaturas con las últimas registradas por la cámara en el ensayo experimental de 447,2 °C y 460 °C en la simulación:

Valor real obtenido en ensayo experimental = 447,2 °C

Valor de temperatura simulado en software = 460 °C

$$\left|\frac{447{,}2 - 460}{447{,}2}\right| * 100 = 2{,}86\%$$

3.4.4. Resultados de cámara térmica y simulación en tipo de ensayo a superficie por 30 segundos

La exposición de la llama hacia a la probeta fue de 30 segundos, se analizó por periodos cortos de 10 segundos hasta completar 30 segundos.

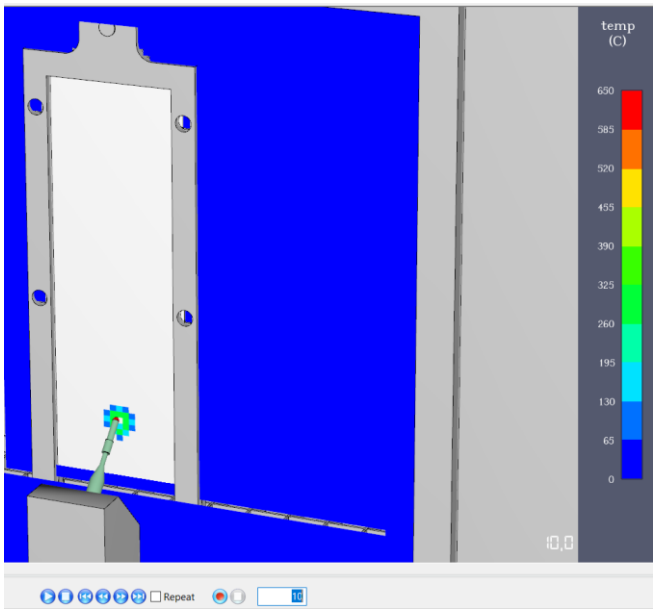


Fig. 32 Temperaturas a superficie a los 10 segundos en simulación

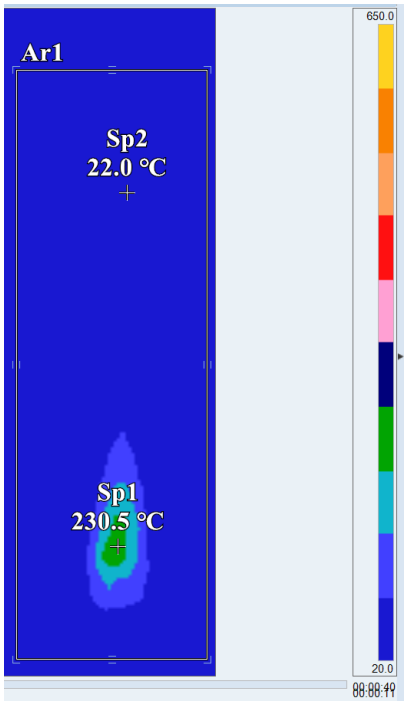


Fig. 33 Temperaturas a superficie a los 10 segundos captadas en cámara termográfica

Los dos resultados muestran el fondo azul representando el ambiente, el punto Sp2 también registra una temperatura ambiente, se registran temperaturas reales captadas por la cámara termográfica de 230,5 °C (Fig. 33) y temperaturas de alrededor de 240 °C en la simulación (Fig. 32).

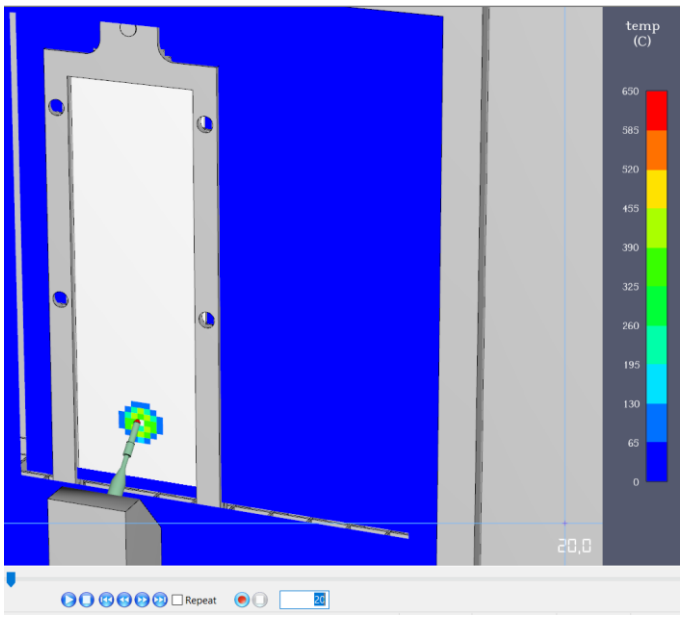


Fig. 34 Temperaturas a superficie a los 20 segundos en simulación

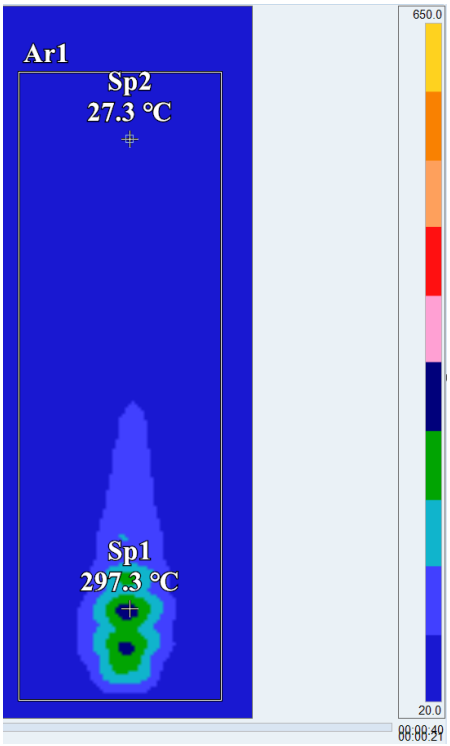


Fig. 35 Temperaturas a superficie a los 20 segundos captadas en cámara termográfica

Completados los 20 segundos de exposición de la llama a superficie, el punto Sp2 registró un leve aumento de su temperatura, la temperatura que se registró en el ensayo experimental es de 297,3 °C (Fig. 35) y una temperatura de alrededor de 292,5 °C en la simulación (Fig. 34).

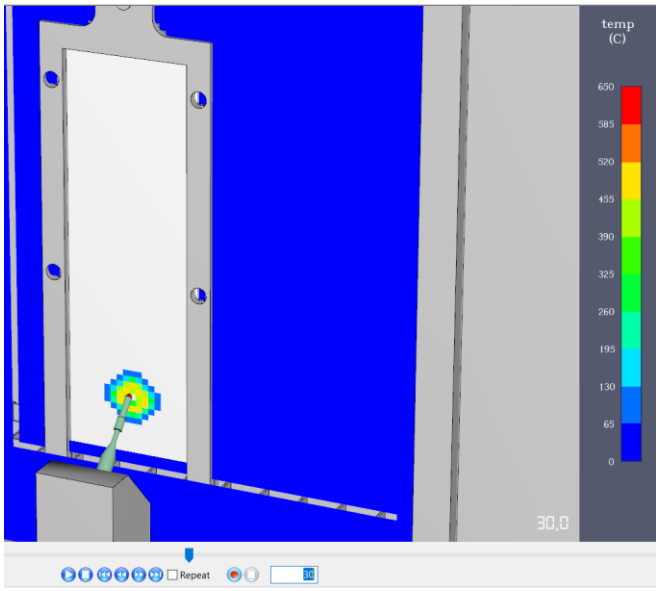


Fig. 36 Temperaturas a superficie a los 30 segundos en simulación

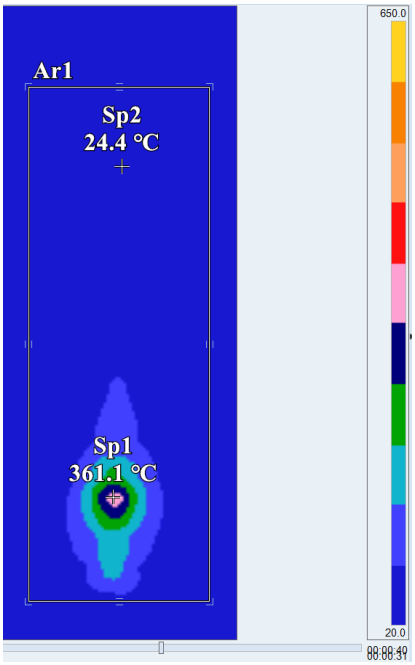


Fig. 37 Temperaturas a superficie a los 30 segundos captadas en cámara termográfica

Completado los 30 segundos de exposición a la llama, el punto Sp2 mostró un aumento de unos cuantos grados, se puede apreciar que en la simulación se obtienen temperaturas cercanas a los 380 °C (Fig. 37) en diferencia a las registradas en el ensayo experimental de 361,1 °C (Fig. 36), esta variación puede darse a los parámetros configurados en la simulación.

3.4.5. Interpretación de variación de temperaturas

Las temperaturas en los puntos Sp2 no excedieron los 30 °C, es decir que el fuego no alcanzó a calentar esa zona de la probeta y esto se contrasta que en la simulación en ningún momento del tiempo de exposición la llama se extiende hasta las cercanías del punto Sp2, es decir que no alcanza la marca de 150 mm. Las temperaturas en el punto Sp1 registradas en el ensayo experimental y las obtenidas en la simulación muestran una semejanza con varios grados de variación, la simulación también mostró el modelado de propagación del fuego.

3.4.6. Porcentaje de variación de temperaturas obtenidas en ensayo a superficie de 30 segundos

Se evaluó la variación de temperaturas con las ultimas registradas por la cámara en el ensayo experimental de 361,1 °C y 380 °C en la simulación:

Valor real obtenido en ensayo experimental = 361,1 °C

Valor de temperatura simulado en software = 380 °C

$$\left|\frac{361{,}1 - 380}{361{,}1}\right| * 100 = 5{,}23\%$$

3.4.7. Resultados de cámara térmica y simulación en tipo de ensayo a borde por 60 segundos

La exposición de la llama hacia la probeta fue de 60 segundos, se analizó por periodos cortos de 20 segundos hasta completar 60 segundos.

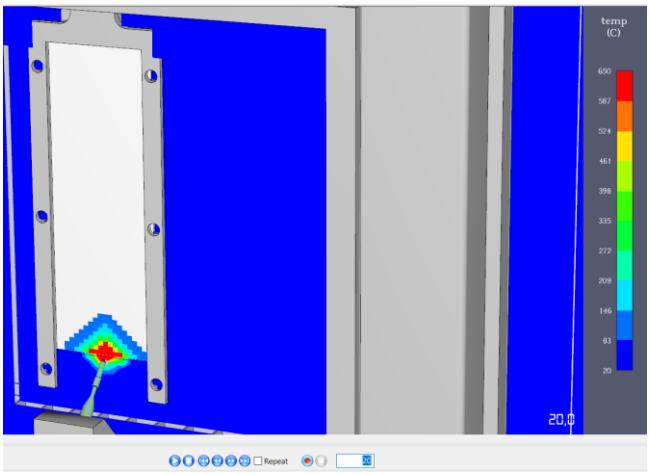


Fig. 38 Temperaturas a borde a los 20 segundos en simulación

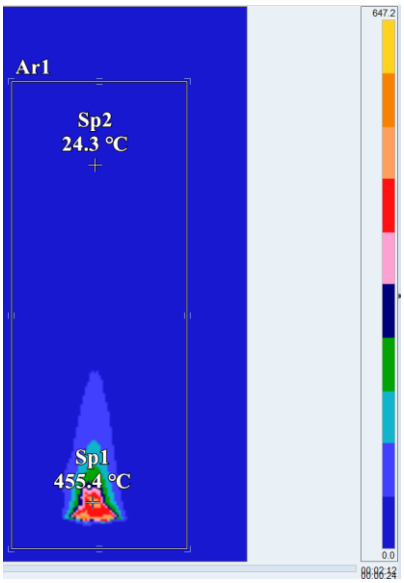


Fig. 39 Temperaturas a borde a los 20 segundos captadas en cámara termográfica

En ambas figuras se muestra el fondo azul representando el ambiente, el punto Sp2 muestra una temperatura inicial que es la del ambiente, se registró temperaturas reales captadas por la cámara termográfica de 455, 4°C (Fig. 39) y una temperatura alrededor de 500 °C en la simulación (Fig. 38).

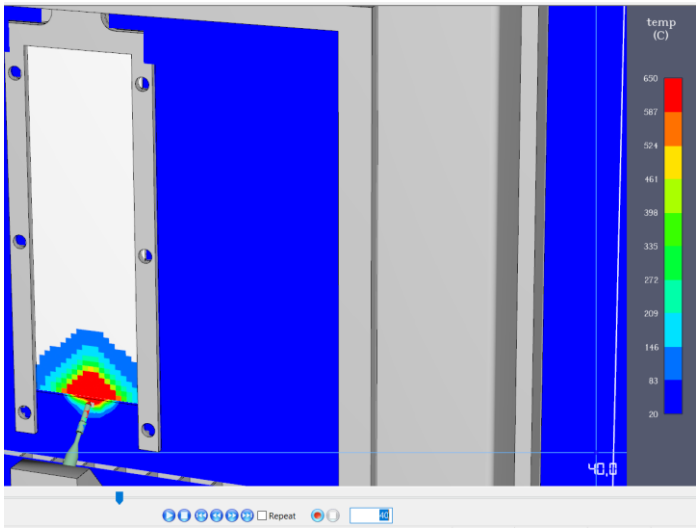


Fig. 40 Temperaturas a borde a los 40 segundos en simulación

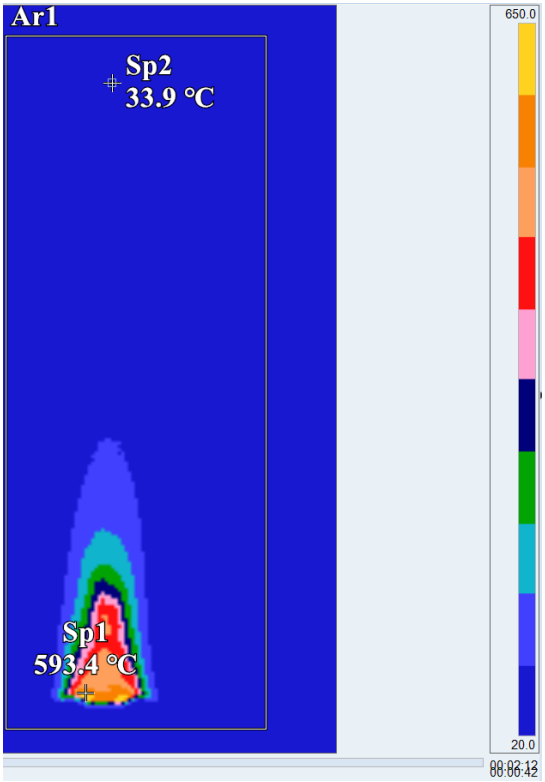


Fig. 41 Temperaturas a los 40 segundos captadas en cámara termográfica

A los 40 segundos de exposición de la llama a la probeta, el punto Sp2 mostró un leve aumento en la temperatura, se registró una temperatura real de 593,4 °C (Fig. 41) y en la simulación se visualizó una temperatura de alrededor de 618,5 °C (Fig. 40).

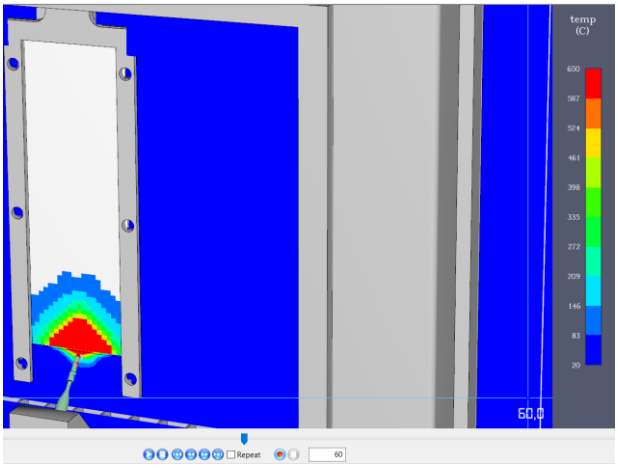


Fig. 42 Temperaturas a borde a los 60 segundos en simulación

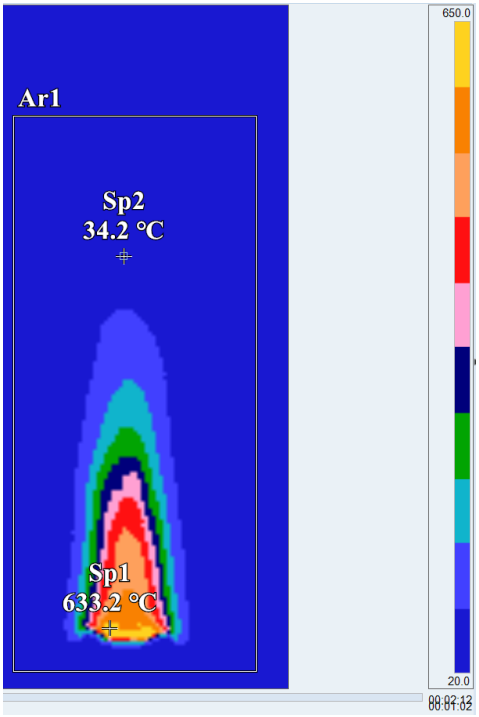


Fig. 43 Temperaturas a los 60 segundos captadas en cámara termográfica

Completados los 60 segundos de exposición a la llama para la probeta se registró temperaturas reales de 633,2 °C (Fig. 43) y en la simulación se visualizó una temperatura máxima de 650 °C (Fig. 42).

3.4.8. Interpretación de variación de temperaturas

Las temperaturas en los puntos Sp2 no excedieron los 35 °C, es decir que el fuego no alcanzo a calentar esa zona de la probeta, en la simulación el fuego se expande a lo largo de la probeta, pero tampoco alcanza la marca de 150 mm. Las temperaturas en el punto Sp1 registradas en el ensayo experimental y las obtenidas en la simulación coinciden y el comportamiento del fuego es similar.

3.4.9. Porcentaje de variación de temperaturas obtenidas en ensayo a borde de 60 segundos

Se evaluó la variación de temperaturas con las últimas registradas por la cámara en el ensayo experimental de 632,2 °C y 650 °C en la simulación:

Valor real obtenido en ensayo experimental = 632,2 °C

Valor de temperatura simulado en software = 650 °C

$$\left|\frac{632{,}2 - 650}{632{,}2}\right| * 100 = 2{,}81\%$$

3.4.10. Resultados de cámara térmica y simulación en tipo de ensayo a borde por 30 segundos

La exposición de la llama hacia a la probeta fue de 30 segundos, se analizó por periodos cortos de 10 segundos hasta completar 30 segundos.

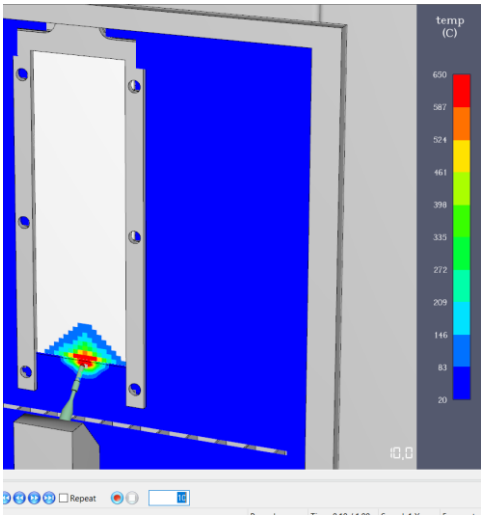


Fig. 44 Temperaturas a los 10 segundos en simulación

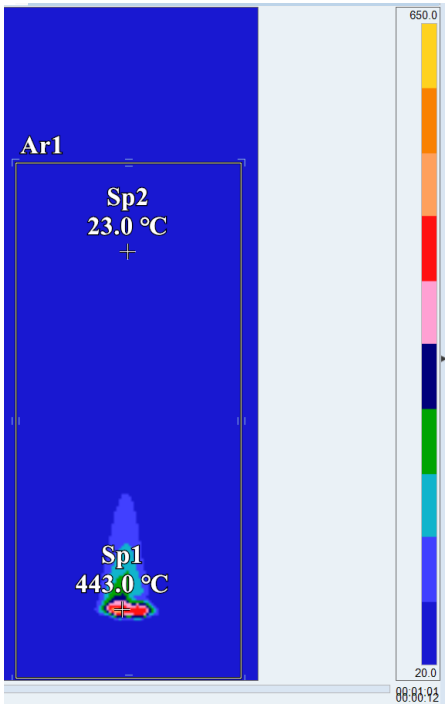


Fig. 45 Temperaturas a los 10 segundos captadas en cámara termográfica

Se denota el fondo azul representando la temperatura ambiente, el punto Sp2 está indicando que la parte superior de la probeta está a temperatura ambiente, la temperatura real del ensayo experimental registrada es de 446,5 °C (Fig. 45) y en la simulación se registró un valor de 443 °C (Fig. 44).

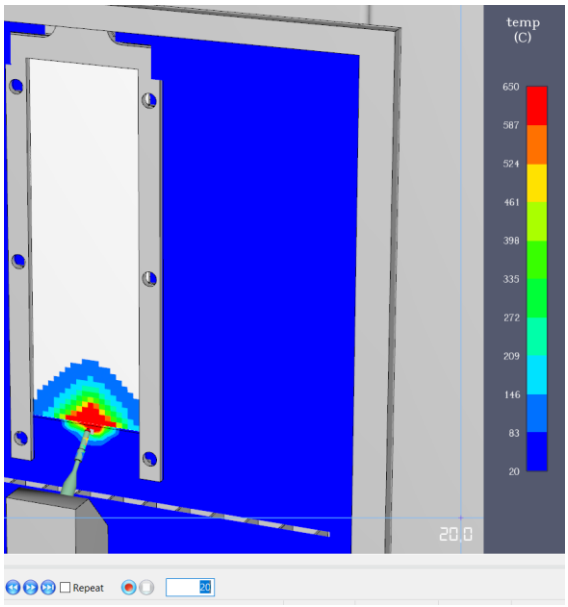


Fig. 46 Temperaturas a los 20 segundos en simulación

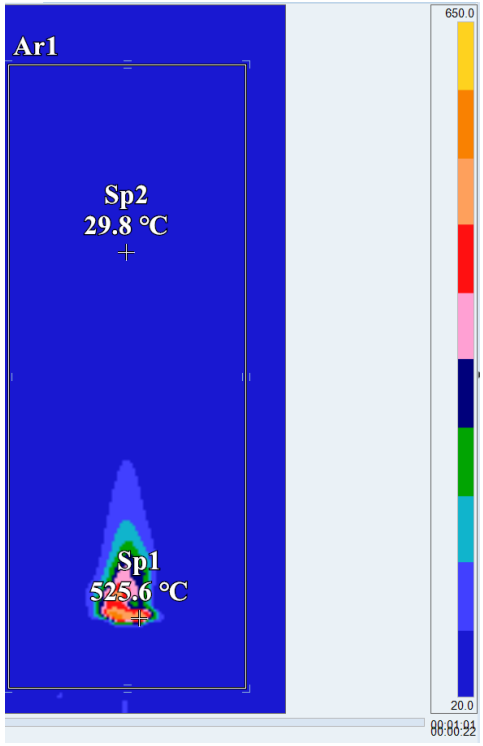


Fig. 47 Temperaturas a los 20 segundos captadas en cámara termográfica

El punto Sp2 mostró un aumento leve en la temperatura, se registró una temperatura en la simulación de alrededor 524 °C (Fig. 46) y en el ensayo experimental se registró una temperatura de 525,6 °C (Fig. 47).

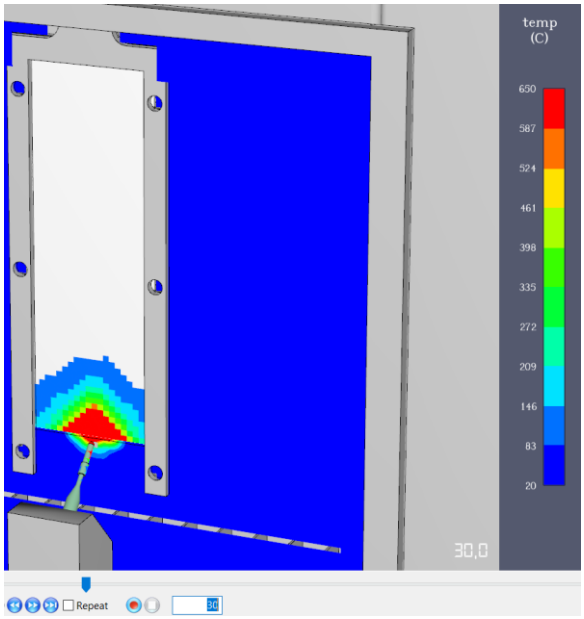


Fig. 48 Temperaturas a los 30 segundos en simulación

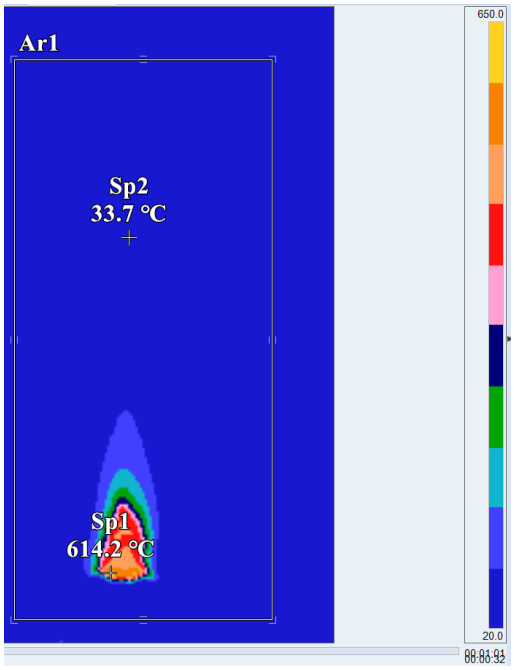


Fig. 49 Temperaturas a los 30 segundos captadas en cámara termográfica

El punto Sp2 mostró un aumento de temperatura, llegando casi a los 35 °C, la temperatura máxima que se registró en la simulación fue de 650 °C (Fig. 48) y en el ensayo experimental se registró una temperatura máxima de 614,2 °C (Fig. 49).

3.4.11. Interpretación de variación de temperaturas

Las temperaturas en los puntos Sp2 alcanzaron cerca de los 35 °C, el fuego alcanzó levemente a calentar esa zona de la probeta. Las temperaturas en el punto Sp1 registradas en el ensayo experimental y las obtenidas en la simulación muestran una semejanza con varios grados de variación los cuales se calculó su variación porcentual, además la simulación también mostró el modelado de propagación del fuego optimo.

3.4.12. Porcentaje de variación de temperaturas obtenidas en ensayo a borde de 30 segundos

Se evaluó la variación de temperaturas con las ultimas registradas por la cámara en el ensayo experimental de 614,2 °C y 650 °C en la simulación:

Valor real obtenido en ensayo experimental = 614,2 °C

Valor de temperatura simulado en software = 650 °C

$$\left|\frac{614{,}2 - 650}{614{,}2}\right| * 100 = 5{,}82\%$$

3.4.13. Resumen de temperaturas y variaciones obtenidas

En la TABLA XIX se muestra el resumen de los datos de temperaturas obtenidos, además el porcentaje de variaciones que existe entre las temperaturas experimentales y las temperaturas simuladas, obteniendo una variación máxima de 5,82%, lo cual indica un porcentaje bajo que no supera el 10%, por tanto, se puede dar como valida la simulación y los resultados obtenidos.

TABLA XIX

RECOPILACIÓN DE DATOS DE TEMPERATURAS Y VARIACIONES OBTENIDOS

Ensayos	**Temperatura experimental final registrada**	**Temperatura simulada final registrada**	**Porcentaje de variación**
Superficie 60 segundos	447,2 °C	460 °C	2,86%
Superficie 30 segundos	361,1 °C	380 °C	5,23%
Borde 60 segundos	632,2 °C	650 °C	2,81%
Borde 30 segundos	614,2 °C	650 °C	5,82%

3.5.Validación de hipótesis

Para verificar la hipótesis el método a utilizar debe ir acorde a los resultados obtenidos, debido a que los resultados son cualitativos, no se obtuvieron datos numéricos. El método que más se ajusta a los datos obtenidos es el método de Prueba binominal, la cual se utiliza cuando existe una variable categórica con dos expresiones, la prueba binominal permite comprobar si la distribución de frecuencias de la variable se corresponde con una distribución esperada.

3.5.1. Cálculo de la Prueba binominal

- **Hipótesis verdadera (H_1):** el índice de flamabilidad incide en la flamabilidad de materiales de construcción.

- **Hipótesis nula (H_0):** el índice de flamabilidad no incide en la flamabilidad de materiales de construcción.

Para realizar el cálculo de la prueba binominal se necesita definir las variables que intervendrán en el cálculo:

$$P(X = k) = \binom{n}{k} * p_0^k * (1 - p_0)^{n-k}$$

$\binom{n}{k}$: coeficiente binominal.

n: El número total de observaciones o ensayos.

k: El número de observaciones que resultaron en Sí, (las veces que hubo ignición del material).

p_0: La probabilidad de éxito bajo H_0.

Es necesario realizar una tabla con las variables más significativas para la investigación, la cual ayudara a la validación de la hipótesis. En la TABLA XX se puede observar los resultados más relevantes, donde se recopilan el número de ensayos realizados y las veces que se obtuvieron respuestas de Sí/No.

TABLA XX

RECOPILACIÓN DE DATOS OBTENIDOS

Codificación	**Número de ensayos**	**Ignición**	**La llama alcanza los 150 mm**
30BL – 30BT	6	Sí	No
30SL – 30ST	6	Sí	No
60SL – 60ST	6	Sí	No
60SL – 60ST	6	Sí	No
Total	24	24	0

En todos los casos hubo presencia de ignición del material, sin embargo, no alcanzó la marca de 150 mm y tampoco existió ignición del papel filtro, es por ello por lo que esas variables no se ven reflejadas en la TABLA XX.

Los valores obtenidos para realizar el cálculo son los siguientes:

n: 24 ensayos realizados

k: 24 observaciones de éxito (ignición=Sí)

p_0: 0.5

Dado que k = n, todo el valor de p proviene de la probabilidad de $X = 24$, lo cual equivale a:

$$P(X = 24) = \binom{24}{24} * (0.5)^{24} * (1 - 0.5)^{0}$$

$$P(X = 24) = 1 * (0.5)^{24} * 1$$

$$P(X = 24) = 0.5^{24} \approx 5.96 * 10^{-8}$$

Para poder tomar una decisión, se comparó el valor p con el valor de significancia (α) predefinido, que generalmente es de $\alpha = 0.5$ y $\alpha = 0.01$

Si $p \leq \alpha$: Rechazamos H_0, esto significa que existe evidencia suficiente para aceptar que H_1 es verdadera.

Si $p > \alpha$: No rechazamos H_0, esto significa que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula.

Entonces:

$$0.0000000596 \leq 0.5$$

En esta investigación el valor de p obtenido mediante la prueba binominal es menor que el valor de significancia (α), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis verdadera; es decir que existe evidencia de que el índice de flamabilidad del policloruro de vinilo (PVC) si incide en la flamabilidad de este material, ya que mediante los resultados obtenidos en los ensayos realizados se observa cómo el índice de flamabilidad si afecta en el comportamiento del material frente al fuego.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Los parámetros para la caracterización térmica del policloruro de vinilo de vinilo (PVC) utilizado en tomacorrientes son: la densidad, conductividad térmica, calor especifico, emisividad y coeficiente de absorción, las cuales fueron determinados mediante una revisión bibliográfica para la investigación experimental y para el desarrollo de una simulación de ensayos de flamabilidad, cuyos valores también fueron comparados con datos medidos con una cámara termográfica ubicada a una distancia de 1 m, frente a la exposición de una fuente de calor durante el ensayo.
- Se realizaron 4 ensayos experimentales específicos en las probetas de policloruro de vinilo (PVC), 2 a borde y otros 2 a superficie, con un tiempo de 30 segundos y 60 segundos para cada configuración, de acuerdo con los parámetros establecidos por la norma NTE INEN – ISO 11925 – 2. Los ensayos experimentales fueron documentados mediante una cámara termográfica para capturar el comportamiento del fuego en la superficie y el cambio de temperaturas, en el cual el ensayo tipo borde con una duración de 30 segundos fue donde se registraron datos relevantes de temperatura lo que sirvió para el desarrollo de la simulación. Además, como trabajo complementario se ha realizado la medición de algunos parámetros de gases producto de la combustión con el fin de establecer el nivel de toxicidad.
- Determinados los valores del ensayo impuestos por la norma NTE INEN – ISO 11925 – 2 evaluados y analizados, la norma UNE – EN 13501:1 establece la Clasificación de la reacción al Fuego como: A1 – s2, d0 lo que indican que el índice de flamabilidad del PVC es bajo, debido a la composición y características del producto, además esta norma, lo clasificó como un material auto extinguible, ya que el material no actúa como combustible ni contribuye a la propagación del fuego.
- El ensayo tipo borde con duración de 30 segundos de exposición a la llama fue documentado mediante el uso de la cámara termográfica y contrastado con los

resultados obtenidos en la simulación, obteniéndose una variación del 5,83% como el valor máximo de variación obtenido entre los ensayos, considerándose como un valor aceptable ya que, no supera el 10% de variación, lo cual permite validar la simulación.

- También el análisis de gases realizado indica que los porcentajes registrados de C02, C0, H2S, etc. No son perjudiciales en los periodos de tiempo analizados para el material policloruro de vinilo (PVC), ya que su emisión es corta.
- Se desarrollo una guía para la elaboración de simulación de ensayos de flamabilidad mediante un software especializado en el modelado 3D de incendios, en el cual se detallaron los pasos a seguir para utilizar y configurar correctamente el software y los parámetros que intervinieron en la simulación.
- La presente investigación y la guía realizada para ensayos de flamabilidad mediante software especializado forman parte y son de aporte al Proyecto de Investigación aprobado por el CONIN mediante resolución UTA-CONIN-2023-0369-R.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar una investigación enfocada en ensayos experimentales y métodos de obtención de las características térmicas de materiales específicos, para obtener datos de propiedades de materiales desconocidos a ensayar para poder modelar su comportamiento en el software de simulación.
- Se recomienda realizar ensayos experimentales enfocados en el uso de la cámara termográfica, para diferentes materiales de construcción con otro tipo de condiciones y periodos de tiempo más extensos.
- Para garantizar la seguridad de edificaciones contra potenciales incendios, se recomienda que los organismos de control verifiquen y exijan que los materiales posean certificados y clasificaciones del comportamiento de reacción al fuego. Estos ensayos y simulaciones realizadas que evalúan el comportamiento del material frente a una fuente de calor directa son cruciales para prevenir e identificar condiciones que provocan que un producto o material se combustione.

- Se recomienda realizar una próxima investigación enfocándose en el análisis de gases con un mayor periodo de exposición analizando los niveles de toxicidad generados al ambiente.
- Se recomienda continuar con un proyecto de investigación enfocado en el análisis de todos los parámetros que intervienen en los ensayos de flamabilidad, tomando como punto de partida la simulación y la guía desarrollada.

BIBLIOGRAFÍA

[1] M. Alfonso-de Silvero y P. S. Aguilera, “Evaluación de riesgo de incendio en hoteles de San Bernardino, Paraguay”, *Población y Desarrollo*, vol. 26, núm. 51, pp. 26–36, dic. 2020, doi: 10.18004/pdfce/2076-054x/2020.026.51.026.

[2] A. F. Berto, “Incendios en estructuras de concreto – Casos de estudio significativos ocurridos en São Paulo”, *Revista ALCONPAT*, vol. 10, núm. 1, pp. 132–146, dic. 2019, doi: 10.21041/ra.v10i1.438.

[3] M. M. Pérez Sánchez, R. Centeno Lara, y F. Lazcano Serrano, “Desarrollo de un prototipo para la caracterización térmica de los materiales de construcción regionales.”, *Ingeniería*, vol. 6, núm. 2, pp. 13–22, 2002.

[4] E. Rincón Rodríguez, H. A. Quintana Rondón, D. M. Vélez Pinzón, y A. L. C. Aguirre, “Influencia de la inclusión de desecho de pvc sobre el cbr de un Material granular tipo subbase”, *Revista de Ingenierías*, vol. 5, núm. 9, pp. 21–30, jun. 2006.

[5] H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, “Evaluación de las Propiedades Mecánicas de una Mezcla Densa en Caliente Modificada con un Desecho de PVC”, *Tecno Lógicas*, núm. 27, pp. 11–31, dic. 2011.

[6] INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, “CLORURO DE POLIVINILO (PVC)”, 2016.

[7] M. Alfonso-de Silvero y P. S. Aguilera, “Fire risk assessment in hotels in San Bernardino, Paraguay”, *Población y Desarrollo*, vol. 26, núm. 51, pp. 26–36, dic. 2020, doi: 10.18004/pdfce/2076-054x/2020.026.51.026.

[8] S. S. Rojas Gómez, “Identificación y evaluación del riesgo de explosividad e incendio en la estación de servicio del campamento del GAD provincia de Pichincha”, *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, vol. 14, núm. 2, pp. 81–101, jul. 2022, doi: 10.29166/revfig.v14i2.3501.

[9] R. Christ y A. Metzler, “Comparison of the fire resistance of two structural wall systems in Light Steel Framing”, DYNA. Consultado: el 11 de agosto de 2024.

[En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/journal/496/49650911017/html/

[10] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “Ecuatoriana NTE ISO 11925-2”, 2010

[11] Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas), *ACTOS ADOPTADOS POR ÓRGANOS CREADOS MEDIANTE ACUERDOS INTERNACIONALES*. 2020. [En línea]. Disponible en: http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29fdocstts.html

[12] Schettler Ted, “El policloruro de vinilo en la atención de la salud”, 2020.

[13] Plasticoscj, “El PVC (Policloruro de Vinilo) | Plásticos CJ”. Consultado: el 9 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://plasticoscj.com/el-pvc-policloruro-de-vinilo/

[14] Asoven, “¿Qué es el PVC? Ventajas, fabricación e impacto ambiental”. Consultado: el 9 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://asoven.com/pvc/que-es-el-pvc-ventajas-fabricacion-e-impacto-ambiental/

[15] A. D. Sandoyo Unamo, L. Chica Martínez, G. R. Ordoñez, y J. L. Arias Zambrano, *INSTALACIONES ELÉCTRICAS*. Ecuador, 2018.

[16] J. E. Villacrés Martínez, “‘ESTUDIO DE LOS ÍNDICES DE INFLAMABILIDAD EN MATERIALES INTERIORES ISOTRÓPICOS, UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VEHÍCULOS PARA EL TRANSPORTE DE PASAJEROS, PARA EL LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA LIM - UTA’”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2023.

[17] D. M. Porras Padilla y C. O. Serrano Aguiar, “‘DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD APLICADO A MATERIALES DE AUTOPARTES SEGÚN LA NORMA ISO 3795’”, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2013.

[18] C. B. Castro Miniguano, "'ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS Y SU INCIDENCIA EN LA HOMOLOGACIÓN DE MODELOS Y COMPETITIVIDAD DE LA EMPRESA CARROCERA INDUSTRIA METÁLICA CEPEDA'", Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2014.

[19] A. F. Cabrera Valencia, "'DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD VERTICAL DE MATERIALES UTILIZADOS EN EL INTERIOR DE LAS CARROCERIAS.'", Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador, 2018.

[20] Repsol, "¿Qué es el Gas Propano y para qué sirve?" Consultado: el 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/que-es-propano/

[21] Propanogas.com, "Características del propano: fórmula química desarrollada". Consultado: el 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://propanogas.com/faq/que-es-gas-propano

[22] E. HELEN, "Definición física de Densidad (propiedad de la materia)". Consultado: el 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.oas.org/ext/es/desarrollo/recursos-educacion-docente/Planes-de-Clase/Detalles/definici-n-f-sica-de-densidad-propiedad-de-la-materia-58

[23] Bruera - Suarez, "El PVC (Policloruro de Vinilo)".

[24] Mexpolimeros, "ASTM D 792". Consultado: el 21 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.mexpolimeros.com/lab/astm-d-792.html

[25] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa: FUNDAMENTOS Y APLICACIONES*, Cuarta Edición. New York, 2011.

[26] Thermtest Latin America, "Conductividad térmica". Consultado: el 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://thermtest.com/latinamerica/que-es-la-conductividad-termica

[27] U. R. Gutiérrez-Hernández, O. Anaya-Reyes, D. A. Rodríguez-Alejandro, S. Cano-Andrade, y M. Riesco-Ávila, "'Prototipo de medición de la conductividad térmica en materiales sólidos aplicando la norma ASTM E1225-04'", 2023, doi: 10.59920/ENJG5020.

[28] L. Lira-Cortés, G. Rodríguez, y O. J. Méndez-Lango, "Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones", oct. 2008.

[29] American Society for Testing and Materials, "Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus", el 15 de septiembre de 2013 doi: 10.1520/C0177-13.

[30] Laboratuar.com, "Prueba ASTM E1269 para determinar la capacidad calorífica específica con calorimetría diferencial de barrido". Consultado: el 10 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.laboratuar.com/es/testler/astm-testleri/astm-e1269-diferansiyel-taramali-kalorimetre-ile-ozgul-isi-kapasitesini-belirlemek-icin-test/

[31] PVEducation.org, "Coeficiente de absorción". Consultado: el 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/dispositivos-semiconductores/coeficiente-de-absorci%C3%B3n

[32] P. Flowers, R. Langley, y W. R. Robinson, "3.1 La fórmula de masa y el concepto de mol - Química 2ed | OpenStax". Consultado: el 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://openstax.org/books/qu%C3%ADmica-2ed/pages/3-1-la-formula-de-masa-y-el-concepto-de-mol

[33] Texfire.net, "UNE-EN 13501-1 Clasificación de reacción al fuego de los productos de construcción". Consultado: el 26 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://texfire.net/es/content/une-en-13501-1-clasificacion-de-reaccion-al-fuego-de-los-productos-de-construccion

[34] A. M. Lacasta y L. Hauire, "TOXICIDAD", 2019.

[35] Distron, “Qué es una cámara termográfica y para qué sirve | Distron®”. Consultado: el 9 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://distron.es/camara-termografica/

[36] Kin.energy, “CFD: una herramienta para la simulación y modelado en ingeniería”. Consultado: el 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.kin.energy/blogs/post/cfd-una-herramienta-para-la-simulaci%C3%B3n-y-modelado-en-ingenier%C3%ADa

[37] Siemens Digital Industries Software, “Simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD)”. Consultado: el 15 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/computational-fluid-dynamics-cfd-simulation/

[38] MSA, Work Group, Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, y General Motors Corporation Supplier Quality Requirements Task Force, *Measurement Systems Analysis*. [DaimlerChrysler]: [Ford Motor :] [General Motors], 2010.

[39] D. Turuguet Mayol, *NTP 65: Toxicología de compuestos de pirólisis y combustión*. 2024.

[40] Visiotech, “Emisividad en cámaras termográficas portátiles”. Consultado: el 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://support.visiotechsecurity.com/hc/es/articles/360012930300-Emisividad-en-c%C3%A1maras-termogr%C3%A1ficas-port%C3%A1tiles

[41] W. Moebs, J. Sanny, y S. J. Ling, “16.5 El espectro electromagnético - Física universitaria volumen 2 | OpenStax”. Consultado: el 25 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/pages/16-5-el-espectro-electromagnetico

[42] S. Jafarzadeh, “PVC fire Properties”. Consultado: el 12 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.linkedin.com/pulse/pvc-fire-properties-shahab-jafarzadeh/

APÉNDICE A: GUÍA GENERAL PARA SIMULAR ENSAYOS DE FLAMABILIDAD EN SOFTWARE ESPECIALIZADO

Creación del modelo 3D

La cámara de combustión en la que se realizó los ensayos de flamabilidad debe ser diseñada de tal forma que se aproxime a la realidad, esto incluyendo todos sus componentes los cuales juegan un rol muy importante dentro de la simulación, ya que se espera obtener resultados muy similares a los experimentales.

El proceso empezó revisando las medidas estandarizadas por la norma (Anexo 4), las piezas que no menciona la norma se obtuvieron mediante medición en la cámara física del Laboratorio, una vez obtenidos todos los componentes que conforman la cámara, se enlistaron y fueron diseñadas.

Una vez finalizado el modelado de cada una de las partes de tipo sólido, se ensambló las piezas, agregando relaciones de posición las cuales ayudan a que la cámara se asemeje a la realidad (Fig. 50).

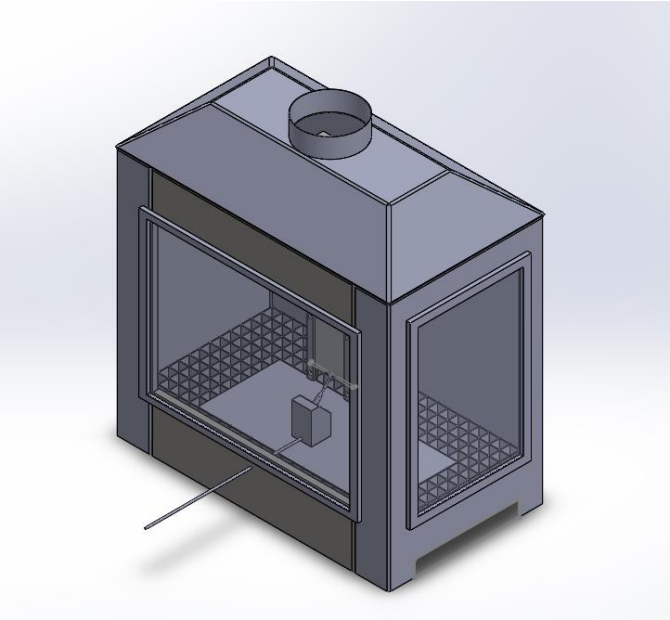


Fig. 50 Cámara de combustión en software CAD

Cuando la geometría es definida verificando que cumpla con los parámetros que impone la norma, los archivos fueron guardados en la respectiva extensión .Stl para posteriormente exportarlos.

Programa especializado en la simulación de incendios en 3D

Se eligió el programa especializado para recrear un Fire Dinamycs Simulator (FDS), PyroSim (Fig. 51) es un software especializado en la simulación computacional para simular incendios en 3D, basándose en FDS, desarrollada por la compañía Thunderhead Engineering, ofrece funciones muy útiles como, por ejemplo: la exportación de geometrías CAD desde otros softwares, aunque también tiene su apartado de modelado.

Fig. 51 Logo de PyroSim

Para la obtención de la licencia del software se requirió crear una cuenta en la página de Thunderhead Engineering, de esa forma se obtiene una licencia de 30 días para poder desarrollar la simulación FDS. Se ingresa correo electrónico en el apartado de registro (Fig. 52), se recibe un mensaje al correo para verificarlo (Fig. 53).

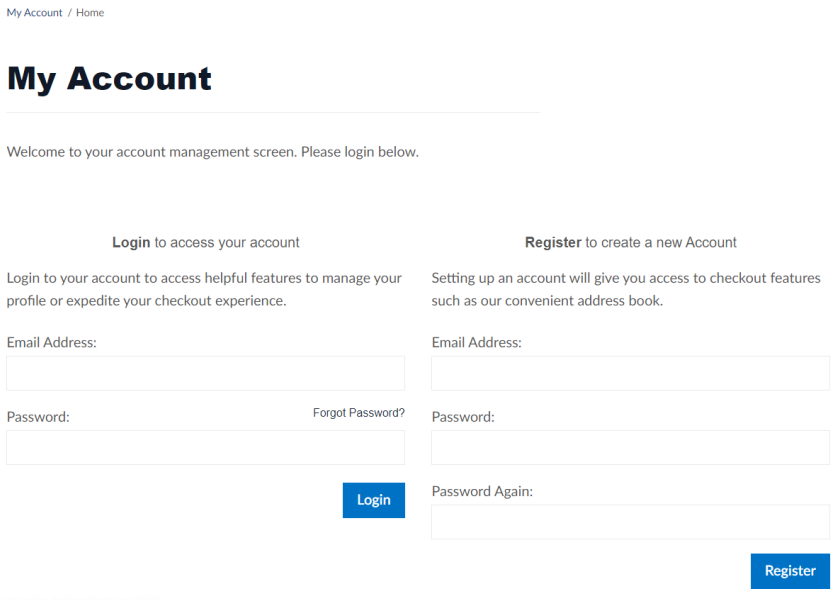


Fig. 52 Registro de correo electrónico

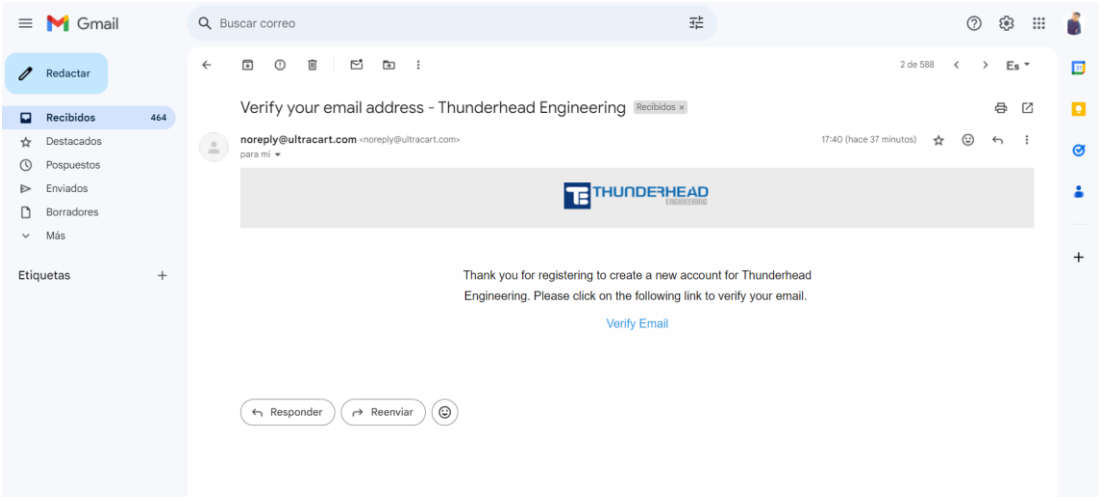


Fig. 53 Correo de verificación de cuenta

Creada la cuenta se solicita la licencia gratuita por 30 días, en la sección de productos se elige PyroSim y se ingresa a Prueba gratuita (Fig. 54)



Fig. 54 Prueba gratuita de PyroSim

Se llena los campos necesarios y se envía la solicitud (Fig. 55), seguido de haber llenado los datos, se muestra un mensaje que indicara que se envió un mensaje al correo electrónico con las indicaciones y la clave del producto (Anexo 13).

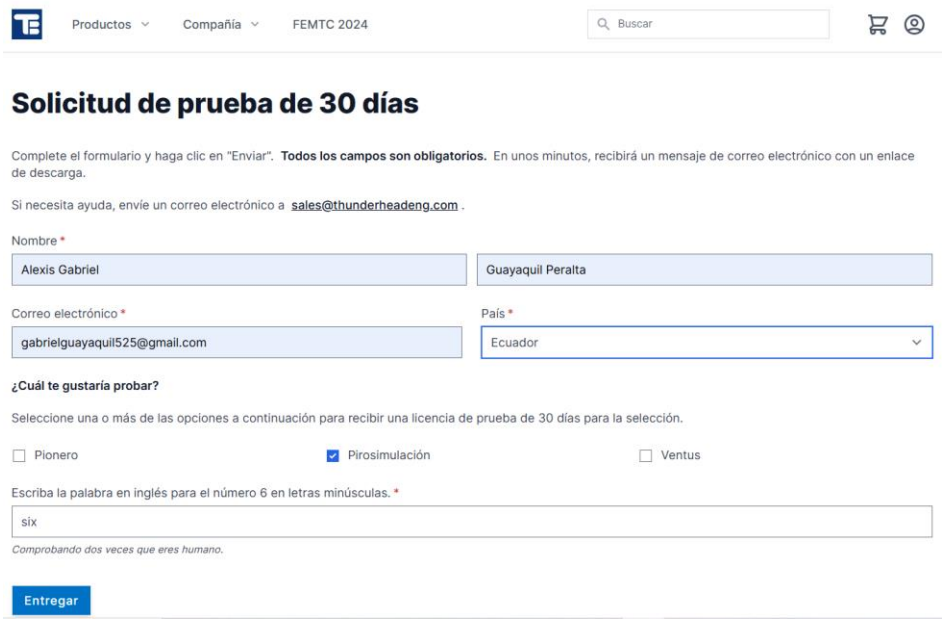


Fig. 55 Solicitud de prueba gratuita

Se descarga la última versión del programa (Fig. 56), se instala y se ingresa la clave que se proporcionó (Fig. 57), y por último indicara que la licencia de 30 días esta activa (Fig. 58).

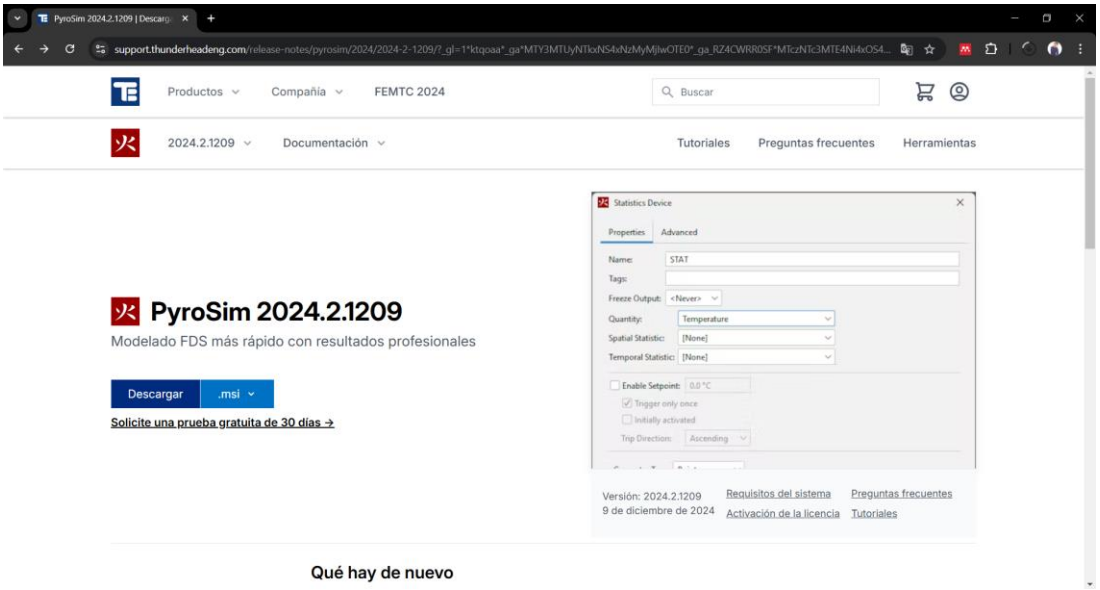


Fig. 56 Última versión del programa

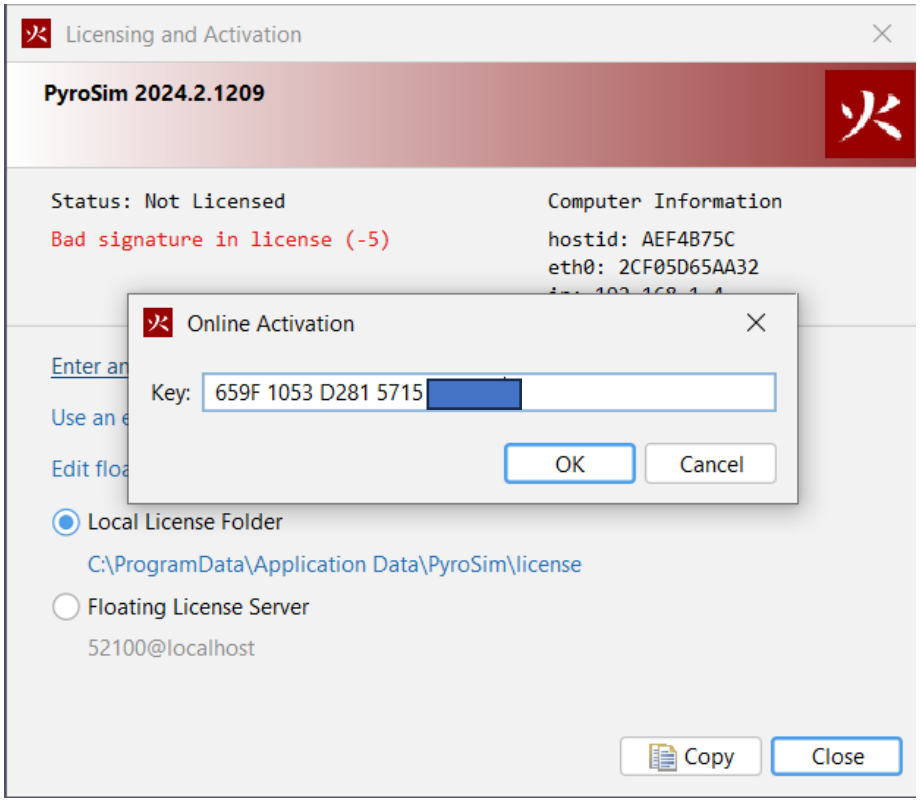


Fig. 57 Ingreso de clave del programa

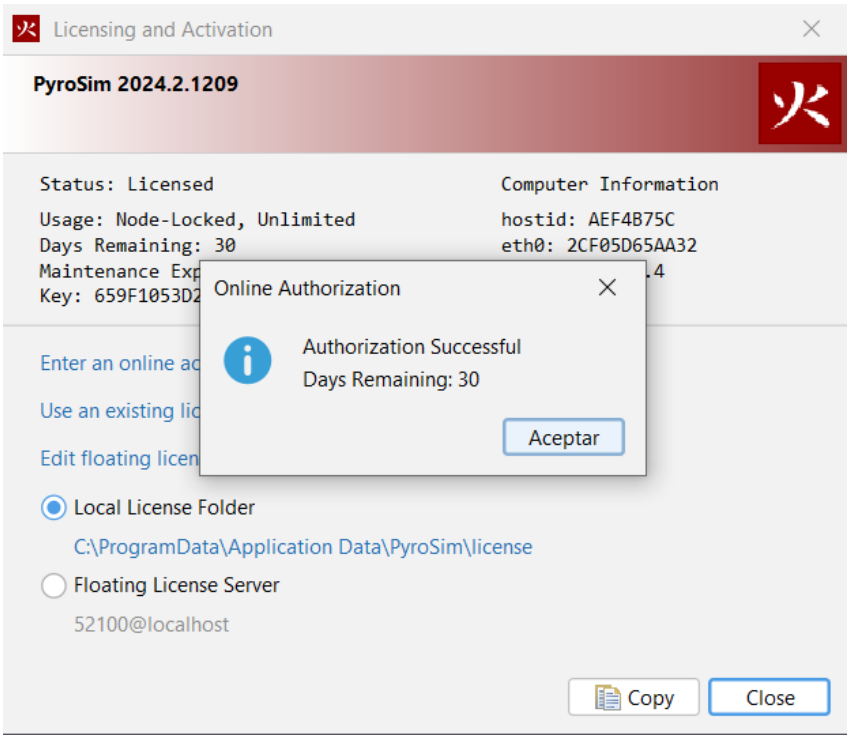


Fig. 58 Programa por 30 días activado

Una vez instalado el programa se revisa su interfaz.

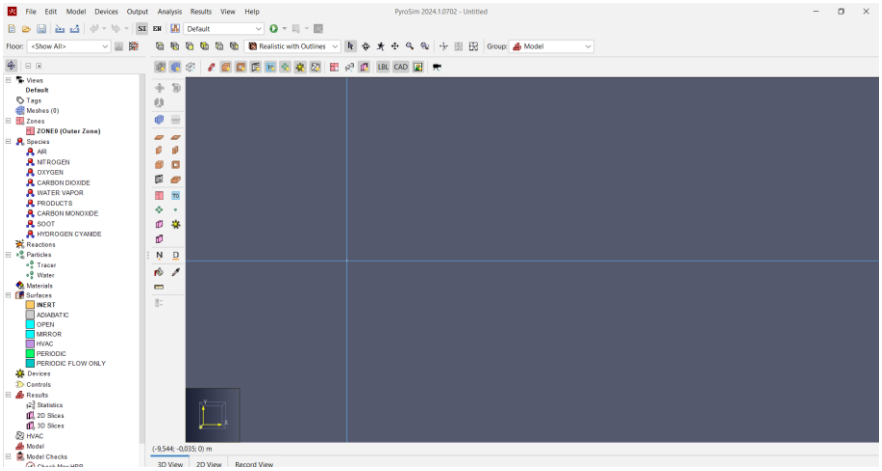


Fig. 59 Interfaz de PyroSim 2024

Al iniciar el programa se puede apreciar su interfaz (Fig. 59), es notable que no es diferente a otros programas de simulación, en la parte superior derecha de la barra de herramientas ofrece una sección de ayudas para el usuario (Fig. 60)

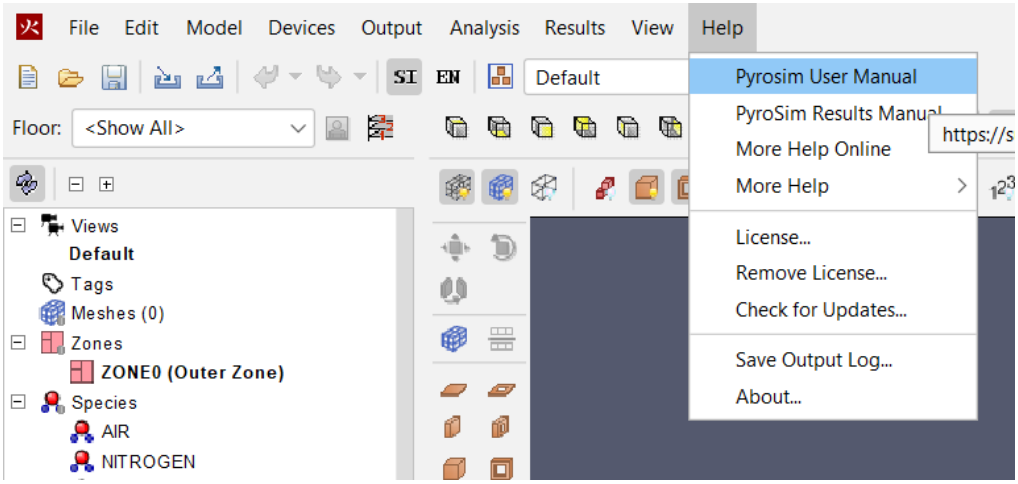


Fig. 60 Sección de ayudas en la interfaz de PyroSim

La cual despliega varios manuales y guías para nuevos usuarios, un clic sobre alguna de estas opciones despliega la página oficial en el navegador y proporcionara las guías, videos y ejemplos prácticos a los cuales se tiene acceso (Fig. 61).

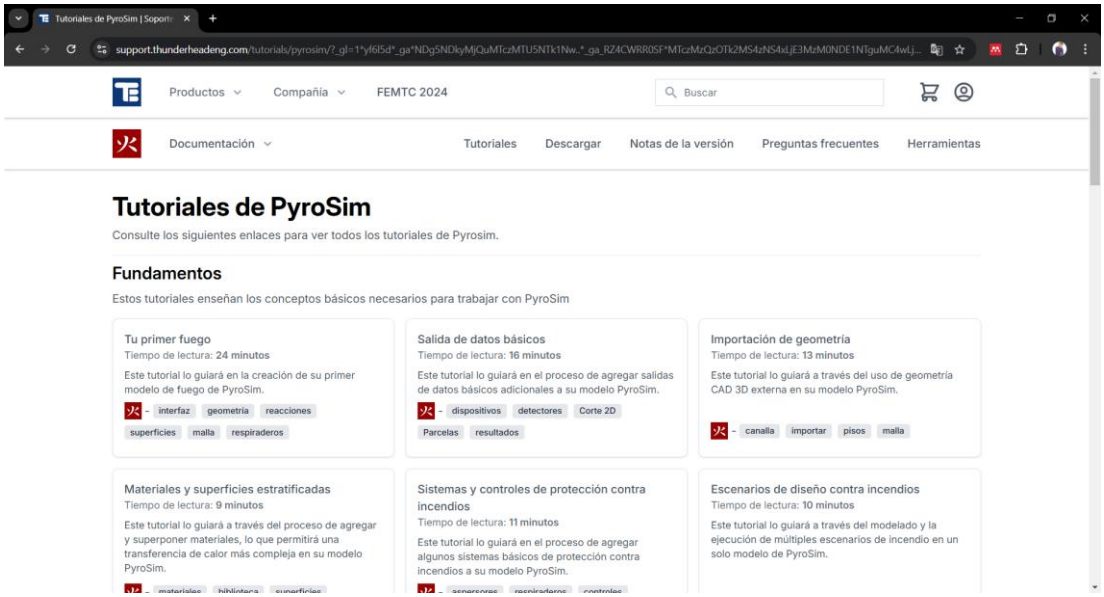


Fig. 61 Página oficial de tutoriales de PyroSim

Para realizar el primer modelo FDS, se revisa la sección de tutoriales de la página oficial del programa (Fig. 61) el tutorial llamado Tu primer fuego (Your first fire), para revisar el funcionamiento básico y el modelo más simple con el que se inició la creación de la simulación de ensayos de flamabilidad (Fig. 62).

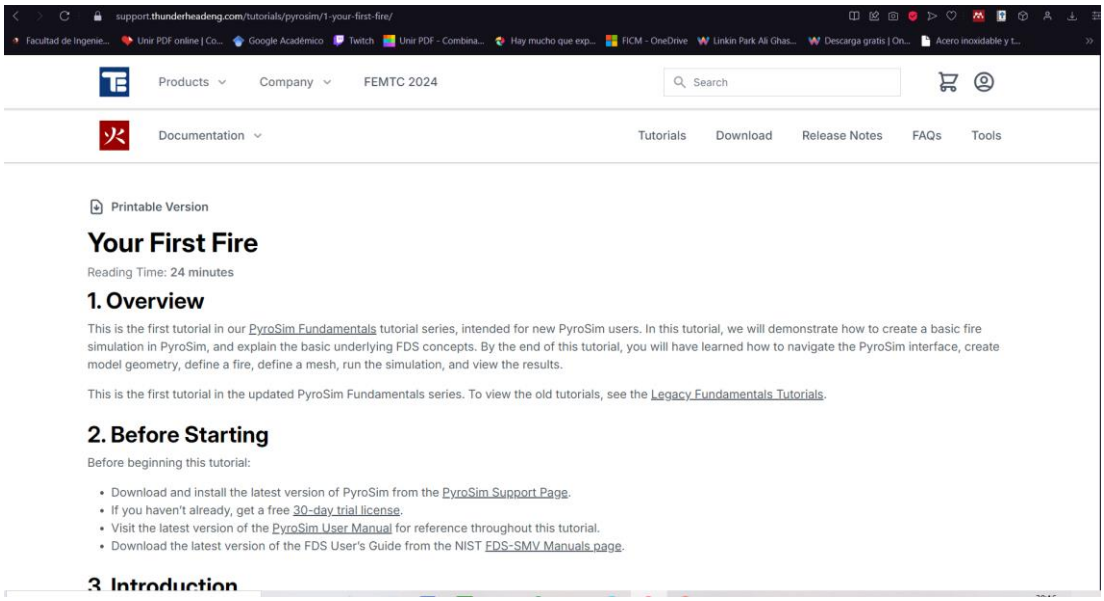


Fig. 62 Tu primer fuego

Importación de piezas

Teniendo el conocimiento inicial en el uso de PyroSim, se usa las herramientas para exportar los sólidos diseñados en el programa de diseño CAD, almacenados antes en

archivo .Stl, clic en Import FDS/CAD file (Fig. 63), se selecciona los documentos del diseño, al tratarse de un ensamblaje se recomienda guardar el archivo general del ensamble en .Stl (Fig. 64), al momento de exportar de esta manera los sólidos no es necesario ensamblar nuevamente en PyroSim, ya que al exportar cada pieza de esta forma, toma su lugar respectivo sin alteraciones.

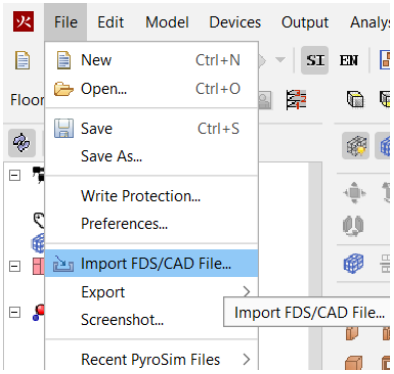


Fig. 63 Opción para importar archivos

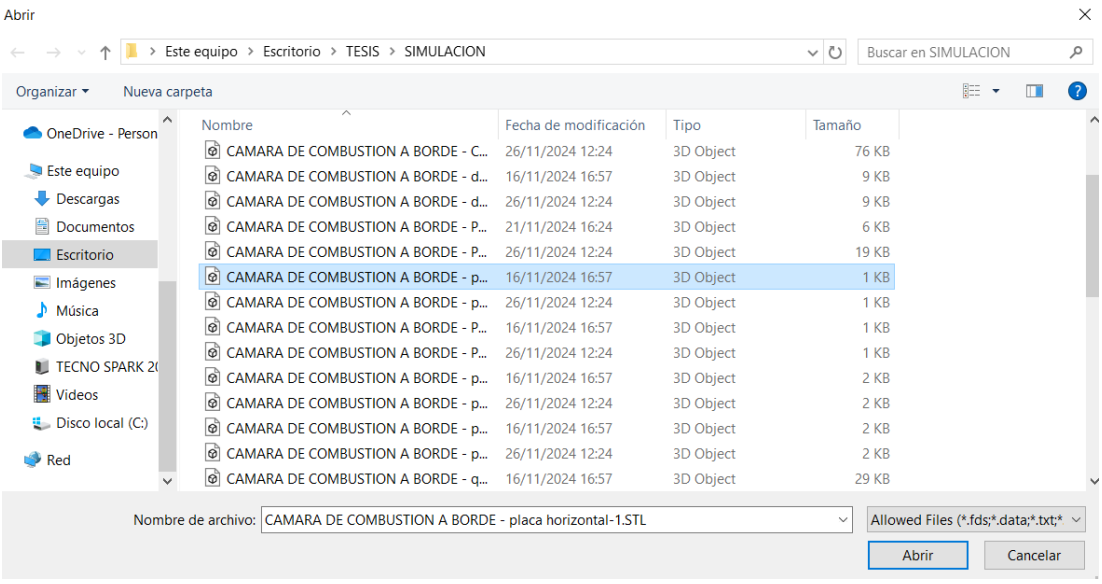


Fig. 64 Archivos en formato Stl para importar

Al seleccionar se despliega la ventana STL Import Options (Fig. 65), se elige las unidades originales del objeto y el tipo de obstrucción, existen 3 tipos de obstrucción, Filled Obstruction, Hollew Obstruction y Hole, se selecciona Filled Obstruction.

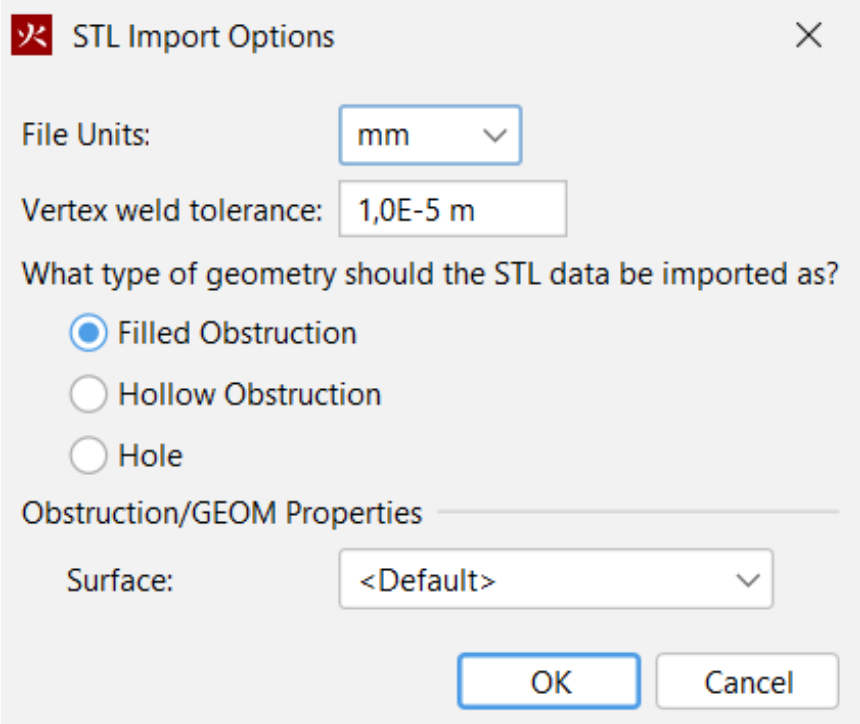


Fig. 65 Opciones de importe de archivo Stl

Cuando el primer sólido fue exportado sea cual sea, clic derecho sobre el objeto y se selecciona la opción Copy FDS Records (Fig. 66), se repite el mismo procedimiento, File, Import FDS/CAD file y se abre otra pieza.

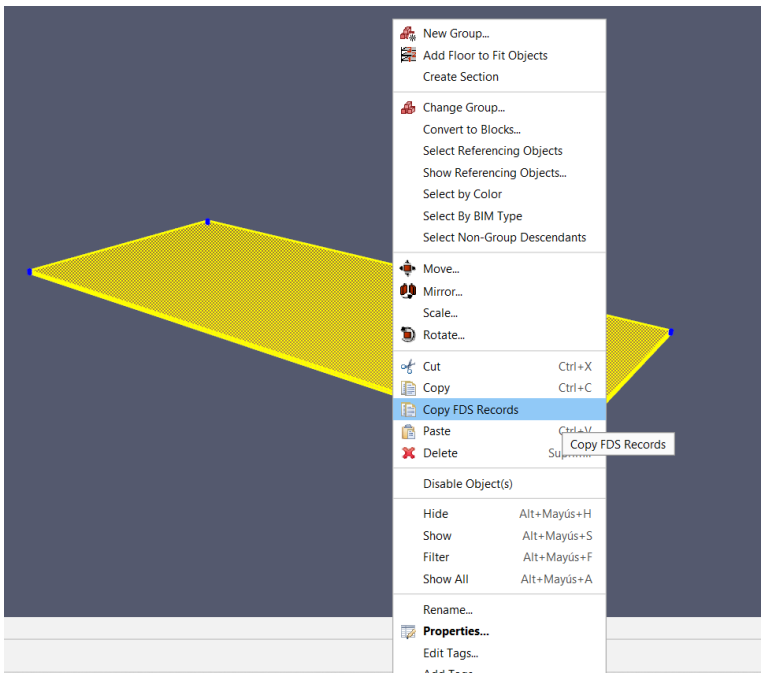


Fig. 66 Pieza importada

Completado el proceso de importación de archivos .Stl, se revisa que no presenten alteraciones, de existir fallas o alteraciones se repite el proceso de importación.

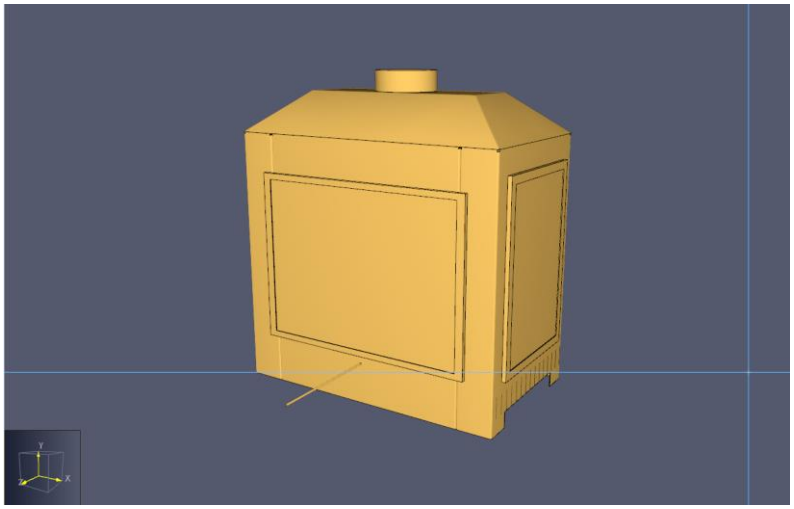


Fig. 67 Cámara de combustión en PyroSim

La cámara modelada en el programa CAD fue importada a PyroSim exitosamente, el color es debido a que adopto una superficie por defecto (Fig. 67).

Creación de combustible

El siguiente paso es definir el combustible que se utilizó en los ensayos de flamabilidad, en la pestaña de Model (Fig. 68) se despliega varias opciones, se selecciona Edit Reactions y se ingresa a la interfaz.

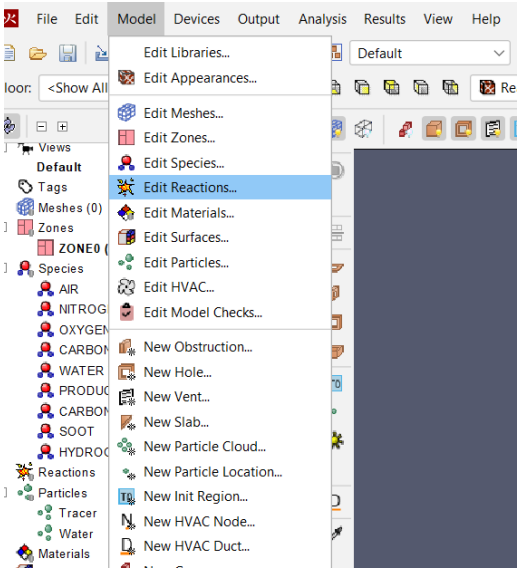


Fig. 68 Opciones de la pestaña Model

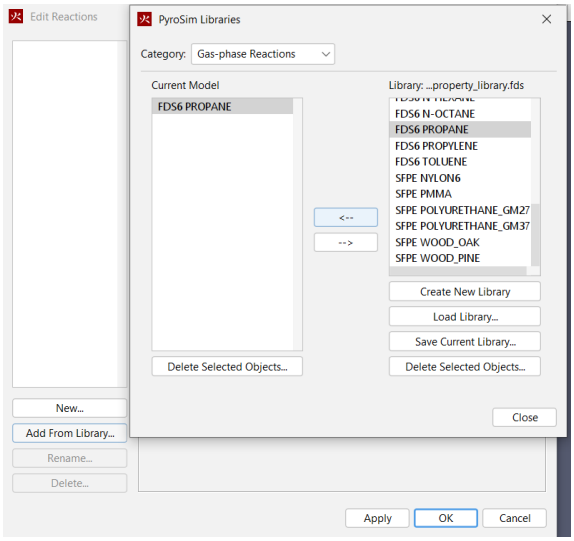


Fig. 69 Interfaz de la sección Edit Reactions

El programa otorga la opción de New o Add From Library, se selecciona la segunda opción y despliega una segunda pestaña con un listado de combustibles existentes en la librería de PyroSim (Fig. 69), se ubica el combustible utilizado en los ensayos de flamabilidad, clic en la flecha para agregarlo al cuadro del lado izquierdo, clic en Close, clic en Apply y cerrar la pestaña. Si es necesario crear un nuevo combustible, revisar los tutoriales disponibles y ejemplos prácticos que proporciona PyroSim (Fig. 61).

De nuevo en Model en la barra de herramientas se selecciona Edit Particles (Fig. 70), se elige la opción New, se asigna un nombre y el tipo de partícula, se selecciona Liquid.

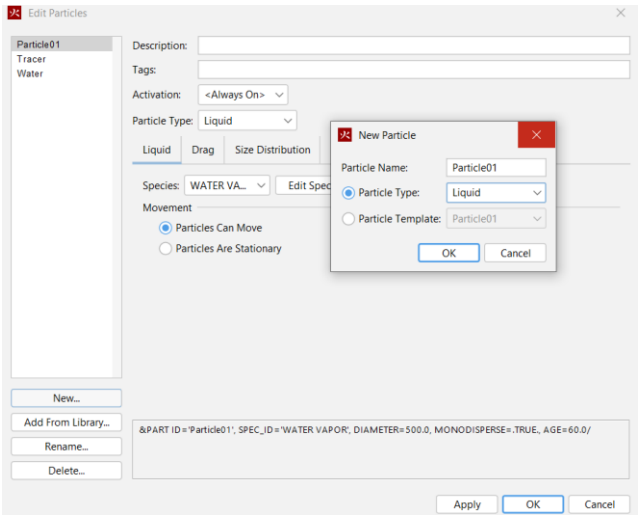


Fig. 70 Pestaña de New Particle

Se despliega el menú de Species en la misma pestaña y se elige el combustible (Fig. 71), clic en Apply y se cierra la pestaña.

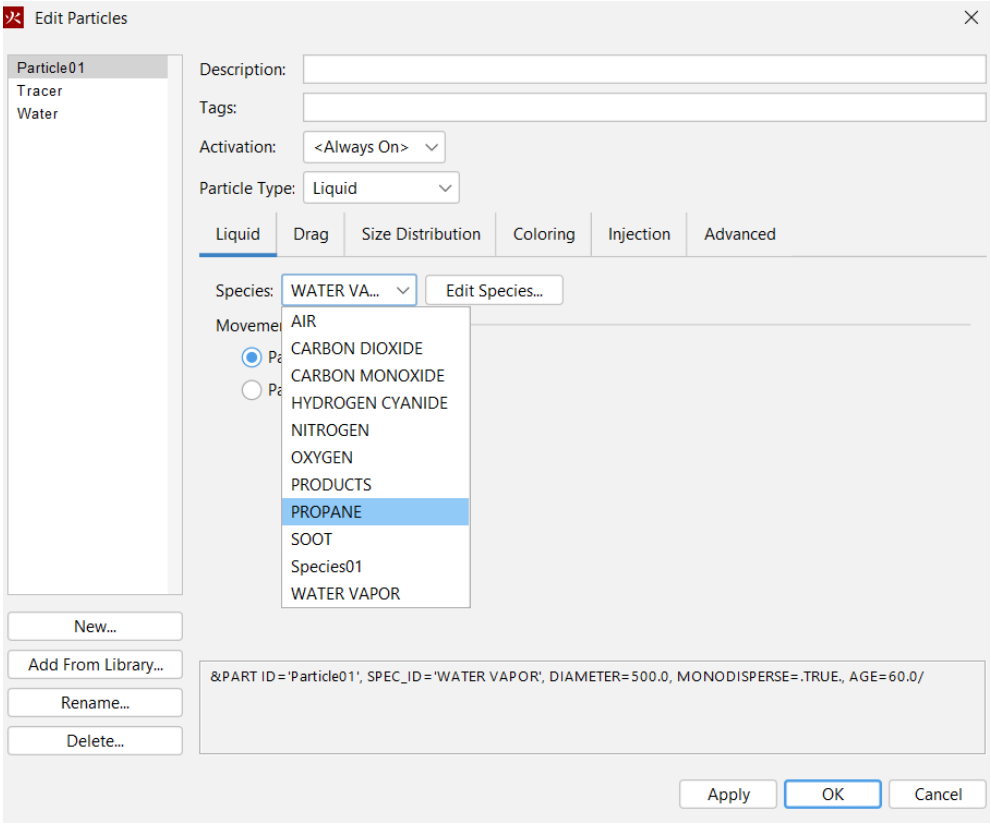


Fig. 71 Selección del combustible en la pestaña de Edit Particle

Creación de material

Ahora es momento de definir los materiales, todos los materiales utilizados requieren de 5 propiedades específicas, esas propiedades se detallan a continuación.

Parámetros del material

El programa solicita ingresar 5 características térmicas que son claves al momento de realizar la simulación, con el fin que el objeto representando como la probeta ensayada, adquiera las mismas características que el material auténtico, para tratar de asemejar la realidad en la simulación. Estas 5 propiedades son densidad, conductividad térmica, calor especifico, emisividad y coeficiente de absorción, se hizo énfasis en el policloruro de vinilo (PVC) utilizado en tapas de tomacorrientes, ya que este fue el material estudiado, para los demás materiales se consultó en fichas técnicas de fabricantes y bases de datos.

Propiedades físicas

Densidad

Al haber obtenido un material comercial, se revisó en fichas técnicas, sitios web de fabricantes de materiales eléctricos para obtener el valor de densidad requerido, el valor de densidad usado fue de 1,16 g/cm^3, (Anexo 6), los fabricantes cumplen con normas establecidas como la ASTM D 792 o la ISO 1183, las cuales están basadas en métodos experimentales que garantizan su exactitud.

Propiedades térmicas

Conductividad térmica

El APCG empleado en [28], obtuvo valores de varios materiales utilizados en construcciones, el PVC fue uno de los materiales estudiados. El APCG arrojó valores experimentales para el policloruro de vinilo (PVC) de 0,0569 $W/m*K$, con un espesor determinado a temperaturas controladas por periodos de tiempo extensos, pero en contraste con valores que proporcionan catálogos de fabricantes (Anexo 6), o también en fichas técnicas (Anexo 7 y Anexo 8), en el cual el valor de la conductividad térmica para el PVC es de alrededor de 0,15 $W/m*K$ y fue el valor que se utilizó en esta simulación.

Calor especifico

El valor del calor específico para el PVC seleccionado fue de 1 $kJ/kg*K$, se obtuvo mediante la revisión de fichas técnicas, (Anexo 7), revisión bibliográfica [25] y bases de datos donde el valor del calor especifico esta generalizado para una gama de productos fabricados en masa con este material.

Emisividad

El material utilizado en el estudio se constituye de color blanco, lo que significa que su valor de emisividad se alejara del 1, [40] menciona el valor de 0,93 para el PVC (Fig. 72).

Material	Emisividad	Material	Emisividad
Madera	0.85	Papel negro	0.86
Agua	0.96	Policarbonato	0.8
Ladrillo	0.75	Hormigón	0.97
Acero inoxidable	0.14	Óxido de cobre	0.78
Cinta	0.96	Hierro fundido	0.81
Placa de aluminio	0.09	Óxido	0.8
Placa de cobre	0.06	Yeso	0.75
Aluminio negro	0.95	Pintura	0.9
Piel humana	0.98	Goma	0.95
Asfalto	0.96	Tierra	0.93
PVC	0.93		

Fig. 72 Emisividad de materiales comunes [40]

Coeficiente de absorción

Dado que la longitud de onda del espectro visible se encuentra entre un rango de 400 nm y 700 nm [41], se eligió un valor arbitrario de 450 nm, dado que es el menos alejado del valor base referencial de 400 nm. Para determinar el coeficiente de absorción para el PVC, la longitud de onda seleccionada es de 450 nm, se elige la curva α/PVC dado que el material no contiene otros porcentajes de polímeros, y el coeficiente de absorción es de 200 cm^{-1} (Fig. 73).

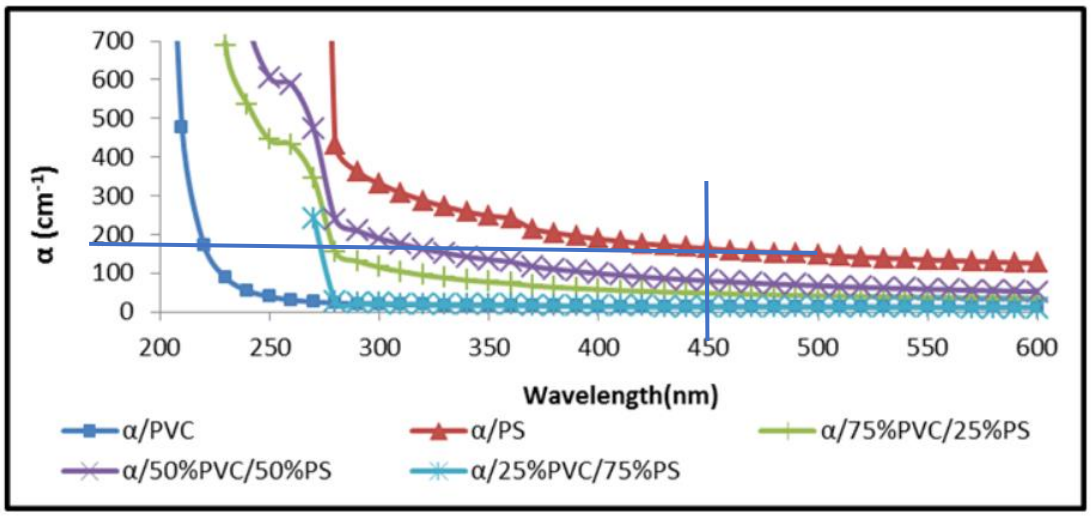


Fig. 73 Espectroscopía de absorción UV/Visible de (PVC/PS) con longitud de onda a diferente concentración [31]

Recolectada toda la información para el apartado de materiales, clic de nuevo en Model, Edit Materials, una ventana es desplegada similar a las demás, las opciones de New y Add From Library aparecen de nuevo, en la librería no se encontró materiales similares a los utilizados, se crea materiales nuevos. Se selecciona New y se despliega una ventana pequeña, se asigna el nombre al material y su tipo.

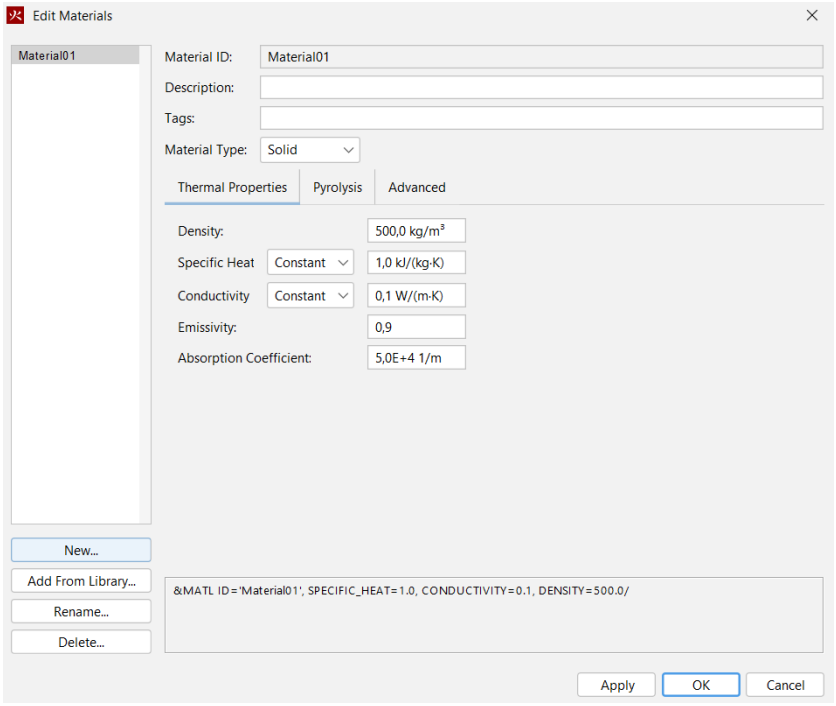


Fig. 74 Propiedades térmicas para el material creado

En la ventana después de nombrar y elegir el tipo de material, se ingresó las 5 propiedades antes mencionadas. Esto se realizó para cada uno de los materiales que intervinieron en la simulación (Fig. 74).

Los materiales que fueron creados se visualizan en el árbol de operaciones, estos 4 materiales fueron considerados los más importantes para realizar la simulación FDS (Fig. 75).

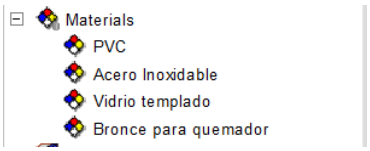


Fig. 75 Materiales creados para usar en simulación FDS

Creación de superficies

La creación de superficies es la siguiente fase, este apartado es crucial ya que los objetos del diseño se les asignó superficies las cuales son configuradas de manera que adopten el comportamiento de los materiales antes creados, aquí se define la fuente de calor por donde se manifestara el combustible que se creó anteriormente.

Existen superficies por defecto, nuevas superficies se crearon, Model nuevamente, Edit Surfaces (Fig. 76), se despliega una pestaña con las opciones de New y Add From Library, se selecciona New y aparece una pestaña con el nombre y el tipo de superficie.

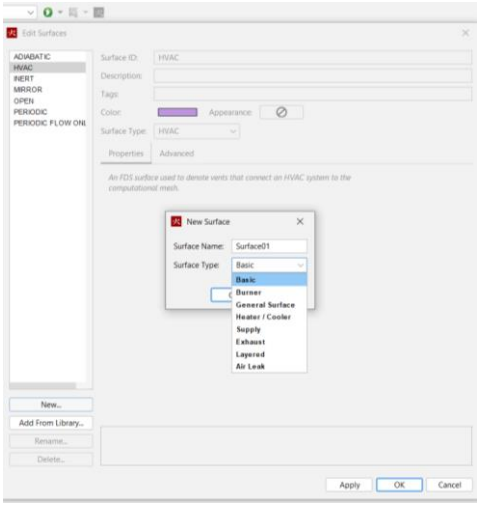


Fig. 76 Nombre y tipos de superficies en PyroSim

A continuación, se definió cada tipo de superficie que existe en PyroSim:

- **Air Leak. -** Las superficies de fuga de aire se pueden utilizar para crear una barrera permeable entre dos zonas de presión, definidas por la Ruta de fuga en el cuadro de diálogo Editar superficies. El área de fuga está definida por las zonas seleccionadas.
- **Basic. -** Este tipo de superficie es idéntico al tipo de superficie INERTE incorporado. Le permite personalizar la descripción, el color y la textura de la superficie inerte descrita en Superficies reservadas.
- **Burner. -** Este tipo de superficie representa un incendio con una tasa de liberación de calor o una tasa de pérdida de masa (combustible) conocida.
- **Exhaust. -** Las superficies de escape se pueden utilizar para eliminar el gas del dominio de simulación. La especificación de sus parámetros de movimiento de aire es idéntica a la de una superficie de suministro, pero en lugar de que la velocidad o el flujo impulsen el aire hacia el dominio, lo extraen. Las superficies de escape no tienen la opción de aplicar propiedades de inyección o geometría.

- **General Surface. -** El tipo de superficie general es un híbrido entre los tipos de superficie de quemador y suministro. Agregando un poco más de flexibilidad que cualquiera de ellos individualmente.
- **Heater/Cooler. -** Este tipo de superficie representa una fuente de calor radiante. Las opciones son idénticas a las opciones de un quemador sin opciones de liberación de calor. Si la temperatura de la superficie es menor que la temperatura ambiente, la superficie eliminará calor de los gases circundantes.
- **Layered. -** Las superficies en capas se componen de una o más definiciones de materiales. Los materiales incluyen sustancias sólidas y líquidas como hormigón, pino y etanol. Para obtener más información sobre los materiales y cómo se pueden especificar en PyroSim. Este tipo de superficie es ideal para paredes y otros objetos compuestos de materiales del mundo real. Este tipo de superficie también se puede utilizar para inyectar extra (no reactivas) en la simulación.
- **Supply. -** Esta superficie representa un respiradero que inyecta aire en el dominio de simulación. La temperatura del aire inyectado por las rejillas de suministro se puede controlar mediante la configuración de la pestaña térmica. Las opciones de Inyección de especies están disponibles si se selecciona la opción Especificar flujo de masa de especies individuales en el grupo Flujo de aire y hay especies adicionales no reactivas presentes en la simulación.

Para la simulación se seleccionó el tipo de superficie Layered para los objetos como la probeta, la cámara, el quemador y Burner para la fuente de ignición, ya que se ajusta a lo que requiere.

En la pestaña de configuración de la superficie, en las opciones Material Layers, se presiona edit en la tabla, se selecciona el material y se asigna un valor en Mass Fraction, el valor que se ingreso fue de 1, además también se ingresa el espesor del material (Fig. 77).

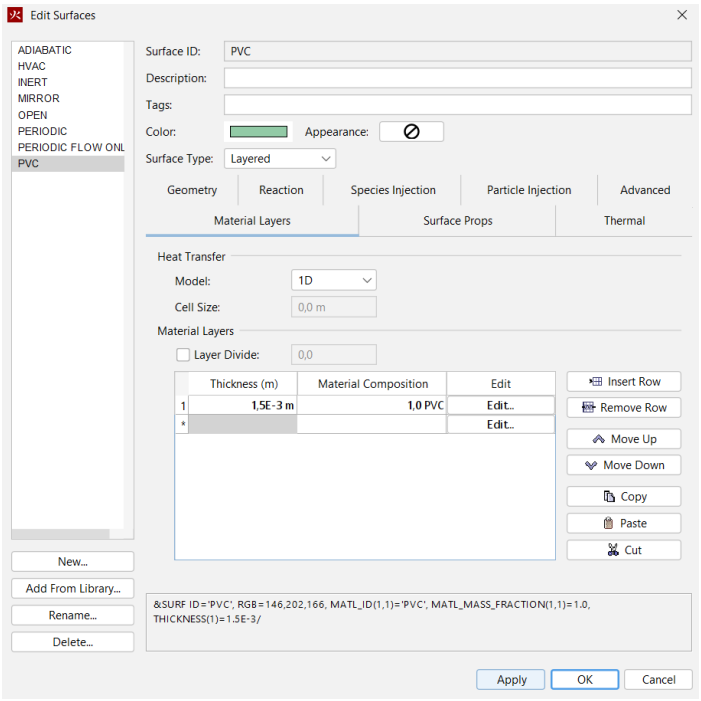


Fig. 77 Asignación del material a la superficie creada

El resto de los parámetros en esta sección permanecen por defecto, ahora en el apartado de Reaction (Fig. 78) en la misma pestaña, se selecciona la opción de Governed Manually para poder configurar la superficie de la probeta, ya que esta es la más importante en la simulación.

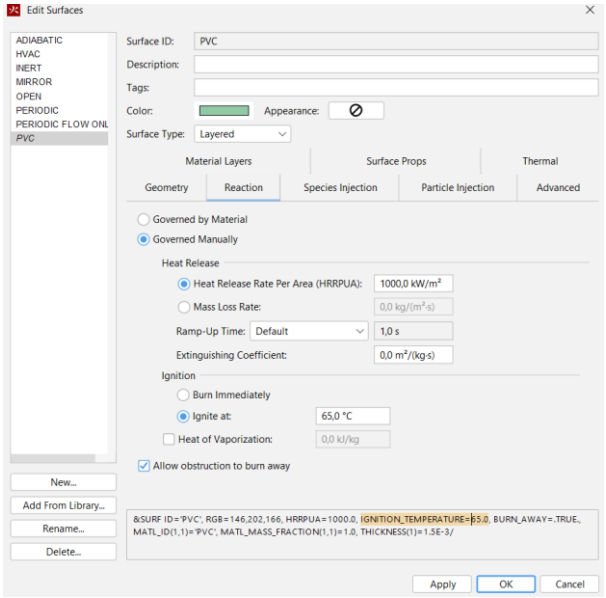


Fig. 78 Configuración de la sección Reaction de la superficie de la probeta

El valor de Heat Release Rate Per Area (HRRPUA), para el PVC fue de 110 $^{kW}/_{m^2}$ (Fig. 79)

Fire properties					
Property	Unit	PVC-U	Impact-modified PVC	PVC-P	PVC-C
Self-ignition temperature	°C	450	450		
Flame ignition temperature	°C	390	390	315	
Limiting oxygen index; ASTM D2863 [24]	%	50	45	25–35	55–75
Heat of combustion (NBS cone calorimeter); ASTM E1354 [25]	MJ/kg	20	20–25	20–30	
Peak heat release rate (NBS cone calorimeter); ASTM E1354	kW/m²	90–110	100–150	~200	

Fig. 79 Heat Release Rate Per Area (HRRRPUA) para PVC rígido [42]

En la parte inferior de Ignition, el valor de Ignition at, este valor representa la temperatura a la cual el material se combustiona, o bien en fichas técnicas temperatura máxima de operación, el valor ingresado fue de 65 °C (Anexo 7), se activa la casilla de Allow obstruction to burn away, el cual hace que en la simulación el material sea afectado o consumido por la fuente de calor generada.

En el apartado de Surface Props (Fig. 80), se elige Backing, Air Gap y se asigna un valor de temperatura ambiente, 20 °C fue el valor asignado, la superficie adopta un espacio de aire como aislante en la superficie de la probeta, asemejándose más a la realidad del ensayo, en la cual existe aire dentro de la cámara, esto además permite la transferencia de calor entre el calor generado y la superficie de la probeta.

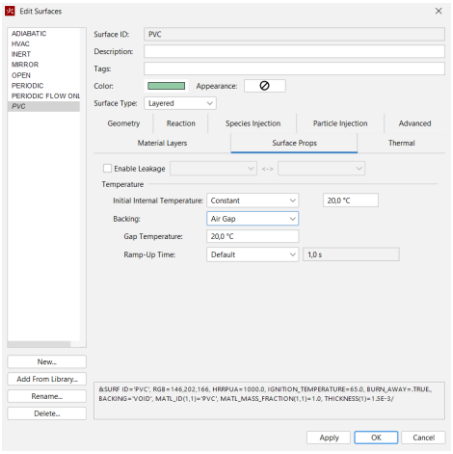


Fig. 80 Configuración de Surface Props

Se repite el mismo proceso para los demás materiales, exceptuando la casilla Allow obstruction to burn away y en el apartado de Reaction en la pestaña de configuración de la superficie, se seleccionó la opción de Governed by Material para el resto de los materiales.

Para configurar la fuente de calor, se ingresó a la superficie de Burner y solamente se configuro dos parámetros, Heat Release Rate Per Area (HRRPUA).

HRRPUA para el gas propano

El valor del HRRPUA para el gas propano que se utilizó fue de 1010,5 según la ficha técnica proporcionada por el distribuidor (Anexo 9).

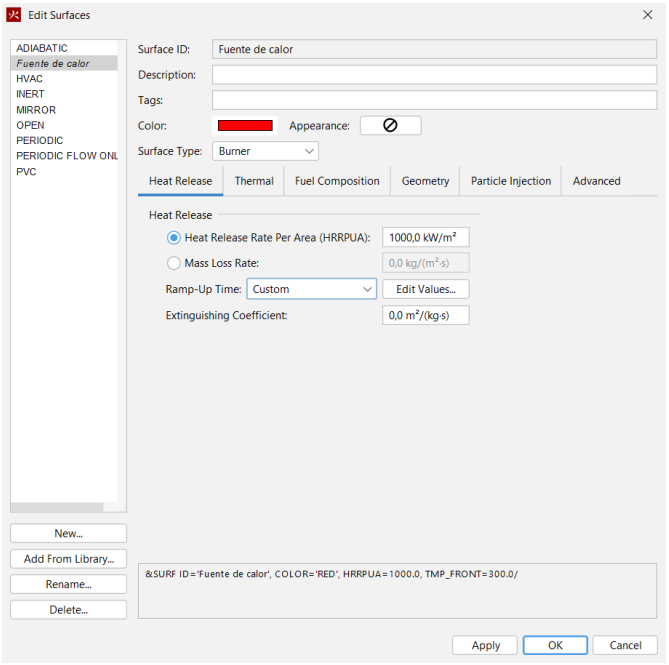


Fig. 81 Configuración de la superficie Burner

Después de obtener el valor del HRRPUA, se ingresó en la casilla (Fig. 81), seguido de ese valor se tiene la rampa de tiempo en la que se activa, se despliega el menú y se selecciona la opción de Custom, después Edit Values y se despliega una pestaña con la tabla de tiempos, se ingresa los tiempos de activación de la fuente de calor.

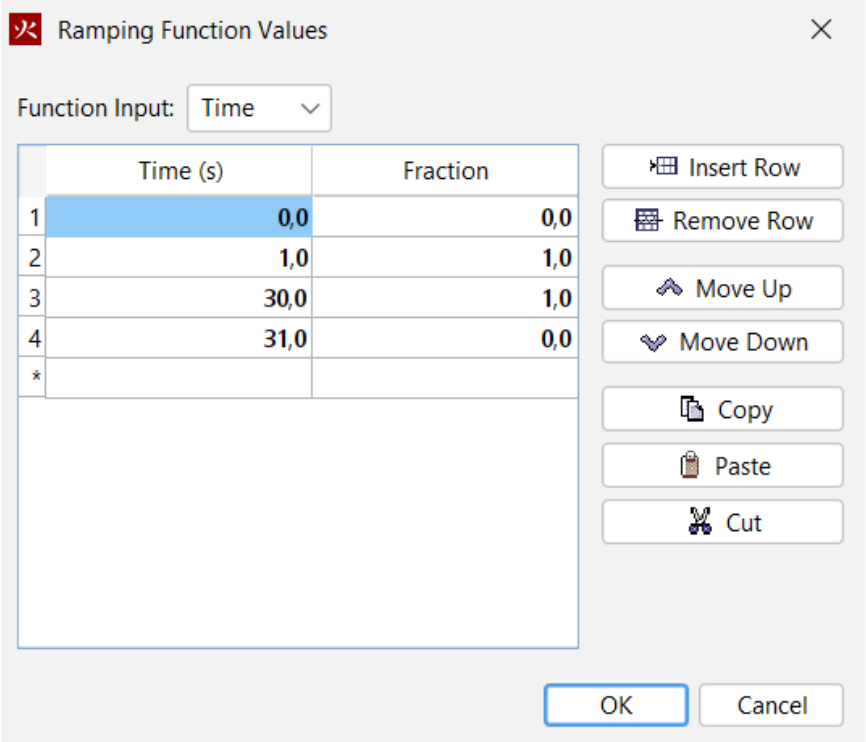


Fig. 82 Tiempos de activación de la fuente de calor

En el ensayo, la llama se ingresa debajo de la probeta y la duración es de 30 segundos, se ingresó los valores en la tabla (Fig. 82), el cual es la configuración que más se asemeja a la realidad del ensayo, en la columna de Fraction, indica cuánto de combustible se libera, ya que en la realidad la llama antes de entrar en contacto con la probeta se estabiliza para poder tener una fuente de calor constante y uniforme, es por ello que se ingresó al inicio valores de 0 en tiempo 0, durante el trascurso de 30 segundos el valor de 1 que significa la llama en su totalidad, y al finalizar un valor de 0 después de los 30 segundos, el cual indica que la llama es retirada, de la misma forma en la que se realiza el ensayo de flamabilidad.

Creación de Slices

Finalizado la configuración de superficies, se agrega Slices en 2D y 3D, lo cual sirve para la visualización de resultados, para saber más sobre los Slice, se recomienda revisar el Manual de Usuario (Fig. 60).

Se crea 2 Slices en 2D (Fig. 83 y Fig. 84), tanto en los ejes Z y X respectivamente, para visualizar el comportamiento de la llama.

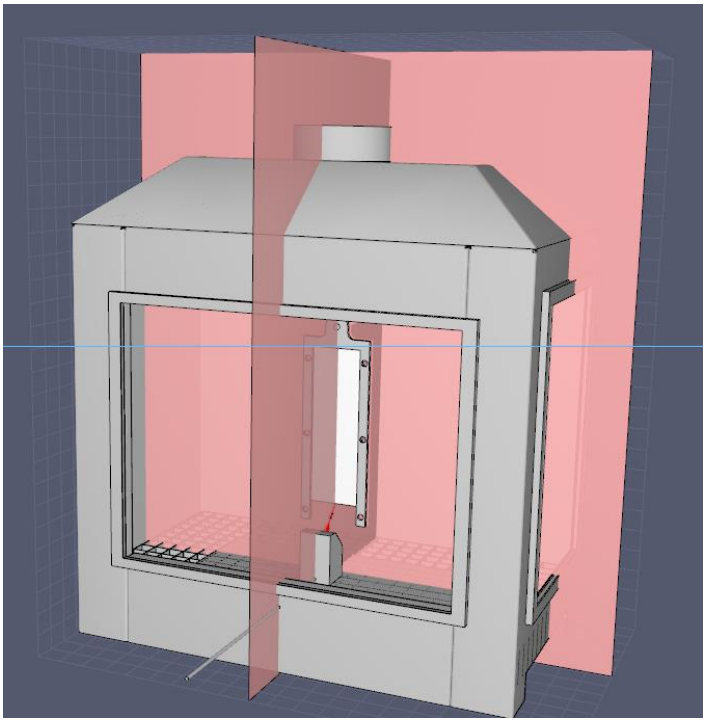


Fig. 83 Slices en 2D para la visualización de resultados

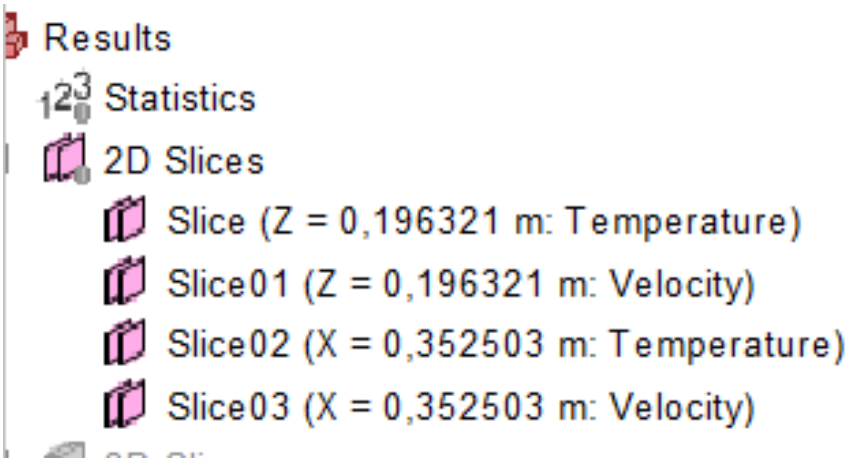


Fig. 84 Slices asignados

Para elegir qué resultados visualizar, doble clic en el Slice creado, se despliega una tabla con la ubicación del Slice y además en la celda de Gas Phase Quantity se eligió que propiedad visualizar (Fig. 85).

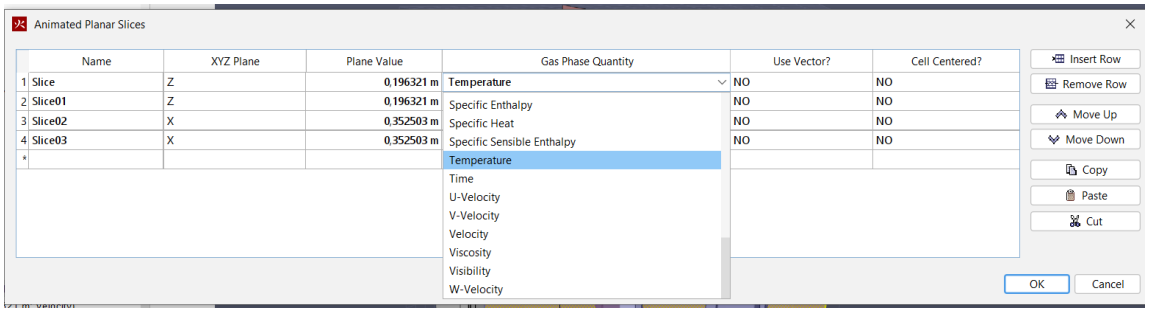


Fig. 85 Propiedades de Slice

Se seleccionó la propiedad que se consideró importante y clic en ok para guardar el Slice.

Para la creación del Slice en 3D se dibujó un cubo que recubra toda la cámara (Fig. 86).

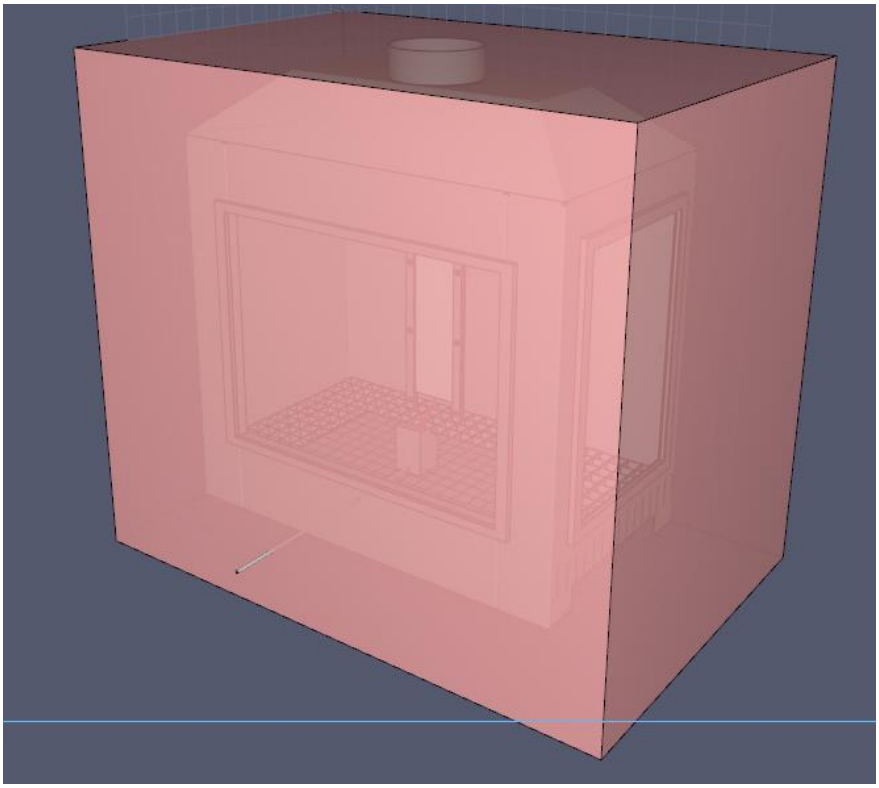


Fig. 86 Slice en 3D

Se repite el mismo proceso, doble clic en el Slice creado en el árbol de operaciones y se asigna la propiedad para visualizar (Fig. 87).



Fig. 87 Slice en 3D de temperatura y velocidad

Si en el caso de presentarse problemas para dibujar el Slice en 3D, doble clic en el Slice que se ubica en el árbol de operaciones e ingrese las coordenadas que más se acomoden a la ubicación requerida.

Asignación de superficies a objetos

Se prosiguió con la asignación de superficies antes creadas en los objetos, en el árbol de operaciones se despliega el grupo creado al ingresar los archivos .Stl, es decir los objetos que constituyen el modelo de la cámara de combustión (Fig. 88).



Fig. 88 Objetos que constituyen la simulación

Para asignar una superficie, doble clic en el objeto o clic derecho y propiedades, eso despliega una pestaña donde se configuró la pieza (Fig. 89).

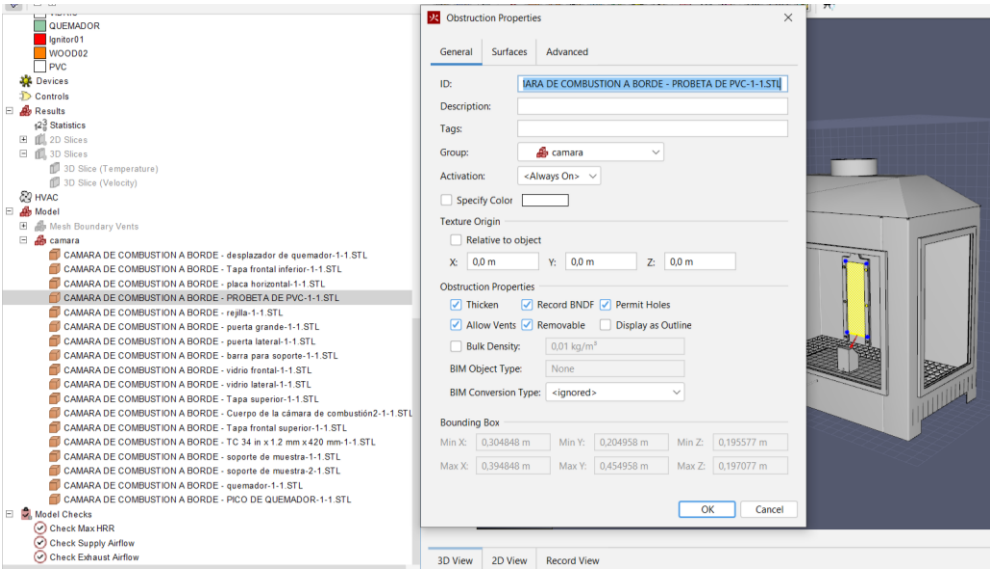


Fig. 89 Propiedades del objeto

En la sección de General, únicamente para el material que se quiera simular su comportamiento frente al fuego, se activa la casilla Thicken, y el resto de las opciones por defecto.

Se ubica en la sección de Surfaces sin salir de la pestaña de propiedades (Fig. 90), en la primera opción se despliega el listado de superficies que fueron creadas, se asigna la superficie que corresponda a cada objeto.

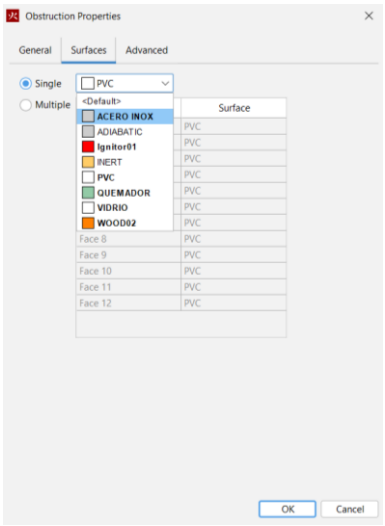


Fig. 90 Asignación de superficie para el objeto

Se repite el proceso para todas las piezas, cabe recalcar que solo se activa la casilla Thicken en General para el objeto a analizar, en este caso solo para la probeta, esto hace que en la simulación el material sea afectado por la fuente de calor y se pueda visualizar su comportamiento.

Creación de malla y sus parámetros

Ya finalizado el proceso de asignación de superficies, se crea la malla, nuevamente en Model y Edit Mesh. Se despliega una pestaña con la única opción de New, se selecciona New y se asigna un nombre a la malla.

Dentro de la pestaña se ubica la malla mediante coordenadas lo más acorde posible a la cámara de combustión (Fig. 91).

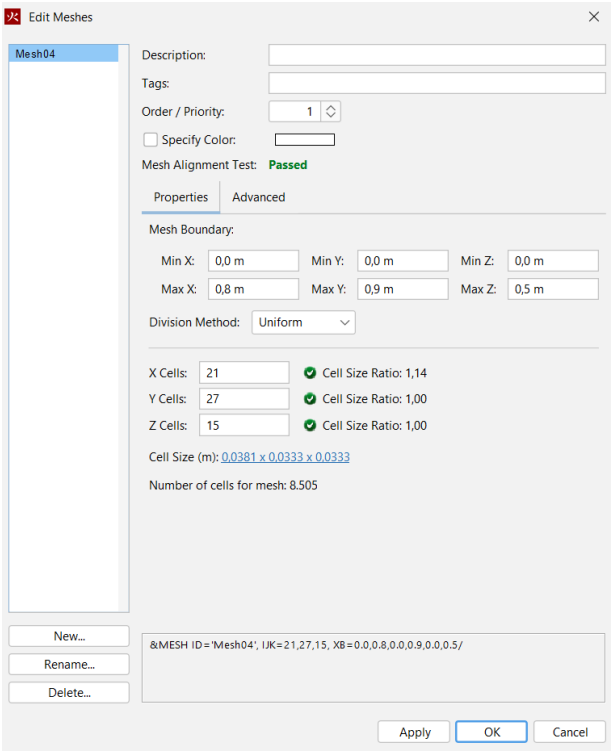


Fig. 91 Coordenadas de ubicación de la malla y dimensión de nodos

Debajo de las coordenadas se ingresó los valores en la casilla que fue acorde con el tamaño asignado según su ubicación. En un lado de cada casilla recomienda un valor, y la palomita indica que el valor es el adecuado.

Se creó la malla y fue necesario refinarla, clic derecho, se selecciona Refine Mesh (Fig. 92), otorga la opción de refinar el tamaño de malla con la casilla Refine Factor,

o disminuir con la casilla Coarsen Factor, y en las casillas inferiores se visualiza el número de nodos totales al aumentar el tamaño o disminuirlo.

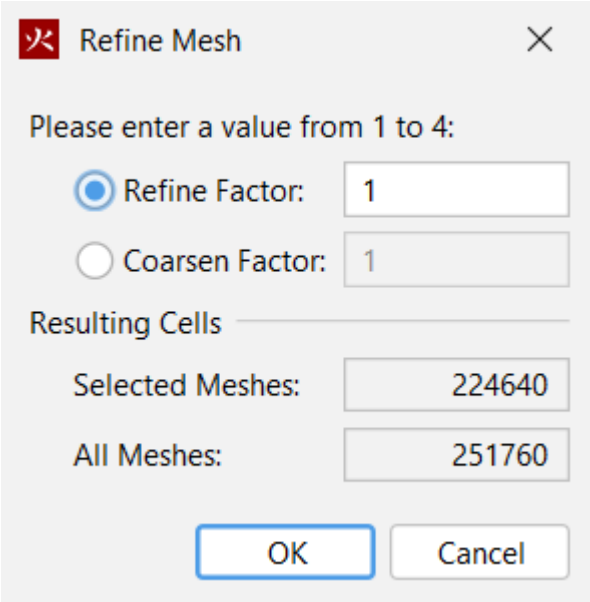


Fig. 92 Menú Refine Mesh

Se puede dividir la malla por secciones, clic derecho en la malla creada y se selecciona Partition Mesh, con el fin de seleccionar el bloque de mallas más cercano a la probeta, es posible dividir la malla en tantos bloques se necesita (Fig. 93). Se dividió la malla en 10 bloques, tratando de aislar la sección de la probeta, cabe recalcar que, al partir la malla en bloques, se busca la mejor configuración, si es necesario se selecciona un bloque y se divide de nuevo hasta estar acorde con lo que se busca en el mallado.

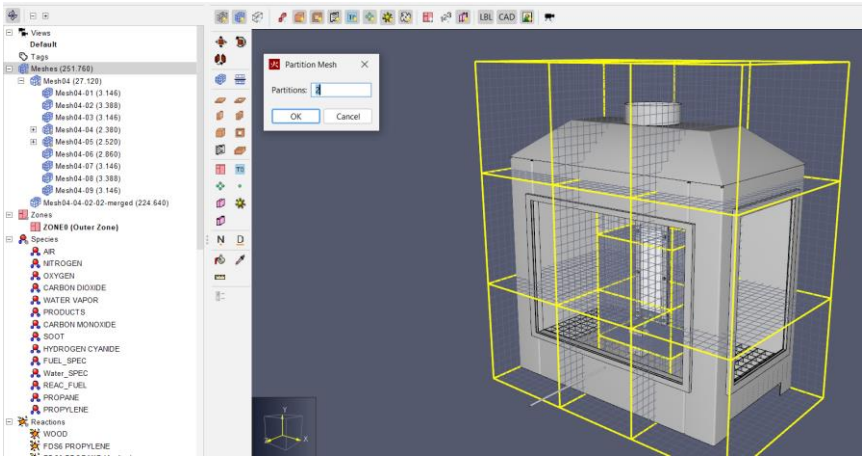


Fig. 93 Partición de malla

En la simulación se aisló la probeta dividiendo la malla en bloques (Fig. 94), el bloque que rodea la probeta fue refinado para obtener solo en esta sección un número alto de nodos (Fig. 95), con el fin de obtener resultados óptimos.

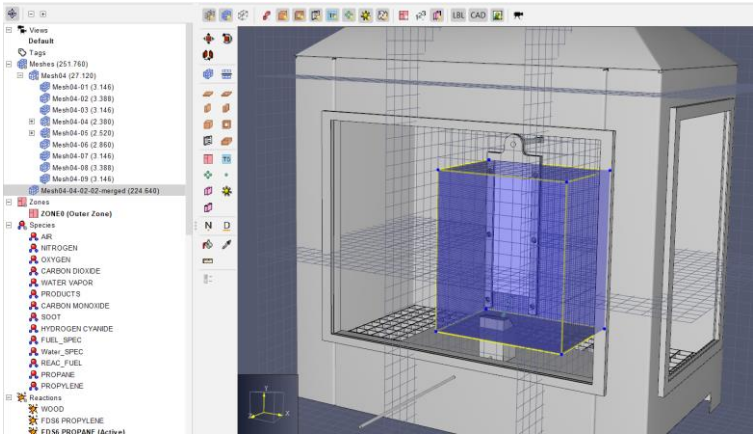


Fig. 94 Malla rodeando la sección de la probeta

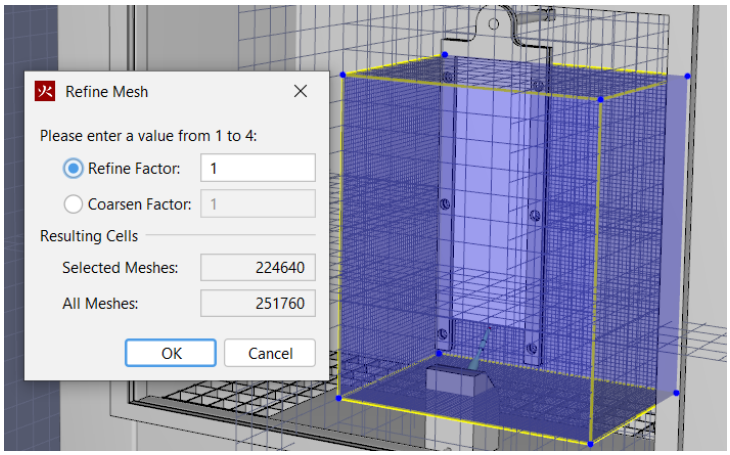


Fig. 95 Bloque de malla que rodea la probeta refinada

Al momento de partir en bloques la malla, refinar un bloque de malla, o mover un bloque de esta, se revisa en las propiedades de malla (Fig. 91), que ninguna malla creada este desalineada, Mesh Alignment Test (Fig. 96) advierte que la malla esta alineada o esta desalineada, la palabra Passed con color verde indica que la malla esta alineada, caso contrario el mensaje que aparecerá será el bloque de malla que esta desalineado (Fig. 97).

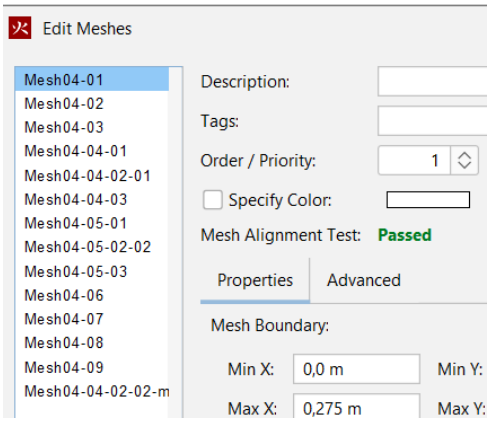


Fig. 96 Mesh Alignment Test

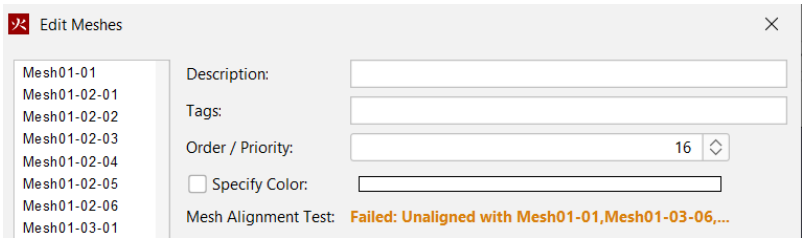


Fig. 97 Malla desalineada

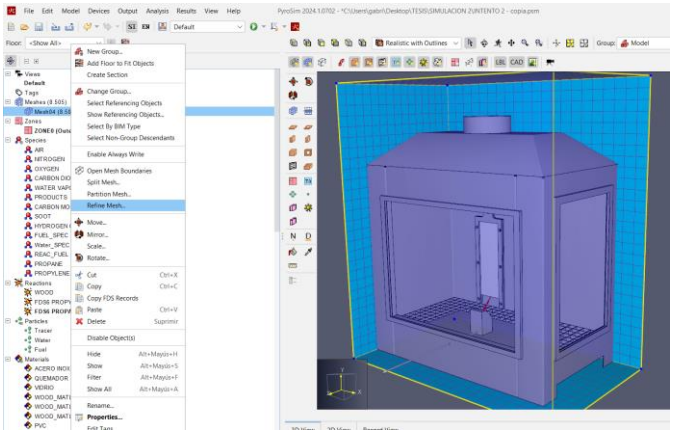


Fig. 98 Malla creada para simulación

Para finalizar la creación de la malla se despliega el menú de opciones (Fig. 98), se ubica en Open Mesh Boundaries y clic (Fig. 99), eso desplegara un nuevo grupo de la sección de Model en el árbol de operaciones, las cuales son necesarias para poder ejecutar la simulación (Fig. 100).

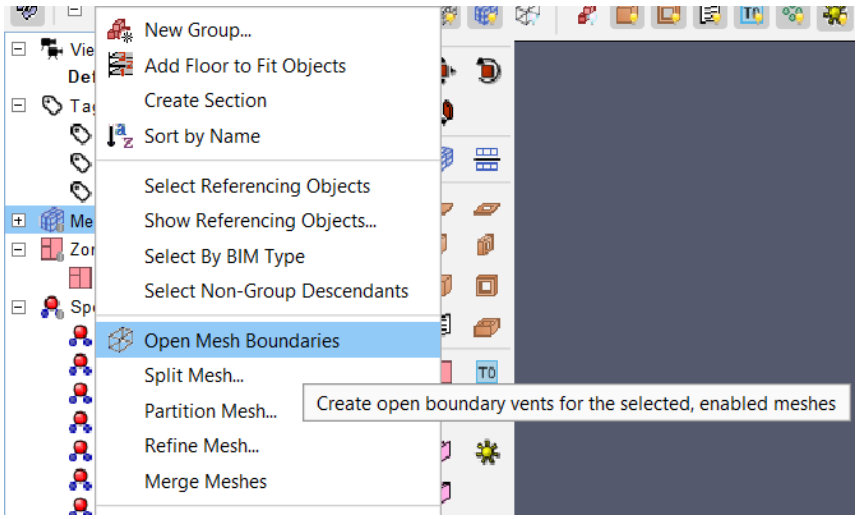


Fig. 99 Open Mesh Boundaries

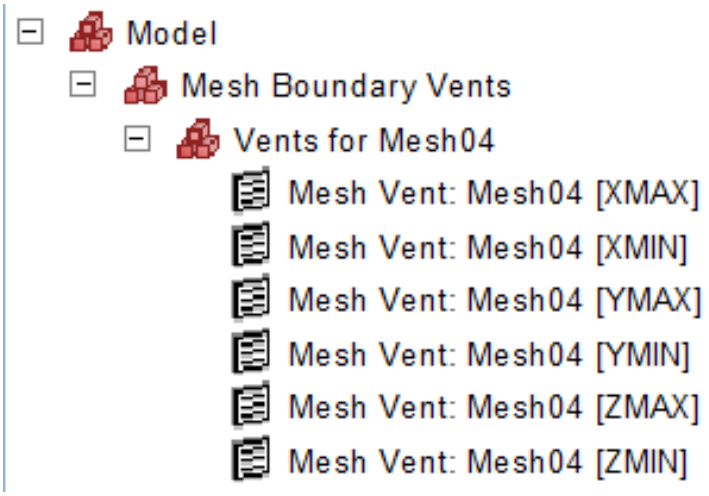


Fig. 100 Propiedades de sección de malla

En estas ventanas se puede configurar el comportamiento de cada sección de la malla, por defecto cada sección se asigna como Superficie Open, que quiere decir al ambiente, no se modificó ningún parámetro en esta sección, a menos que se requiera en el futuro.

Una vez finalizado el proceso de creación de malla, la interfaz muestra toda la malla y sus bloques creados (Fig. 101).

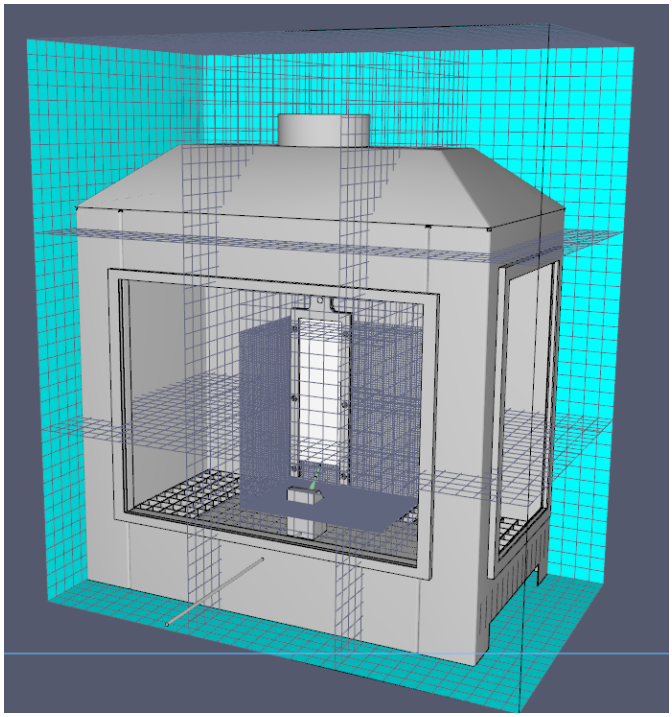


Fig. 101 Malla finalizada

Parámetros de análisis

Se continuo con los parámetros de análisis, en Analysis en la barra de herramientas de la parte superior, clic en Simulation Parameters (Fig. 102).

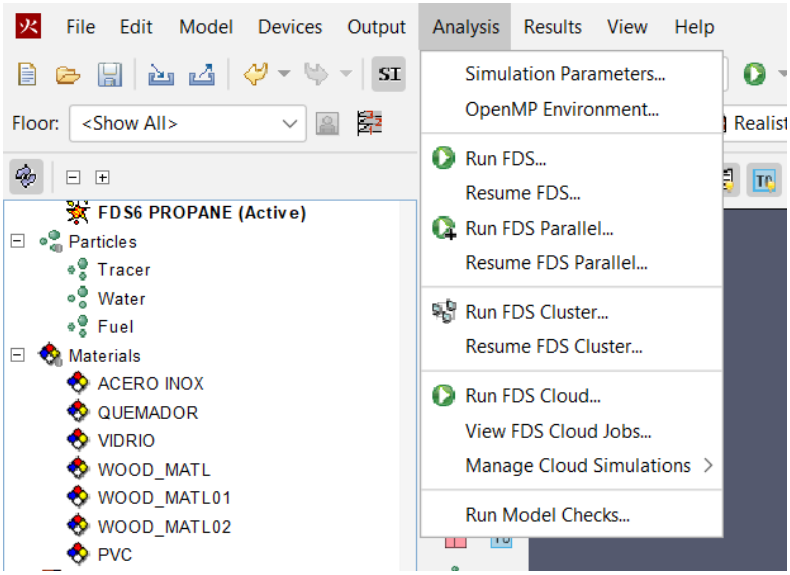


Fig. 102 Sección de configuración de la simulación en la barra de herramientas

Se despliega una pestaña con varias opciones para configurar los parámetros de la simulación (Fig. 103), en este apartado se ingresó los valores que fueron considerados

necesarios, al dar clic en Simulation Parameters se abre una pestaña con varias opciones de configuración.

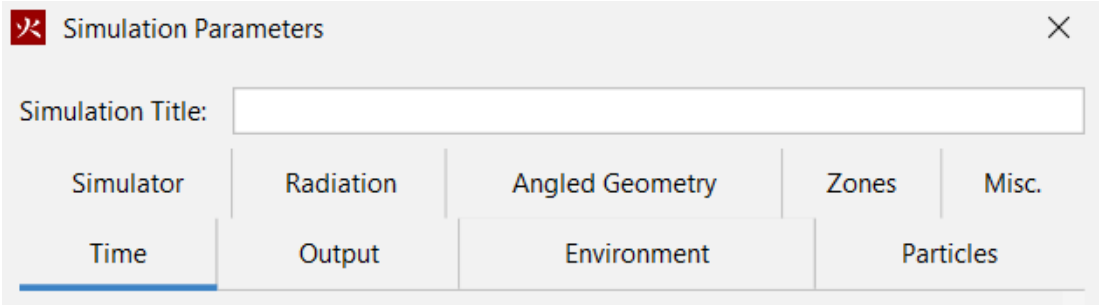


Fig. 103 Parámetros de simulación

Solo configuró las secciones de Time, Simulator, Output y Environment, las demás secciones no fueron modificadas.

En la sección Time se configuró el tiempo total de duración de la simulación, ya que el ensayo de flamabilidad tiene una duración de 60 segundos, se ingresó ese valor en la casilla (Fig. 104).

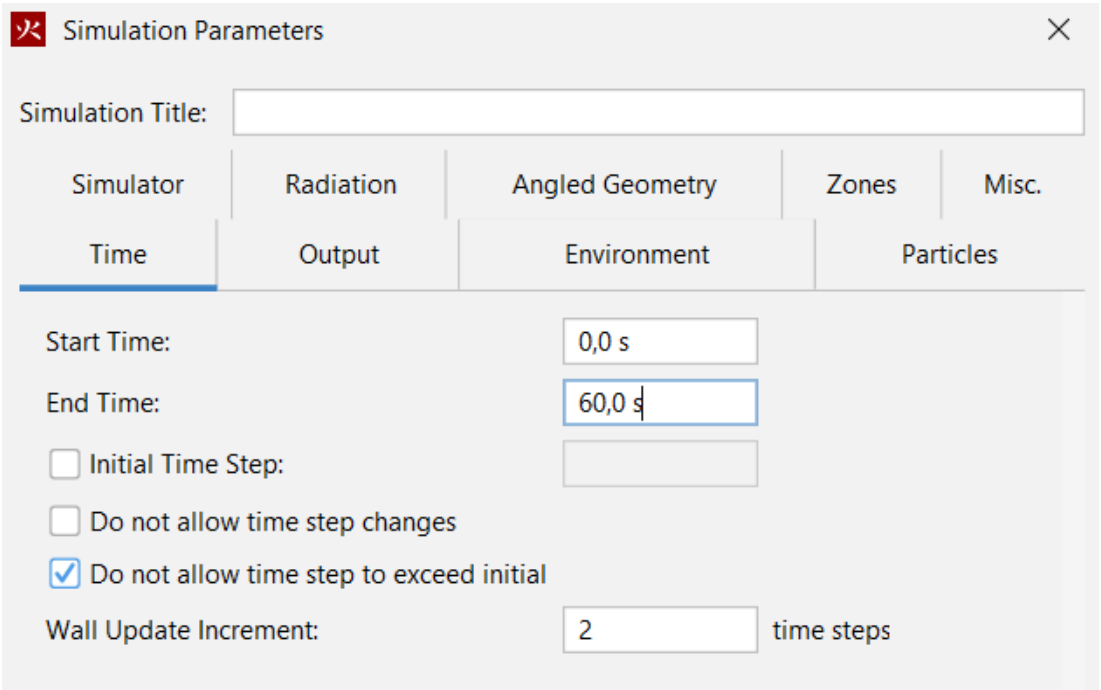


Fig. 104 Tiempo de simulación

En Simulator se selecciona el tipo de simulación, para obtener resultados más precisos, se elige el tipo de Very Large – Eddy (VLES) (Fig. 105).

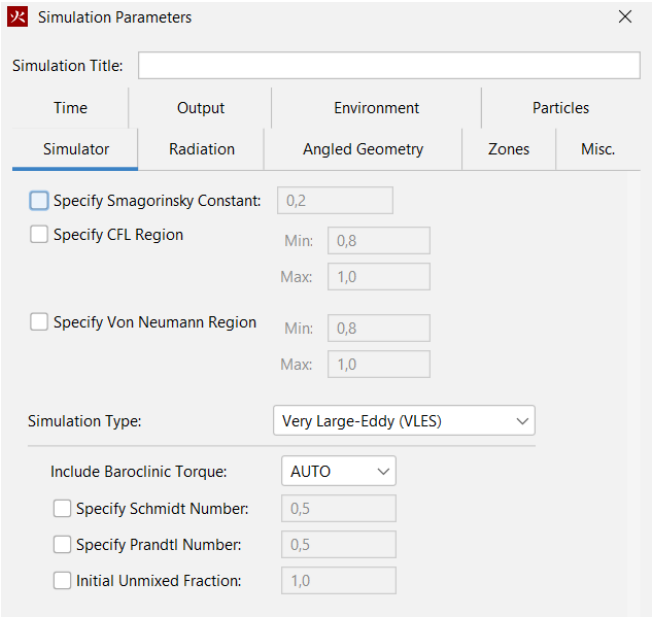


Fig. 105 Tipo de simulación

Se configuró el Output, ahí muestra los resultados que se pueden visualizar al finalizar la simulación, ojo en la primera casilla Enable 3D Smoke Visualization, está debe estar seleccionada, esto permite visualizar como se genera el fuego en la simulación, además también se activó en la parte inferior las dos casillas de Slice 2D y 3D, con un tiempo de activación de 0,25 segundos después de haber iniciado la simulación, esto con el fin de visualizar los resultados que se configuraron (Fig. 106).

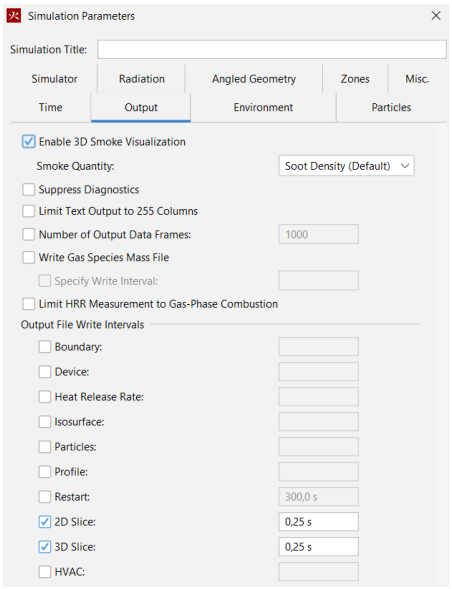


Fig. 106 Parámetros de salida

Por último, se configura los parámetros del ambiente en la sección de Environment, para esta simulación se seleccionó las 3 primeras casillas y la última, esto hace que el programa introduzca las condiciones del ambiente que se ingresó (Fig. 107).

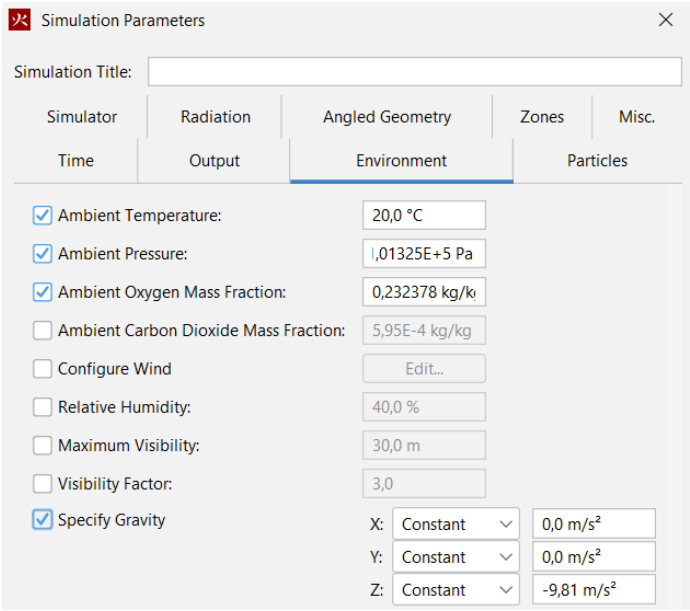


Fig. 107 Parámetros del ambiente

Con esto se finaliza la configuración de la simulación, además de los parámetros de salida que se agregó, también se selecciona otro en la sección de Output en la barra de herramientas, se despliega y se elige la opción de Boundary Quantities, se despliega una pestaña y se ubica al final de toda la lista que ofrece, se activa la casilla Wall Temperatura, esta opción permite visualizar como el fuego afecta a las paredes o superficies que estén cerca (Fig. 108).

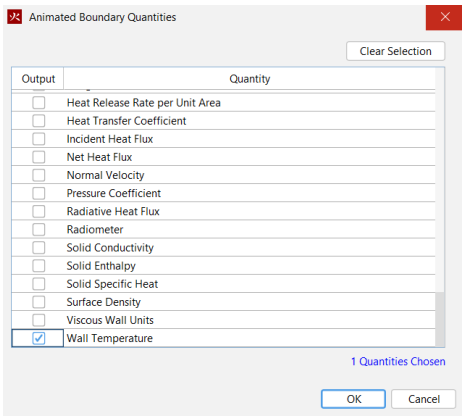


Fig. 108 Temperatura de pared como parámetro de salida

Como ejecutar la simulación

Finalizado el proceso de configuración, se ejecuta la simulación, se ubica cerca de la barra de herramientas, sobre el icono verde y se despliega, se elige la primera opción para iniciar la simulación FDS (Fig. 109).

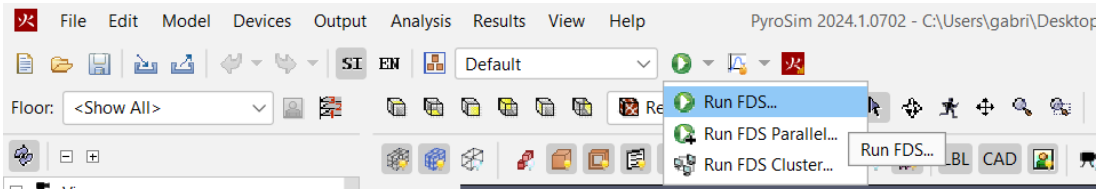


Fig. 109 Opciones para correr la simulación

Es recomendable al finalizar cada parte del proceso de configurado guardar una o dos copias del archivo, para prevenir perdidas o desconfiguraciones innecesarias de la simulación.

Iniciada la simulación se despliega una pestaña con el tiempo de duración, el tiempo aproximado de procesado y el tiempo transcurrido desde que empezó a simular (Fig. 110).

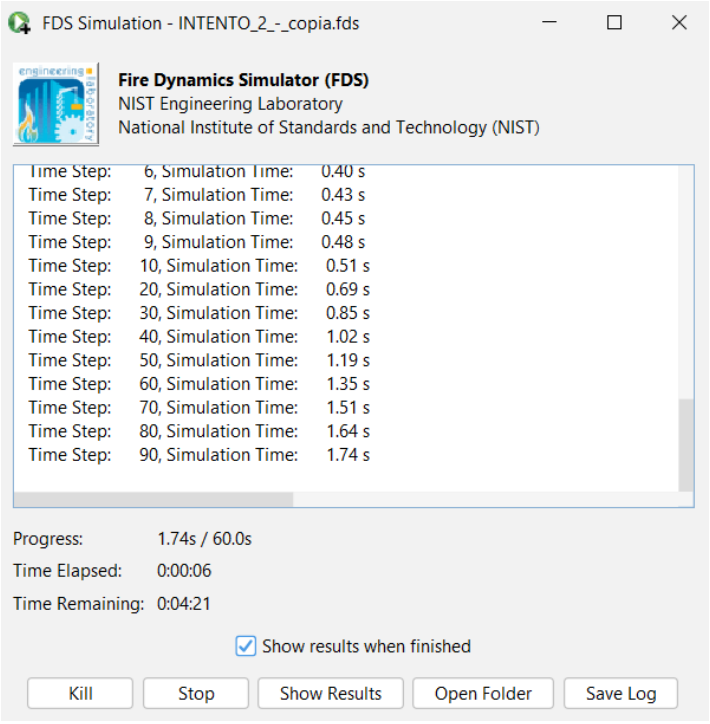


Fig. 110 Tiempo de procesado de simulación

Si se configuró correctamente los parámetros, materiales, combustible, etc., en esta pestaña no presenta ningún error, caso contrario la simulación se detendrá e indicará el error y no continuará con el procesado.

Como ejecutar la simulación en la nube.

En la barra de herramientas, al desplazar Analysis se selecciona la opción Run FDS Cloud (Fig. 111).

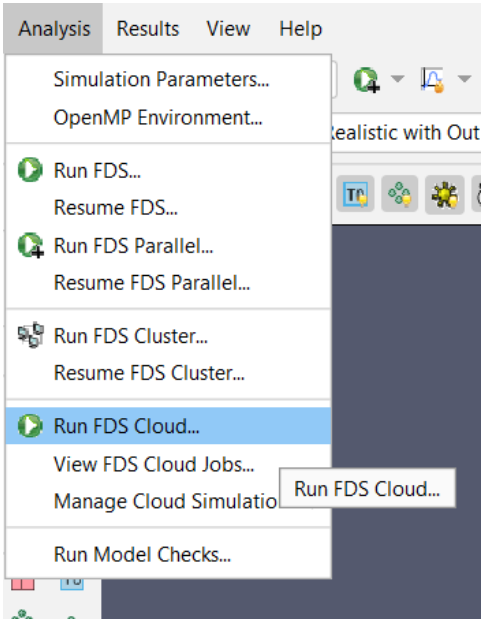


Fig. 111. Run FDS Cloud

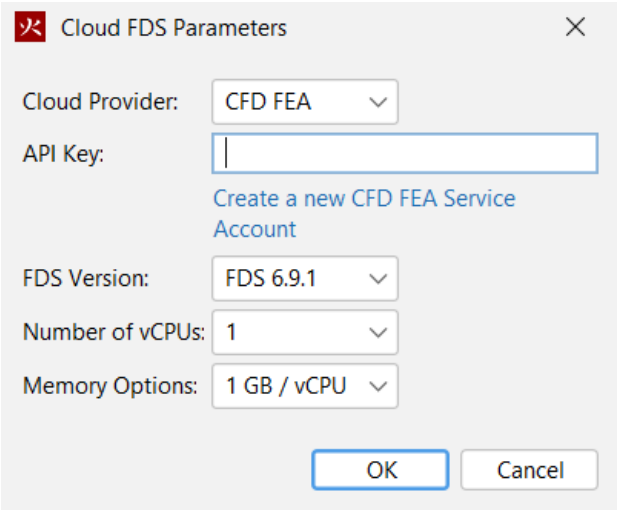


Fig. 112 Cloud FDS Parameters

Se despliega una pestaña en la cual solicita ingresar una clave, pero primero clic en Create a new CFD FEA Service Account (Fig. 112), lo cual abrirá una ventana en el navegador (Fig. 113).

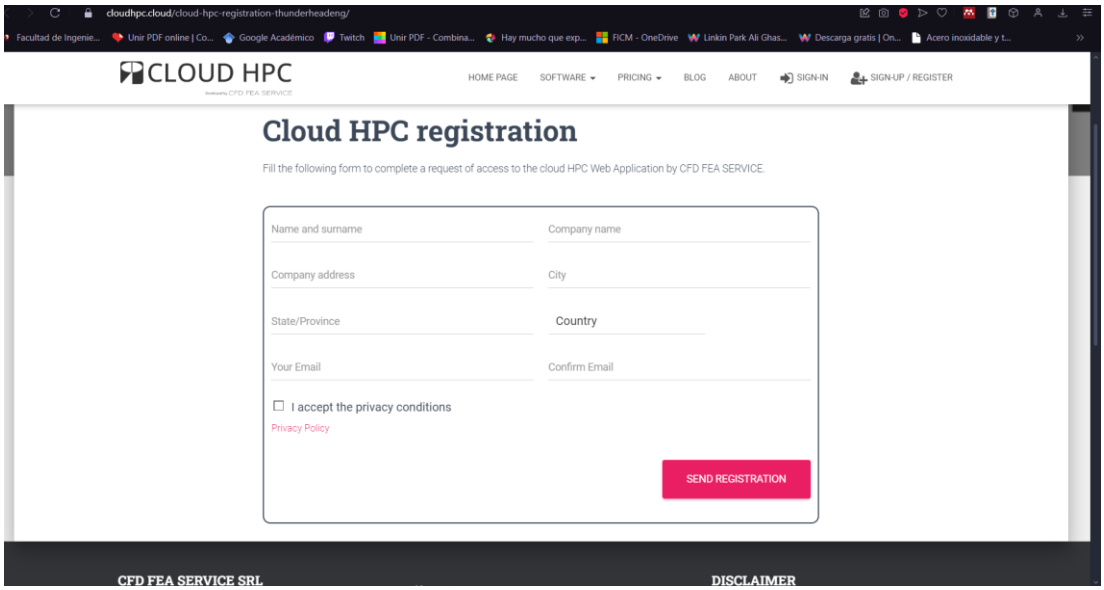


Fig. 113. Página de registro de Cloud HPC

Se llena las casilla, pasado un tiempo se recibe un mensaje al correo electrónico en el cual proporciona un nombre de usuario y una clave, la cuenta que creada tendrá 300 horas de procesado gratuitas, de las cuales se hace uso.

Para ejecutar simulaciones en la nube, se requiere de una API KEY, la cual se ingresa en la pestaña de Cloud CFD Parameters (Fig. 112). Al ingresar a la cuenta de Cloud HPC, en la parte derecha, se despliega el Account y se selecciona profile (Fig. 114).

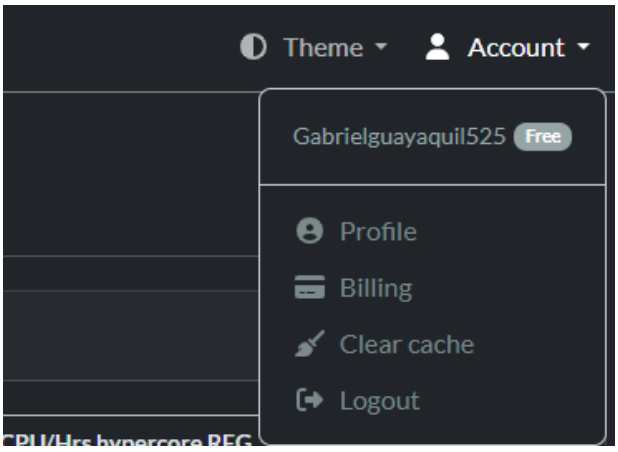


Fig. 114 Account – Profile

Se ingresa al perfil, se despliega la pestaña hasta la parte inferior donde se encuentra el API KEY, se copia y pega en Cloud CFD Parameters (Fig. 112). No se edita ningún parámetro, ya que, al tener una cuenta gratuita, solo se puede hacer uso de los parámetros que están configurados por defecto.

Al ejecutar la simulación mediante Cloud CFD Parameters, se despliega una pestaña similar a la de una simulación normal, con la diferencia que entrega un link el cual dirige al navegador, en el cual se empezara a ejecutar la simulación en la cuenta de Cloud HPC (Fig. 115).

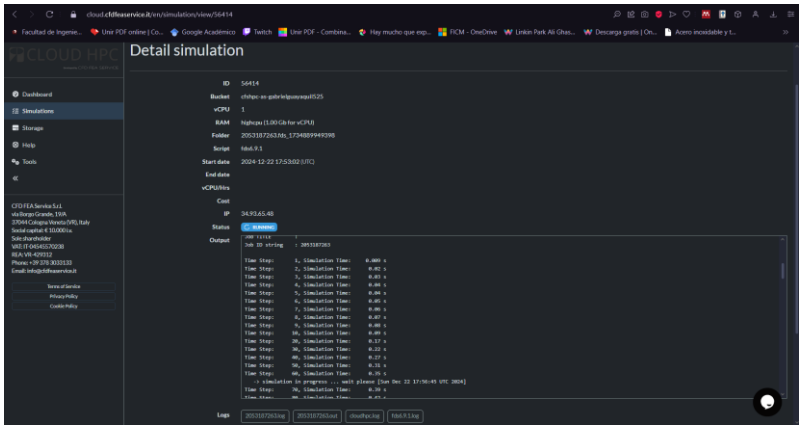


Fig. 115 Simulación ejecutada en Cloud HPC

La simulación empezara a ejecutarse, al finalizar se recibe un mensaje en el correo electrónico, donde indica que la simulación a finalizado (Fig. 116).

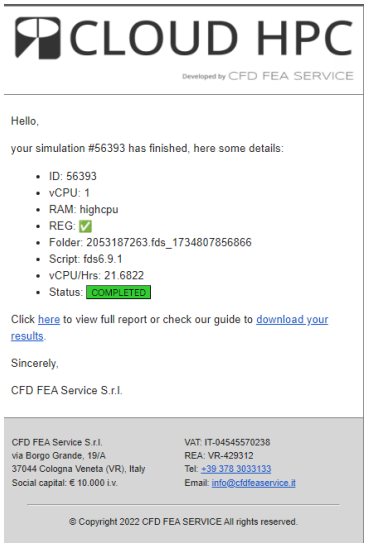


Fig. 116 Mensaje de simulación finalizada

Clic en here, o en download Your Results, esto despliega una pestaña con las instrucciones para descargar los resultados. En la cuenta, en la parte izquierda, se selecciona la opción Storage, aquí se almacenan las simulaciones que se hayan ejecutado y completado (Fig. 117).

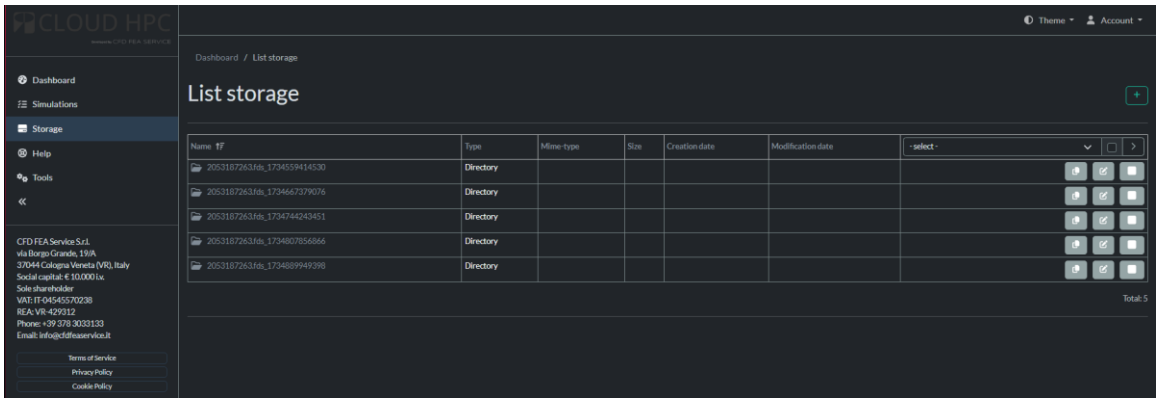


Fig. 117 List Storage de nuestra cuenta de Cloud HPC

Al seleccionar cualquier carpeta se ingresa a su contenido, aquí se selecciona el archivo tipo FDS.tar.gz, y seguido se descarga con la opción download (Fig. 118).

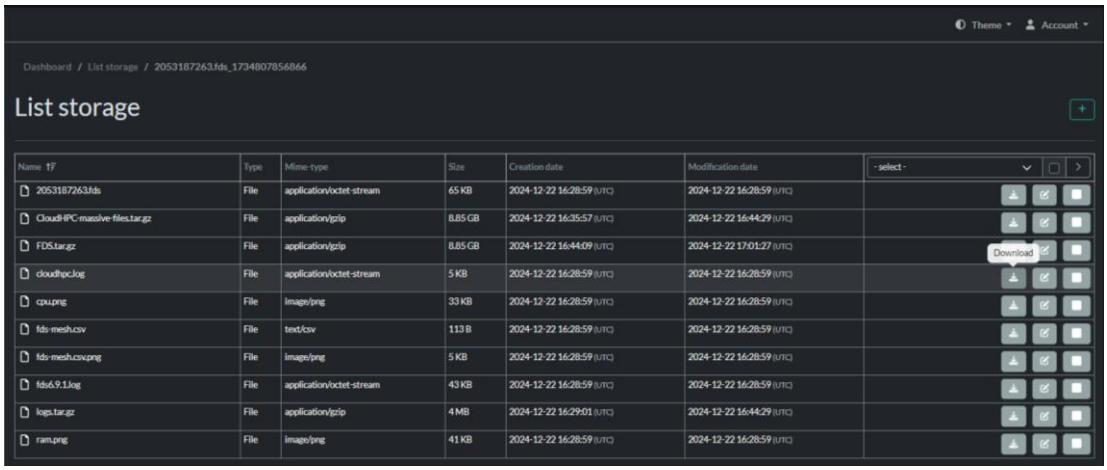


Fig. 118 Archivos generados en Cloud HPC

Un archivo RAR se comenzará a descargar, dependiendo el tamaño del archivo tomará un tiempo hasta completar la descarga, se descomprime el archivo y se ingresa a la carpeta, se selecciona el archivo con formato .smv, y se abre (Fig. 119).

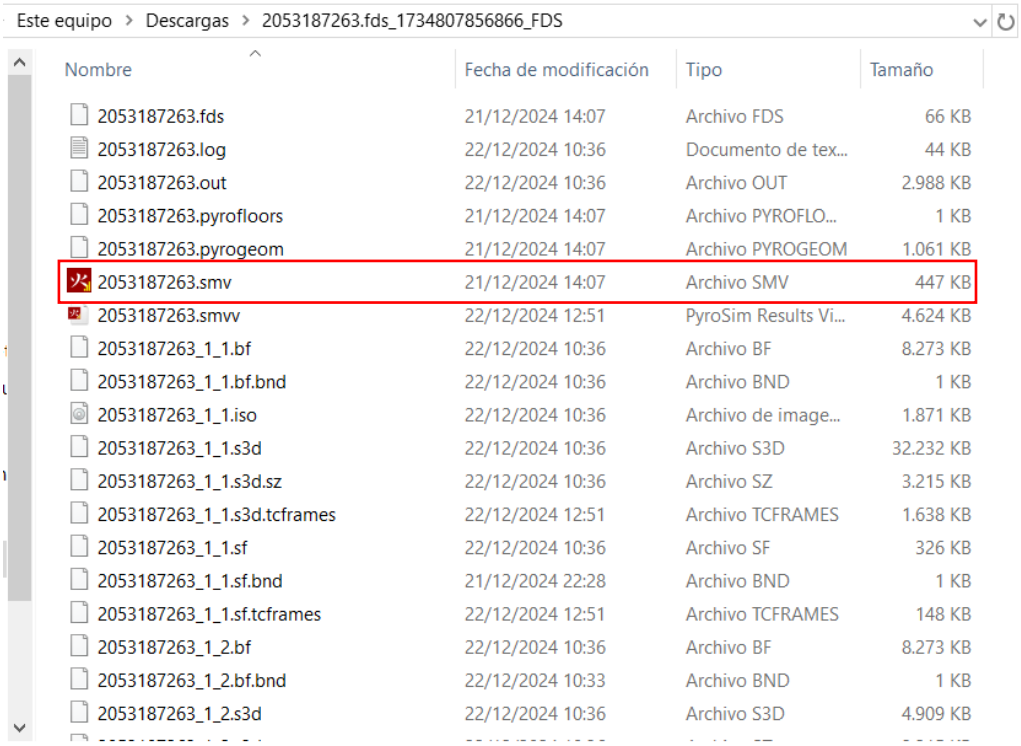


Fig. 119 Archivos dentro de carpeta descomprimida

Este archivo es el mismo archivo que se genera cuando una simulación se completa, se entra a la misma ventana de visualización, donde se puede visualizar los resultados normalmente (Fig. 120).

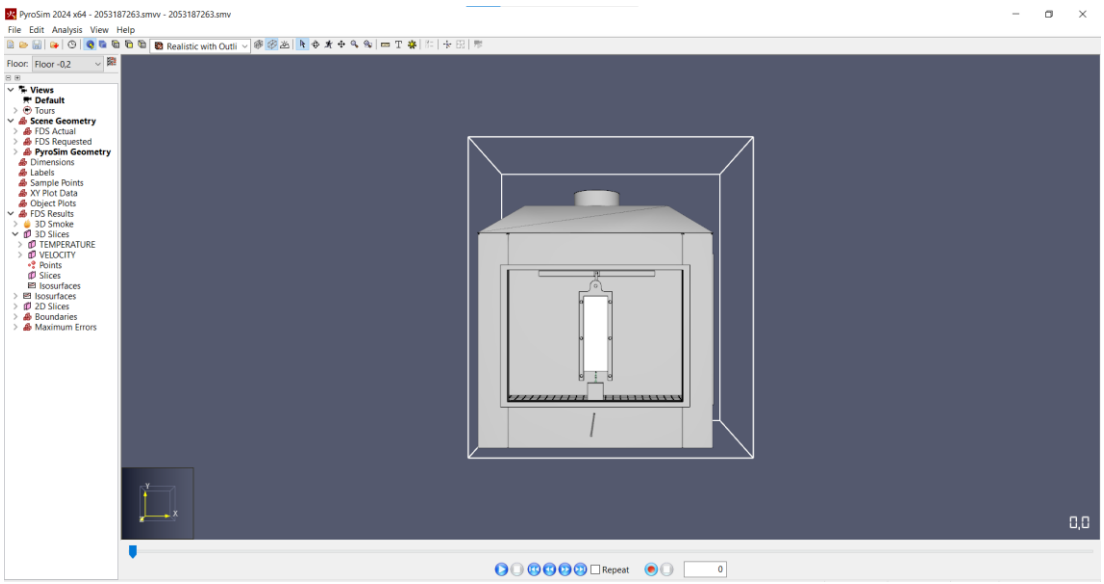


Fig. 120 Ventana de visualización de simulación generada en la nube

Ejecutar la simulación en la nube representa una gran ventaja, ya que, no consume recurso computacional del PC o portátil, no requiere que el equipo este encendido todo

el tiempo de procesado, la simulación continuara ejecutándose hasta finalizar y se recibe una notificación que indicara que la simulación finalizo. Al tener una cuenta gratuita se tiene acceso a 300 horas de procesado gratis, ya que, al finalizar cada simulación, se muestra el monto a pagar según el tiempo, número de núcleos y GB en función de núcleos utilizados.

Ventana de visualización de resultados

Una vez completo el tiempo, se mostró los resultados en una ventana alterna al programa o se muestra los resultados al dar clic en Show Results (Fig. 110). En esta pestaña se analizan los resultados obtenidos tras el procesado de la simulación (Fig. 121).

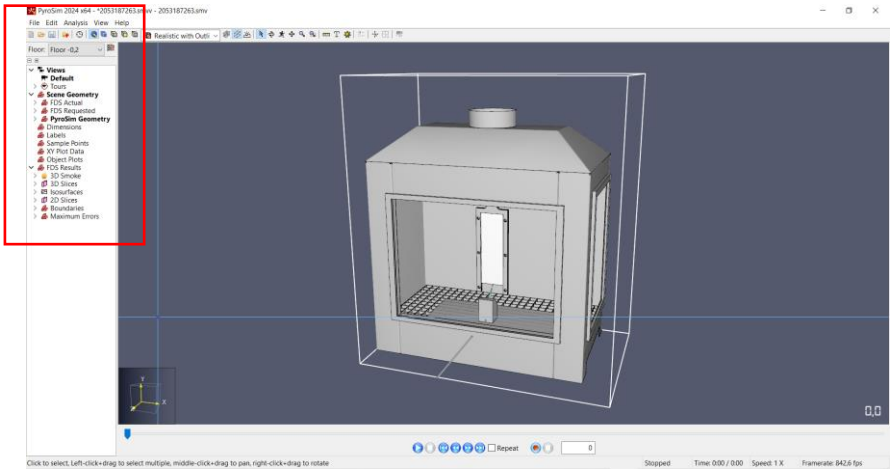


Fig. 121 Pestaña de View Results

Al igual que en la pestaña de modelado, al lado izquierdo se presenta un árbol de operaciones, donde se encuentran el Modelo completo y los resultados que se configuró de salida (Fig. 122).

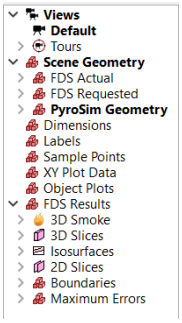


Fig. 122 Árbol de operaciones de la pestaña View Results

Para la visualización del fuego como primer resultado e indicativo que la simulación se realizó con éxito, se ubica en el árbol de operación y se selecciona 3D Smoke, clic derecho, Show, seguido de esta acción se presiona el botón Play para visualizar el fuego en la simulación (Fig. 123).

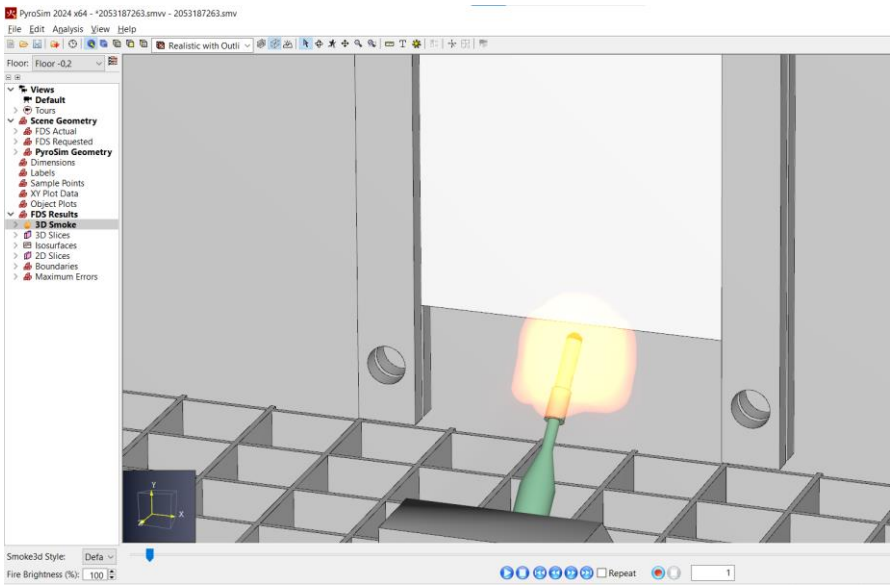


Fig. 123 Fuego modelado

Para visualizar los Slices creados o la opción Wall Temperatura (Fig. 83, Fig. 87 y Fig. 108), se repite el mismo proceso que en 3D Smoke, aquí se puede elegir que resultado visualizar, es posible visualizar todos los Slices o uno en particular (Fig. 124).

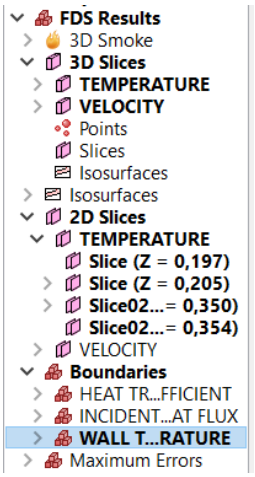


Fig. 124 Resultados FDS obtenidos

Para configurar la paleta de colores, o el tipo de visualización de resultados, al visualizar cualquier resultado de salida, aparece en la interfaz al lado derecho, una paleta de colores la cual indica la temperatura en ese resultado de salida (Fig. 125).

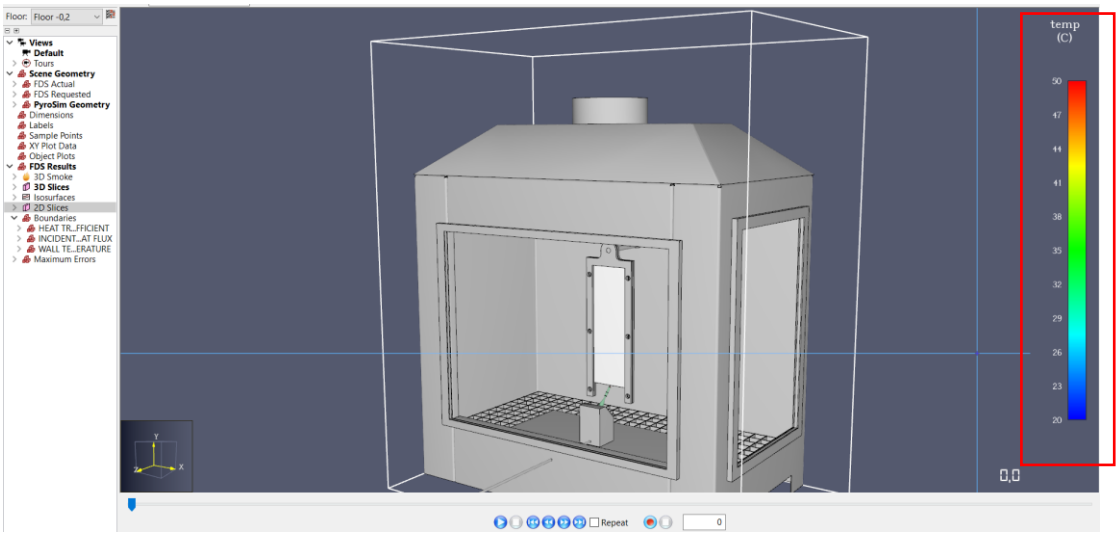


Fig. 125 Paleta de colores

Doble clic derecho encima de la paleta de colores hará que una nueva pestaña aparezca, aquí se configuran todas las preferencias que el programa ofrece, por ejemplo, el rango de temperaturas, el tipo de color, el porcentaje de visualización de colores, el número de colores en la paleta, etc. (Fig. 126).

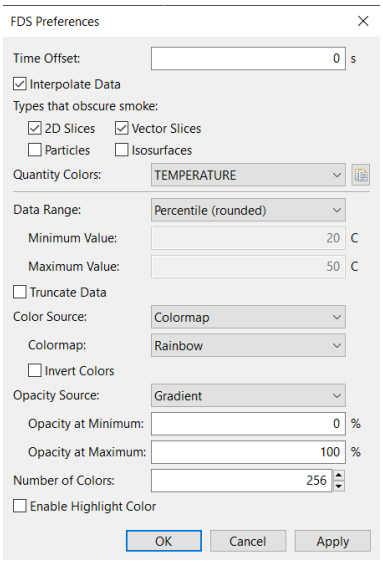


Fig. 126 FDS Preferences

Una vez configurado cualquier parámetro de salida que sea requerido, el documento se guarda como un archivo aparte en formato .smw, este archivo va ligado a su documento de origen, esto facilita visualizar de nuevo los resultados sin necesidad de simular de nuevo, sin embargo, si se realiza cualquier cambio en el documento original de simulación, este documento de resultados también se verá afectado, resaltando que, si el archivo de visualización se guarda con otro nombre, de igual forma se verá afectado por los cambios que se realicen en el documento original de simulación (Fig. 127).

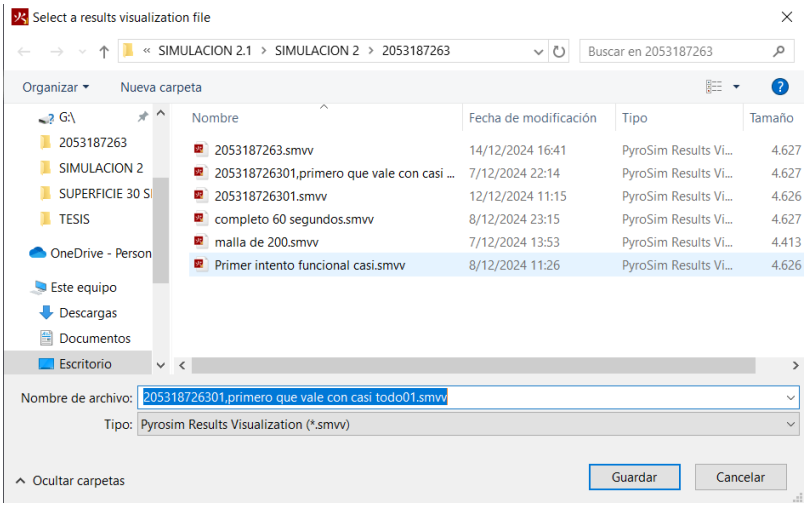
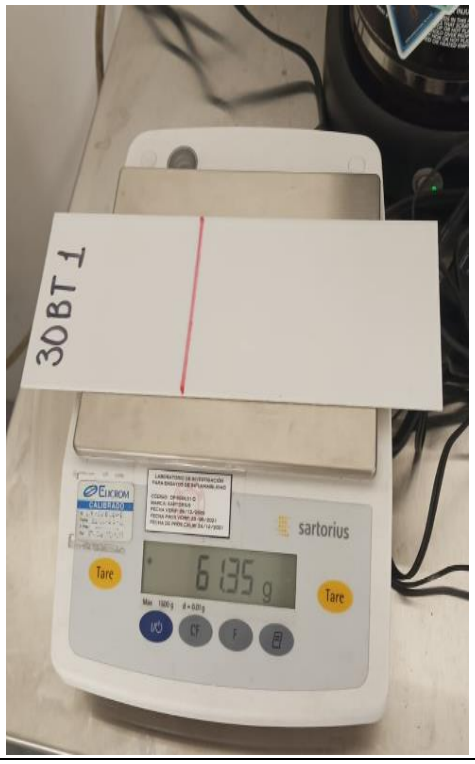


Fig. 127 Archivos de visualización

El archivo de visualización se puede reproducir las veces que sean necesarias mientras los parámetros de simulación no sean alterados, con estas instrucciones se llevó a cabo la simulación de ensayos de flamabilidad de manera exitosa.

ANEXOS

Anexo 1. Fotografías

Fotografía 1	Fotografía 2
	
Fotografía 3	**Fotografía 4**
	

Fotografía 5	Fotografía 6
	
Fotografía 7	Fotografía 8
	

Anexo 2. Norma NTE INEN - ISO 11925 - 2.

Quito – Ecuador

NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA

NTE INEN-ISO 11925-2

Primera edición
2014-01

ENSAYOS DE REACCIÓN AL FUEGO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. INFLAMABILIDAD DE LOS PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN CUANDO SE SOMETEN A LA ACCIÓN DIRECTA DE LA LLAMA. PARTE 2: ENSAYO CON UNA FUENTE DE LLAMA ÚNICA. (ISO 11925-2:2010, IDT)

REACTION TO FIRE TESTS. IGNITABILITY OF PRODUCTS SUBJECTED TO DIRECT IMPINGEMENT OF FLAME. PART 2: SINGLE-FLAME SOURCE TEST. (ISO 11925-2:2010, IDT)

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 11925-2:2010.

DESCRIPTORES: Ensayos, reacción, fuego, construcción, inflamabilidad, fuente, llama única.
ICS: 13.220.50

31 Páginas

CON LICENCIA DE USO PARA GONZALO EFRAIN NARANJO ALTAMIRANO - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO,
NÚMERO DE ORDEN: 001-005-000158032/ DESCARGADO: 2021-04-20
AUTORIZACIÓN A USUARIO ÚNICO, PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN

© ISO 2010 – Todos los derechos reservados
© INEN 2014

Prólogo nacional

Esta Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 11925-2 es una traducción idéntica de la Norma Internacional ISO 11925-2:2010, *"Reaction to fire tests. Ignitability of products subjected to direct impingement of flame. Part 2: Single-flame source test."*, la fuente de la traducción es la norma adoptada por AENOR. El comité nacional responsable de esta Norma Técnica Ecuatoriana y de su adopción es el Comité Interno del INEN.

CON LICENCIA DE USO PARA GONZALO EFRAIN NARANJO ALTAMIRANO - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO,
NÚMERO DE ORDEN: 001-005-000158032/ DESCARGADO: 2021-04-20
AUTORIZACIÓN A USUARIO ÚNICO, PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN

© ISO 2010 – Todos los derechos reservados
© INEN 2014

PRÓLOGO

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

Las normas internacionales se redactan de acuerdo con las reglas establecidas en la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC.

La tarea principal de los comités técnicos es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos miembros para votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros que emiten voto.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de cualquiera o todos los derechos de patente.

La Norma ISO 11925-2 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 92 *Seguridad contra incendios,* Subcomité SC 1, *Inicio de incendios y propagación.*

Esta tercera edición anula y sustituye a la segunda edición (ISO 11925-2:2002) que ha sido revisada técnicamente.

La Norma ISO 11925 consiste en las siguientes partes, bajo el título general *Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama:*

– Parte 1: *Directrices sobre inflamabilidad.* [Informe Técnico][1)]

– Parte 2: *Ensayo con una fuente de llama única.*

– Parte 3: *Ensayo multi-fuente.*[1)]

CON LICENCIA DE USO PARA GONZALO EFRAIN NARANJO ALTAMIRANO - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, - NÚMERO DE ORDEN: 001-005-000158032/ DESCARGADO: 2021-04-20 - AUTORIZACIÓN A USUARIO ÚNICO. PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN

1) El título principal de la serie de Normas ISO 11925 ha variado desde que se publica por primera vez, haciendo referencia inicialmente sólo a la inflamabilidad de productos de edificación. Se espera que estas partes adopten el nuevo título en su próxima revisión.

INTRODUCCIÓN

Este método de ensayo de reacción al fuego ha sido desarrollado para definir el comportamiento de reacción al fuego de los productos. El método especifica un ensayo para determinar la inflamabilidad de los productos sometidos a una pequeña llama directa con radiación nula, usando muestras de ensayo orientadas verticalmente.

Aunque el método está concebido para evaluar la inflamabilidad, esto se realiza midiendo la propagación de una pequeña llama en la superficie de una muestra vertical siguiendo la aplicación de una pequeña (tamaño cerilla) llama sobre la superficie o el borde de una muestra durante 15 s o 30 s. La determinación de producción de gotas en llamas depende de si el filtro de papel colocado debajo de la muestra se incendia o no.

ADVERTENCIA – Se alerta a todo el personal relacionado con la gestión y realización de estos ensayos sobre la peligrosidad que revisten los ensayos de fuego, debido a la presencia de humos o gases potencialmente tóxicos. También pueden surgir riesgos operativos durante el ensayo de las muestras y la eliminación de los residuos del ensayo.

Se debería realizar una evaluación de todos los riesgos y peligros potenciales para la salud, identificando y adoptando las medidas de protección necesarias. Se debería disponer de instrucciones de seguridad escritas. El personal pertinente debería recibir una formación adecuada. El personal del laboratorio se debería asegurar que, en todo momento, se siguen las instrucciones de seguridad escritas.

Se deberían disponer unas medidas para la extinción del fuego de la muestra adecuadas, teniendo en cuenta que algunas muestras pueden producir una llama severa durante el ensayo. Se debería contar con un spray manual de agua o un sistema de apagado de gas inerte, por ejemplo nitrógeno comprimido, el cual pueda dirigirse sobre la superficie en llamas, junto con otros medios como extintores de incendio, etc.

En algunos casos, el material ardiendo puede presentar dificultades para su completa extinción y puede ser necesario sumergirlo en agua.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la serie de Normas ISO 11925 especifica un método de ensayo para determinar la inflamabilidad de productos por impacto directo de una llama pequeña bajo impacto radiante cero usando muestras de ensayo orientadas verticalmente.

La información sobre la precisión del método se establece en el anexo A.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Los documentos de referencia siguientes son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Para las referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia (incluyendo sus modificaciones).

EN 13238 – *Ensayos de reacción al fuego para productos de construcción. Procedimiento de acondicionamiento y reglas generales para la selección de sustratos.*

ISO 13943 – *Seguridad contra incendio. Vocabulario.*

ISO 14697 – *Ensayos de fuego. Guía sobre la elección de substratos para productos de construcción.*

CON LICENCIA DE USO PARA GONZALO EFRAIN NARANJO ALTAMIRANO - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO,
NÚMERO DE ORDEN: 001-005-000158032/ DESCARGADO: 2021-04-20
AUTORIZACIÓN A USUARIO ÚNICO, PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN

Anexo 3. Informes de flamabilidad LIM - UTA.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE FLAMABILIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

INFORME DEL ENSAYO DE FLAMABILIDAD SEGÚN NTE INEN-ISO 11925-2

POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE	
Fecha de recepción	2/12/2024
Número de probetas	6
Dimensiones	250mm x 90mm
Color adverso	Blanco
Color reverso	Blanco
Superficie adversa	Lisa
Superficie reversa	Lisa

CÓDIGO: LIM-UTA-2024-11925-2-INT- 0024
9 de diciembre de 2024
AMBATO – ECUADOR

1. ANTECEDENTES:

Con fecha 2 de diciembre de 2024, el Sr. Alexis Gabriel Guayaquil Peralta, en calidad de ESTUDIANTE de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, domiciliado en COTOPAXI / SALCEDO / 24 DE MAYO Y GUAYAQUIL y con número de ruc/cédula: 0550558068, solicita al Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, con datos claramente identificados, realizar la prueba de inflamabilidad según la norma NTE INEN-11925-2, de la muestra de **POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE,** el cual es utilizado en construcción de obras civiles.

2. PROCESO GENERAL

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo con el proceso de acondicionamiento detallado en la Norma NTE INEN-ISO 11925-2.

Las pruebas se efectuaron dentro de la cámara de inflamabilidad, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera vertical en su respectivo soporte dentro de la cámara de combustión. Además, para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas propano al 95% de pureza suministrado a 20kPa de presión. Por último, se efectuaron los ensayos con las muestras solicitadas y los resultados que se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo fueron registrados y tabulados.

3. DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

3.1. DATOS PRELIMINARES	
Nombre del material:	**POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE**
Muestreo:	Materiales seleccionados y remitidos por el solicitante
Tipo de material:	Simple
Origen del material:	Elaborado internacionalmente
Uso del material:	Interiores
Dimensiones de la muestra:	250 mm X 90 mm
Responsable del corte de las muestras:	Solicitante
Tipo de entrega de las muestras:	6 muestras

Fotografía:	

4. PARÁMETROS DEL ENSAYO Y RESULTADOS

Códigos:	30BL1, 30BL 2, 30BL3, 30BT1, 30BT2, 30BT3	Fecha de Recepción:	02/12/2024

4.1. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE	
Nombre / razón social:	ALEXIS GABRIEL GUAYAQUIL PERALTA
CI / RUC:	0550558068
Dirección	COTOPAXI / SALCEDO / 24 DE MAYO Y GUAYAQUIL
Teléfono:	0969034467
Correo electrónico:	aguayaquil8068@uta.edu.ec

4.2. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO				
Productos (Marque con una X)				
Tipo de superficie del material:	Plano	**X**	No plano	
Espesor del material:	**1,5 mm**			
Características del material:	Simple	**X**	Compuesto	
Identificación del producto:	POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE			
Preparación de la muestra:	Corte con sierra circular a las dimensiones según lo especificado en ISO 11925-2:2010			
N° de muestras:	(3 en sentido longitudinal a borde y 3 en sentido transversal a borde) un grupo para cada caso, según la característica del material			
Dimensiones:	250 x 90 mm			
Color en el anverso:	BLANCO	**Color en el reverso:**	BLANCO	
Material en el anverso:	POLICLORURO DE VINILO (PVC)	**Material en el reverso:**	POLICLORURO DE VINILO (PVC)	
Nombre del fabricante:	TOPLINE			
Dirección del fabricante:	MÉXICO			

Fotografías de los ítems de ensayo:	

4.3. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

Código del ítem:	Peso inicial (g):	Peso ac. 72h (g):	Peso ac. 96h (g):	Dif. 0,1g	Cumple acondicionamiento	Fecha de ingreso:	Fecha de salida:
30BL1	59,29	59,29	59,29	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30BL2	61,54	61,51	61,51	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30BL3	59,81	59,79	59,79	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30BT1	61,37	61,35	61,35	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30BT2	58,94	58,91	58,91	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30BT3	61,50	61,48	61,48	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
Humedad relativa:		**51.60 %**					
Temperatura:		**23.5 °C**					
Tiempo de acondicionamiento:		**48 Horas**					

4.4. CONDICIONES DEL ENSAYO

Fecha del ensayo:	04/12/2024		**Método de fijación:**	Porta probetas para materiales planos	
Cámara de inflamabilidad:	ISO 11925-2: 2010				
Tiempo de aplicación de la llama:	**30 SEGUNDOS**				
Velocidad de aire en lacampana extractora:	0,154 m/s				
Humedad relativa:	51,60%		**Temperatura:**	23,5 °C	
Tiempo total del ensayo:	60 segundos				
Punto de aplicación para la ignición:	**Superficie**		**Borde inferior**	**X**	

4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO

POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELECTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE											
Nº Probeta	Tiempo de exposición de la llama (seg)	Ignición	Tiempo que tardo en ocurrir la ignición (seg)	La punta de la llama alcanza los 150 mm	Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (seg)	Presencia de gotas / Partículas inflamadas	Ignición del papel filtro	Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)	Longitud Calcinada (mm)	Velocidad de combustión en los 150 mm (mm/seg)	Velocidad de combustión en la longitud calcinada (mm/seg)
30BL1	30	Si	4	No	-	No	No	2	36	-	1,20
30BL2	30	Si	3	No	-	No	No	0	35	-	1,17
30BL3	30	Si	4	No	-	No	No	5	33	-	1,10
30BT1	30	Si	4	No	-	No	No	0	32	-	1,07
30BT2	30	Si	4	No	-	No	No	0	34	-	1,13
30BT3	30	Si	3	No	-	No	No	0	40	-	1,33



Fotografía de los ítems ensayados


Items de Interés:
✓ Durante el ensayo se pudo observar que el material ensayado es incombustible. ✓ La propagación de la llama no sobrepaso los 150 mm desde el punto de aplicación de la fuente de ignición para las muestras ensayadas.

Declaración:

"Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio"

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el material ensayado: **POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE** el parámetro de propagación vertical de la llama (Fs) aplicada en la superficie expuesta de las probetas, según la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1 es:

Número de Muestra	Parámetro de propagación vertical Fs (Distancia en mm)
Probeta 1 – 30BL1	36
Probeta 2 – 30BL2	35
Probeta 3 – 30BL3	33
Probeta 4 – 30BT1	32
Probeta 5 – 30BT2	34
Probeta 6 – 30BT3	40



Ing. Mec. Gonzalo Naranjo
Técnico - LIM



Ing. Mec. Víctor Espín, Mg.
Coordinador - LIM



Ing. Mec. Christian Castro, Mg.
Director - LIM

6. CONSIDERACIONES FINALES

- El LIM no se responsabiliza de los datos erróneos ingresados o proporcionados por la empresa y/o solicitantes utilizados en la elaboración del presente informe.
- Toda la información presentada en el informe es responsabilidad del LIM, excepto cuando la información suministrada por la empresa y/o solicitante tiene incidencia directa con los resultados.
- El informe debe ser usado dentro de las instalaciones de la empresa solicitante y sin una previa autorización por parte del Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato no puede ser reproducido.
- Los resultados obtenidos en el informe corresponden a los materiales seleccionados y remitidos por el solicitante, por lo tanto, la utilización y manejo de los materiales es exclusiva del solicitante.
- El presente informe es válido única y exclusivamente para los materiales ensayados y la aplicación declarada por el solicitante. Los resultados no puedes ser trasladados a lotes o a una serie de productos.
- El solicitante es responsable del uso indebido que pueda darse del presente documento y está sujeta a sanciones civiles y penales que se pudieran presentar.
- Se consideró la aplicación de los factores de corrección de los certificados de calibración en las mediciones de los diferentes equipos utilizados por el laboratorio.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE FLAMABILIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

INFORME DEL ENSAYO DE FLAMABILIDAD SEGÚN NTE INEN-ISO 11925-2

POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE	
Fecha de recepción	2/12/2024
Número de probetas	6
Dimensiones	250mm x 90mm
Color adverso	Blanco
Color reverso	Blanco
Superficie adversa	Lisa
Superficie reversa	Lisa

CÓDIGO: LIM-UTA-2024-11925-2-INT- 0025
9 de diciembre de 2024
AMBATO – ECUADOR

1. ANTECEDENTES:

Con fecha 2 de diciembre de 2024, el Sr. Alexis Gabriel Guayaquil Peralta, en calidad de ESTUDIANTE de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, domiciliado en COTOPAXI / SALCEDO / 24 DE MAYO Y GUAYAQUIL y con número de ruc/cédula: 0550558068, solicita al Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, con datos claramente identificados, realizar la prueba de inflamabilidad según la norma NTE INEN-11925-2, de la muestra de **POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE,** el cual es utilizado en construcción de obras civiles.

2. PROCESO GENERAL

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo con el proceso de acondicionamiento detallado en la Norma NTE INEN-ISO 11925-2.

Las pruebas se efectuaron dentro de la cámara de inflamabilidad, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera vertical en su respectivo soporte dentro de la cámara de combustión. Además, para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas propano al 95% de pureza suministrado a 20kPa de presión. Por último, se efectuaron los ensayos con las muestras solicitadas y los resultados que se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo fueron registrados y tabulados.

3. DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

3.1. DATOS PRELIMINARES	
Nombre del material:	**POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE**
Muestreo:	Materiales seleccionados y remitidos por el solicitante
Tipo de material:	Simple
Origen del material:	Elaborado internacionalmente
Uso del material:	Interiores
Dimensiones de la muestra:	250 mm X 90 mm
Responsable del corte de las muestras:	Solicitante
Tipo de entrega de las muestras:	6 muestras

Fotografía:	

4. PARÁMETROS DEL ENSAYO Y RESULTADOS

Códigos:	30SL1, 30SL2, 30SL3, 30ST1, 30ST2, 30ST3	Fecha de Recepción:	02/12/2024

4.1. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE	
Nombre / razón social:	ALEXIS GABRIEL GUAYAQUIL PERALTA
CI / RUC:	0550558068
Dirección	COTOPAXI / SALCEDO / 24 DE MAYO Y GUAYAQUIL
Teléfono:	0969034467
Correo electrónico:	aguayaquil8068@uta.edu.ec

4.2. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO						
Productos (Marque con una X)						
Tipo de superficie del material:	Plano	**X**	No plano			
Espesor del material:	**1,5 mm**					
Características del material:	Simple	**X**	Compuesto			
Identificación del producto:	POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE					
Preparación de la muestra:	Corte con sierra circular a las dimensiones según lo especificado en ISO 11925-2:2010					
N° de muestras:	(3 en sentido longitudinal a borde y 3 en sentido transversal a borde) un grupo para cada caso, según la característica del material					
Dimensiones:	250 x 90 mm					
Color en el anverso:	BLANCO		**Color en el reverso:**		BLANCO	
Material en el anverso:	POLICLORURO DE VINILO (PVC)		**Material en el reverso:**		POLICLORURO DE VINILO (PVC)	
Nombre del fabricante:	TOPLINE					
Dirección del fabricante:	MÉXICO					

Fotografías de los ítems de ensayo:	

4.3. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

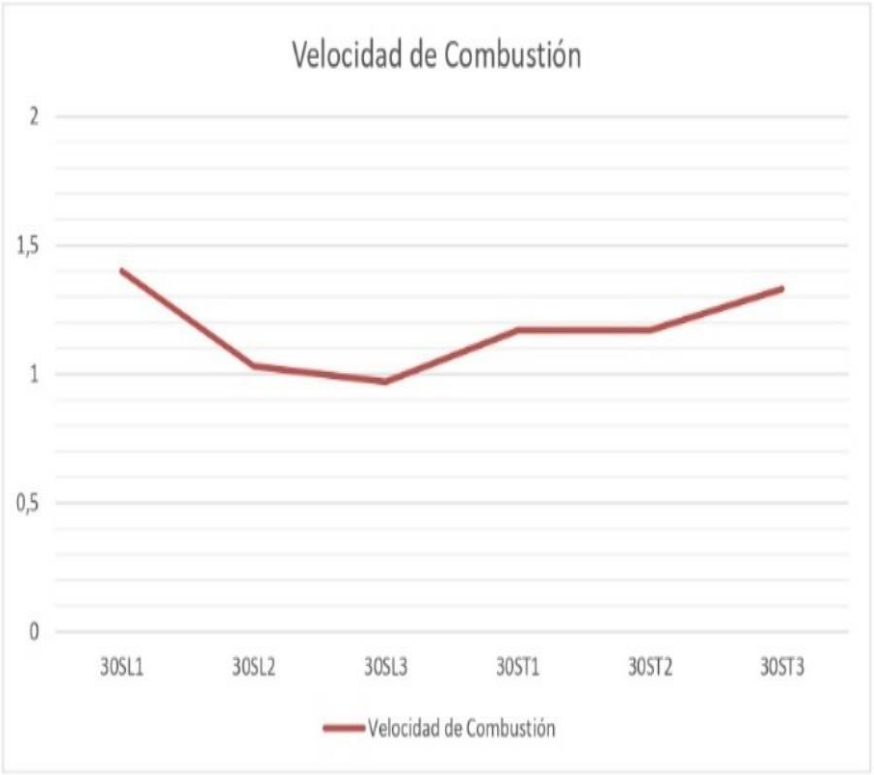
Código del ítem:	Peso inicial (g):	Peso ac. 72h (g):	Peso ac. 96h (g):	Dif. 0,1g	Cumple acondicionamiento	Fecha de ingreso:	Fecha de salida:
30SL1	59,53	59,51	59,51	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30SL2	61,61	61,59	61,59	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30SL3	61,01	61,00	61,00	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30ST1	58,74	58,72	58,72	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30ST2	58,85	58,83	58,83	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
30ST3	60,11	60,10	60,10	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
Humedad relativa:		**51.60 %**					
Temperatura:		**23.5 °C**					
Tiempo de acondicionamiento:		**48 Horas**					

4.4. CONDICIONES DEL ENSAYO

Fecha del ensayo:	04/12/2024	**Método de fijación:**	Porta probetas para materiales planos		
Cámara de inflamabilidad:	ISO 11925-2: 2010				
Tiempo de aplicación de la llama:	**30 SEGUNDOS**				
Velocidad de aire en lacampana extractora:	0,154 m/s				
Humedad relativa:	51,60%	**Temperatura:**	23,5 °C		
Tiempo total del ensayo:	60 segundos				
Punto de aplicación para la ignición:	**Superficie**	**X**	**Borde inferior**		

4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO

POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE											
N° Probeta	Tiempo de exposición de la llama (seg)	Ignición	Tiempo que tardo en ocurrir la ignición (seg)	La punta de la llama alcanza los 150 mm	Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (seg)	Presencia de gotas / Partículas inflamadas	Ignición del papel filtro	Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)	Longitud Calcinada (mm)	Velocidad de combustión en los 150 mm (mm/seg)	Velocidad de combustión en la longitud calcinada (mm/seg)
30SL1	30	Si	18	No	-	No	No	0	42	-	1,40
30SL2	30	Si	18	No	-	No	No	0	31	-	1,03
30SL3	30	Si	20	No	-	No	No	0	29	-	0,97
30ST1	30	Si	21	No	-	No	No	0	35	-	1,17
30ST2	30	Si	20	No	-	No	No	0	35	-	1,17
30ST3	30	Si	18	No	-	No	No	0	40	-	1,33



Fotografía de los ítems ensayados


Items de Interés:
✓ Durante el ensayo se pudo observar que el material ensayado es incombustible. ✓ La propagación de la llama no sobrepaso los 150 mm desde el punto de aplicación de la fuente de ignición para las muestras ensayadas.

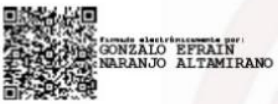
Declaración:

"Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio"

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el material ensayado: **POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE** el parámetro de propagación vertical de la llama (Fs) aplicada en la superficie expuesta de las probetas, según la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1 es:

Número de Muestra	Parámetro de propagación vertical Fs (Distancia en mm)
Probeta 1 – 30SL1	42
Probeta 2 – 30SL2	31
Probeta 3 – 30SL3	29
Probeta 4 – 30ST1	35
Probeta 5 – 30ST2	35
Probeta 6 – 30ST3	40



Ing. Mec. Gonzalo Naranjo
Técnico - LIM



Ing. Mec. Víctor Espín, Mg.
Coordinador - LIM



Ing. Mec. Christian Castro, Mg.
Director - LIM

6. CONSIDERACIONES FINALES

- El LIM no se responsabiliza de los datos erróneos ingresados o proporcionados por la empresa y/o solicitantes utilizados en la elaboración del presente informe.
- Toda la información presentada en el informe es responsabilidad del LIM, excepto cuando la información suministrada por la empresa y/o solicitante tiene incidencia directa con los resultados.
- El informe debe ser usado dentro de las instalaciones de la empresa solicitante y sin una previa autorización por parte del Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato no puede ser reproducido.
- Los resultados obtenidos en el informe corresponden a los materiales seleccionados y remitidos por el solicitante, por lo tanto, la utilización y manejo de los materiales es exclusiva del solicitante.
- El presente informe es válido única y exclusivamente para los materiales ensayados y la aplicación declarada por el solicitante. Los resultados no puedes ser trasladados a lotes o a una serie de productos.
- El solicitante es responsable del uso indebido que pueda darse del presente documento y está sujeta a sanciones civiles y penales que se pudieran presentar.
- Se consideró la aplicación de los factores de corrección de los certificados de calibración en las mediciones de los diferentes equipos utilizados por el laboratorio.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE FLAMABILIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

INFORME DEL ENSAYO DE FLAMABILIDAD SEGÚN NTE INEN-ISO 11925-2

POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE	
Fecha de recepción	2/12/2024
Número de probetas	6
Dimensiones	250mm x 90mm
Color adverso	Blanco
Color reverso	Blanco
Superficie adversa	Lisa
Superficie reversa	Lisa

CÓDIGO: LIM-UTA-2024-11925-2-INT- 0026
9 de diciembre de 2024
AMBATO – ECUADOR

1. ANTECEDENTES:

Con fecha 2 de diciembre de 2024, el Sr. Alexis Gabriel Guayaquil Peralta, en calidad de ESTUDIANTE de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, domiciliado en COTOPAXI / SALCEDO / 24 DE MAYO Y GUAYAQUIL y con número de ruc/cédula: 0550558068, solicita al Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, con datos claramente identificados, realizar la prueba de inflamabilidad según la norma NTE INEN-11925-2, de la muestra de **POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE,** el cual es utilizado en construcción de obras civiles.

2. PROCESO GENERAL

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo con el proceso de acondicionamiento detallado en la Norma NTE INEN-ISO 11925-2.

Las pruebas se efectuaron dentro de la cámara de inflamabilidad, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera vertical en su respectivo soporte dentro de la cámara de combustión. Además, para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas propano al 95% de pureza suministrado a 20kPa de presión. Por último, se efectuaron los ensayos con las muestras solicitadas y los resultados que se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo fueron registrados y tabulados.

3. DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

3.1. DATOS PRELIMINARES	
Nombre del material:	**POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE**
Muestreo:	Materiales seleccionados y remitidos por el solicitante
Tipo de material:	Simple
Origen del material:	Elaborado internacionalmente
Uso del material:	Interiores
Dimensiones de la muestra:	250 mm X 90 mm
Responsable del corte de las muestras:	Solicitante
Tipo de entrega de las muestras:	6 muestras

Fotografía:	

4. PARÁMETROS DEL ENSAYO Y RESULTADOS

Códigos:	60BL1, 60BL2, 60BL3, 60BT1, 60BT2, 60BT3	Fecha de Recepción:	02/12/2024

4.1. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE	
Nombre / razón social:	ALEXIS GABRIEL GUAYAQUIL PERALTA
CI / RUC:	0550558068
Dirección	COTOPAXI / SALCEDO / 24 DE MAYO Y GUAYAQUIL
Teléfono:	0969034467
Correo electrónico:	aguayaquil8068@uta.edu.ec

4.2. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO						
Productos (Marque con una X)						
Tipo de superficie del material:	Plano	**X**	No plano			
Espesor del material:	**1,5 mm**					
Características del material:	Simple	**X**	Compuesto			
Identificación del producto:	POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE					
Preparación de la muestra:	Corte con sierra circular a las dimensiones según lo especificado en ISO 11925-2:2010					
N° de muestras:	(3 en sentido longitudinal a borde y 3 en sentido transversal a borde) un grupo para cada caso, según la característica del material					
Dimensiones:	250 x 90 mm					
Color en el anverso:	BLANCO		**Color en el reverso:**		BLANCO	
Material en el anverso:	POLICLORURO DE VINILO (PVC)		**Material en el reverso:**		POLICLORURO DE VINILO (PVC)	
Nombre del fabricante:	TOPLINE					
Dirección del fabricante:	MÉXICO					

Fotografías de los ítems de ensayo:	

4.3. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

Código del ítem:	Peso inicial (g):	Peso ac. 72h (g):	Peso ac. 96h (g):	Dif. 0,1g	Cumple acondicionamiento	Fecha de ingreso:	Fecha de salida:
60BL1	59,03	59,01	59,01	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60BL2	60,98	60,97	60,97	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60BL3	59,24	59,22	59,22	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60BT1	59,68	59,66	59,66	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60BT2	59,09	59,07	59,07	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60BT3	58,55	58,53	58,53	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024

Humedad relativa:	**51.60 %**
Temperatura:	**23.5 °C**
Tiempo de acondicionamiento:	**48 Horas**

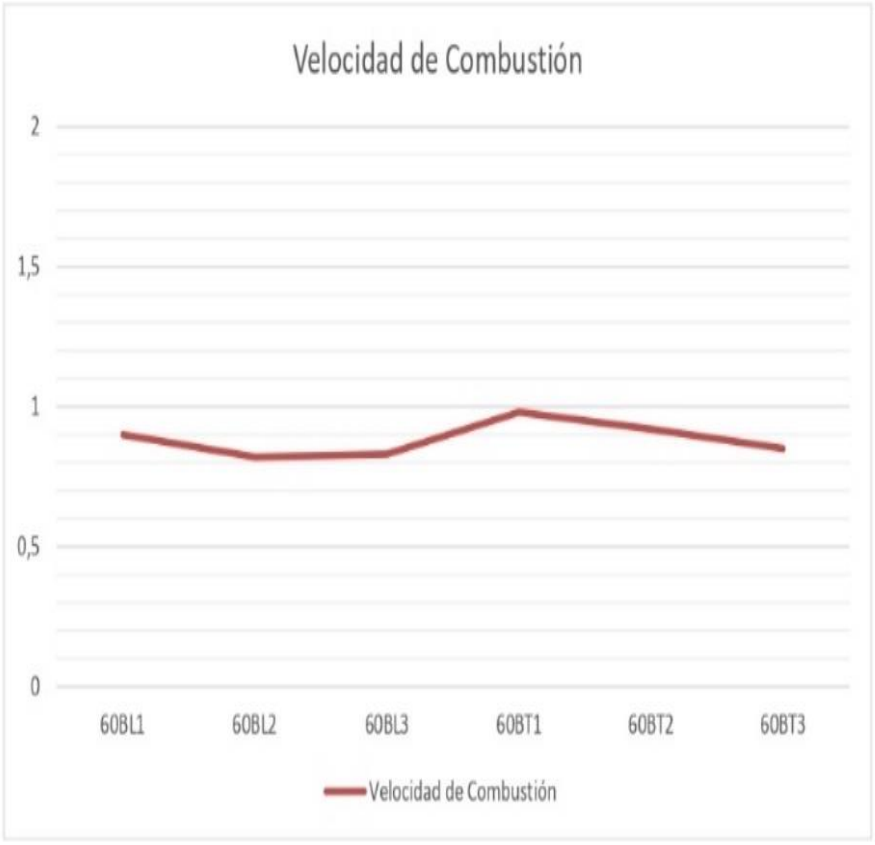
4.4. CONDICIONES DEL ENSAYO

Fecha del ensayo:	04/12/2024	**Método de fijación:**	Porta probetas para materiales planos
Cámara de inflamabilidad:	ISO 11925-2: 2010		
Tiempo de aplicación de la llama:	**60 SEGUNDOS**		
Velocidad de aire en lacampana extractora:	0,154 m/s		
Humedad relativa:	51,60%	**Temperatura:**	23,5 °C
Tiempo total del ensayo:	120 segundos		

Punto de aplicación para la ignición:	**Superficie**		**Borde inferior**	**X**	

4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO

POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE											
Nº Probeta	Tiempo de exposición de la llama (seg)	Ignición	Tiempo que tardo en ocurrir la ignición (seg)	La punta de la llama alcanza los 150 mm	Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (seg)	Presencia de gotas / Partículas inflamadas	Ignición del papel filtro	Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)	Longitud Calcinada (mm)	Velocidad de combustión en los 150 mm (mm/seg)	Velocidad de combustión en la longitud calcinada (mm/seg)
60BL1	60	Si	4	No	-	No	No	0	54	-	0,90
60BL2	60	Si	3	No	-	No	No	0	49	-	0,82
60BL3	60	Si	3	No	-	No	No	0	50	-	0,83
60BT1	60	Si	3	No	-	No	No	0	59	-	0,98
60BT2	60	Si	3	No	-	No	No	0	55	-	0,92
60BT3	60	Si	4	No	-	No	No	0	51	-	0,85



Fotografía de los ítems ensayados


Items de Interés:
✓ Durante el ensayo se pudo observar que el material ensayado es incombustible. ✓ La propagación de la llama no sobrepaso los 150 mm desde el punto de aplicación de la fuente de ignición para las muestras ensayadas.

Declaración:

"Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio"

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el material ensayado: **POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE** el parámetro de propagación vertical de la llama (Fs) aplicada en la superficie expuesta de las probetas, según la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1 es:

Número de Muestra	Parámetro de propagación vertical Fs (Distancia en mm)
Probeta 1 – 60BL1	54
Probeta 2 – 60BL2	49
Probeta 3 – 60BL3	50
Probeta 4 – 60BT1	59
Probeta 5 – 60BT2	55
Probeta 6 – 60BT3	51



Ing. Mec. Gonzalo Naranjo
Técnico - LIM



Ing. Mec. Víctor Espín, Mg.
Coordinador - LIM



Ing. Mec. Christian Castro, Mg.
Director - LIM

6. CONSIDERACIONES FINALES

- El LIM no se responsabiliza de los datos erróneos ingresados o proporcionados por la empresa y/o solicitantes utilizados en la elaboración del presente informe.
- Toda la información presentada en el informe es responsabilidad del LIM, excepto cuando la información suministrada por la empresa y/o solicitante tiene incidencia directa con los resultados.
- El informe debe ser usado dentro de las instalaciones de la empresa solicitante y sin una previa autorización por parte del Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato no puede ser reproducido.
- Los resultados obtenidos en el informe corresponden a los materiales seleccionados y remitidos por el solicitante, por lo tanto, la utilización y manejo de los materiales es exclusiva del solicitante.
- El presente informe es válido única y exclusivamente para los materiales ensayados y la aplicación declarada por el solicitante. Los resultados no puedes ser trasladados a lotes o a una serie de productos.
- El solicitante es responsable del uso indebido que pueda darse del presente documento y está sujeta a sanciones civiles y penales que se pudieran presentar.
- Se consideró la aplicación de los factores de corrección de los certificados de calibración en las mediciones de los diferentes equipos utilizados por el laboratorio.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE FLAMABILIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

INFORME DEL ENSAYO DE FLAMABILIDAD SEGÚN NTE INEN-ISO 11925-2

POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE	
Fecha de recepción	2/12/2024
Número de probetas	6
Dimensiones	250mm x 90mm
Color adverso	Blanco
Color reverso	Blanco
Superficie adversa	Lisa
Superficie reversa	Lisa

CÓDIGO: LIM-UTA-2024-11925-2-INT- 0027
9 de diciembre de 2024
AMBATO – ECUADOR

1. ANTECEDENTES:

Con fecha 2 de diciembre de 2024, el Sr. Alexis Gabriel Guayaquil Peralta, en calidad de ESTUDIANTE de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, domiciliado en COTOPAXI / SALCEDO / 24 DE MAYO Y GUAYAQUIL y con número de ruc/cédula: 0550558068, solicita al Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, con datos claramente identificados, realizar la prueba de inflamabilidad según la norma NTE INEN-11925-2, de la muestra de **POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE,** el cual es utilizado en construcción de obras civiles.

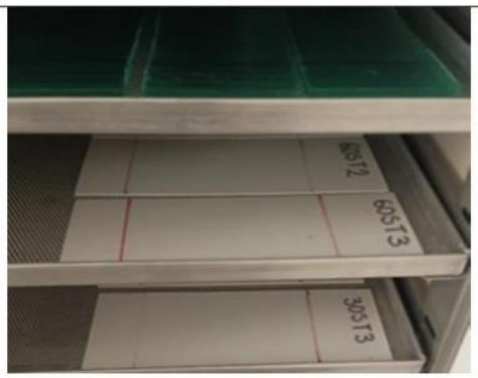
2. PROCESO GENERAL

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo con el proceso de acondicionamiento detallado en la Norma NTE INEN-ISO 11925-2.

Las pruebas se efectuaron dentro de la cámara de inflamabilidad, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera vertical en su respectivo soporte dentro de la cámara de combustión. Además, para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas propano al 95% de pureza suministrado a 20kPa de presión. Por último, se efectuaron los ensayos con las muestras solicitadas y los resultados que se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo fueron registrados y tabulados.

3. DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

3.1. DATOS PRELIMINARES	
Nombre del material:	**POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE**
Muestreo:	Materiales seleccionados y remitidos por el solicitante
Tipo de material:	Simple
Origen del material:	Elaborado internacionalmente
Uso del material:	Interiores
Dimensiones de la muestra:	250 mm X 90 mm
Responsable del corte de las muestras:	Solicitante
Tipo de entrega de las muestras:	6 muestras

Fotografía:	

4. PARÁMETROS DEL ENSAYO Y RESULTADOS

Códigos:	60SL1, 60SL2, 60SL3, 60ST1, 60ST2, 60ST3	Fecha de Recepción:	02/12/2024

4.1. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE	
Nombre / razón social:	ALEXIS GABRIEL GUAYAQUIL PERALTA
CI / RUC:	0550558068
Dirección	COTOPAXI / SALCEDO / 24 DE MAYO Y GUAYAQUIL
Teléfono:	0969034467
Correo electrónico:	aguayaquil8068@uta.edu.ec

4.2. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO						
Productos (Marque con una X)						
Tipo de superficie del material:	Plano	**X**	No plano			
Espesor del material:	**1,5 mm**					
Características del material:	Simple	**X**	Compuesto			
Identificación del producto:	POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE					
Preparación de la muestra:	Corte con sierra circular a las dimensiones según lo especificado en ISO 11925-2:2010					
N° de muestras:	(3 en sentido longitudinal a borde y 3 en sentido transversal a borde) un grupo para cada caso, según la característica del material					
Dimensiones:	250 x 90 mm					
Color en el anverso:	BLANCO		**Color en el reverso:**		BLANCO	
Material en el anverso:	POLICLORURO DE VINILO (PVC)		**Material en el reverso:**		POLICLORURO DE VINILO (PVC)	
Nombre del fabricante:	TOPLINE					
Dirección del fabricante:	MÉXICO					

Fotografías de los ítems de ensayo:	

4.3. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO

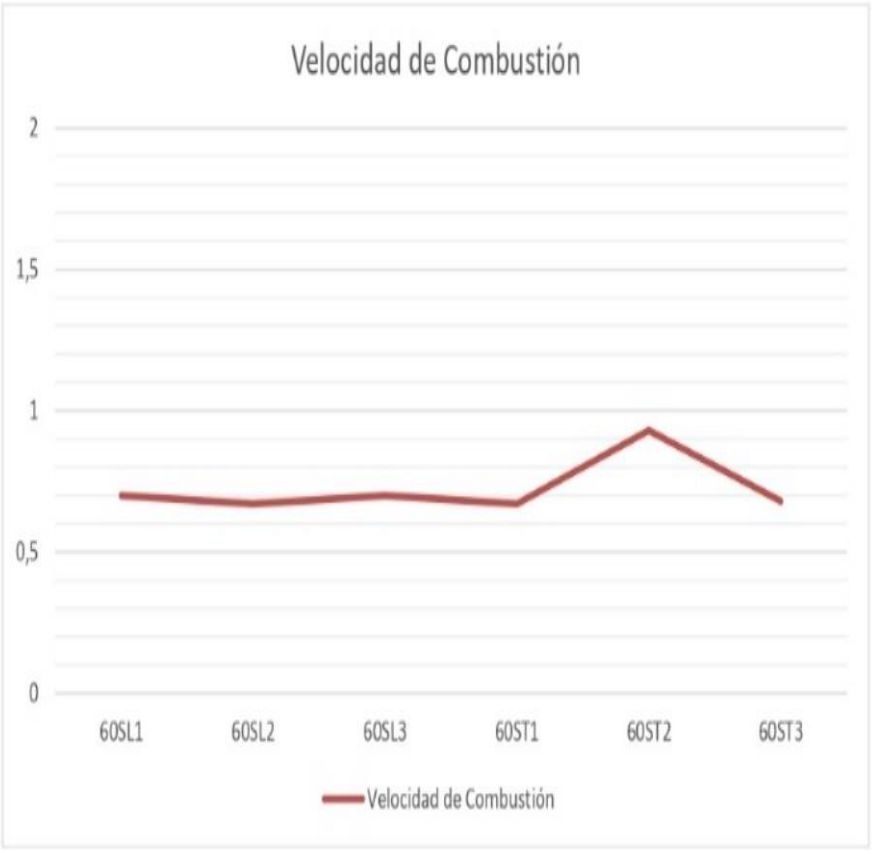
Código del ítem:	Peso inicial (g):	Peso ac. 72h (g):	Peso ac. 96h (g):	Dif. 0,1g	Cumple acondicionamiento	Fecha de ingreso:	Fecha de salida:
60SL1	60,95	60,93	60,93	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60SL2	63,31	63,29	63,29	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60SL3	60,61	60,59	60,59	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60ST1	61,33	61,30	61,30	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60ST2	60,49	60,47	60,47	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
60ST3	60,69	60,68	60,68	0,00	Si	02/12/2024	04/12/2024
Humedad relativa:		**51.60 %**					
Temperatura:		**23.5 °C**					
Tiempo de acondicionamiento:		**48 Horas**					

4.4. CONDICIONES DEL ENSAYO

Fecha del ensayo:	04/12/2024		**Método de fijación:**	Porta probetas para materiales planos	
Cámara de inflamabilidad:	ISO 11925-2: 2010				
Tiempo de aplicación de la llama:	**60 SEGUNDOS**				
Velocidad de aire en lacampana extractora:	0,154 m/s				
Humedad relativa:	51,60%		**Temperatura:**	23,5 °C	
Tiempo total del ensayo:	120 segundos				
Punto de aplicación para la ignición:	**Superficie**	**X**	**Borde inferior**		

4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO

POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE											
N° Probeta	Tiempo de exposición de la llama (seg)	Ignición	Tiempo que tardo en ocurrir la ignición (seg)	La punta de la llama alcanza los 150 mm	Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (seg)	Presencia de gotas / Partículas inflamadas	Ignición del papel filtro	Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)	Longitud Calcinada (mm)	Velocidad de combustión en los 150 mm (mm/seg)	Velocidad de combustión en la longitud calcinada (mm/seg)
60SL1	60	Si	22	No	-	No	No	0	42	-	0,70
60SL2	60	Si	19	No	-	No	No	0	40	-	0,67
60SL3	60	Si	18	No	-	No	No	0	42	-	0,70
60ST1	60	Si	21	No	-	No	No	0	40	-	0,67
60ST2	60	Si	20	No	-	No	No	0	56	-	0,93
60ST3	60	Si	19	No	-	No	No	0	41	-	0,68



Fotografía de los ítems ensayados


Items de Interés:
✓ Durante el ensayo se pudo observar que el material ensayado es incombustible. ✓ La propagación de la llama no sobrepaso los 150 mm desde el punto de aplicación de la fuente de ignición para las muestras ensayadas.

Declaración:

"Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio"

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el material ensayado: **POLICLORURO DE VINILO (PVC) USADO EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS 1,5 mm MARCA TOPLINE** el parámetro de propagación vertical de la llama (Fs) aplicada en la superficie expuesta de las probetas, según la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1 es:

Número de Muestra	Parámetro de propagación vertical Fs (Distancia en mm)
Probeta 1 – 60SL1	42
Probeta 2 – 60SL2	40
Probeta 3 – 60SL3	42
Probeta 4 – 60ST1	40
Probeta 5 – 60ST2	56
Probeta 6 – 60ST3	41



Ing. Mec. Gonzalo Naranjo
Técnico - LIM



Ing. Mec. Víctor Espín, Mg.
Coordinador - LIM

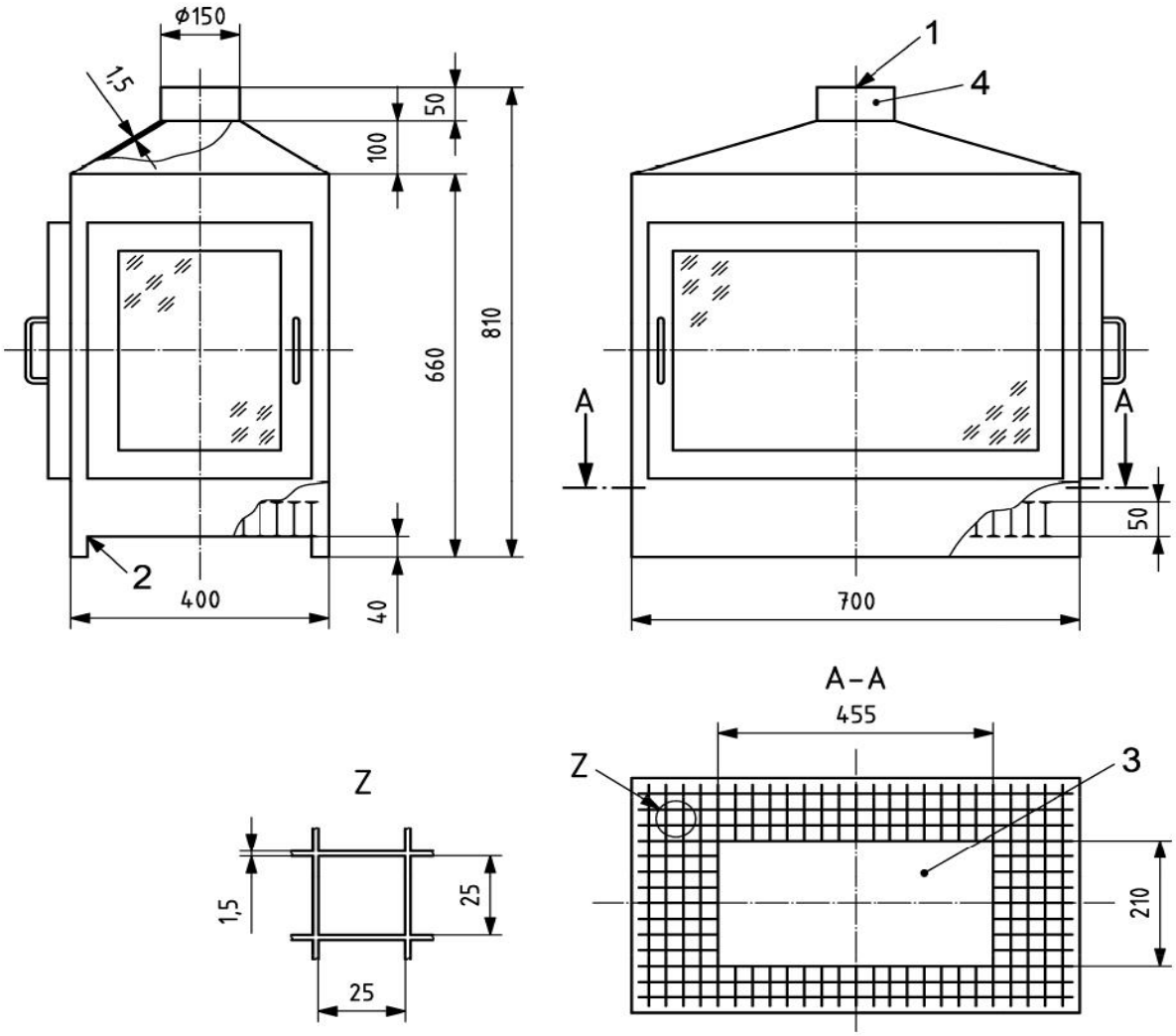


Ing. Mec. Christian Castro, Mg.
Director - LIM

6. CONSIDERACIONES FINALES

- El LIM no se responsabiliza de los datos erróneos ingresados o proporcionados por la empresa y/o solicitantes utilizados en la elaboración del presente informe.
- Toda la información presentada en el informe es responsabilidad del LIM, excepto cuando la información suministrada por la empresa y/o solicitante tiene incidencia directa con los resultados.
- El informe debe ser usado dentro de las instalaciones de la empresa solicitante y sin una previa autorización por parte del Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato no puede ser reproducido.
- Los resultados obtenidos en el informe corresponden a los materiales seleccionados y remitidos por el solicitante, por lo tanto, la utilización y manejo de los materiales es exclusiva del solicitante.
- El presente informe es válido única y exclusivamente para los materiales ensayados y la aplicación declarada por el solicitante. Los resultados no puedes ser trasladados a lotes o a una serie de productos.
- El solicitante es responsable del uso indebido que pueda darse del presente documento y está sujeta a sanciones civiles y penales que se pudieran presentar.
- Se consideró la aplicación de los factores de corrección de los certificados de calibración en las mediciones de los diferentes equipos utilizados por el laboratorio.

Anexo 4. Cámara de combustión.



Leyenda

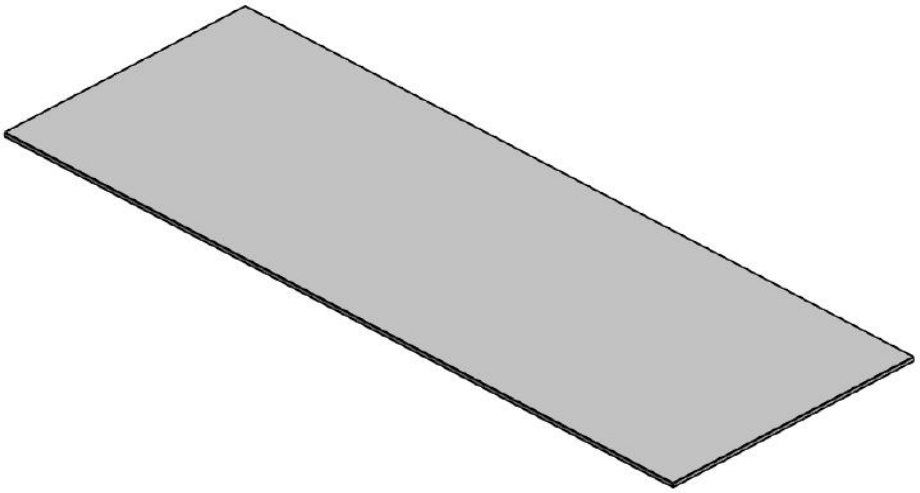
1 Punto de medición de la velocidad del aire
2 Rejilla metálica
3 Placa horizontal
4 Chimenea

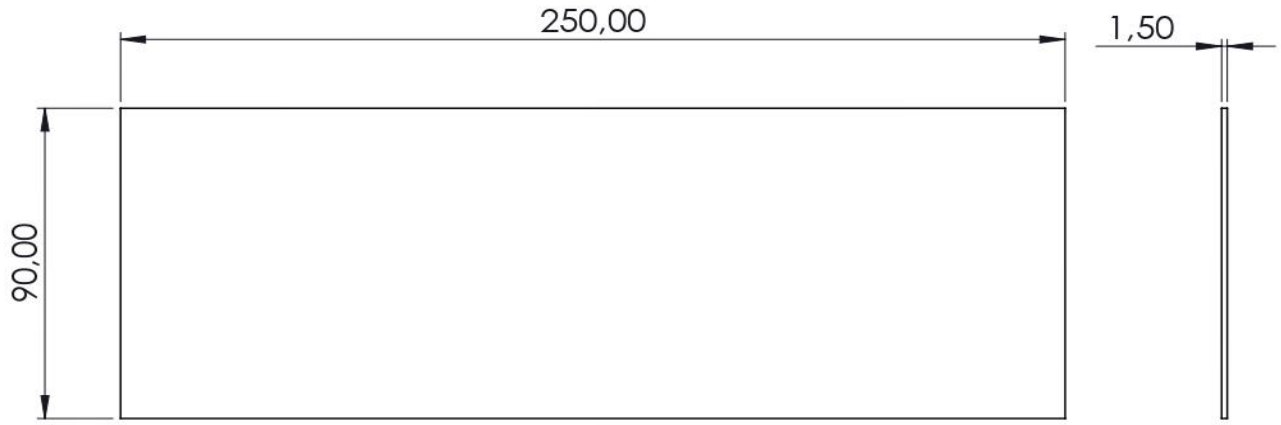
NOTA Todas las dimensiones se corresponden con valores nominales en milímetros, a menos que se indiquen las tolerancias.

Figura 1 – Cámara de combustión

CON LICENCIA DE USO PARA GONZALO EFRAIN NARANJO ALTAMIRANO - UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO,
NÚMERO DE ORDEN: 001-005-000158032/ DESCARGADO: 2021-04-20
AUTORIZACIÓN A USUARIO ÚNICO, PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN

Anexo 5. Plano de probeta ensayada.





				Tolerancia	(Peso)	Materiales:
				±0,1	43.88 g	Policloruro de vinilo (PVC)
					Fecha	Nombre
				Dibujó:	10/12/24	Guayaquil G.
				Revisó:	10/12/24	Ing. Victor Espín
				Aprobó:	10/12/24	Ing. Victor Espín
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 01/01
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)

Denominación: Probeta

Escala: 1:2

Anexo 6. Schneider Electric, Catalogo – Características del PVC.

Características del PVC

Empleado en la Fabricación de Canaletas, Marcadores y Accesorios

Sus principales propiedades:

- 100% autoextinguible, lo que otorga un grado absoluto de confiabilidad a los productos fabricados de PVC, elemento por demás vital, cuando se habla de aplicaciones energéticas, para transporte de gas o en aplicaciones cotidianas en la industria o en el hogar, puesto que es un elemento seguro, no propagador del fuego.
- Resistente a la humedad, no se oxida, no se corroe y no es nutriente de hongos. No es conductor de la electricidad y a diferencia del conduit metálico, las Canaletas no producen corto-circuitos.
- De altísima resistencia mecánica y muy resistente a la abrasión.
- Químicamente inerte y estable; De hecho, muchas de las geo-membranas usadas en los rellenos sanitarios son de PVC, ya que estas no exudan ningún tipo de sustancia que pudieran contaminar las aguas subterráneas.

Termoplástico PVC

Descripción General

El nombre genérico PVC, describe a una familia de polímeros resultantes de la polimerización del monómero cloruro de vinilo (CH2=CHC), utilizando como materia prima el etileno y el cloro, derivados del petróleo el primero y de la sal común el segundo.

El compuesto resultante 1,2 dicloroetano (EDC) es convertido a altas temperaturas en el gas cloruro de vinilo monómero (MVC), para posteriormente y a través de reacción química convertirlo en resina de cloruro de polivinilo o más comúnmente denominado PVC.

Propiedades

El PVC es usado en aplicaciones variadas, por lo general con una vida útil larga, es reciclable, autoextinguible, y esta clasificado en dos grupos: El PVC flexible que es el usado por DEXSON en la fabricación de marcadores para cable del tipo anillo, portamarcadores y marcadores ovalados y el PVC rígido, que es utilizado para fabricar Canaletas para cable.

Propiedades físicas y químicas del PVC

	Unidad	
	Americana	Inglesa
Temperatura de procesamiento	315-410°F	157-210°C
Encogimiento lineal del molde	0.001-0.005- in/in	0.001-0.005 cm/cm
Punto de fusión	270-405°F	132-207°C
Densidad	72.4-91.8 lb/ft^3	1.16-1.47 g/cm^3
Resistencia a la tensión, deformación	1.3-7.4 lin/in^{2}x 10^3	0.9-5.2 kg/cm^{2}x 10^3
Resistencia a la tensión, rompimiento	1.1-7.4 lb/in^{2}x 10^3	0.8-5.2 kg/cm^{2}x 10^3
Elongación, rompimiento	5.0-500.0%	5.0-500.0%
Modulo de tensión	2.7-4.5 lb/in^{2}x 10^5	1.9-3.2 kg/cm^{2}x 10^4
Resistencia de flexión, deformación	10.7-12.0 lb/in^{2}x 10^3	7.5-8.4 kg/cm^{2}x 10^2
Módulo de flexión	3.0-5.4 lb/in^{2}x 10^5	2.1-3.8 kg/cm x 10^4
Resistencia a la compresión	6.5-10.1 lb/in^{2}x 10^3	4.6-7.1 kg/cm^{2}x 10^2
Ranurado Izod, R.T.	0.3-17.6 ft-lb/in	1.6-95.0 kg cm/cm
Dureza	A50-A95 Rockwell	A50-A95 Rockwell
Conductividad térmica	1.0-1.3BTU-in/hr-ft^3-°F	0.14-0.19 W/m-°K
Expansión térmica lineal	3.6-7.3 in/in-°F	6.5-13.1 cm/cm-°Cx10^{-5}
Temperatura de deflexión @ 264 psi	100-311°F	38-155°C
Temperatura de deflexión @ 66 psi	113-311°F	45-155°C
Temperatura de servicio continuo	130-220°F	54-104°F
Resistencia diélectrica	350-725 V/10^{-3}in	1.4-2.8 V/mm x 10^4
Resistencia diélectrica @ 1MHZ	3.9-5.2	3.9-5.2
Factor de disipasión @ 1 MHZ	0.019-0.090	0.019-0.090
Absorción de agua, 24 hrs	0.08-0.60%	0.08-0.60%

Anexo 7. Especificación técnica – Ares Laminates S.L.

Datos técnicos

Propiedades	Test	Unidad	Valores
Asignación Tipo		(mm)	PVC
Densidad	Din 53479	(gr/cm3)	1,42±0,02
Esfuerzo en el punto de fluencia	Din 53455	(MPa)	55
Alargamiento a la rotura	Din 53455	(%)	20
Módulo de elasticidad a la tensión	Din 53457	(MPa)	2600
Dureza de Penetración a la bola (30s)	Din 53457	(MPa)	75
Resistencia al impacto	Din 53453	(kJ/m)	15
Coeficiente dinámico de fricción		(N/mm2)	
Punto de fusión	Din 53736	(ºC)	80
Temperatura de transición vítria	Din 53736	(ºC)	
Tmáx servicio – exp. corta		(ºC)	65
Tmáx servicio – exp. larga		(ºC)	60
Conductividad térmica (23ºC)		(w/K/m)	0,15
Capacidad calórica específica (23ºC)		(10^5/K)	1,0
Coeficiente de dilatación lineal (23ºC)		(ºC)	8
Coeficiente dieléctrico (106Hz)	Din 53483		3,0±0,4
Factor de disipación	Din 53483		0,015
Resistencia especifica de paso	Din 53483		10^{15}
Resistencia superficial	Din 53483		10^{14}
Resistencia dieléctrica	Din 53483	(Ohms)	50±5
Resistencia a corrientes parásitas	Din 53480		

Los datos de esta especificación son datos basados en ensayos de laboratorio obtenidos en planta y se presentan como datos orientativos de producto; se aconseja utilizar convenientemente factores de seguridad en el diseño de los equipos electromecánicos.

Torrent d'en Baiell 38 – Nave F
Polígono Industrial Can Clapers
08181 Sentmenat – Barcelona (Spain)
Tel. 00-34- 935 146 200
www.areslaminates.com

Anexo 8. Elaplas – Ficha técnica.

elaplas
elastómeros y plásticos

PROPIEDADES FISICAS CLORURO DE POLIVINILO (PVC RIGIDO)

PROPIEDADES	Metodos de ensayo ISO/(IEC)	Unidades	Valores
Color	-	-	Gris
Densidad	DIN 53 479	g/cm^3	1,42
PROPIEDADES TERMICAS			
Temperatura de Fusion	DIN 53 736	ºC	80
Conductividad termica a 23ºC	-	W/(K-m)	0,15
Coeficiente de dilatacion lineal (23ºC)	-	10^5 .(1K)	8
Capacidad calorica especifica (23º C)	-	5(g.k)	1
Temperatura maxima de servicio:	-	-	-
-en periodos cortos	-	ºC	65
	-	ºC	60
PROPIEDADES MECANICAS A 23ºC			
Ensayo de tracción	-	-	-
-esfurzo en el punto de fluencia	DIN 53 455	MPa	55
-elongacion a la rotura	DIN 53 455	%	20
-modulo de elasticidad a la tensión	DIN 53 457	-	2.600
-Resistencia al impacto	DIN 53 457	Kj/m^2	15
-Coeficiente dinamico de fricción	-	N/mm^2	0
Dureza a la bola (30s)	DIN53457	Mpa	75
PROPIEDADES ELECTRICAS A 23ºC			
Resistencia dielectrica	60243	KV/mm	$>10^{14}$
Factor de disipación	DIN 53 483	-	0,015
Resistencia especifica de paso	DIN 53 483	-	$>10^{15}$
Resistencia superficial	DIN 53 482	Ohm.cm	50
Coeficiente dielectrico	60250	-	3,0

Passatge dels Rosers s/n Nave C y D (Cornella de Ll.) Tel. 93/473-35-87 Fax. 93/473-35-87 Email: info@elaplas.es

Anexo 9. Ficha técnica de gas propano.

Airgas
an Air Liquide company

Airgas USA, LLC
24075 US Hwy 6
Stryker, OH 43557
Airgas.com

CERTIFICATE OF BATCH ANALYSIS

Grade of Product: CP

Part Number:	ME CP300C	Reference Number:	141-401220348-1
Cylinder Analyzed:	3925277Y	Cylinder Volume:	360.0 CF
Laboratory:	124 - Conley Stryker (SAP) - OH	Cylinder Pressure:	2400 PSIG
Analysis Date:	Jul 02, 2018	Valve Outlet:	350
Lot Number:	141-401220348-1		

ANALYTICAL RESULTS

Component	Requested Purity	Certified Concentration
METHANE	99.5 %	99.5 %
ETHANE	< 1000.0 PPM	< 1000.0 PPM
Nitrogen	< 4000.0 PPM	< 4000.0 PPM
Moisture	< 10.0 PPM	< 10.0 PPM
Oxygen	< 50.0 PPM	< 50.0 PPM

Cylinders in Batch:

3925277Y, 3925279Y, 4093844Y, 4094056Y, 4095759Y, 4145399Y, 4145414Y, 4158925Y, 4185865Y, 4185870Y, 4186036Y, 4207948Y, 4207949Y, 4302496Y, 4337912Y, 4337913Y, 4337935Y, 4337952Y, 4337953Y, 4338045Y, 4338047Y, 4338208Y, 4338214Y, 4338218Y, 4338227Y, 4338255Y, 5612874Y, 5643270Y, 5643271Y, 5643273Y, 5697109Y, 5697146Y, TW04744027, TW08501298, TW08560487, TW08560763

Notes:NET WT: 5.40Kg
GROSS WT: 67.40Kg
PO # 3100034529
WOBBE SUPERIOR DRY = 1355.7
WOBBE INFERIOR DRY = 1220.7
CALORIFIC POWER SUPERIOR DRY = 1010.4
CALORIFIC POWER INFERIOR DRY = 909.7
SEPCIFIC GRAVITY = 0.5554

Impurities verified against analytical standards traceable to NIST by weight and/or analysis.

Victoria Bayliff
Approved for Release

Anexo 10. Certificado de calidad cámara termográfica.

without the prior written consent of FOTRIC.

The names and logos shown on the products herein are either registered trademarks or trademarks of FOTRIC and/or its affiliates. All other trademarks, trade names or company names referenced herein are for identification purposes only and are the property of their respective owners.

1.4 Quality Assurance

The quality management system for the development and production of these products in FOTRIC has been certified in accordance with the ISO 9001 standard.

FOTRIC is committed to a policy of continuous development, so we reserve the right to modify or improve any product without prior notice.

1.5 Export Control

Thermal imaging products are listed as export-controlled products by the U.S. Department of Commerce, United Nations Security Council (UNSC), and European Union (EU). This product contains a focal plane array and cannot be used in controlled countries (such as North Korea, Iran, Syria, Cuba, Sudan, Russia, etc.), so please do not bring this product into or used in controlled countries. Any loss or liability arising from the above actions will be borne by you.

Anexo 11. Ficha técnica de medidor de gases.

6 Gas, Sample Draw With PID, IR & Super Toxic Sensors

Gas Detection For Life — **GX-6000**



Features

- 6 Operating modes
- Smallest 6 gas sample draw
- 2 Interchangeable smart sensor slots
- 4 PID options: 10.6 (2 ranges) eV, 10.0 eV, and 11.7 eV lamps
- PID library of over 600 VOCs
  - Easily switch target VOC from customizable user list or a recently used list
- Benzene specific version
- PPM Leak Check mode
- LEL sensor protection mode
- Man-down alarm
- Panic alarm
- Auto display rotation
- Peak-bar display
- LED Light source
- Internal sample pump
- Light weight, small, rugged IP-67 design
- Interchangeable battery packs (LI-Ion / alkaline)
- Operates up to 14 hours on LI-Ion battery pack, fully recharges in 3 hours; 8 hours operation with alkaline pack
- Field replaceable sensors, batteries, filters and pump
- Intrinsically safe ATEX / IECEx / cCSAus

Applications

- Confined space entry
- Hazmat response teams
- Arson Investigation
- Remediation sites
- Perimeter monitoring
- Leak detection
- Landfill monitoring
- Wing tank entry

Simply put, the GX-6000 is a game changer. This powerful hand-held instrument is capable of simultaneously monitoring up to 6 gases. In addition to the standard 4 confined space gases which include combustibles, O2, CO, & H2S, the GX-6000 has 2 additional smart channels that accept PID, IR or super toxic sensors. Equipped with a strong internal sample pump, a man-down alarm, a panic alarm, an LED flashlight, and large auto rotating LCD display, the GX-6000 can operate as a single gas PID unit or a multifunctional tool utilizing all 6 channels. The GX-6000 with a PID sensor will come equipped with a library of over 600 VOC gases to choose from as standard. Choosing from the library is easy with a personalized favorites list of 30 commonly used VOC's as well as a list of 8 of the most recently used VOC's. A benzene-specific version is available using a pre-filter tube for detecting low levels of benzene. Four PID sensors are available, 10.0 eV, 10.6 eV (low or high range), and 11.7 eV. Any combination of two PID sensors can be installed. GX-6000 PID sensors are also resistant to humidity.

The GX-6000 has a rugged design built for the nastiest environments. It is equipped with a removable impact-resistant rubber boot and a dust and water resistant enclosure with an IP-67 rating. With 5 bright LED lights on 3 sides of the instrument, alarms are easily seen from a variety of perspectives. With vibration and loud audible alarm, GX-6000 will easily alert users when needed.



SDM-6000 Calibration Station

RKI Instruments, Inc. • 33248 Central Ave. Union City, CA 94587 • Phone (800) 754-5165 • (510) 441-5656 • Fax (510) 441-5650

World Leader In Gas Detection & Sensor Technology
www.rkiinstruments.com

GX-6000

Gases & Detectable Ranges

Gas		Measuring Range	Reading Increment	Alarm Set Points	Accuracy (which ever is greater)
PID Sensors					
10.6 Lamp	600 VOC's	0 - 40,000 ppb	1 ppb: (< 5000 ppb) 10 ppb: (> 5,000 ppb)	A1: 5,000 ppb A2: 10,000 ppb	± 10% of reading, ± 1 digit
		0 - 4,000 ppm	0.1 ppm: (< 600 ppm) 1 ppm: (> 600 ppm)	A1: 400 ppm A2: 1,000 ppm	
10.0 Lamp	Benzene Specific	0.01 - 50 ppm	0.01 ppm (0 ~ 10 ppm) 0.1 ppm (10 ~ 50 ppm)	No Alarms	
	300 VOC's	0 - 100 ppm	0.01 ppm (0 ~ 10 ppm) 0.1 ppm (10 ~ 100 ppm)	A1: 5 ppm A2: 10 ppm	
11.7 Lamp	High Voltage Lamp	0 - 100 ppm	0.1 ppm	A1: 5 ppm	
				A2: 10 ppm	
Galvanic					
Oxygen (O2)		0 - 40.0% Vol.	0.1% Vol.	A1: 19.5 Vol. A2: 23.5 Vol.	± 0.5% O2
Electro Chemical					
Carbon Monoxide (CO)		0 - 500 ppm	1 ppm	A1: 25 ppm A2: 50 ppm TWA 25 ppm STEL 200 ppm	± 5% of reading or ± 5 ppm
Hydrogen Sulfide (H2S)		0 - 100.0 ppm	0.5 ppm	A1: 5.0 ppm A2: 30.0 ppm TWA 1.0 ppm STEL 5.0 ppm	± 5% of reading or ± 2 ppm
Toxics (EC Sensors)					
Ammonia (NH3)		0 - 400.0 ppm	0.5 ppm	A1: 25 ppm A2: 50 ppm	± 10% of reading or ± 5% of full scale
Chlorine (Cl2)		0 - 10.00 ppm	0.05 ppm	A1: 0.5 ppm A2: 1.0 ppm	
Hydrogen Cyanide (HCN)		0 - 15.0 ppm	0.1 ppm	A1: 5 ppm A2: 10 ppm	
Nitrogen Dioxide (NO2)		0 - 20.00 ppm	0.05 ppm	A1: 3 ppm A2: 6 ppm	
Phosphine (PH3)		0 - 20.00 ppm	0.01 ppm	A1: 0.30 ppm A2: 1.00 ppm	
Sulfur Dioxide (SO2)		0 - 99.90 ppm	0.05 ppm	A1: 2 ppm A2: 5 ppm	
IR Sensors					
Carbon Dioxide (CO2)		0 - 10,000 ppm	20 ppm	A1: 5,000 ppm TWA 5,000 ppm	± 5% of reading or ± 2% of full scale
		0 - 10.00% Vol.	0.02%	A1: 0.50% Vol A2: 3.00% Vol STEL 3.00% Vol TWA 0.50% Vol	
Methane (CH4)		0 - 100% LEL 0 - 100% Vol.	1% LEL/ 0.5% Vol	A1: 10% LEL A2: 50% LEL	
Hydrocarbons		0 - 100% LEL 0 - 30% Vol.			
Catalytic					
Hydrocarbons (CH4, std)		0 - 100% LEL	1% LEL	A1: 10%LEL A2: 50%LEL	± 5% of reading or ± 2% LEL

Common Specifications

Alarm Types	**Gas alarm**	**Man-down**	**Trouble**
	Low and high adjustable	1st - self reset 2nd - latching	Low flow Sensor connection Low battery Circuit error Calibration range
Sample Method	Sample draw pump, flow rate 0.45 LPM, 100 foot sample range		
Display	Digital LCD, autobacklight, peak bar display, auto display rotation, and customize order of gases		
Audible Alarm	95 dB at 1 ft.		
Languages	English, Spanish, French, German, Italian, Japanese, Korean, Portuguese, Russian		
Continuous Operation	14 hours on Lithium-ion battery pack. Complete recharge in 3 hours. 8 hours Alkaline battery pack (3 AA size within each pack)		
Operating Temp. & Humidity	-4°F to 122°F (-20°C ~ +50°C), 0- 95% RH non condensing		
Dimensions	2.6" W x 7.8" H x 2" D (H200 x W68 x D52 mm) 14 ounce (400g) (with lithium battery pack)		
Case Material	Dust and water resistant with IP-67 approval (exclude sample hose and probe)		
Safety Design / Approvals	Explosion proof: IECEx , ATEX , TIIS , cCSAus Explosion class :Ex ia IIC T4 Ga Others: CE Marking		
Standard Features	2 Smart sensors slots auto recognize sensor changes Library of over 600 VOC's User defined VOC list. Up to 30 frequently used Recent VOC list for last 8 selected gases Pump and circuit status indicators User & station ID selection menu Datalogging (interval, alarm trend, station and user ID) Snap logging - on demand data logging Demand zero / Auto zero BUMP and CAL expiration alarm Flashlight IrDA communication LEL sensor protection mode		
Standard Accessories	• Rubber boot • Belt clip • Hand strap • Tapper nozzle • Probe with hydrophobic & dust filter 3' teflon lined hose • Benzene pre-filter tubes and holder (benzene versions)		
Optional Accessories	• SDM-6000 calibration station • Bundles with instrument carrying case and accessories • Flexible probes • Up to 100 foot sample hoses • Filter set • IrDA cable		
Warranty	Two years material (including sensors) and workmanship. One year for Cl2, and PID sensors (Two months for 11.7 eV lamp)		

RKI INSTRUMENTS

Toll Free: (800) 754-5165 • Phone: (510) 441-5656
Fax: (510) 441-5650 • www.rkiinstruments.com

Authorized Distributor:

Anexo 12 Software de visualización de cámara termográfica.

Customer Support

1. Software download and upgrade

To download the newest version WLIR software, please visit Fotric official website download center

www.fotric.com/support

2. Software License information

Fotric WLIR software is the standard configuration for Fotric 340 series

3. Documentation download

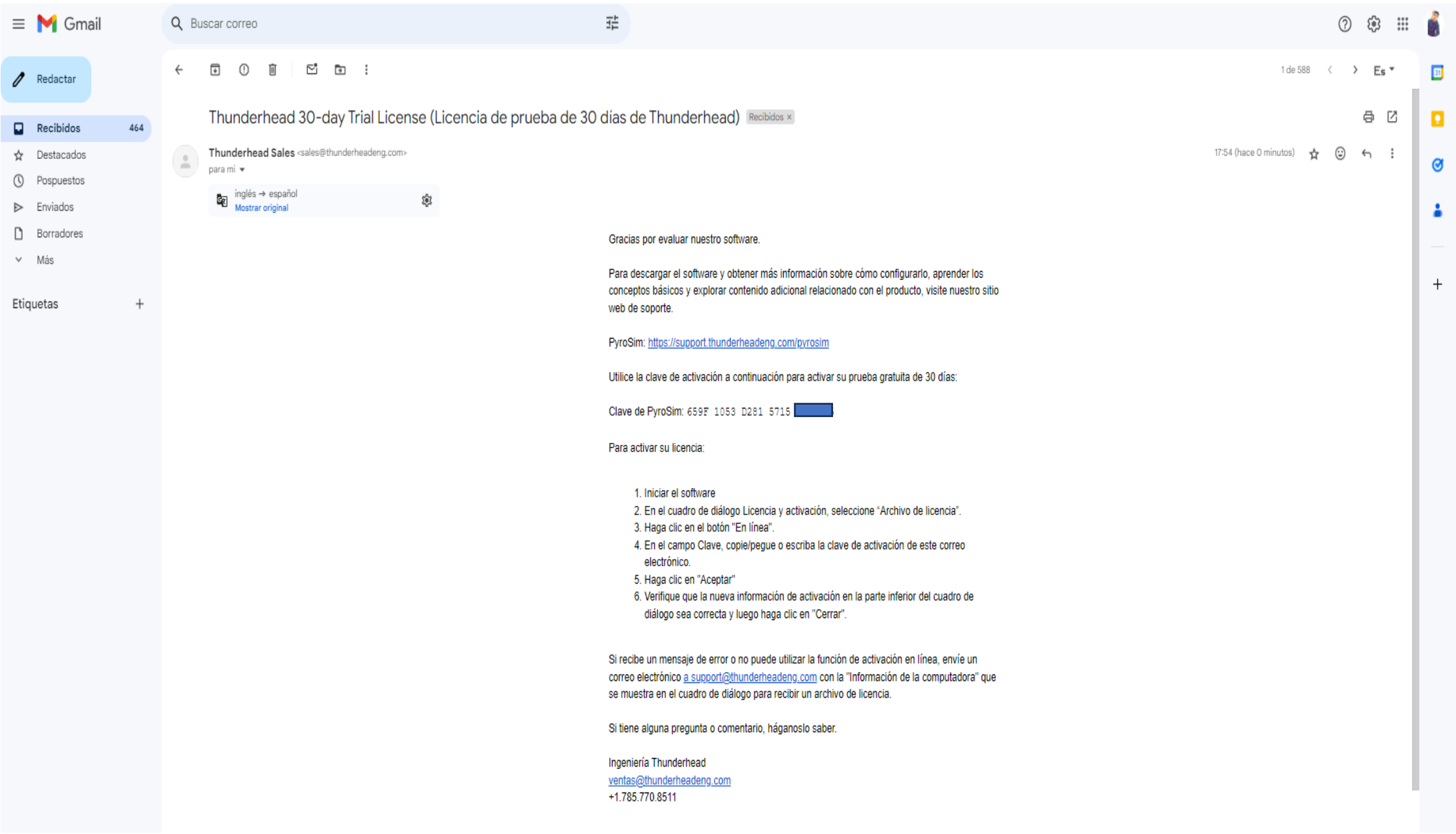
To view the latest operation manuals and FAQ documents, please visit Fotric official website's download centerwww.fotric.com/support

4. Contact information

For customer support issues regarding thermal camera failures, software bugs or new features requirements, please send emails to info@fotric.com

,or visit Fotric official website's contact center: www.fotric.com/contact

Anexo 13 Correo con instrucciones y clave de activación del producto


Gmail
Buscar correo
Redactar
Recibidos 464
Destacados
Pospuestos
Enviados
Borradores
Más
Etiquetas
1 de 588
Thunderhead 30-day Trial License (Licencia de prueba de 30 días de Thunderhead)
Recibidos ×
Thunderhead Sales <sales@thunderheadeng.com>
para mi
17:54 (hace 0 minutos)
inglés → español
Mostrar original
Gracias por evaluar nuestro software.
Para descargar el software y obtener más información sobre cómo configurarlo, aprender los conceptos básicos y explorar contenido adicional relacionado con el producto, visite nuestro sitio web de soporte.
PyroSim: https://support.thunderheadeng.com/pyrosim
Utilice la clave de activación a continuación para activar su prueba gratuita de 30 días:
Clave de PyroSim: 659F 1053 D281 5715
Para activar su licencia:
1. Iniciar el software
2. En el cuadro de diálogo Licencia y activación, seleccione "Archivo de licencia".
3. Haga clic en el botón "En línea".
4. En el campo Clave, copie/pegue o escriba la clave de activación de este correo electrónico.
5. Haga clic en "Aceptar"
6. Verifique que la nueva información de activación en la parte inferior del cuadro de diálogo sea correcta y luego haga clic en "Cerrar".
Si recibe un mensaje de error o no puede utilizar la función de activación en línea, envíe un correo electrónico a support@thunderheadeng.com con la "Información de la computadora" que se muestra en el cuadro de diálogo para recibir un archivo de licencia.
Si tiene alguna pregunta o comentario, háganoslo saber.
Ingeniería Thunderhead
ventas@thunderheadeng.com
+1.785.770.8511