



expo**fuego**

CHILE 2023

**CONGRESO INTERNACIONAL**  
DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO



expofuego

CHILE 2023

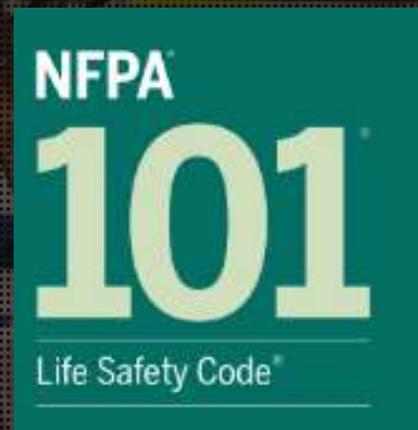
# Evaluación de desempeño Sistemas de Control de Humos en Espacios Subterráneos

Miguel Ángel Pérez Arias

# Diseño Prescriptivo v/s Diseño Basado en Desempeño

## Diseño Prescriptivo

- Cumplimiento de conjunto de requisitos, reglas y prescripciones específicas.
- Una serie de instrucciones de cómo hacerlo.
- Mayoría de la normativa y reglamentación
  - Fácil de seguir y aplicar
  - Podrían limitar la innovación y flexibilidad



### Capítulo 5 Opción basada en el desempeño

#### 5.1 Requisitos generales.

**5.1.1\* Aplicación.** Los requisitos del presente capítulo deben aplicarse a los sistemas de seguridad humana diseñados para la opción basada en el desempeño permitida por 4.4.1 y 4.4.3.

**5.1.2 Metas y objetivos.** El diseño basado en el desempeño debe cumplir las metas y objetivos de este *Código* de acuerdo con las Secciones 4.1 y 4.2.

## Diseño Prestacional

- Nombres:
  - Diseño basado en desempeño
  - Performance-based design
  - Diseño basado en la eficacia, en prestaciones
  - Análisis de ingeniería
- Se centra en objetivos de rendimiento, desempeño, resultados.

“Aplicación de los conocimientos científicos y fundamentos de la ingeniería al diseño de las medidas necesarias para la protección de las personas y su entorno frente a los incendios”

# Diseño Prestacional - Basado en Desempeño

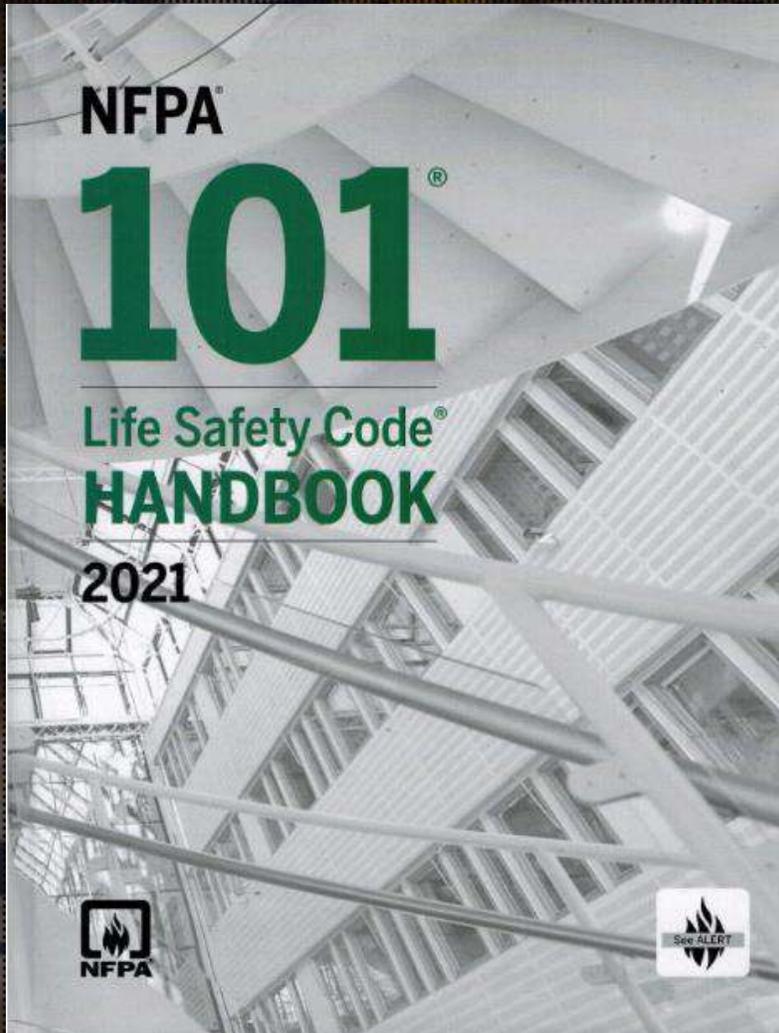
## Metodología bien establecida

- Metas de seguridad contra incendios
- Objetivos
- Criterios
- Escenarios de incendios
- Diseños de Prueba
- Evaluación

## Ventajas

- Flexibilidad de diseño
- Innovación en el diseño, construcción y materiales
- Seguridad contra incendios igual o mejor
- Minimizar razón Costo/Beneficio



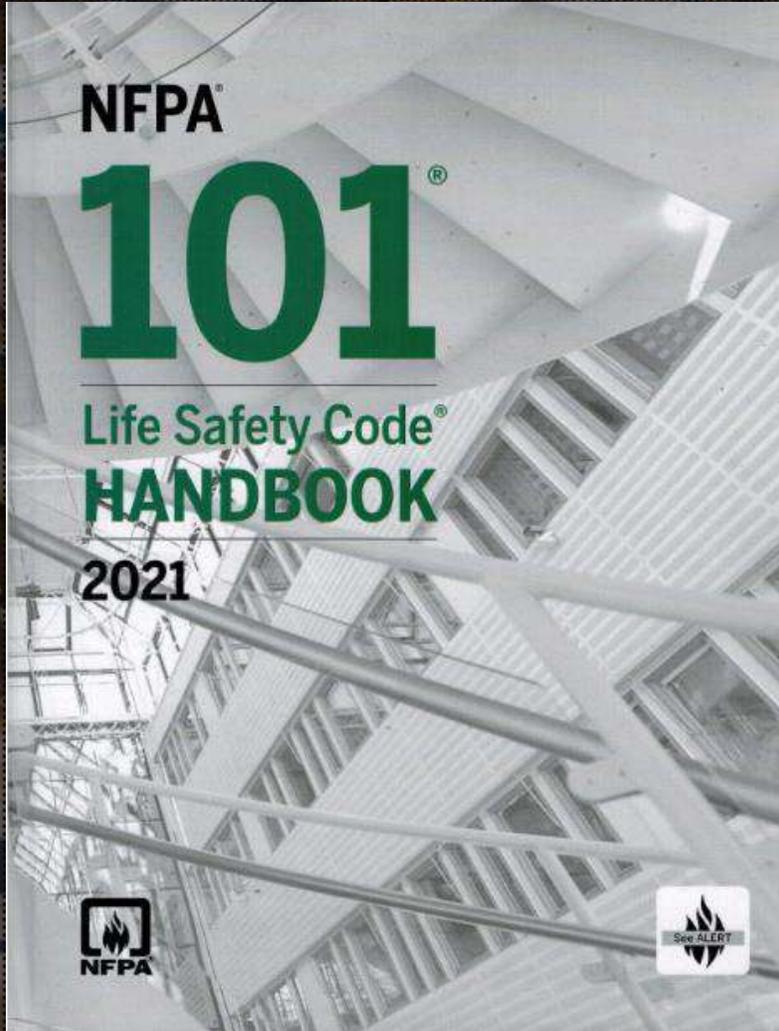


## 11.7 Underground Structures and Limited Access Structures

In some cases, a structure might be so unusual that the only practical option is a complete performance-based design in accordance with Chapter 5.

*Las estructuras subterráneas representan riesgos adicionales para la seguridad de la vida, ya que los edificios no pueden ventilarse fácilmente de los productos de la combustión. En áreas que no tienen acceso directo al exterior y donde no hay ventanas para permitir operaciones de rescate y ventilación por parte del departamento de bomberos, el fuego o el humo podrían provocar el pánico de los ocupantes. Por lo tanto, se deben tomar medidas correctivas adicionales, como la protección completa mediante rociadores automáticos y sistemas automáticos de ventilación de humo, cuando sea necesario, para garantizar un nivel adecuado de seguridad para la vida. (Fuente: "Handbook NFPA 101 2018")*

# Exigencias NFPA 101 – Estructuras/Espacios Subterráneos



## Estructuras Especiales y Edificios de Gran Altura

CHAPTER

11

### 11.7 Estructuras Subterráneas y Estructuras de Acceso Limitado

En algunos casos, una estructura podría ser tan inusual que la única opción práctica es un completo diseño basado en desempeño, de acuerdo a **Capítulo 5**.

*Las estructuras subterráneas representan riesgos adicionales para la seguridad de la vida, ya que los edificios no pueden ventilarse fácilmente de los productos de la combustión. En áreas que no tienen acceso directo al exterior y donde no hay ventanas para permitir operaciones de rescate y ventilación por parte del departamento de bomberos, el fuego o el humo podrían provocar el pánico de los ocupantes. Por lo tanto, se deben tomar medidas correctivas adicionales, como la protección completa mediante rociadores automáticos y sistemas automáticos de ventilación de humo, cuando sea necesario, para garantizar un nivel adecuado de seguridad para la vida. (Fuente: "Handbook NFPA 101 2018")*

# Exigencias NFPA 101 – Estructuras/Espacios Subterráneos

- Sistema automático de ventilación (NFPA 101 11.7 Estructuras subterráneas)
  - Más de 100 personas
  - Nivel de piso a más de 9,1 m por debajo del nivel más bajo con una descarga a la salida
  - Contenido combustible, acabado combustible, o construcción combustible

## 9.3 Smoke Control

**9.3.1 Installation.** Where required by another section of this *Code*, smoke control systems shall be designed, installed, inspected, tested, and maintained in accordance with NFPA 92, NFPA 204, or nationally recognized standards, engineering guides, or recommended practices, as approved by the authority having jurisdiction.



# Exigencias NFPA 101 – Estructuras/Espacios Subterráneos

- Sistema automático de ventilación (NFPA 101 11.7 Estructuras subterráneas)
  - Más de 100 personas
  - Nivel de piso a más de 9,1 m por debajo del nivel más bajo con una descarga a la salida
  - Contenido combustible, acabado combustible, o construcción combustible

## 9.3 Control de Humo

**9.3.1 Instalación.** Donde sea requerido por otra sección de este Código, los sistemas de control de humo deben ser diseñados, instalados, inspeccionados, probados, y mantenidos de acuerdo con NFPA 92, NFPA 204, o reconocidas normas nacionales, guías de ingeniería, o prácticas recomendadas, así como aprobadas por la Autoridad.



# Exigencias NFPA 130 – Sistemas guiados de tránsito pasajeros

## NFPA<sup>®</sup> 130

Standard for  
Fixed Guideway Transit and  
Passenger Rail Systems

2023

### Chapter 5 Stations

#### 5.4.7 Ventilation.

5.4.7.1 Emergency ventilation shall be provided in enclosed stations in accordance with Chapter 7.

#### 5.5 Integrated Testing of Fire Protection Systems.

5.5.1 Where two or more fire protection or life safety systems are interconnected, integrated testing shall comply with NFPA 4.

5.5.2 An integrated test shall be performed prior to revenue service.

### Chapter 6 Trainways

#### 6.4.7 Ventilation.

6.4.7.1 Except as described in 6.4.7.2 and 6.4.7.3, emergency ventilation shall be provided in enclosed trainways in accordance with Chapter 7.

#### 6.5 Integrated Testing of Fire Protection Systems.

6.5.1 Where two or more fire protection or life safety systems are interconnected, integrated testing shall comply with NFPA 4.

6.5.2 An integrated test shall be performed prior to revenue service.

### Chapter 7 Emergency Ventilation System

7.1.3 The engineering analysis of the ventilation system shall include the following:

- (1) A validated subway analytical simulation program that provides a quantitative analysis of airflow dynamics produced in the fire scenario, a validated computational fluid dynamics (CFD) technique, or both, as approved.
- (2) The no-fire (or cold) air velocities that can be measured during commissioning to confirm that a mechanical ventilation system as built meets the requirements determined by the analysis.

# Exigencias NFPA 130 – Sistemas guiados de tránsito pasajeros

## NFPA<sup>®</sup> 130

Standard for  
Fixed Guideway Transit and  
Passenger Rail Systems

2023

### Capítulo 5 Estaciones

#### 5.4.7 Ventilación.

5.4.7.1 Se debe proporcionar Ventilación de emergencia en Estaciones cerradas, de acuerdo con Capítulo 7.

#### 5.5 Pruebas integradas de Sistemas de Protección Incendios

5.5.1 Donde se interconecten dos o más sistemas de seguridad de vida o de protección contra incendios, las pruebas de integración deben cumplir con NFPA 4.

5.5.2 Se realizará una prueba de integración antes de la puesta en marcha.

### Capítulo 6 Vías

#### 6.4.7 Ventilación.

6.4.7.1 Se debe proporcionar Ventilación de emergencia en Vías cerradas, de acuerdo con Capítulo 7, excepto como se describe en 6.4.7.2 y 6.4.7.3.

#### 6.5 Pruebas integradas de Sistemas de Protección Incendios

6.5.1 Donde se interconecten dos o más sistemas de seguridad de vida o de protección contra incendios, las pruebas de integración deben cumplir con NFPA 4.

6.5.2 Se realizará una prueba de integración antes de la puesta en marcha.

### Capítulo 7 Sistema de Ventilación de Emergencia

7.1.3 El análisis de ingeniería del sistema de ventilación debe incluir lo siguiente:

- (1) Un programa validado de simulación analítica de Metro que proporcione un análisis cuantitativo de la dinámica del flujo de aire producido en el escenario de un incendio, una técnica validada de dinámica de fluidos computacional (CFD), o ambas, según lo aprobado.
- (2) Las velocidades del aire sin fuego (o frío) que se puedan medir durante la puesta en marcha para confirmar que el sistema de ventilación mecánica, tal como fue construido, cumple con los requisitos determinados por el análisis.

# Exigencias NFPA 130 – Sistemas guiados de tránsito pasajeros

NFPA®

# 130

Standard for  
Fixed Guideway Transit and  
Passenger Rail Systems

2023

## 7.2 Design.

7.2.1 The emergency ventilation system shall be designed to do the following:

- (1) Provide a tenable environment along the path of egress from a fire incident in enclosed stations and enclosed trainways
- (2) Produce sufficient airflow rates within enclosed trainways to meet critical velocity
- (3)\* Be capable of reaching full operational mode within 180 seconds
- (4) Accommodate the maximum number of trains that could be between ventilation shafts during an emergency
- (5)\* Maintain the required airflow rates for a minimum of 1 hour but not less than the required time of tenability

7.2.4.1 The analysis shall consider as a minimum the following events:

- (1) Fire in trainway or station
- (2) Local incident within the electrical utility that interrupts power to the emergency ventilation system
- (3) Derailment
- (4) The loss of a fan that results in the most adverse effect on the ventilation system performance

7.2.3 The emergency ventilation system design shall encompass the following:

- (1)\* Fire scenarios and fire profiles
- (2) Station and trainway geometries
- (3) The effects of elevation, elevation differences, ambient temperature differences, and ambient wind
- (4) A system of fans, shafts, and devices for directing airflow in stations and trainways
- (5) A program of predetermined emergency response procedures capable of initiating a prompt response from the operations control center in the event of a fire emergency
- (6) A ventilation system reliability engineering analysis that, at a minimum, considers the following subsystems:
  - (a) Electrical
  - (b) Mechanical
  - (c) Supervisory control
- (7)\* Vehicle dimensions, configuration, and interconnections

## 7.5 Testing.

7.5.1\* Equipment used for emergency ventilation (including fans, dampers, airflow control devices, and associated electrical equipment) shall be factory acceptance tested for the application with the testing procedures and testing results reviewed and accepted by the responsible design entity.

7.5.2\* The no-fire (or cold) airflows provided by the installed mechanical ventilation system shall be measured during commissioning to confirm that the airflows meet the requirements determined by the engineering analysis.

# Exigencias NFPA 130 – Sistemas guiados de tránsito pasajeros

NFPA®

# 130

Standard for  
Fixed Guideway Transit and  
Passenger Rail Systems

2023

## 7.2 Diseño

**7.2.1** El sistema de ventilación debe ser diseñado para hacer lo siguiente:

- (1) Brindar un medioambiente sostenible a lo largo de la vía de evacuación en caso de incendio, en estaciones y vías cerradas.
- (2) En vías cerradas, producir tasas de aire suficientes para cumplir la velocidad crítica.
- (3) Ser capaz de alcanzar modo operacional completo en 180 segundos.
- (4) Acomodar el máximo número de trenes que pudieran estar entre shafts de ventilación durante una emergencia.
- (5) Mantener las tasas requeridas de aire por un mínimo de 1 hora, pero no menos que el tiempo requerido de sostenibilidad

**7.2.4.1** El análisis debe considerar como mínimo los siguientes eventos:

- (1) Incendio en la vía o estación
- (2) Incidente local en el equipamiento eléctrico que interrumpa la energía del sistema de ventilación de emergencia.
- (3) Descarrilamiento
- (4) La pérdida de un ventilador que resulte en los efectos más adversos sobre el desempeño del sistema de ventilación.

**7.2.3** El diseño del sistema de ventilación de emergencia deberá abarcar lo siguiente:

- (1) Escenarios de incendio y perfiles de incendio
- (2) Geometrías de estación y vía
- (3) Los efectos de la elevación, diferencias de elevación, diferencias de temperaturas ambientes, y viento
- (4) Un sistema de ventiladores, shafts y aparatos para dirigir el flujo de aire en estaciones y vías
- (5) Un programa de procedimientos predeterminados de respuesta capaz de iniciar una respuesta rápida desde el centro de control de operaciones en caso de una emergencia por incendio.
- (6) Un análisis de ingeniería sobre la confiabilidad del sistema de ventilación que, como mínimo, considere los siguientes sistemas:
  - (a) Eléctrico
  - (b) Mecánico
  - (c) Control Supervisado
- (7) Dimensiones de vehículos, configuración, e interconexiones.

## 7.5 Pruebas.

**7.5.1** El equipamiento usado para la ventilación de emergencia (incluyendo ventiladores, dampers, dispositivos de control, y el equipamiento eléctrico asociado) debe ser probado y aceptado de fábrica para la aplicación específica, con los resultados y procedimientos de testeo revisados y aceptados por la entidad responsable del diseño.

**7.5.2** Los flujos de aire sin fuego (o frío) que entrega el sistema de ventilación mecánica instalado, deben ser medidos durante el comisionamiento, para confirmar que los flujos de aire cumplen con los requerimientos determinados por el análisis de ingeniería.

# Exigencias NFPA 502 – Túneles carreteros...

## Chapter 4 General Requirements

**4.3.6\* Road Tunnels.** Fire protection for road tunnels shall comply with the requirements of Chapter 7.

## Chapter 7 Road Tunnels

**7.11 Emergency Ventilation.** Tunnel ventilation systems employed during fire emergencies shall comply with the requirements of Chapter 11.

**7.17.5** Acceptance tests for emergency ventilation systems shall be performed in accordance with the basis of design criteria, equipment manufacturers' specifications, agreed-upon methods acceptable to the AHJ, and performance requirements specified in Chapter 11.

NFPA®

**502**

Standard for  
Road Tunnels, Bridges,  
and Other Limited  
Access Highways

2023

## Chapter 11 Emergency Ventilation

**11.1.2** Emergency ventilation shall be required in tunnels exceeding 1000 m (3280 ft).

### 11.2\* Smoke Control.

**11.2.1** The emergency ventilation system shall provide a means for controlling smoke.

**11.2.2** In all cases, the desired goal shall be to maintain a tenable environment in the evacuation path for motorists who are exiting from the tunnel and to facilitate firefighting operations.

**11.2.3** In tunnels with bidirectional traffic where motorists can be on both sides of the fire site, the following objectives shall be met:

- (1) Smoke stratification shall not be disturbed.
- (2) Longitudinal air velocity shall be kept at low magnitudes.
- (3) Smoke extraction through ceiling openings or high openings along the tunnel wall(s) is effective and shall be considered.

**11.4\* Basis of Design.** The design of the emergency ventilation system shall be based on a fire scenario having defined heat release rates (HRR), smoke release rates, and carbon monoxide release rates, all varying as a function of time. The selection of the fire scenario shall consider the operational risks that are associated with the types of vehicles expected to use the tunnel. The fire scenario shall consider fire at a location where the most stringent ventilation system performance requirement is anticipated by an engineering analysis.

# Exigencias NFPA 502 – Túneles carreteros...

## Capítulo 4 Requerimientos generales

**4.3.6 Túneles carreteros.** La protección contra incendios de túneles carreteros debe cumplir con los requerimientos del capítulo 7.

## Capítulo 7 Túneles Carreteros

**7.11 Ventilación de Emergencia.** Los sistemas de ventilación del túnel, utilizados durante las emergencias e incendio deben cumplir con los requerimientos del Capítulo 11.

**7.17.5** Las pruebas de aceptación de los sistemas de ventilación de emergencia deben desarrollarse de acuerdo a las bases de los criterios de diseño, especificaciones de los fabricantes de equipos, métodos aceptables-acordados por la Autoridad, y los requerimientos de desempeño especificados en Capítulo 11.

NFPA®

# 502

Standard for  
Road Tunnels, Bridges,  
and Other Limited  
Access Highways

2023

## Capítulo 11 Ventilación de Emergencia

**11.1.2** La Ventilación de Emergencia debe requerirse en túneles de más de 1000 m.

### 11.2 Control de Humo

**11.2.1** La ventilación de emergencia debe brindar medios para controlar el humo.

**11.2.2** En todos los casos, la meta deseada debe ser mantener un ambiente sostenible en la ruta de evacuación de los usuarios que están escapando del túnel y facilitar las operaciones de lucha contra el fuego.

**11.2.3** En los túneles con tráfico bidireccional donde los usuarios pueden estar en ambos lados del sitio del incendio, se deben cumplir los siguientes objetivos:

- (1) La estratificación del humo no debe alterarse
- (2) La velocidad longitudinal del aire debe mantenerse baja
- (3) Se debe considerar la extracción de humo a través de aberturas de cielo o grandes aberturas en muros.

**11.4 Bases del Diseño.** El diseño del sistema de ventilación de emergencia debe basarse en un escenario de incendio con definición de tasas de liberación de energía(HRR), tasas de liberación de humo, tasas de liberación de monóxido de carbono, todas variables en función del tiempo. La selección del escenario debe considerar los riesgos operacionales que son asociados con el tipo de vehículos esperados en el túnel. El escenario de incendio debe considerar una ubicación que demande las condiciones más exigentes para el sistema de ventilación, anticipadas por el análisis de ingeniería.

# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## ASET

Available Safe Egress Time

(Tiempo Disponible para la Evacuación)

Condiciones insostenibles debidas al Incendio

Simulación computacional de Incendios

## RSET

Required Safe Egress Time

(Tiempo Requerido para la Evacuación)

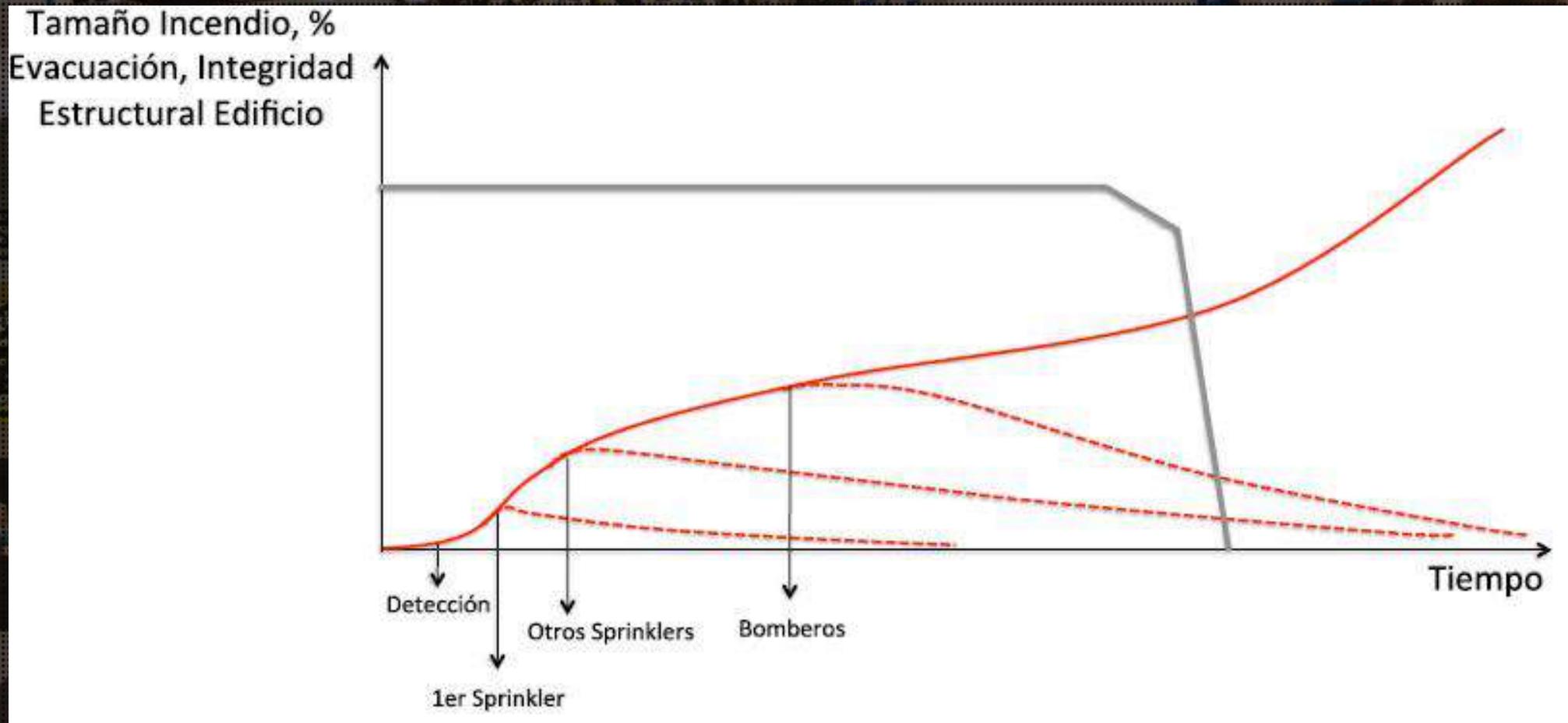
Tiempo evacuación de personas

Simulación computacional de evacuación de personas



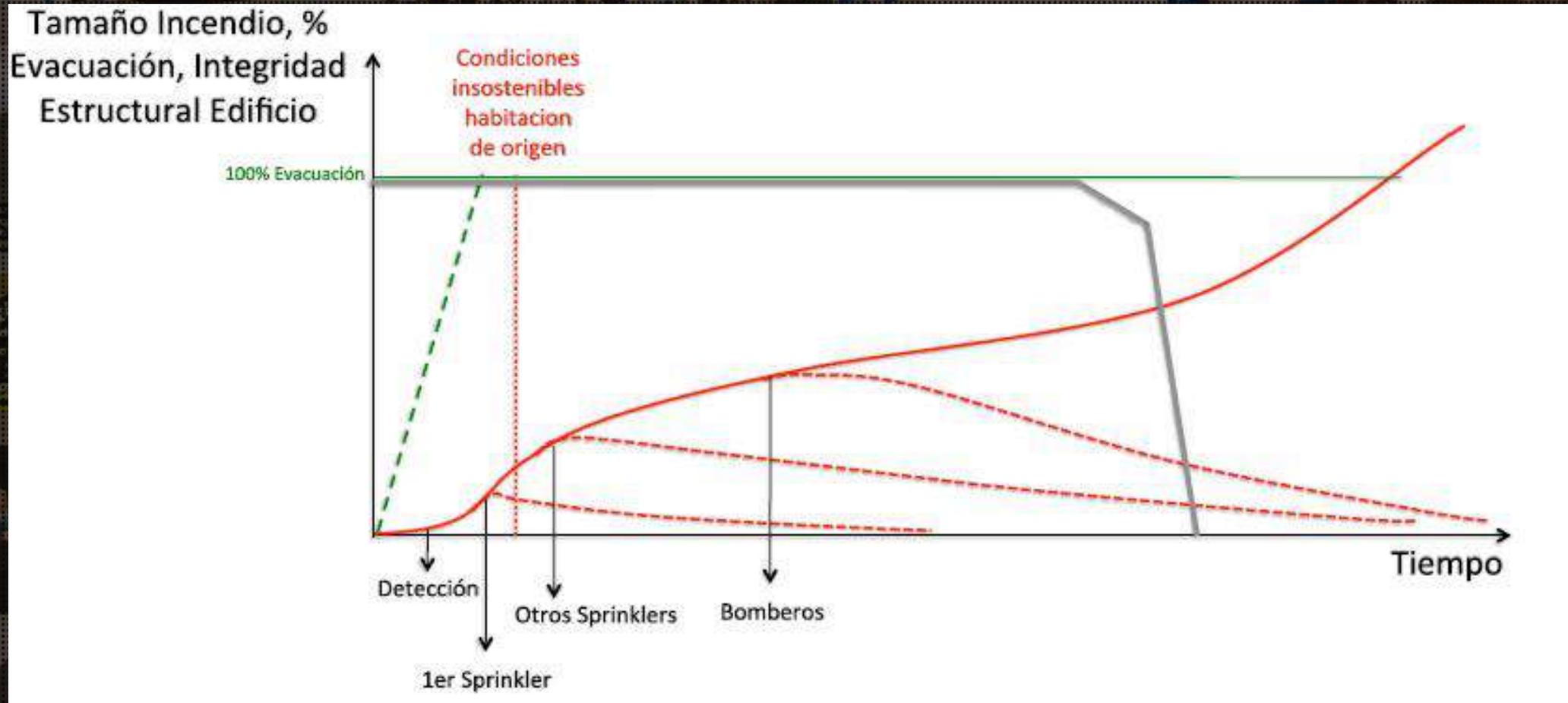
# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## ASET v/s RSET



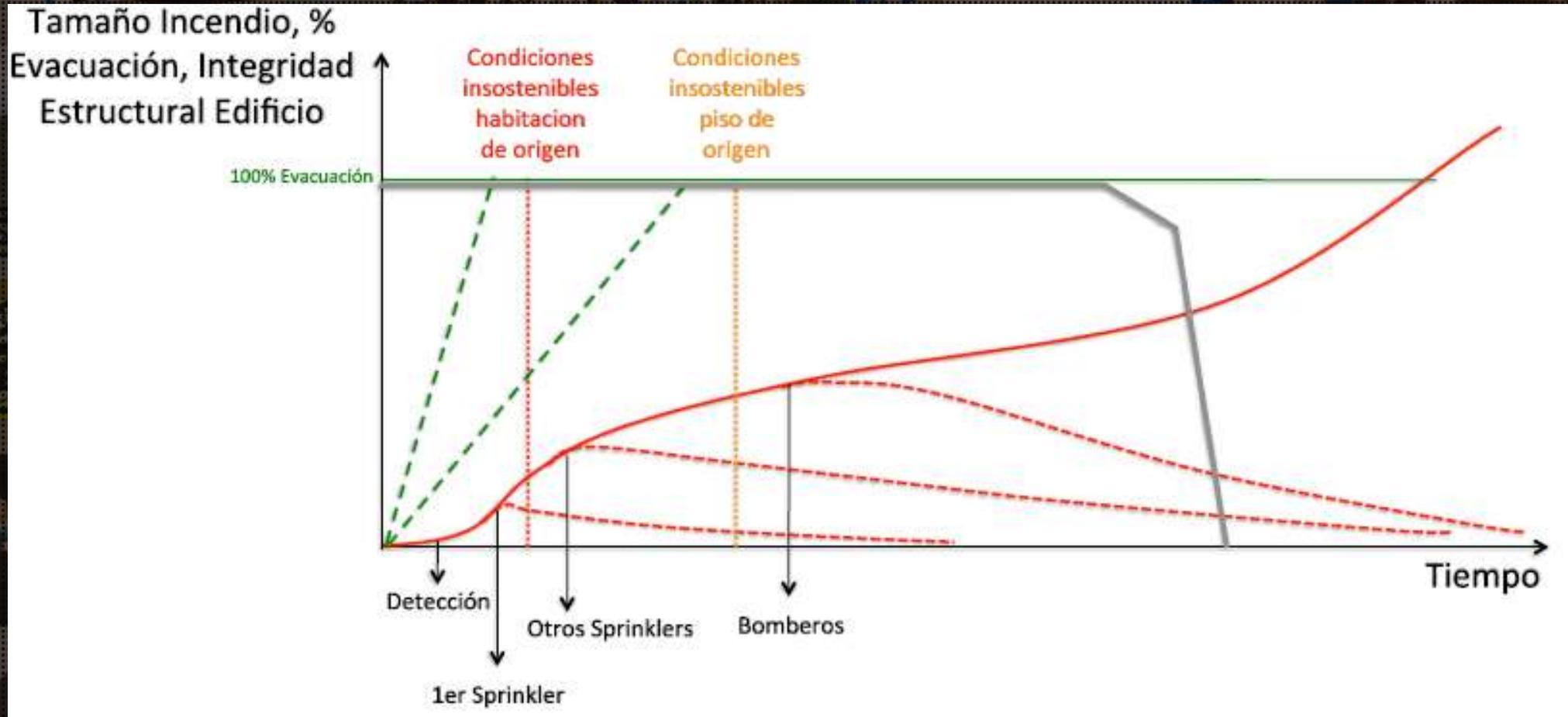
# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## ASET v/s RSET



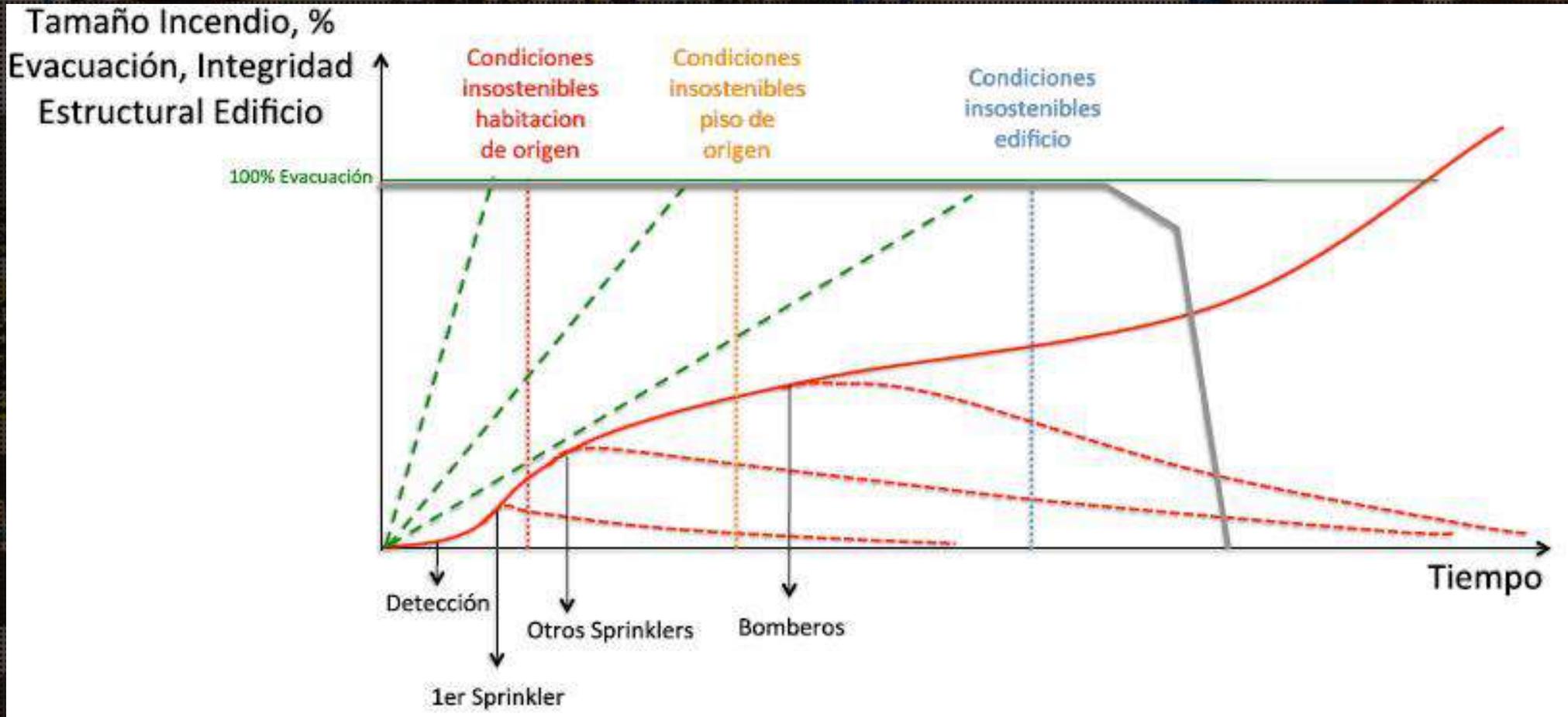
# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## ASET v/s RSET



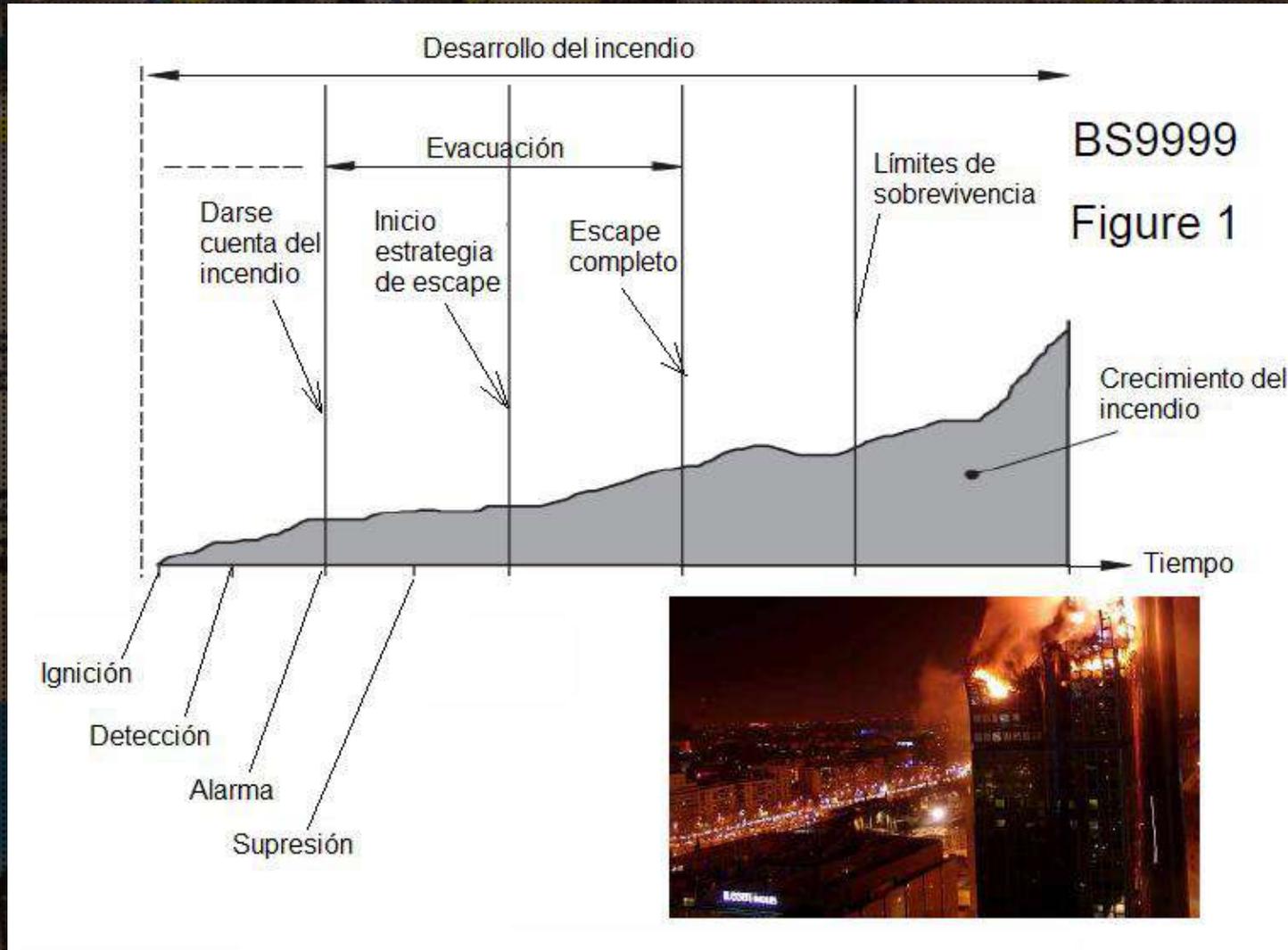
# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## ASET v/s RSET



# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## ASET v/s RSET



## ASET v/s RSET

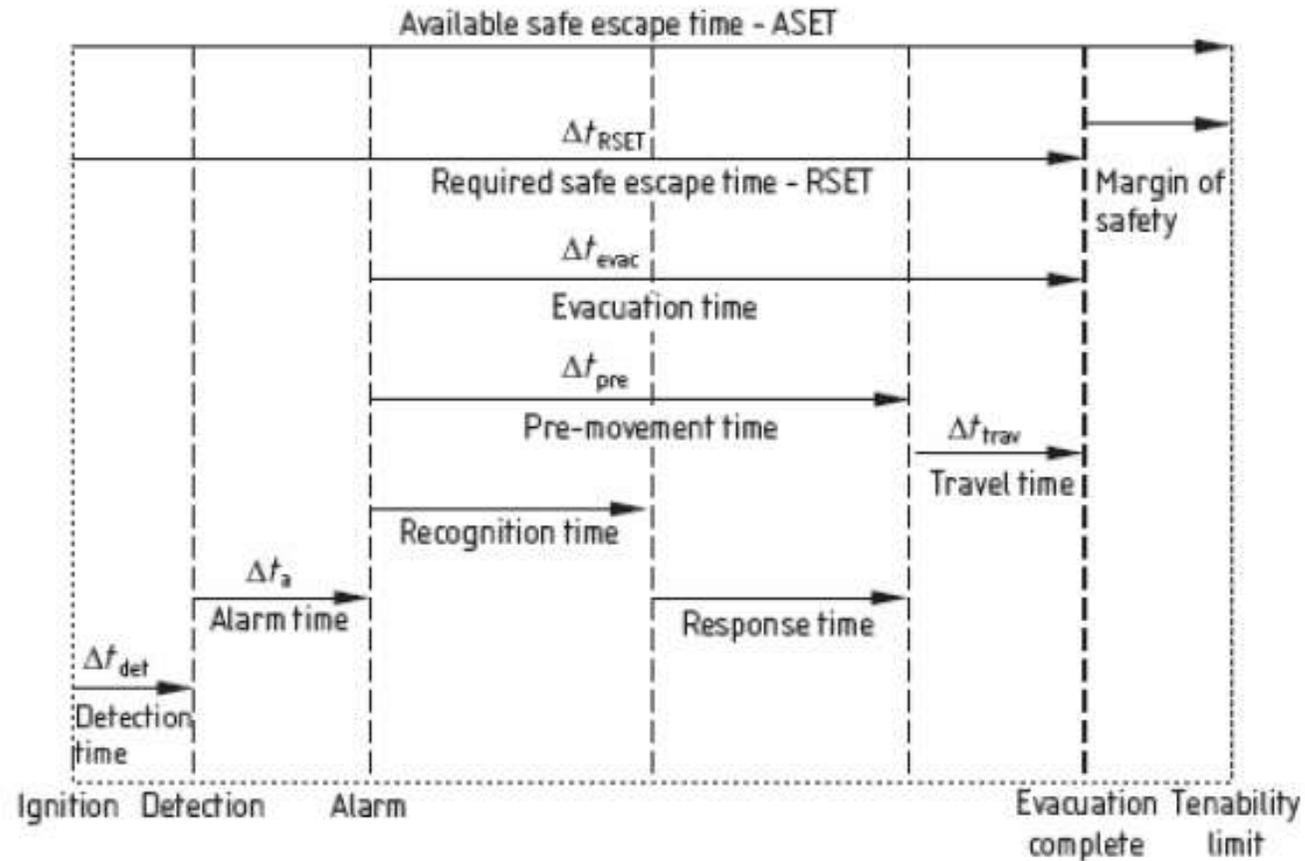
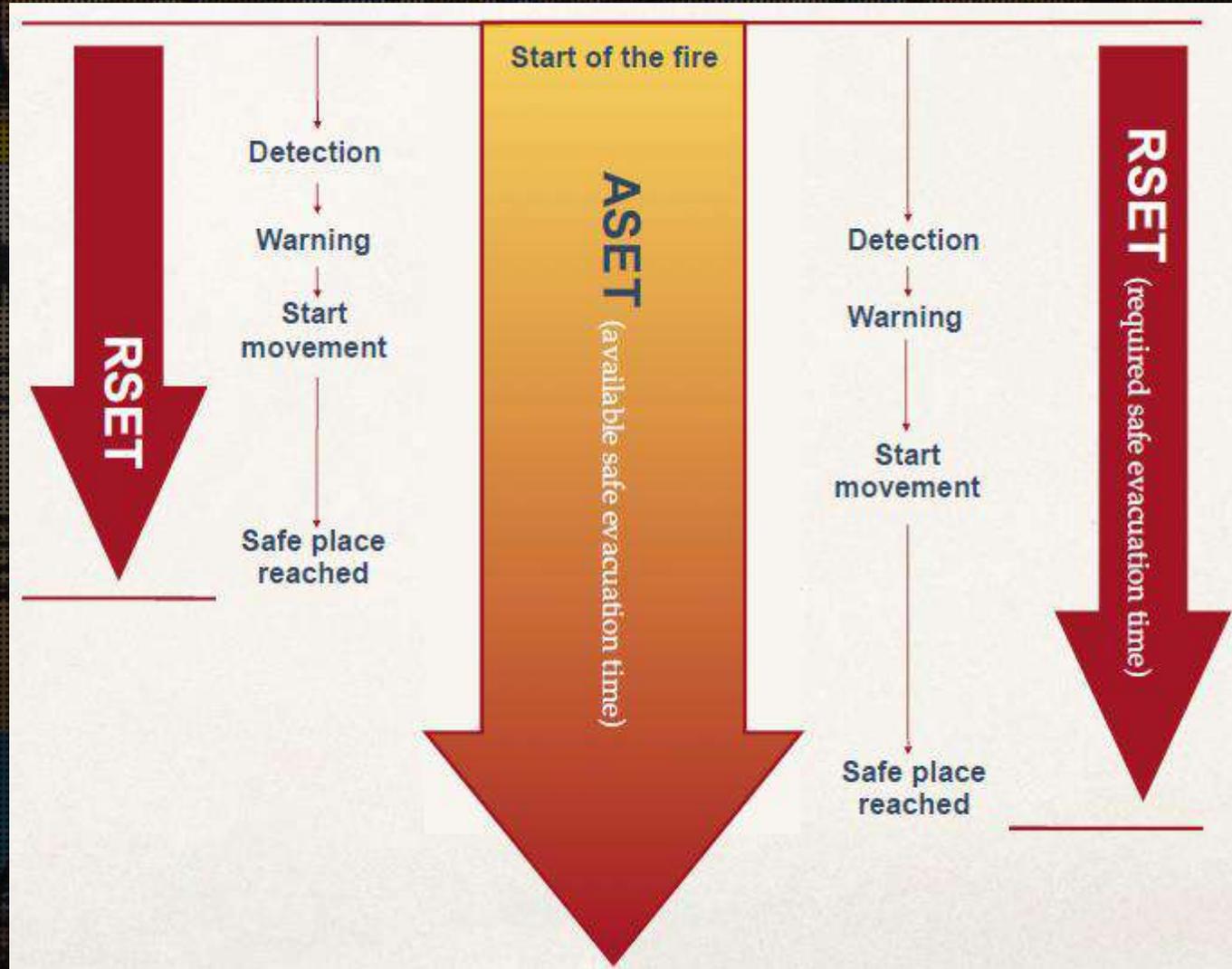


Figure 1 — Simplified schematic of processes involved in escape time compared to available safe escape time

# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## ASET v/s RSET



## 5.6\* Evaluation of Proposed Designs

Assessment methods are used to demonstrate that the proposed design will achieve the stated goals/objectives by providing information indicating that the performance criteria of **Section 5.2** can be adequately met. Assessment methods are permitted to be either tests or modeling.

### Pruebas

- Pruebas complementarias
- Pruebas estandarizadas
- Pruebas a escala
- Pruebas a escala real
- Start-up tests (puesta en marcha)
- Pruebas en vacío
- Pruebas de evacuación personas

### Modelamiento

- Modelos de Incendio
  - Formulación matemática
  - Modelo de zonas
  - CFD (Computational Fluids Dynamic)
- Modelos de Evacuación
  - Formulación matemática
  - Simulación computacional
- Modelos probabilísticos

### Criterios de desempeño

$ASET > RSET + \text{Safety Factor}$

- Visibilidad
- Toxicidad
- Temperatura / Flujos de Calor
- Salidas de evacuación
- Flujos de extracción de humos
- Velocidades críticas de humo
- Sistemas de detección
- Tiempos de evacuación
- Etc.

## 5.6 Evaluación de los diseños propuestos

Los métodos de Evaluación son usados para demostrar que el diseño propuesto cumplirá las metas y objetivos establecidos, brindando información sobre si los criterios de desempeño de la **sección 5.2** pueden ser cumplidos adecuadamente. Tanto **pruebas** como **modelamiento** son métodos de evaluación permitidos.

### Pruebas

- Pruebas complementarias
- Pruebas estandarizadas
- Pruebas a escala
- Pruebas a escala real
- Start-up tests (puesta en marcha)
- Pruebas en vacío
- Pruebas de evacuación personas

### Modelamiento

- Modelos de Incendio
  - Formulación matemática
  - Modelo de zonas
  - CFD (Computational Fluids Dynamic)
- Modelos de Evacuación
  - Formulación matemática
  - Simulación computacional
- Modelos probabilísticos

### Criterios de desempeño

$ASET > RSET + \text{Safety Factor}$

- Visibilidad
- Toxicidad
- Temperatura / Flujos de Calor
- Salidas de evacuación
- Flujos de extracción de humos
- Velocidades críticas de humo
- Sistemas de detección
- Tiempos de evacuación
- Etc.

# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## Verificación y validación de modelos

*Verification and validation. Models should undergo verification and validation to ensure that they are appropriate for their intended use. “Verification” is a check of the math used in the models. “Validation” is a check of the physics used in the model. The SFPE Guidelines for Substantiating a Fire Model for a Given Application provides a process for verifying and validating models.*

### Verificación

- Chequear la matemática del modelo, resultados matemáticamente representativos.



### Validación

- Chequear la física del modelo, resultados físicamente representativos.



Models have limitations. Most are not user friendly, and experienced users are able to construct more reasonable models and better interpret output than are novices. For these reasons, the third-party review and equivalency provisions of 5.1.4 and 5.3.3 are provided. The intent is not to discourage the use of models, only to indicate that they should be used with caution by those who are well versed in their nuances.

# Evaluación Diseño Basado en Desempeño

## Verificación y validación de modelos

**Verificación y Validación.** Los modelos deben verificarse y validarse para asegurar que ellos son apropiados para el uso que se les está dando. La "verificación" es el chequeo de la matemática usada en los modelos. La "validación" es el chequeo de la física usada en el modelo. La guía "SFPE Guidelines for Substantiating a Fire Model for a Given Application" entrega un proceso para verificar y validar modelos.

### Verificación

- Chequear la matemática del modelo, resultados matemáticamente representativos.



### Validación

- Chequear la física del modelo, resultados físicamente representativos.

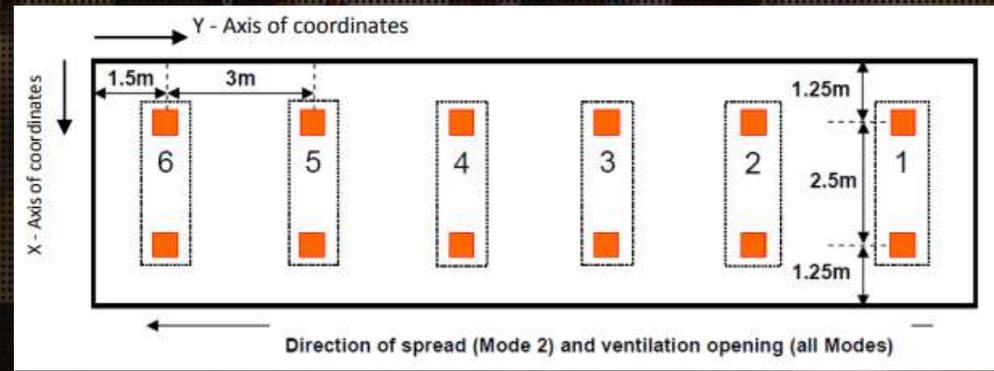
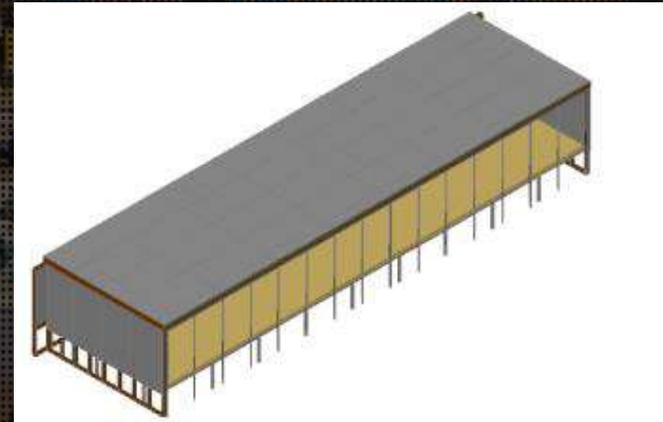
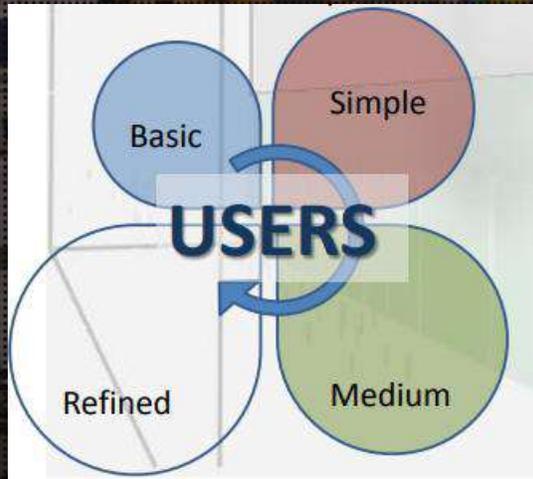


Los modelos tienen limitaciones. La mayoría no son fáciles de utilizar para el usuario, y los usuarios más experimentados son capaces de construir modelos más razonables y de mejor interpretación que los novatos. Por estas razones, se proveen las disposiciones de equivalencia de **5.1.4** y **5.3.3** y la revisión de tercera parte. No se trata de desincentivar el uso de modelos, sino de indicar que ellos se deben utilizar con precaución por aquellos que estén familiarizados con sus matices

# NFPA 101 5.3 – Requisitos prescriptivos retenidos

- **Cambios de pendiente en los medios de egreso.** NFPA 101 7.1.7
- **Protecciones de escaleras (Guards).** NFPA 101 7.1.8
- **Características de las Puertas.** NFPA 101 7.2.1
- **Características de Escaleras.** NFPA 101 7.2.2, excluyendo 7.2.2.5.1 (Encerramientos), 7.2.2.5.2 (exposición frente al fuego), 7.2.2.6.2 (protección visual de escaleras exteriores), 7.2.2.6.3 (separación y protección de escaleras exteriores), y 7.2.2.6.4 (Protección de las aberturas que constituyen las escaleras)
- **Características de Rampas.** NFPA 101 7.2.5, excluyendo 7.2.5.4.1 (construcción), 7.2.5.5 (protecciones y pasamanos), 7.2.5.7.1 (protección visual de rampas exteriores)
- **Escalas de escape de incendios.** NFPA 101 7.5.2
- **Aparatos alternativos.** NFPA 101 7.2.11
- **Sobre la capacidad de las vías de evacuación:**
  - **Cargas de ocupación.** NFPA 101 7.3.1.
  - **Cómo se miden las vías de evacuación.** NFPA 101 7.3.2.
  - Se excluye la capacidad de los egresos. NFPA 101 7.3.3
  - Se excluyen los requerimientos de anchos mínimos. NFPA 101 7.3.4
- **Impedimentos para escapar.** NFPA 101 7.5.2
- **Iluminación de vías de evacuación.** NFPA 101 7.8
- **Iluminación de emergencia.** NFPA 101 7.9
- **Señalización de las vías de evacuación.** NFPA 101 7.10

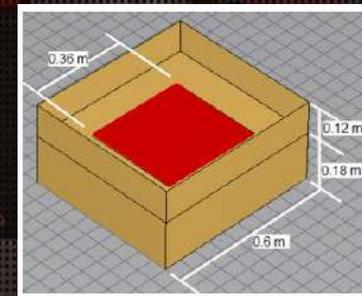
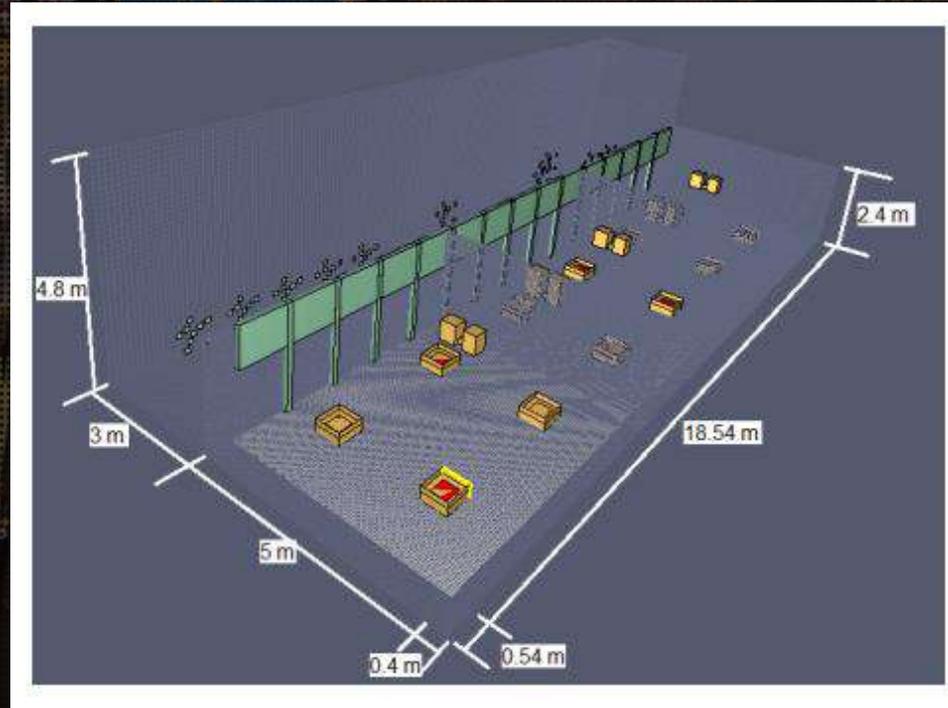
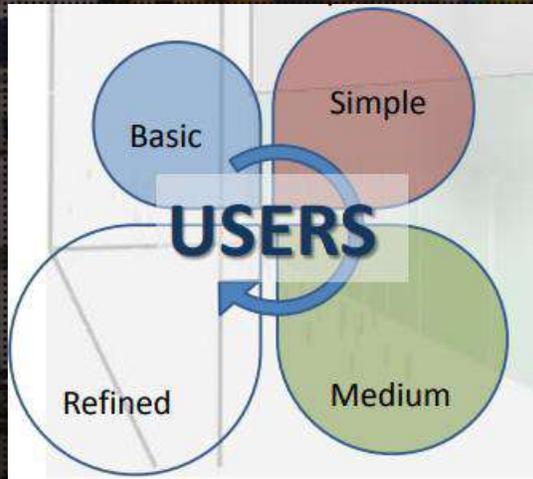
# Incertidumbre Modelamiento CFD (Thesis MSc)



## Escenarios de Incendios

Ventilación	Quemadores
1 Buena Ventilación	Total
2 Baja Ventilación	Modo propagación
3 Ventilación Variable	Modo "travelling"

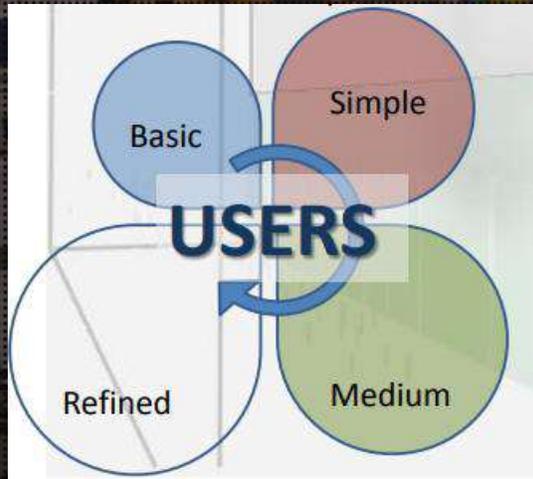
# Incertidumbre Modelamiento CFD (Thesis MSc)



## Escenarios de Incendios

Ventilación	Quemadores
1 Buena Ventilación	Total
2 Baja Ventilación	Modo propagación
3 Ventilación Variable	Modo "travelling"

# Incertidumbre Modelamiento CFD (Thesis MSc)



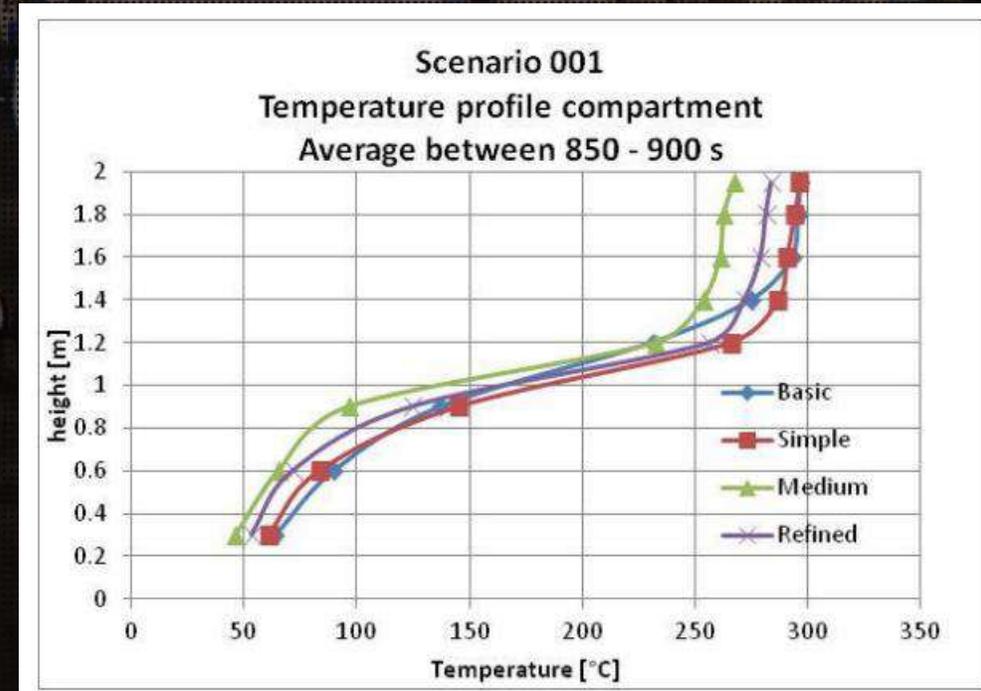
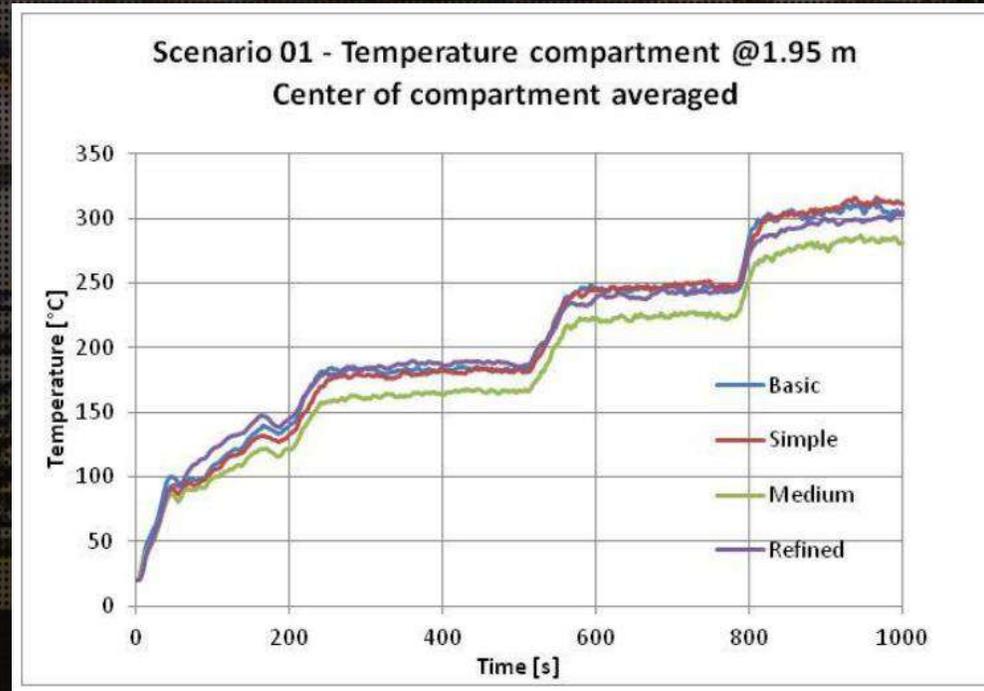
**Table 6-1 Running times, averaged values**

Type of running	Time [h]	[Core x hour]
Refined, 4 cores, 4 Gb RAM x core	250	1000
Refined, 16 cores, 4 Gb RAM x core	53	848
Medium, 4 cores, 4 Gb RAM x core	32	128
Medium, 4 cores, 8Gb RAM x core	14	56
Simple, 4 cores, 4 Gb RAM x core	10	40
Simple, 4 cores, 8Gb RAM x core	5	20
Basic, 4 core, 4 Gb RAM x core	10	40
Basic, 4 cores, 8Gb RAM x core	3	12

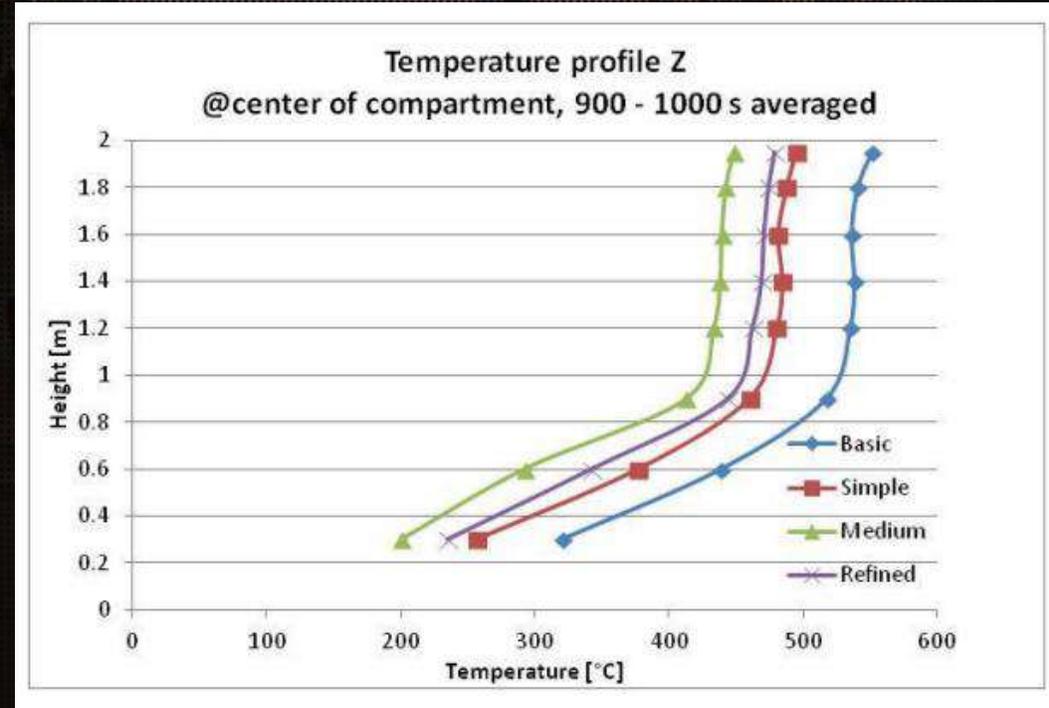
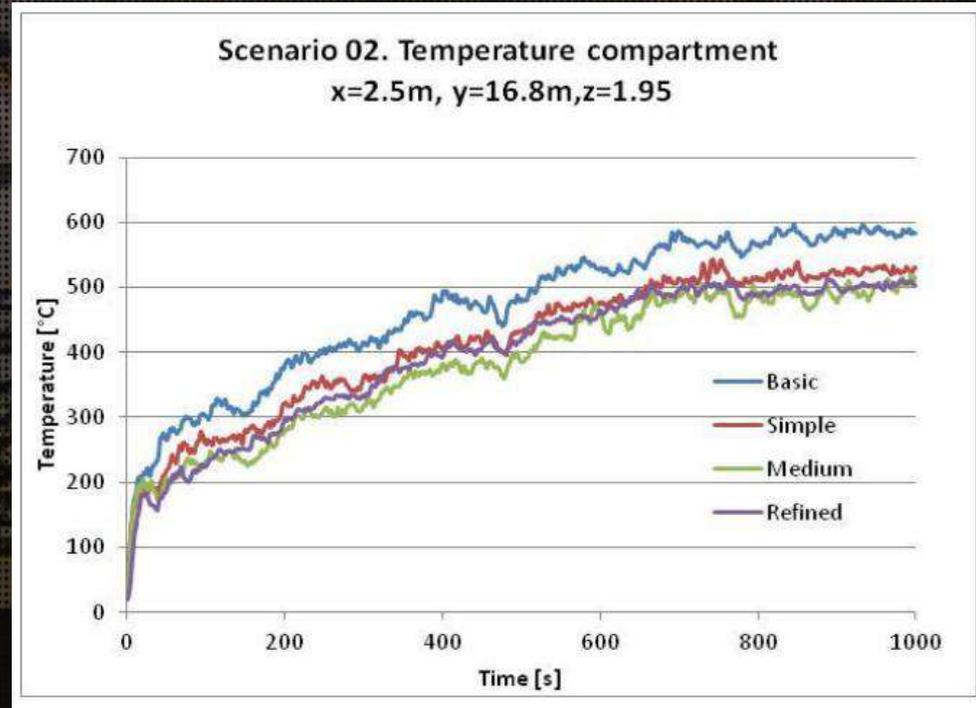
**Escenarios de Incendios**

	Ventilación	Quemadores
1	Buena Ventilación	Total
2	Baja Ventilación	Modo propagación
3	Ventilación Variable	Modo "travelling"

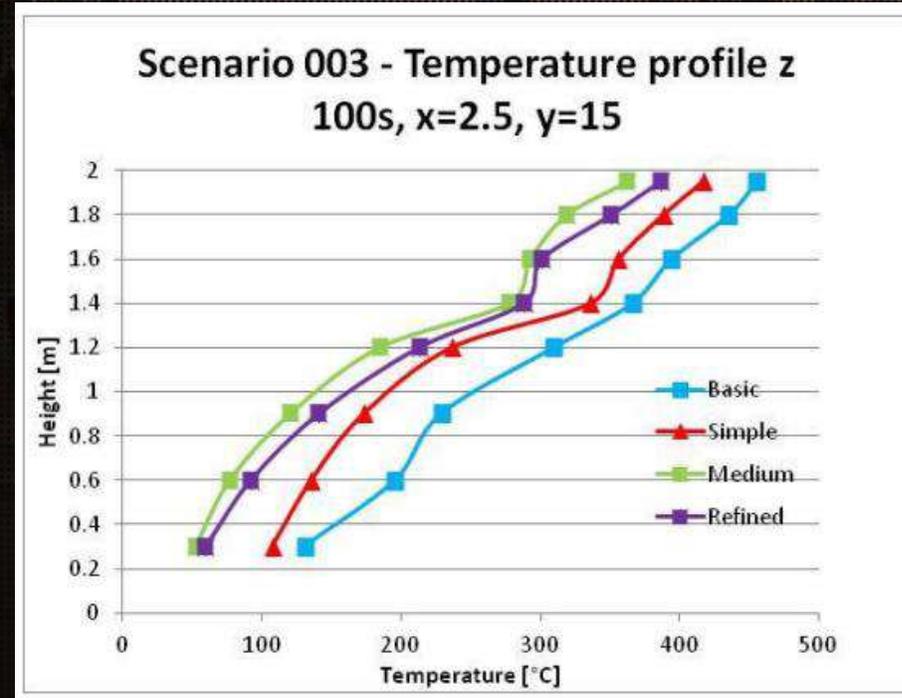
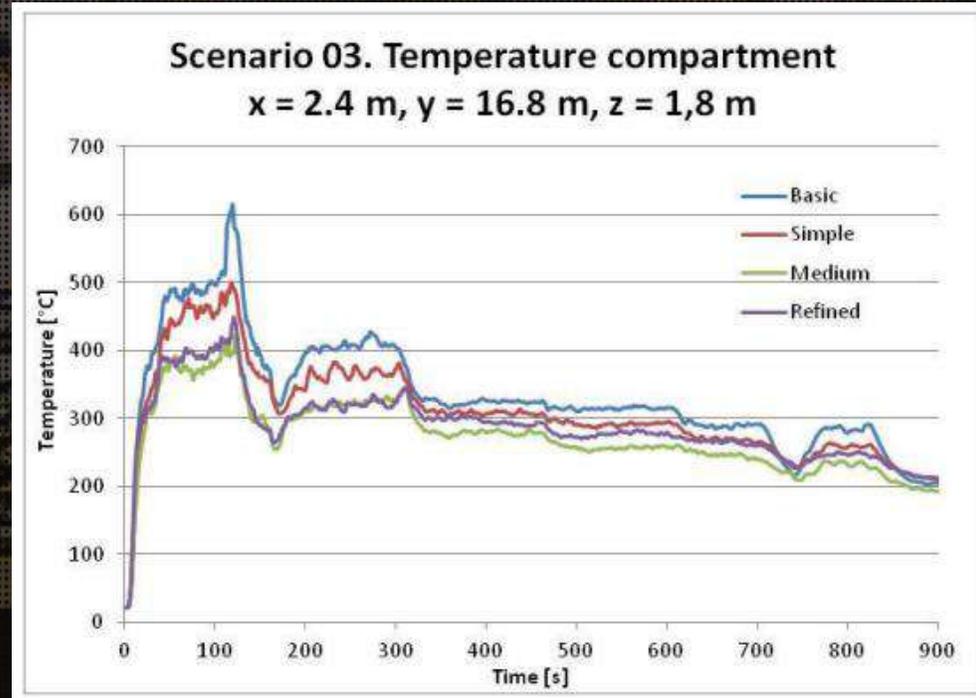
# Incertidumbre Modelamiento CFD (Thesis MSc)



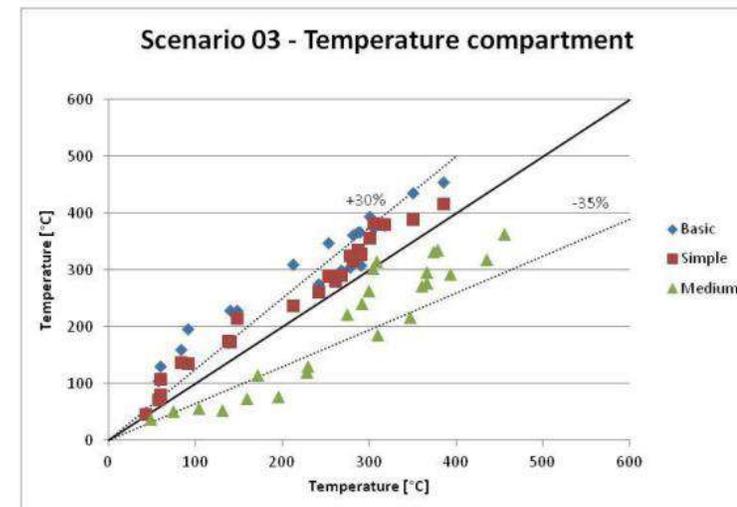
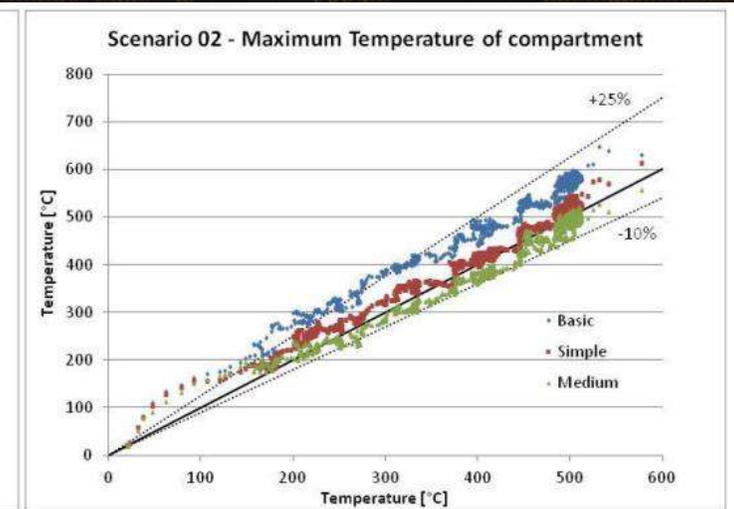
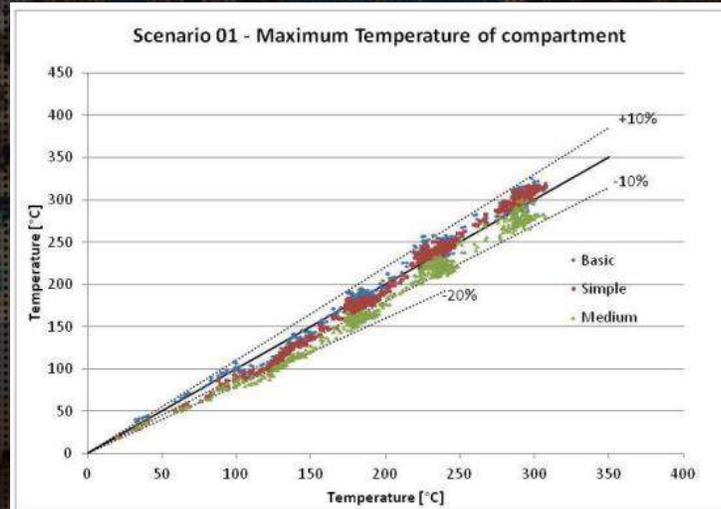
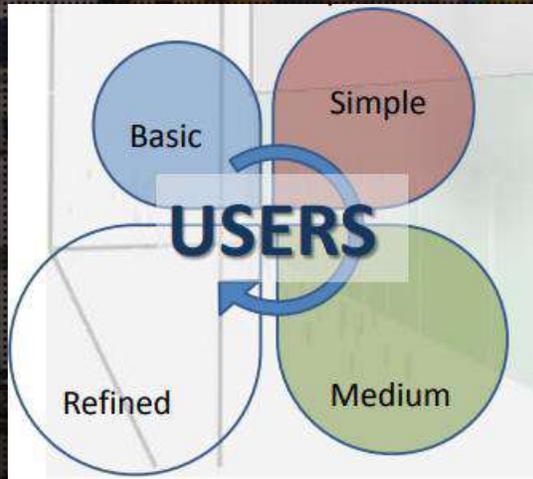
# Incertidumbre Modelamiento CFD (Thesis MSc)



# Incertidumbre Modelamiento CFD (Thesis MSc)



# Incertidumbre Modelamiento CFD (Thesis MSc)



Escenarios de Incendios	
Ventilación	Quemadores
1 Buena Ventilación	Total
2 Baja Ventilación	Modo propagación
3 Ventilación Variable	Modo "travelling"

# Incertidumbre Modelamiento CFD (Thesis MSc)

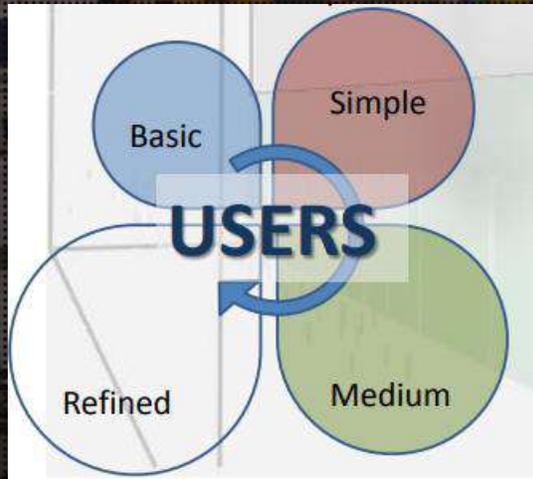


Table 6-3 Uncertainty by user, proposed values

Variable of interest	Well-ventilated	Under-ventilated	Variable ventilation and travelling fires
Temperature of compartment [°C]	10	20	35
Heat flux over Ceiling&Floor [kW/m <sup>2</sup> ]	20	40	45
Heat flux over Walls [kW/m <sup>2</sup> ]	15	40	
Positive velocity at openings [m/s]	50		95
Negative velocity at openings [m/s]	40	55	
Obscuration [%/m]	30		
CO <sub>2</sub> mass fraction [g/g]	10	25	
CO mass fraction [g/g]	10	15	
O <sub>2</sub> mass fraction [g/g] (Initial - measured)	10	25	

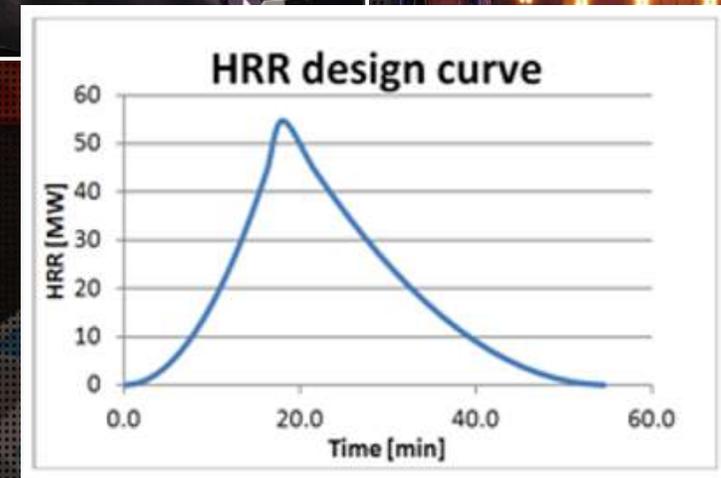
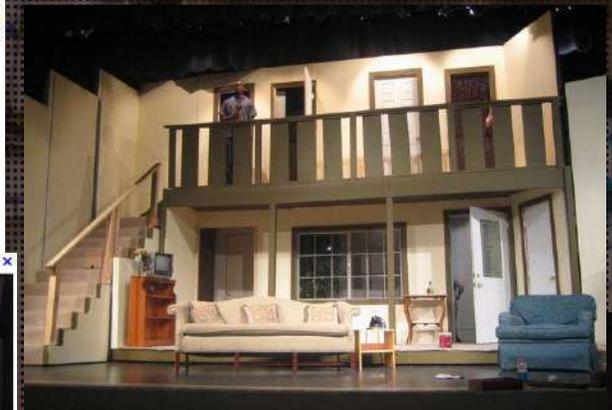
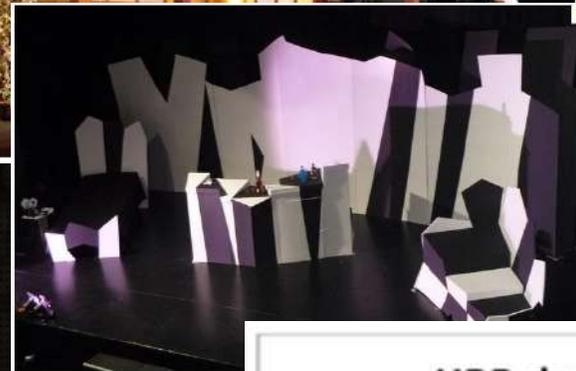
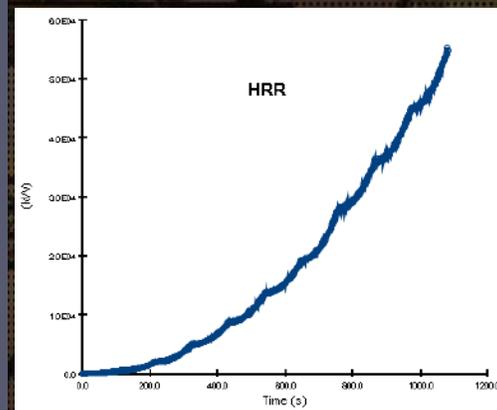
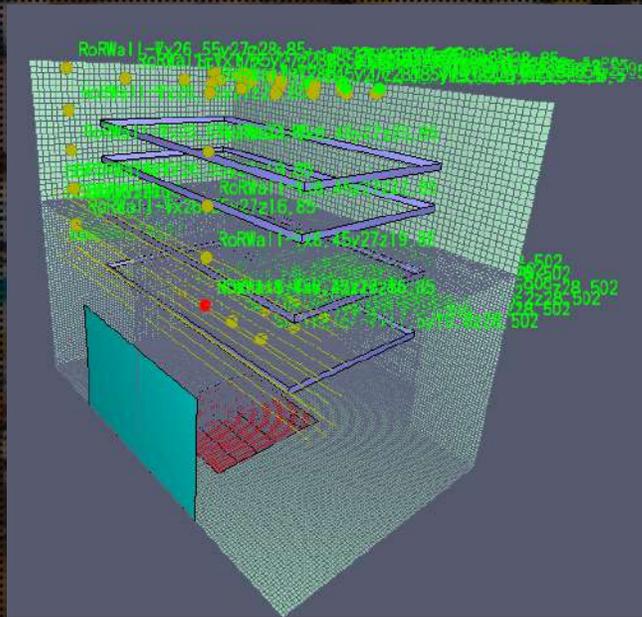
## Escenarios de Incendios

	Ventilación	Quemadores
1	Buena Ventilación	Total
2	Baja Ventilación	Modo propagación
3	Ventilación Variable	Modo "travelling"

# Ejemplo Evaluación Diseño – ASET v/s RSET

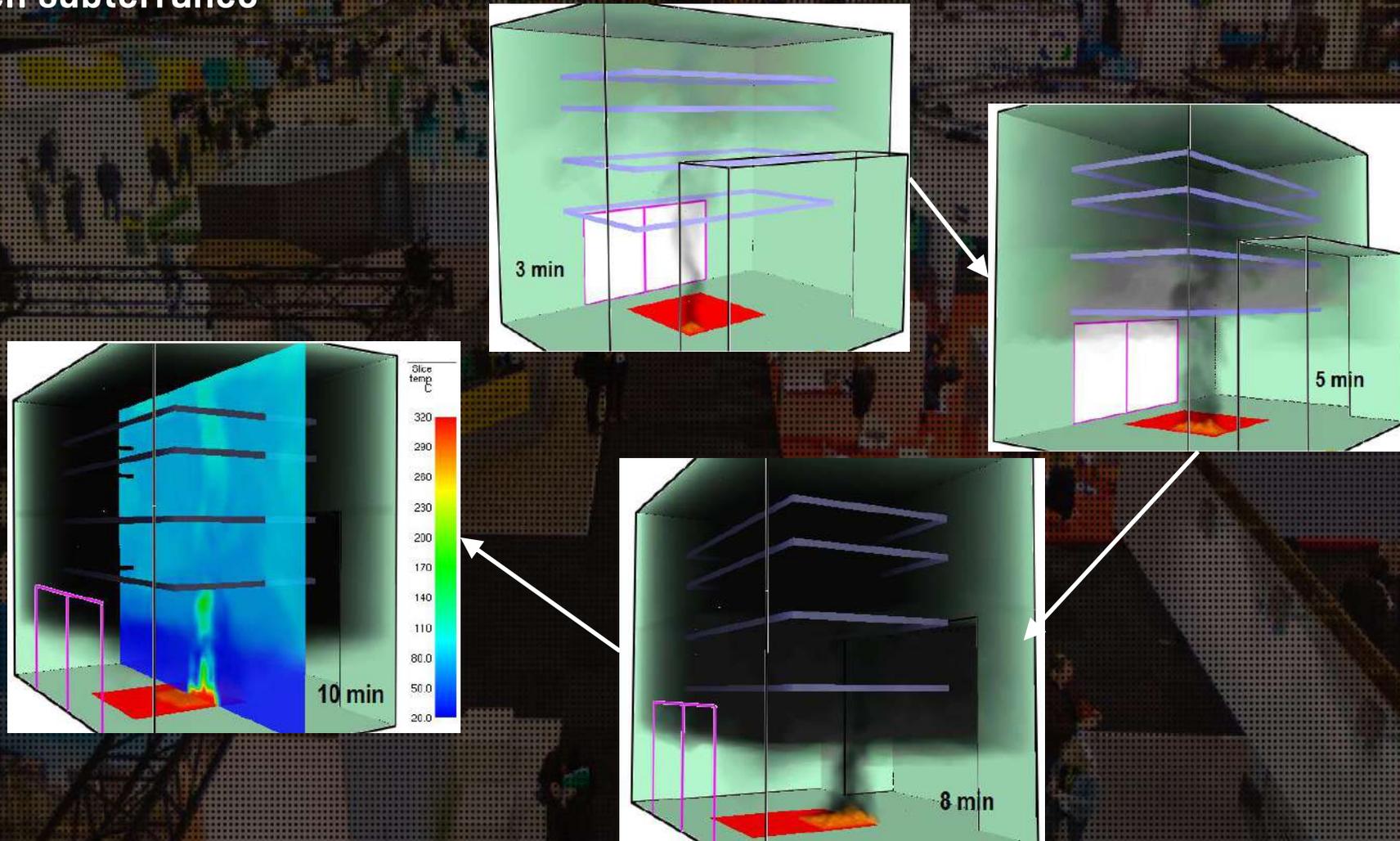
## Incendio de Diseño

Teatro ubicado en subterráneo



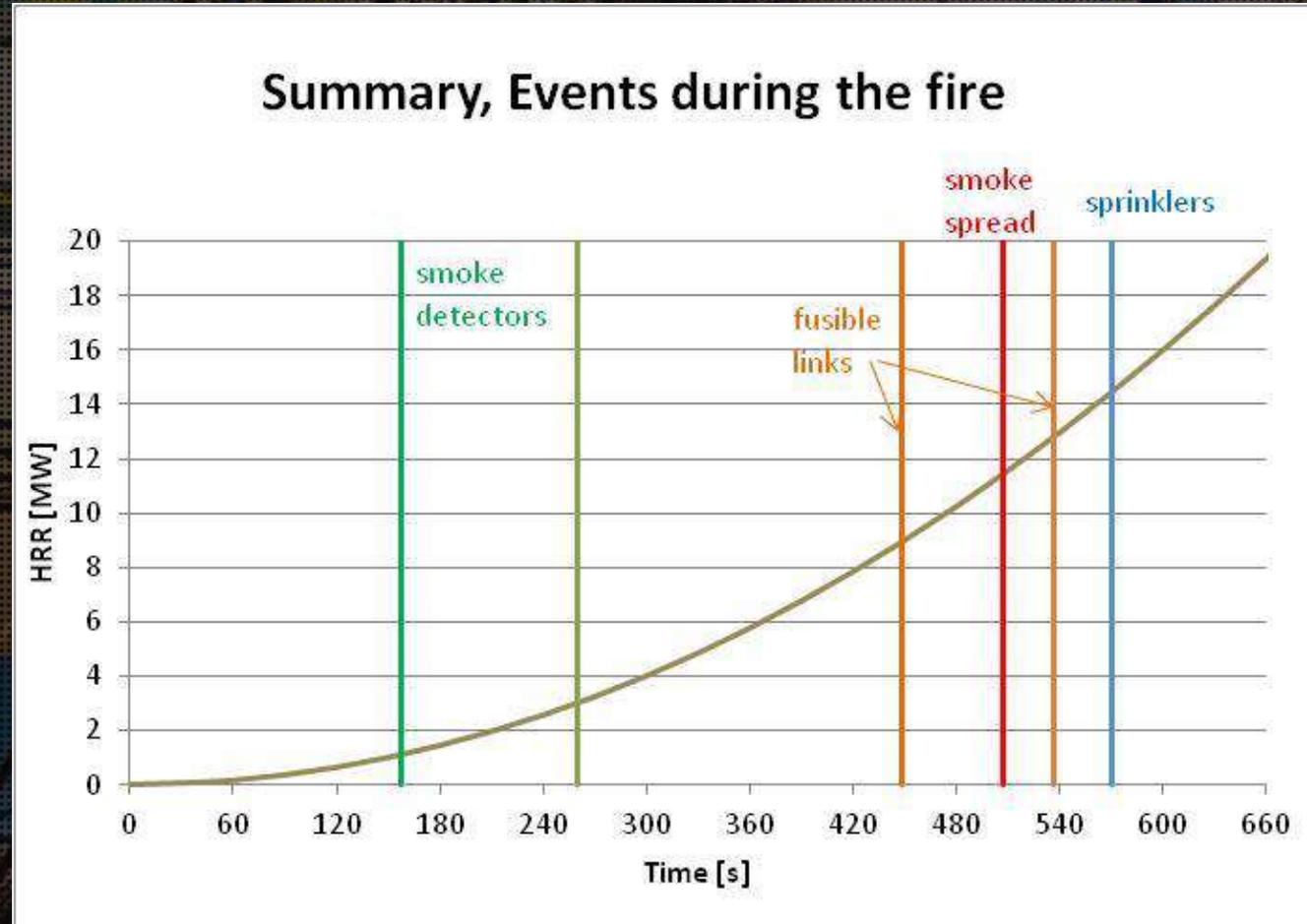
# Ejemplo Evaluación Diseño – ASET v/s RSET

Teatro ubicado en subterráneo



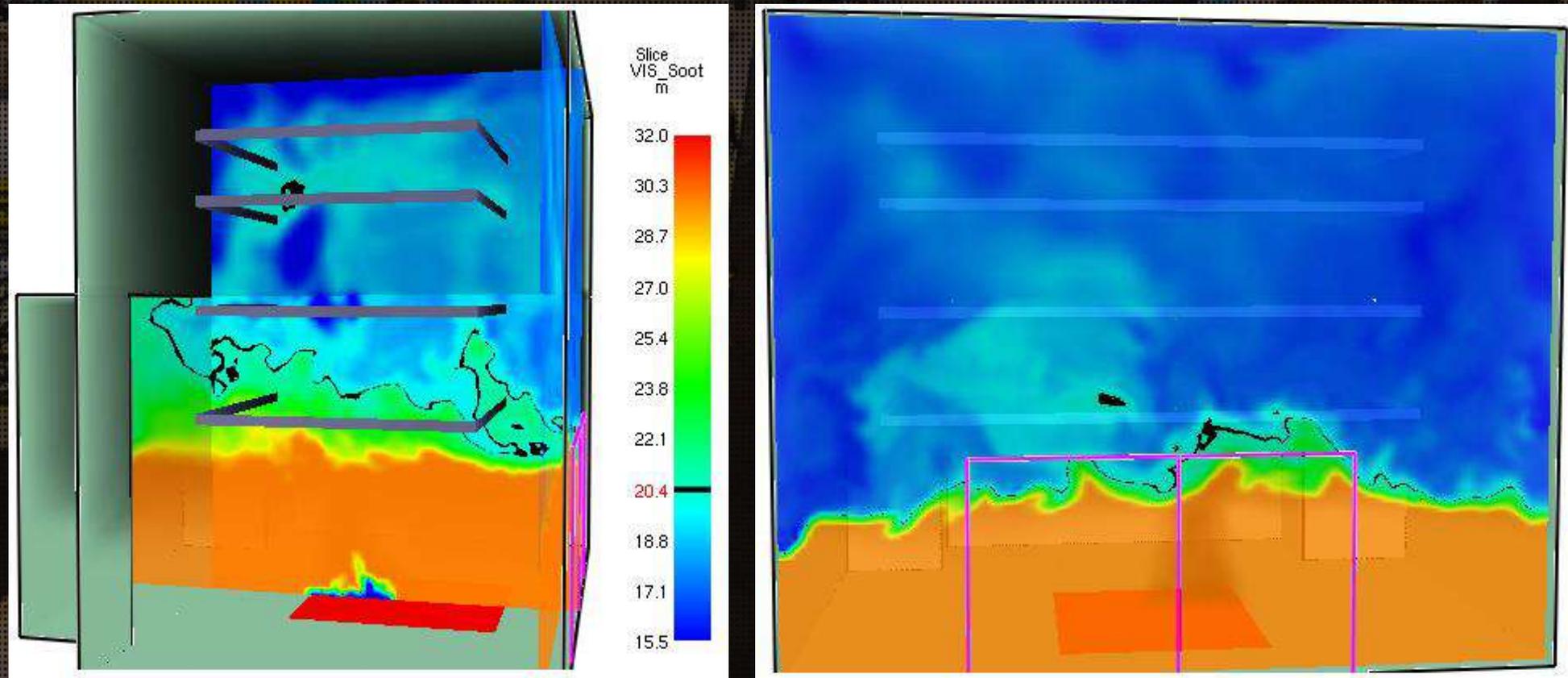
# Ejemplo Evaluación Diseño – ASET v/s RSET

Teatro ubicado en subterráneo



# Ejemplo Evaluación Diseño – ASET v/s RSET

Teatro ubicado en subterráneo



A los 520 s comienza ingreso humo al auditorio

# Ejemplo Evaluación Diseño – ASET v/s RSET

Teatro ubicado en subterráneo

Tiempo para condiciones insostenibles

- 1080 s para pers. en escenario
- 450 s para pers. en parillas técnicas

$$\begin{aligned}
 t_{ASET} &= t_{RSET} + t_{margen} \\
 1080 \text{ s} &= t_{RSET} + t_{margen} \\
 1080 \text{ s} &= t_{det} + t_{alarm} + t_{evac} + t_{margen} \\
 1080 \text{ s} &= 250 \text{ s} + t_{alarm} + t_{pre-mov} + t_{travel} + t_{margen} \\
 1080 \text{ s} &= 250 \text{ s} + t_{alarm} + t_{reconocimiento} + t_{resp} + t_{travel} + t_{margen} \\
 1080 \text{ s} &= 250 \text{ s} + 300 \text{ s} + 120 \text{ s} + t_{travel} + t_{margen} \\
 1080 \text{ s} &= 250 \text{ s} + 300 \text{ s} + 120 \text{ s} + 306 \text{ s} + t_{margen} \\
 1080 \text{ s} &= 250 \text{ s} + 300 \text{ s} + 120 \text{ s} + 306 \text{ s} + 104 \text{ s}
 \end{aligned}$$

# Ejemplo Evaluación Diseño - ASET v/s RSET en Túnel

## Caso Túnel Carretero Bidireccional

### Opción 1



Figura 7 Esquema: Ventilación longitudinal apagada, durante evacuación en caso de incendio



Figura 8 Esquema: Ventilación longitudinal utilizada post-evacuación, labores de ataque del incendio

### Opción 2



Figura 9 Esquema: Ventilación mixta con jet-fans, ventiladores extracción y celosías de extracción. Incendio

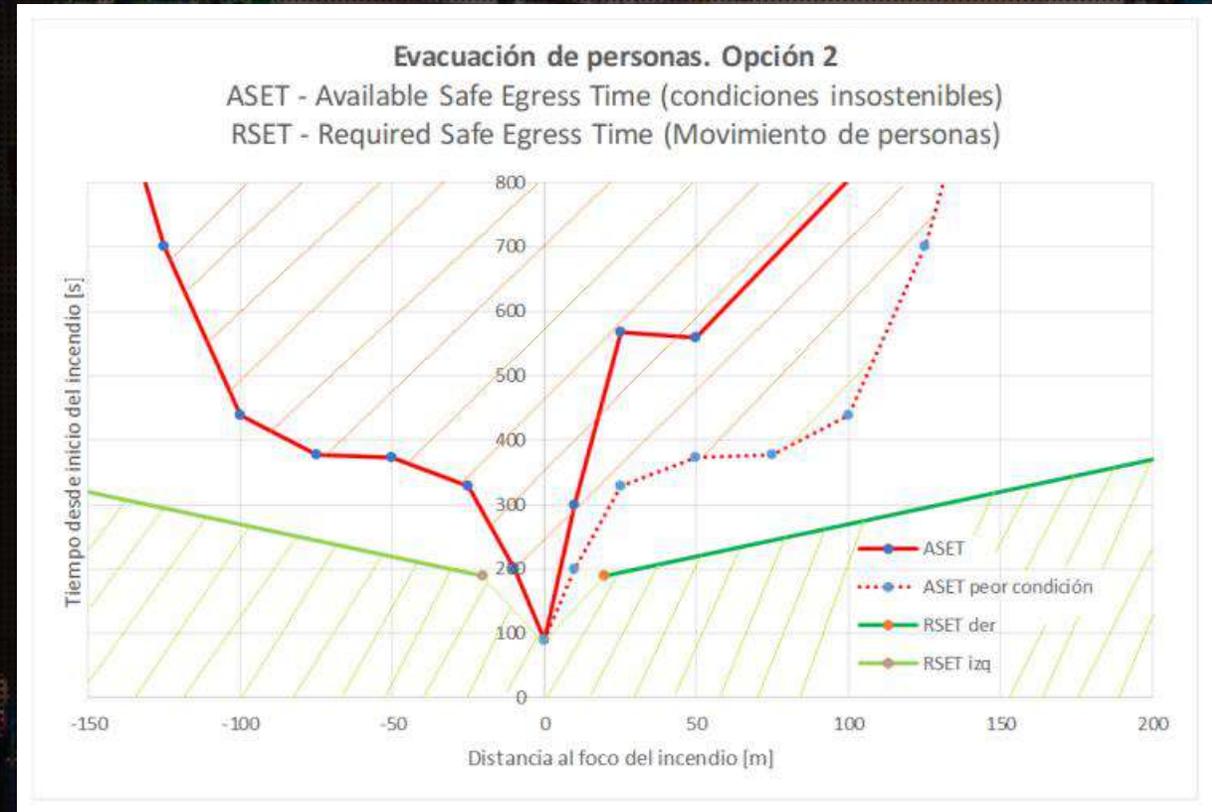
# Ejemplo Evaluación Diseño - ASET v/s RSET en Túnel

## Caso Túnel Carretero Bidireccional

### Opción 1



### Opción 2



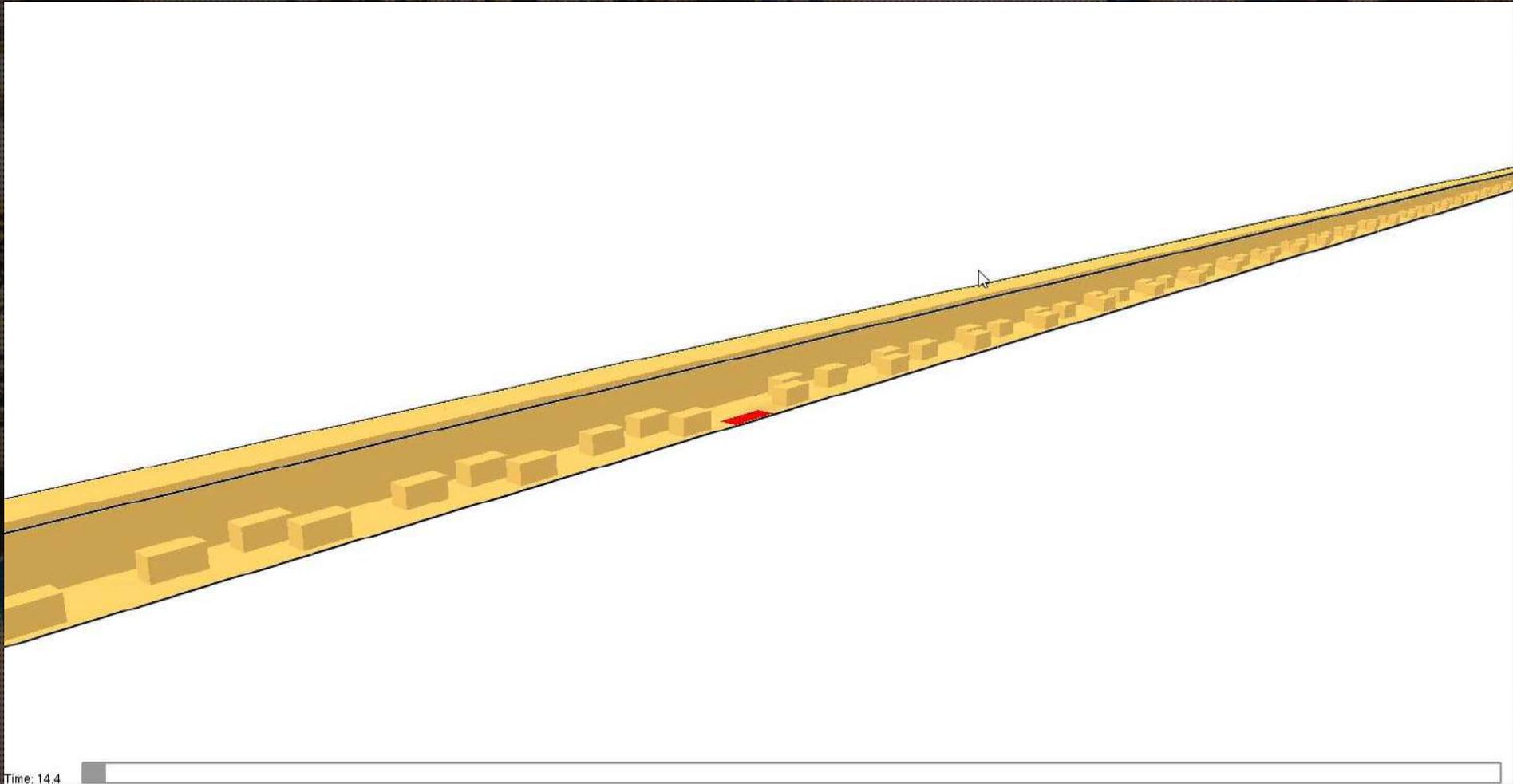
# Modelamiento - fenomenología

## Backlayering



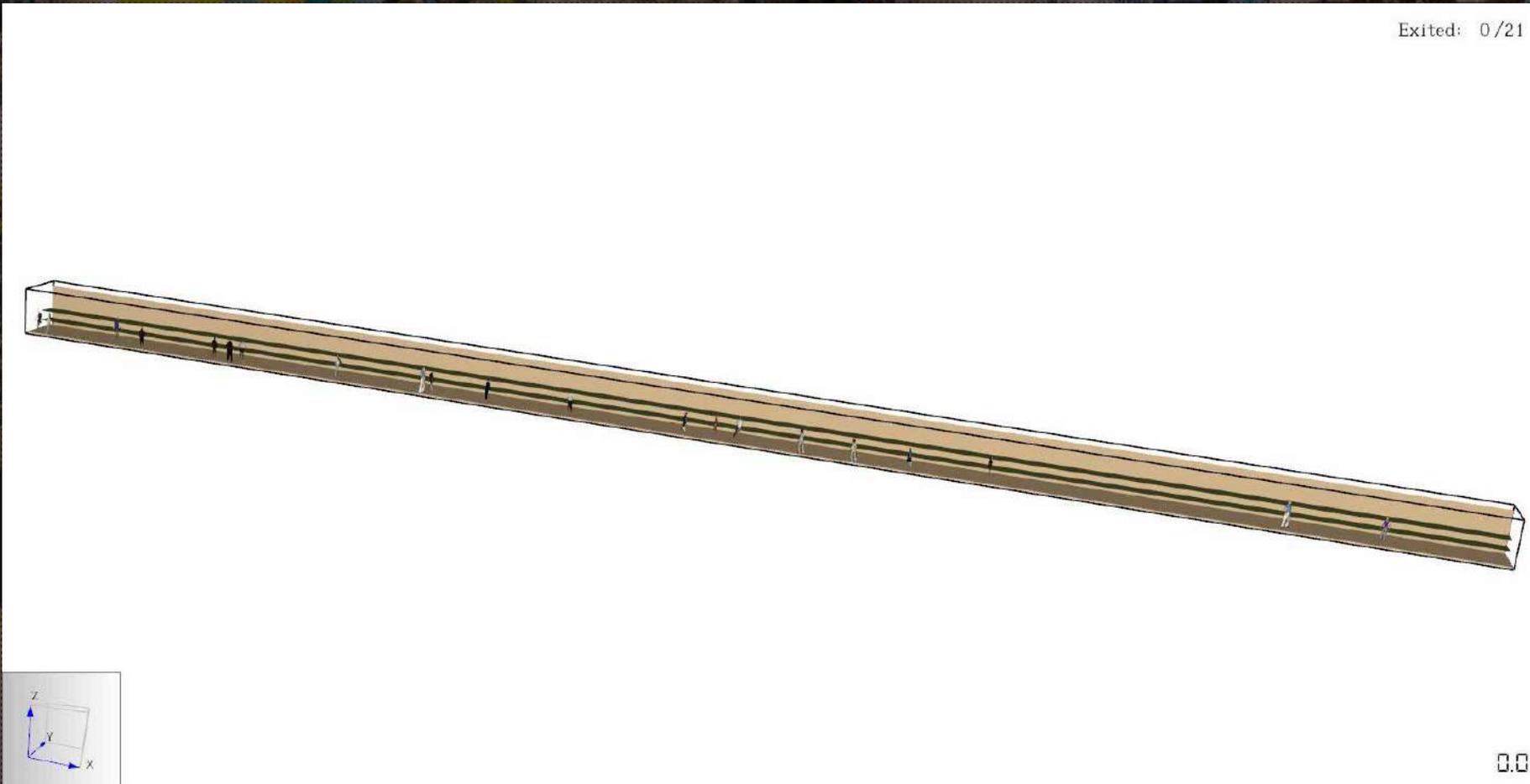
# Modelamiento - fenomenología

## Actuación de Ventiladores - Estratificación/Desestratificación



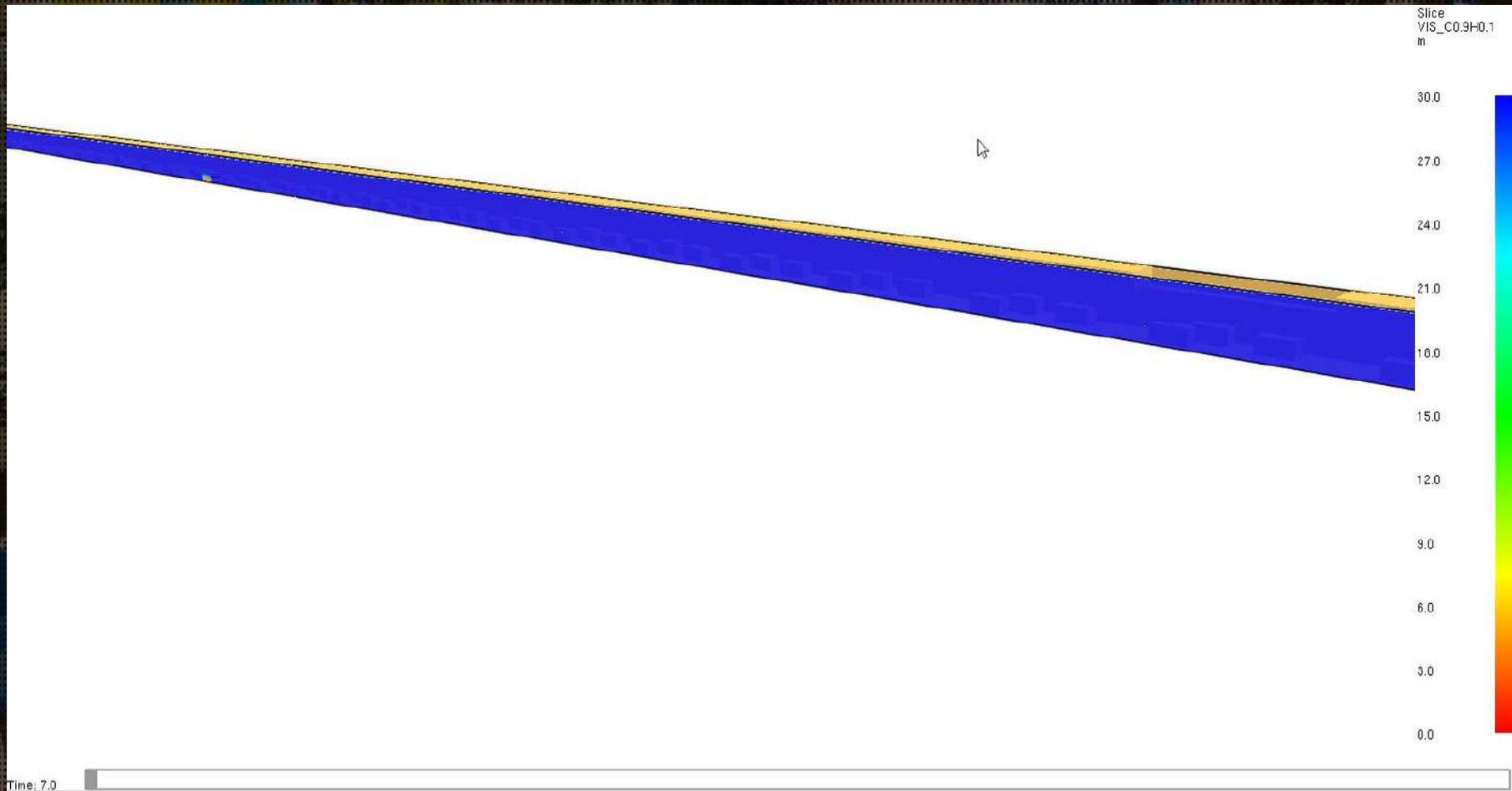
# Modelamiento - fenomenología

## Fuego/humo & Evacuación de personas



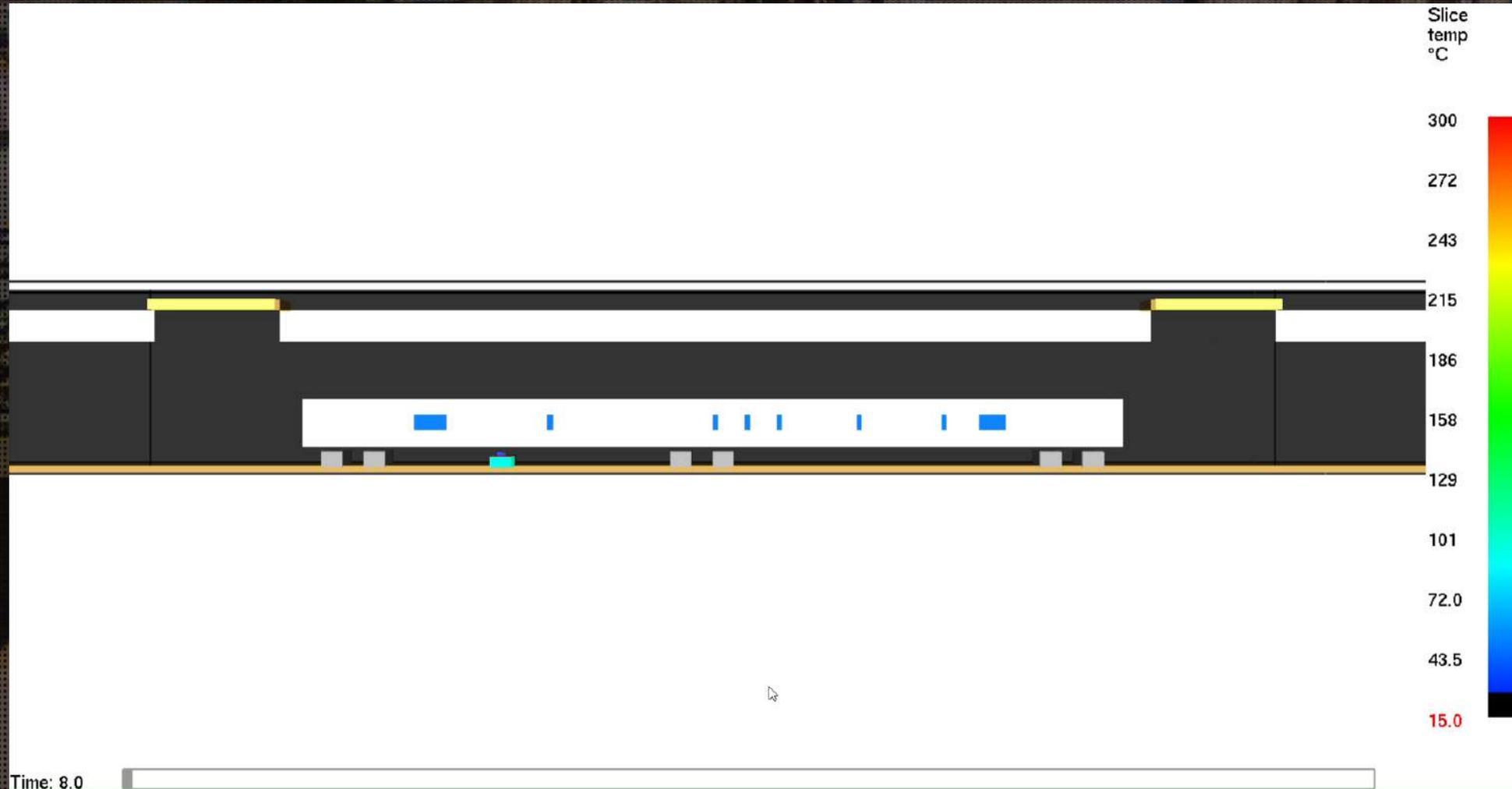
# Modelamiento - fenomenología

## Extracción Humo



# Modelamiento - fenomenología

## Extracción Humo - PlugHoling



# Modelamiento - fenomenología

## Extracción Humo - PlugHoling

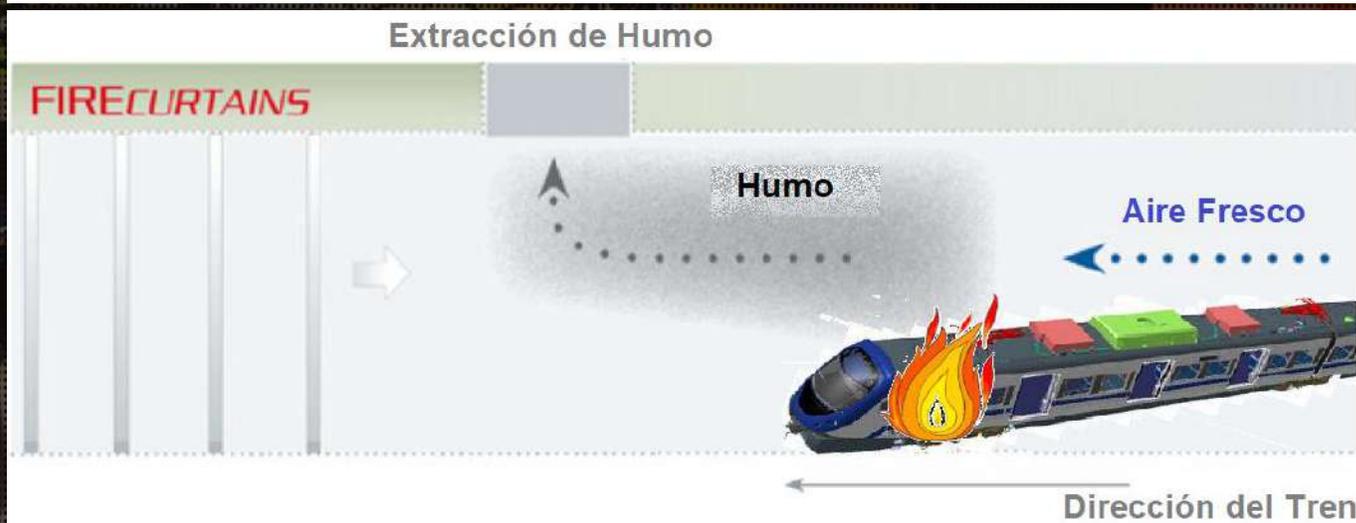
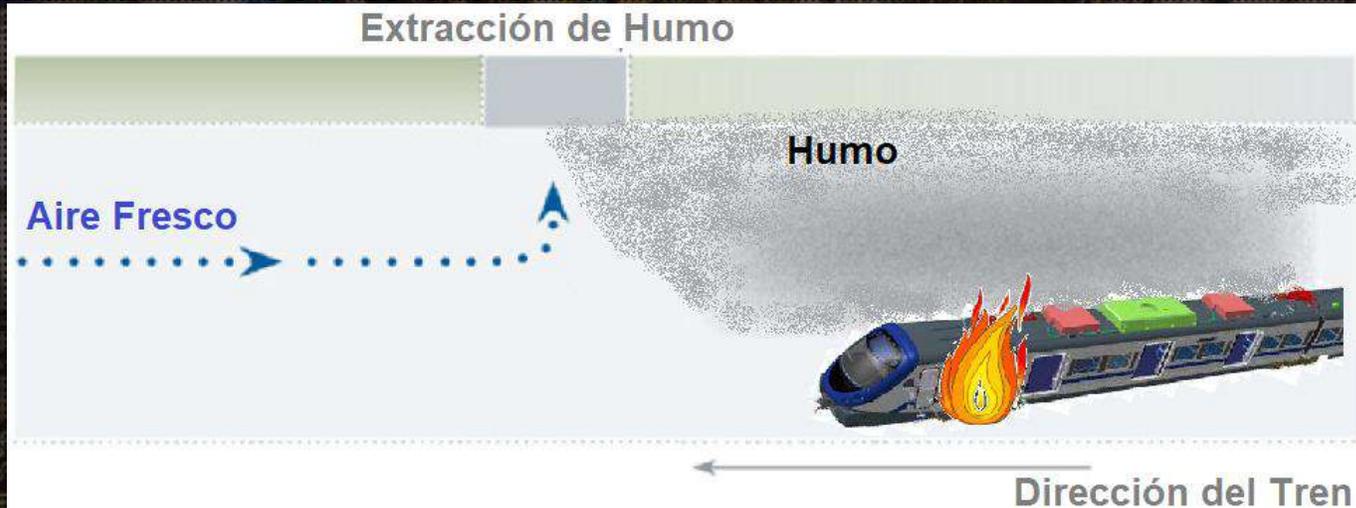
PlugHoling disminuido, menor flujo



Time: 3.1

# Modelamiento - fenomenología

## Extracción Humo - Uso de cortinas



# Modelamiento - fenomenología

## Extracción Humo - Uso de cortinas

### Caso Sin Cortinas

Time: 986.0

# Modelamiento - fenomenología

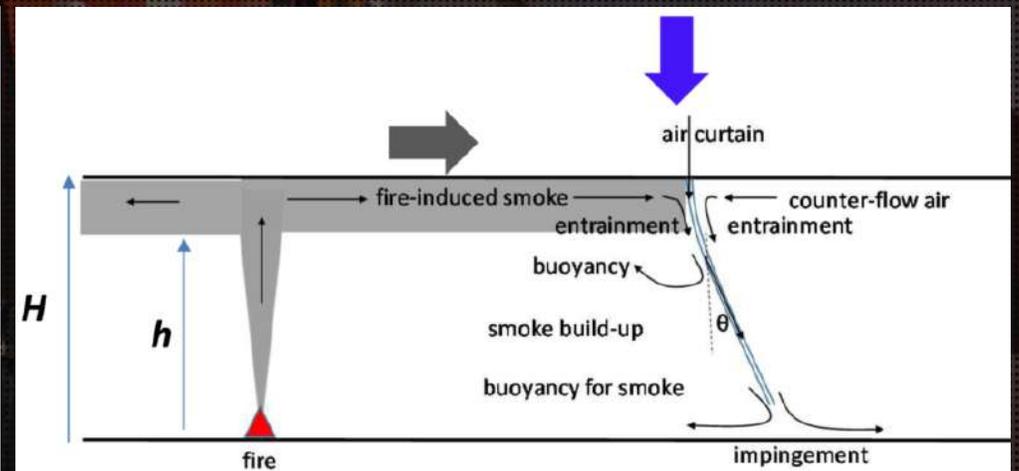
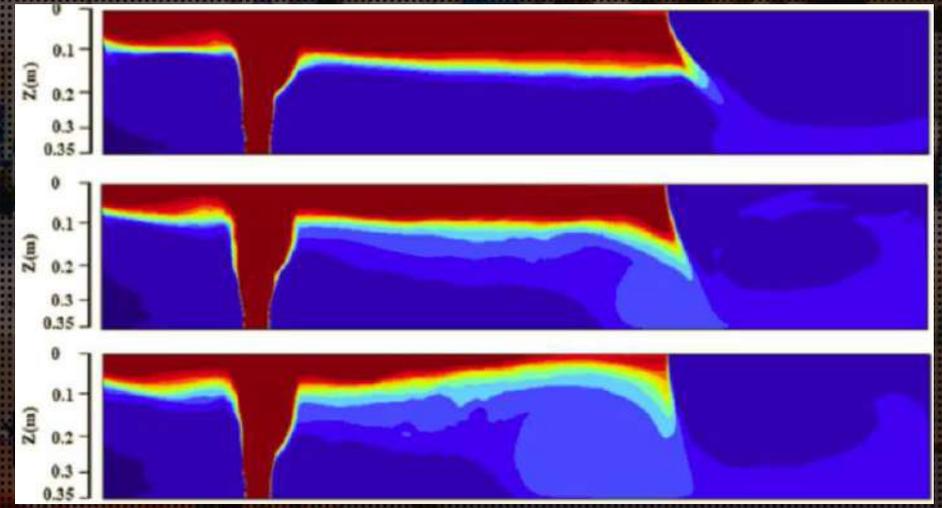
## Extracción Humo - Uso de cortinas

### Caso Con Cortinas

Time: 33.0

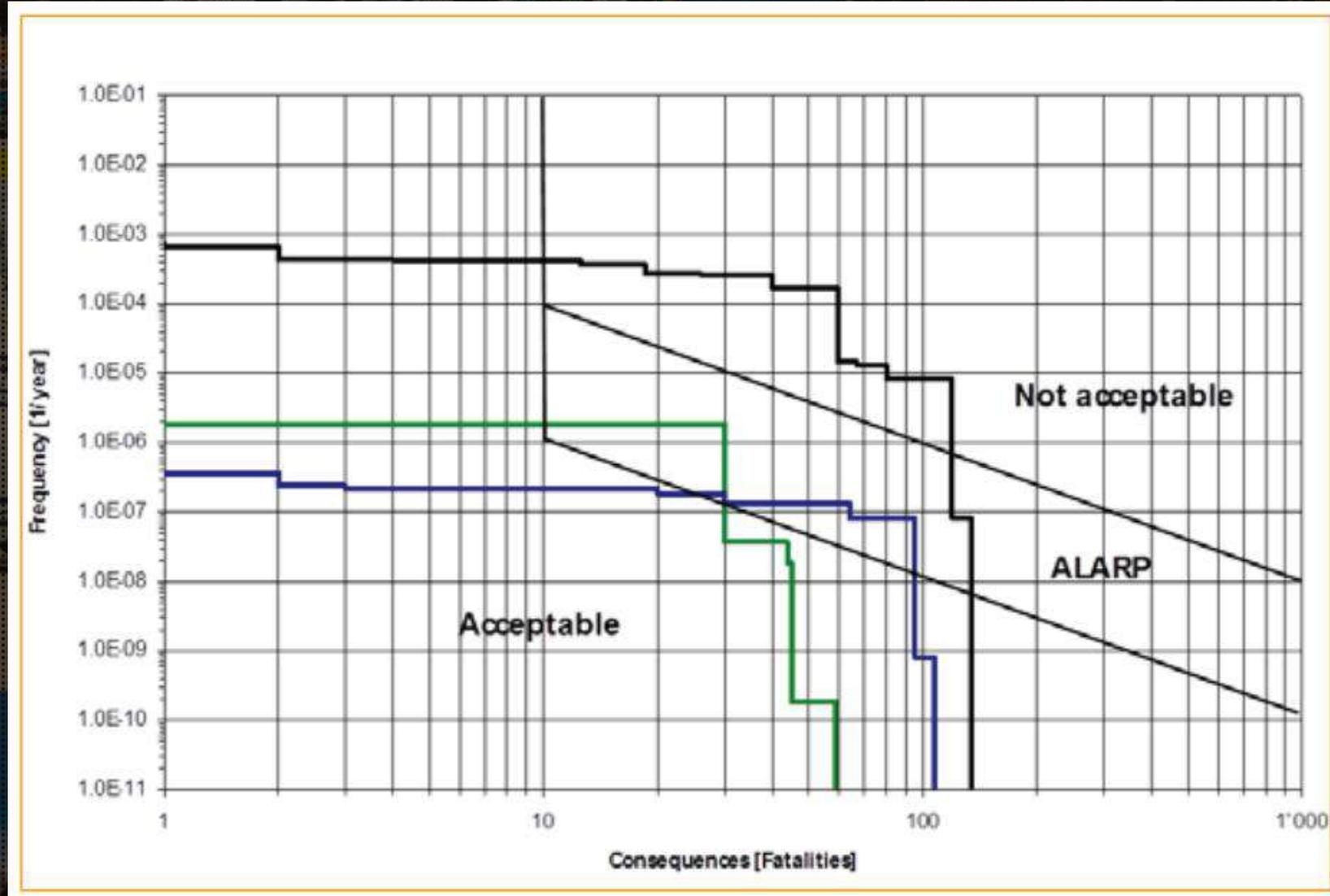
# Modelamiento - fenomenología

## Sistemas control de humo & Otros Sistemas



# Análisis probabilístico

## Curvas FN



Fuente: PIARC. Current Practice For Risk Evaluation For Road Tunnels

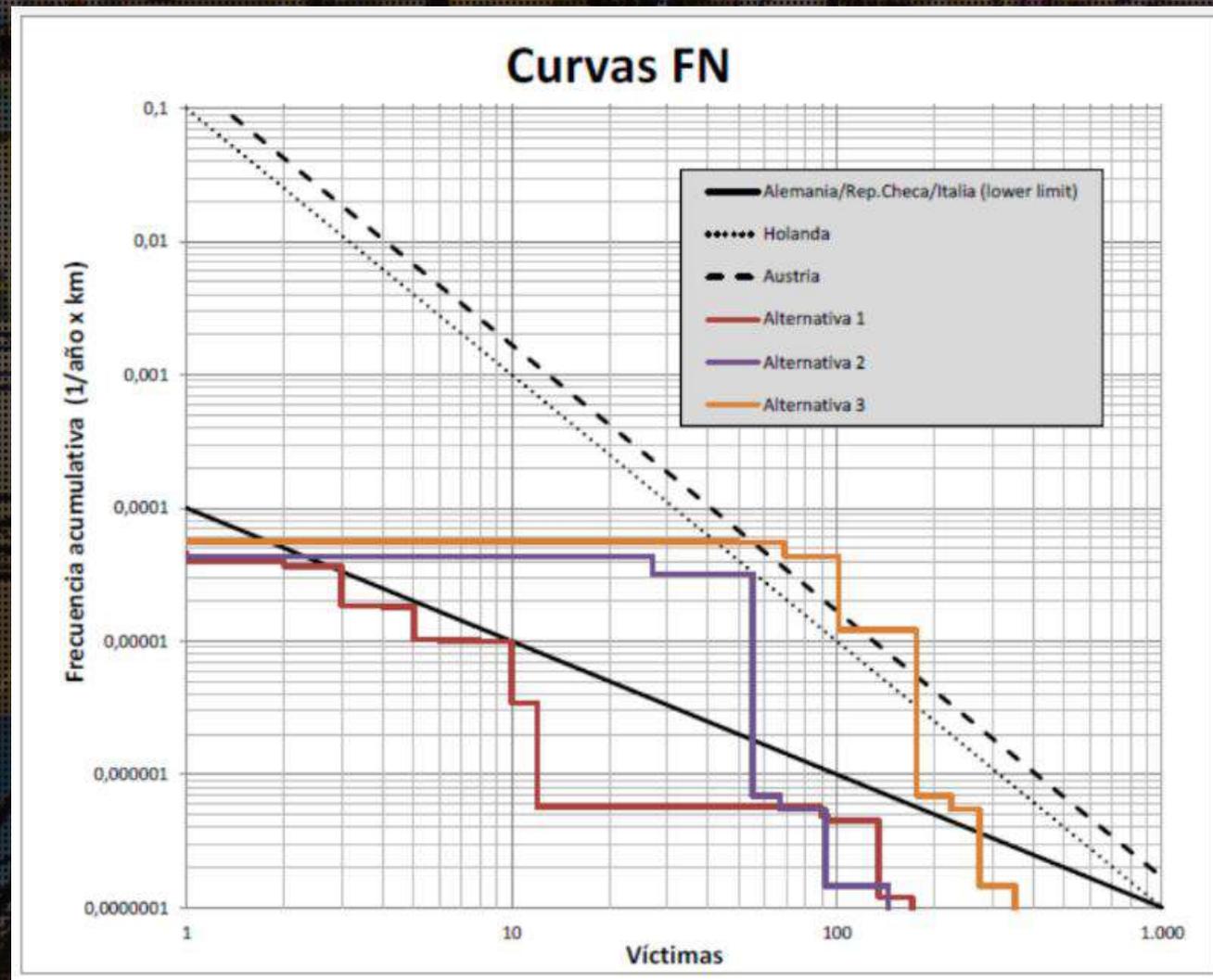
# Análisis probabilístico

## Curvas FN - Ejemplo

	Tráfico		Ubicación		Incendio			Detección		Respuesta			Probabilidad Ocurrencia	Frecuencia	Posibles afectados
	Congest	No congest	Bloqueo	No Bloqueo	UltraFast	Fast	Normal	Lenta	Normal	Lenta	Normal	Rápida			
1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0,00003%	3,6E-08	178
2	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0,00008%	9,9E-08	134
3	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0,00003%	3,7E-08	94
4	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0,00006%	8,4E-08	170
5	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0,00018%	2,3E-07	134
6	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0,00007%	8,5E-08	89
7	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0,00219%	2,8E-06	12
8	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0,00599%	7,8E-06	5
9	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0,00222%	2,9E-06	2
10	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0,00511%	6,6E-06	10
11	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0,01397%	1,8E-05	3
12	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0,00517%	6,7E-06	1
13	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0,00003%	3,5E-08	9
14	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0,00007%	9,6E-08	6
15	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0,00003%	3,6E-08	3
16	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0,00006%	8,2E-08	8
17	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0,00017%	2,3E-07	4
18	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0,00006%	8,3E-08	4
19	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0,00213%	2,8E-06	0
20	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0,00583%	7,6E-06	0
21	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0,00216%	2,8E-06	0

# Análisis probabilístico

## Curvas FN - Ejemplo



# Pruebas

Humos calientes

Humos fríos

En vacío

Diferenciales de Presión

Flujos, capacidades

Evacuación

Especiales

Comisionamiento

Procedimientos

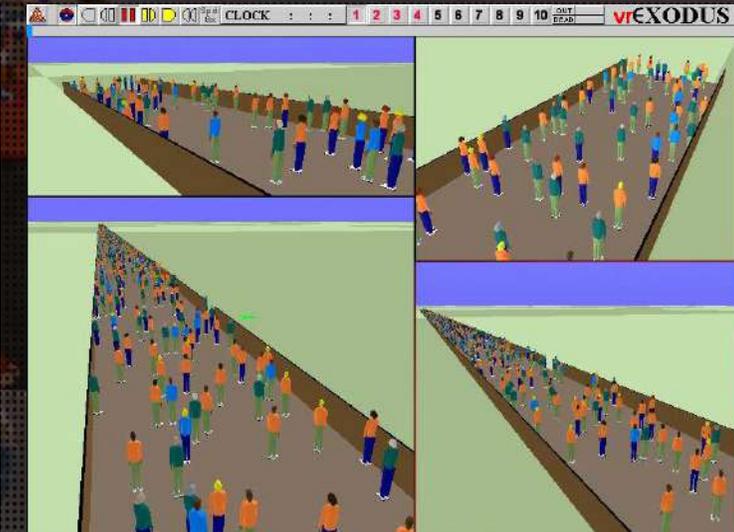
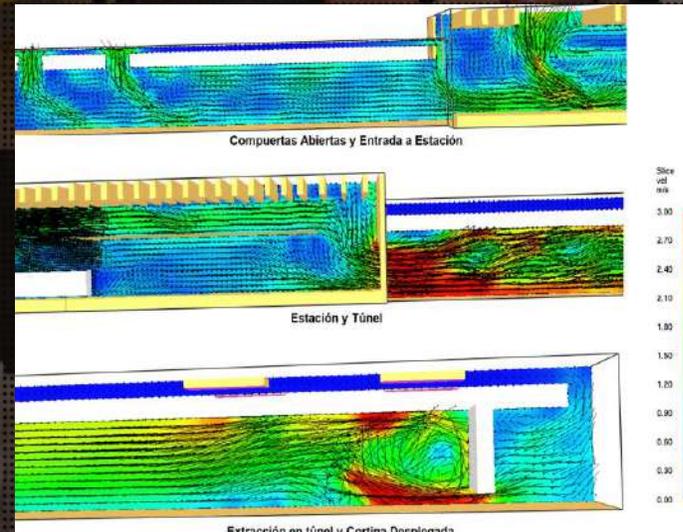


Fuente: <http://seguridadentuneles.blogspot.com>



# Conclusiones – Evaluación Desempeño Sist. Control Humos Esp. Subt.

- Espacios subterráneos condiciones especiales
- Normativa específica -> Sistema Ventilación (Análisis Ingeniería – Diseño Basado Desempeño)
- Adicional a medidas prescriptivas retenidas
- Metodología sobre la base de criterios de desempeño: ASET v/s RSET
- Destaca Modelamiento computacional
- Pruebas





expo**fuego**

CHILE 2023

**CONGRESO INTERNACIONAL**  
DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO