

INGENIERÍA DE INCENDIOS

MBA ING. RAFAEL OJEDA
AREQUIPA, MAYO 2020





*One of the most difficult things is
not to change society — but to
change yourself.*

N. Mandela

1. CIENCIA BÁSICA DEL FUEGO

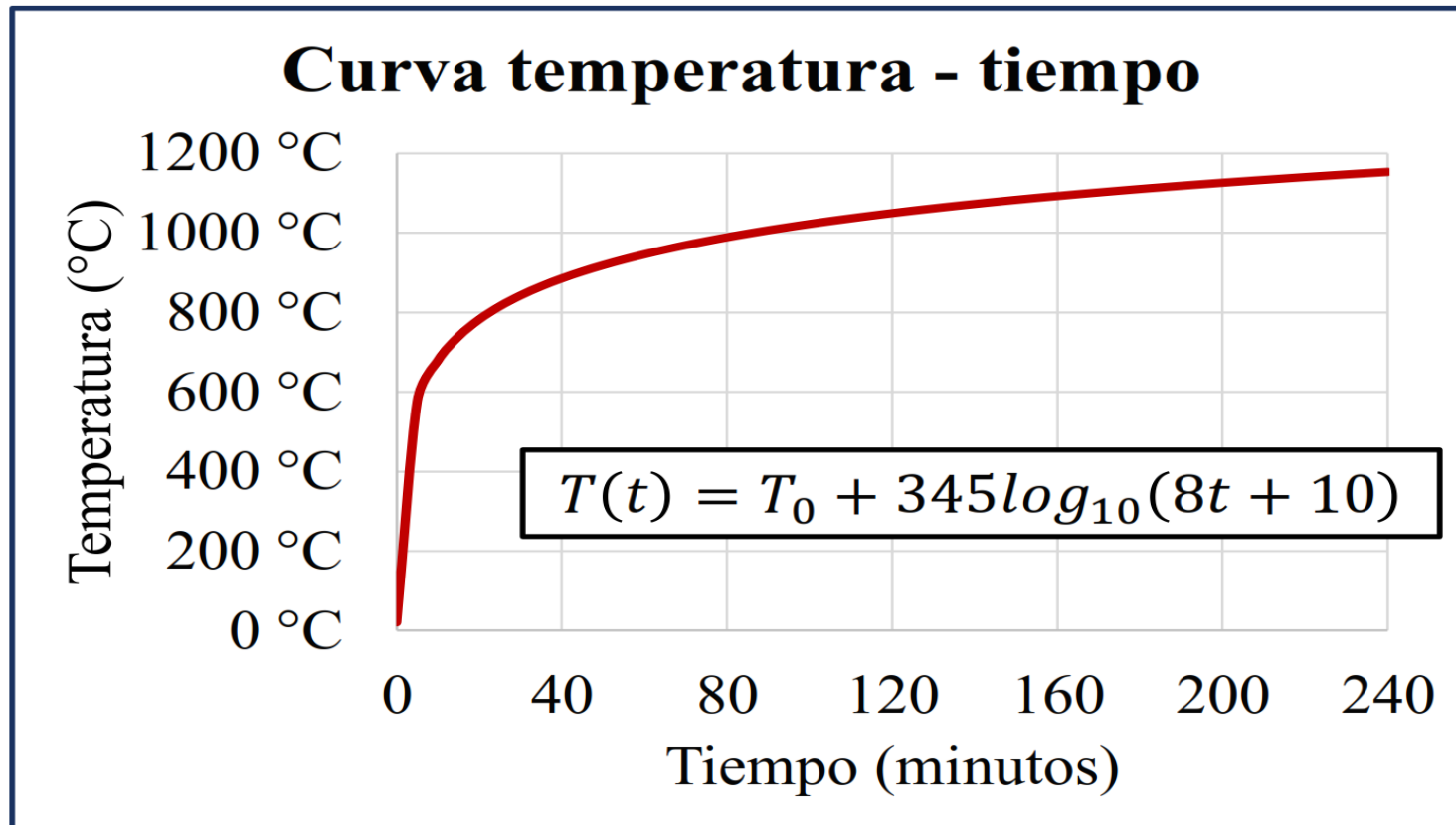
Experiencias



Nota. Adaptado de NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations, 2014. <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=921>

Nota. Adaptado <http://larepublica.pe/tag/incendios-en-lima>; Incendios en el Perú, 2016.

1. CIENCIA BÁSICA DEL CALOR



Curva teórica temperatura-tiempo para el ensayo de exposición ante el fuego (ISO 834)

Se define como resistencia al fuego a la aptitud de un elemento constructivo a conservar determinadas propiedades cuando es sometido a la acción del fuego durante un tiempo. (Cicer. 2002)

1. CIENCIA BÁSICA DEL CALOR

CONSTRUCCIONES SEGURAS ANTE INCENDIOS



- A. Ausencia de emisiones de gases**
- B. Estanqueidad**
- C. Aislación térmica**
- D. Capacidad portante o estabilidad**



Nota: El tiempo resultante se redondea a la hora inferior.

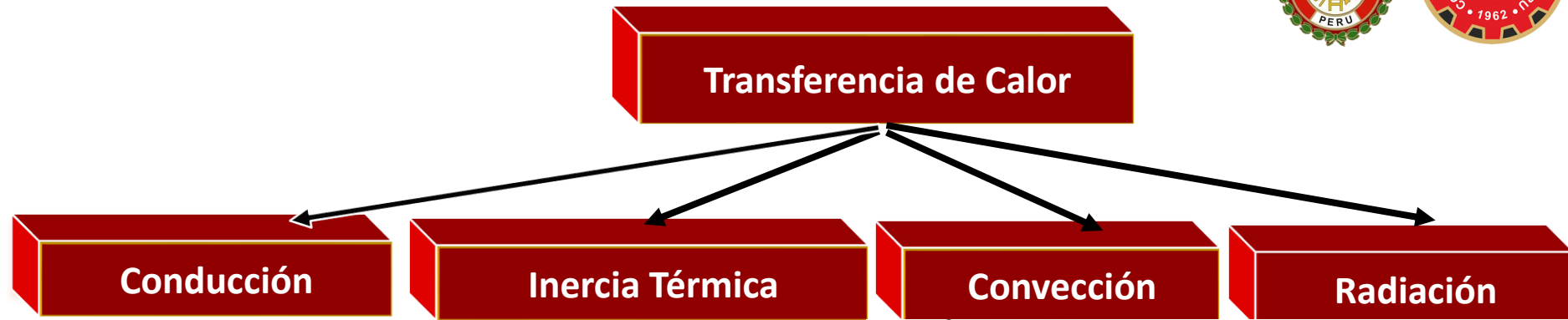
INTI, 2008



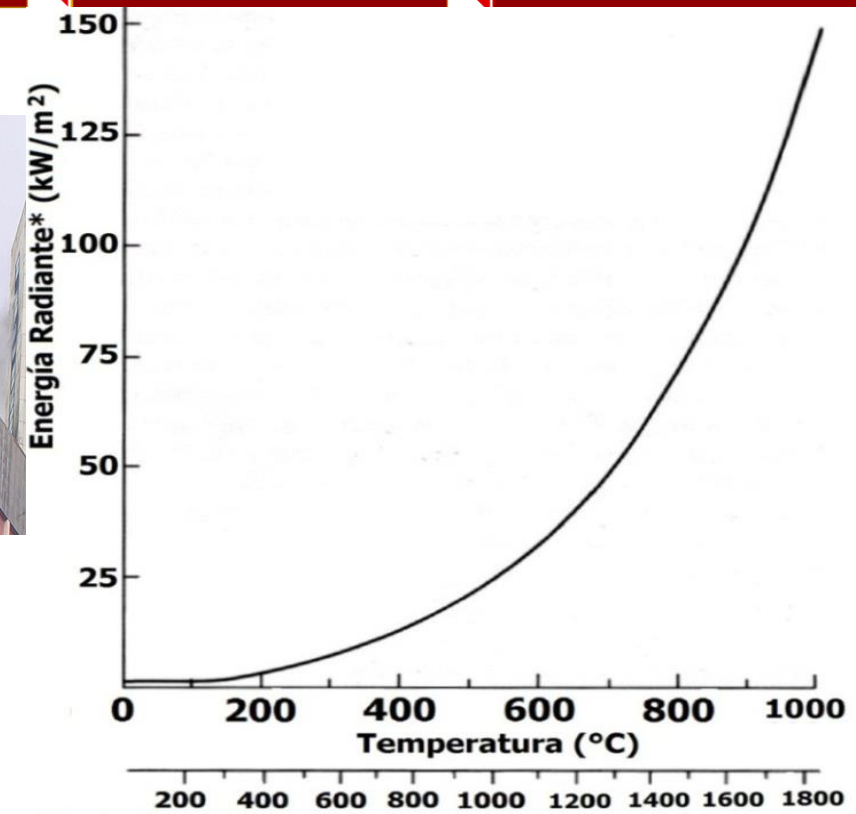
Nota. Adaptado de
Lugar
Fecha del siniestro
Hora Aproximada de Detección

: Incendio en Centro Comercial las Malvinas(Galeria Nicolini)
: Av. San Martín (Guillermo Dansey 400)Centro de Lima
: Jueves 22 de Junio del 2017
: 12:20 horas. (Aproximado)

2. TRANSFERENCIA DE CALOR



Concreto 2.085E+06
Pino 2.55E+05
Polietileno 6.25E+05



* Asumiendo un cuerpo negro

Nota. Adaptado de NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations, 2014. <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=921>



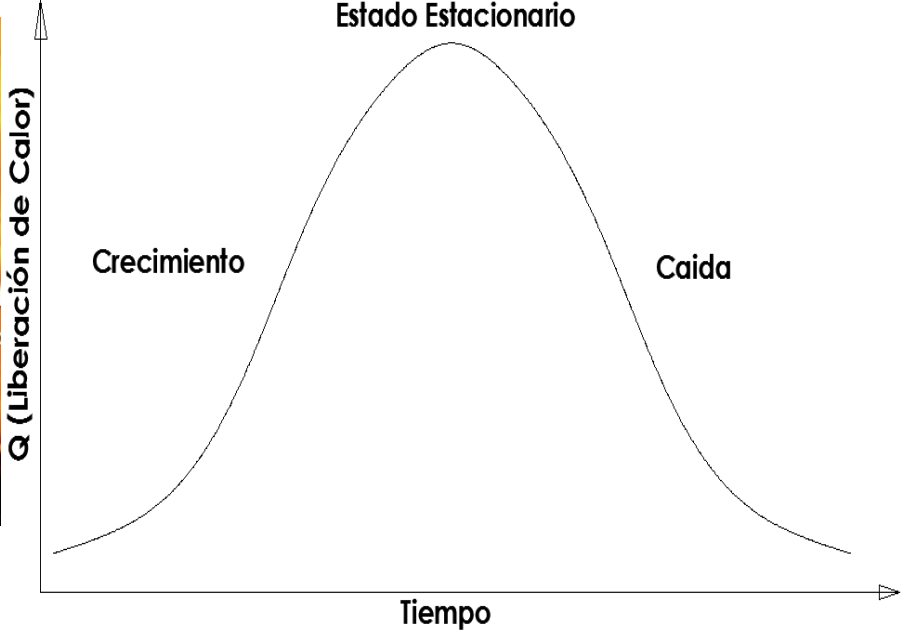
3. CARGA FUEGO, GRUPOS COMBUSTIBLES Y PROPIEDADES DE LAS LLAMAS



Elementos Combustibles

Carga Fuego

Velocidad Desprendimiento Calor

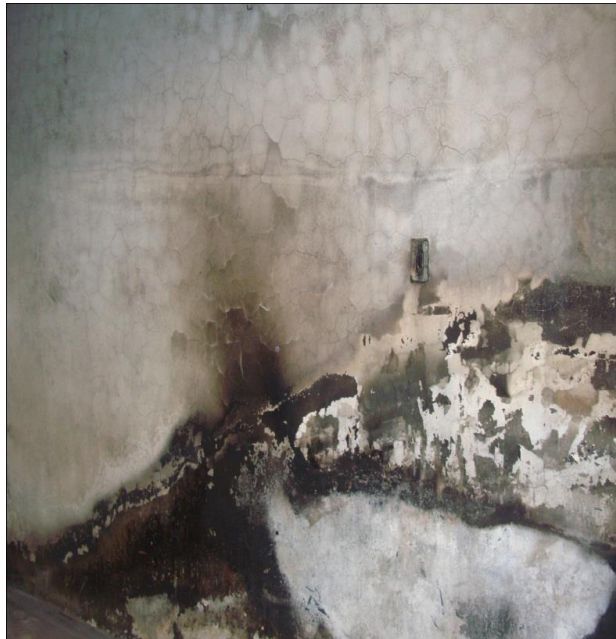


Nota. Adaptado de NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations, 2014. <http://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards?mode=code&code=921>

4. FLUJOS DE CALOR PROCEDENTES DE LAS LLAMAS

Flujo Calor de las Llamas

Paredes



Techos



Superficies Alejadas



5. DESARROLLO DEL INCENDIO EN UN RECINTO

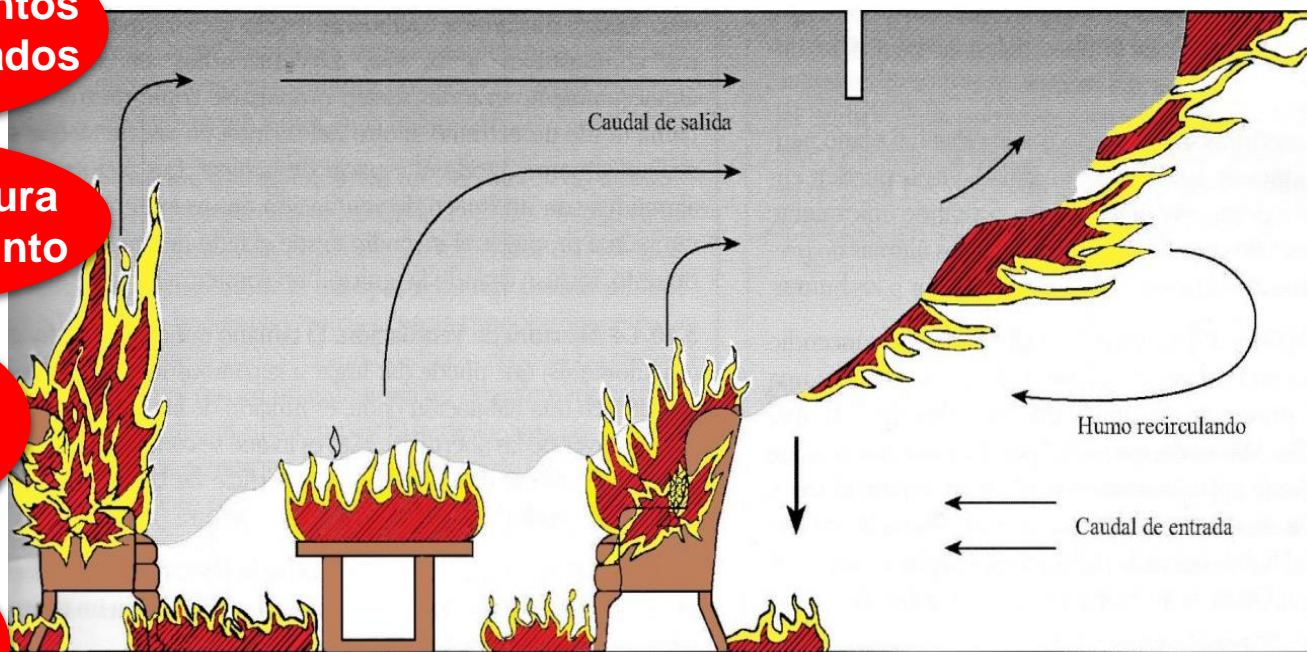


Incendios Recintos
Total Desarrollados

Volumen – Altura
Techo del Recinto

Propagación
Incendio
Entre Recintos

Trayectorias
Propagación
Humo



Flujos
Abertura
Única

Flujos
Aberturas
Múltiples

Aberturas
Ventilación

FIGURA 4. Condiciones de Combustión Súbita Generalizada en un Recinto (Flashover)

$$HRR_{f0} (kW) = (750A_0)(h_0)$$

HRR_{f0} = liberación de calor por combustión súbita generalizada.

A_0 = área de la abertura m².

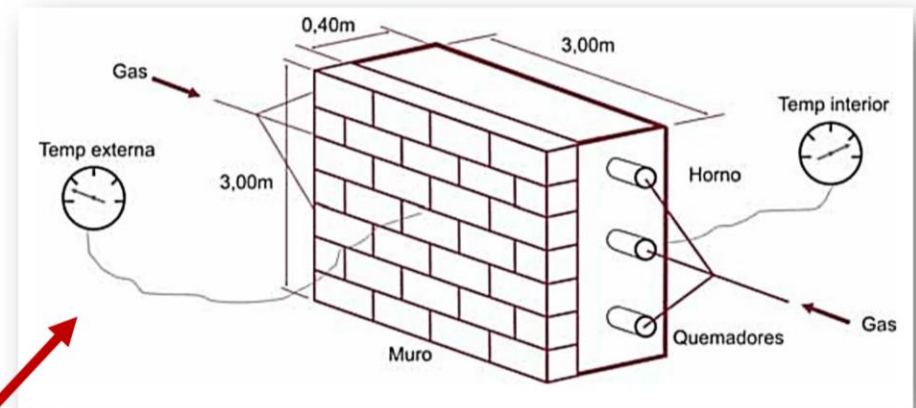
H_0 = altura de la apertura en m.

Puerta 0.9m x 2.1m 2000 kW (Flashover)

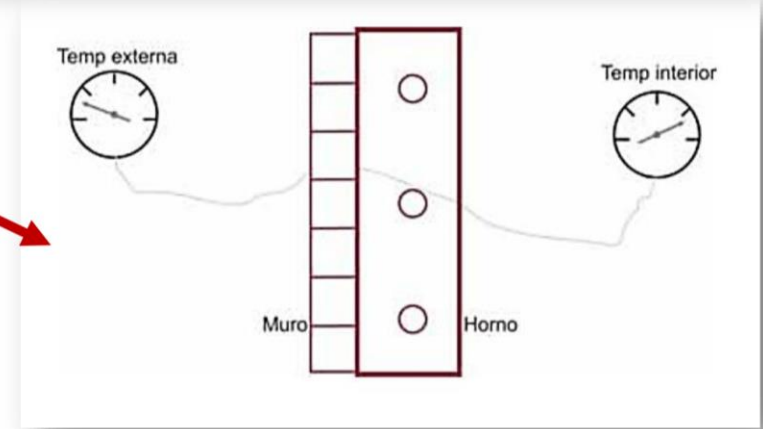
5.1 CONDICIONES DE RESISTENCIA AL FUEGO ESTRUCTURAS



(Fotografía: JENSEN HUGHES)

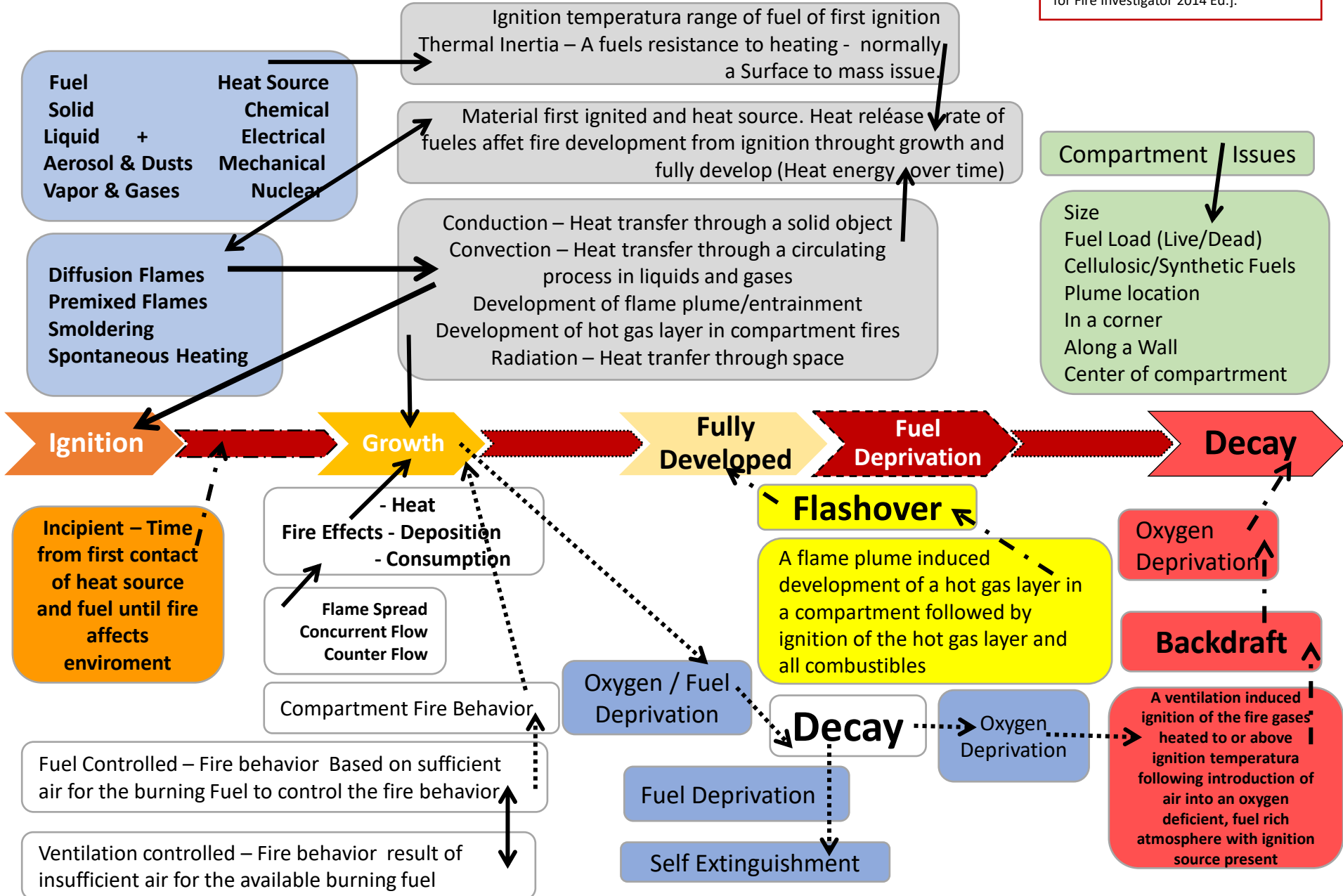


Esquema de un ensayo de resistencia al fuego norma IRAM 11950 (CICER, 2002)



6. Fire Propagation and Phases Of Fire

Nota. Adaptado: Staying Compliant with NFPA 1033 Educational Requirements [Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator 2014 Ed.].



7. MARCAS DEL FUEGO EN EL CONCRETO

TEMPERATURA
EFECTOS FUEGO

EXFOLIACION

OXIDACION

PERDIDA MASA
DEL MATERIAL

CARBONIZADO

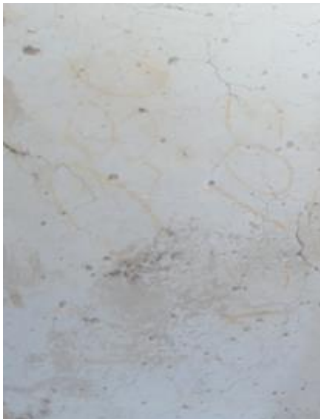
T° Identificables
Incendios
Estructurales
> 800°C - 1000°C

H° no Fraguado
Dilt ▲ Acero
Dilt ▲ Pasta+Aridos
Dilt ▲ Sup Expuesta F

Incendio Fe Oxd
azul gris mate
↑T° Fe negro
Fe humedecido
herrumbre

Bordes Superficies
Duración
Intensidad Incendio
Tasa perdida masa

Entorno Inc. Estruct.
Ampollas grandes
Brillantes “ piel de
Lagarto”



800°C

700°C

600°C

650°C

500°C

7. MARCAS DEL FUEGO EN EL CONCRETO



**Incendio -> Oxido de Fe azul gris mate
↑T° Fe negro Fe humedecido Herrumbre**

8. DEGRADACIÓN DEL CONCRETO EXPUESTO AL FUEGO



CROMATOGRAFIA

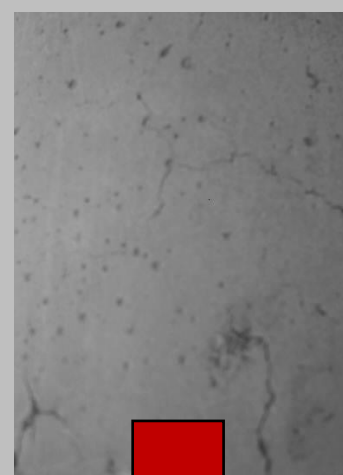
Calor

GRIS NATURAL

ROSADO

GRIS CLARO

BLANCO O
AMARILLO CLARO



0

300

600

900

Temperatura °C



Microfisuras
Cuarteduras

Calcinación
Incipiente



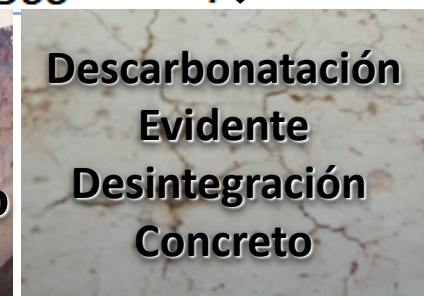
Descarbonatación
Fisuramiento
térmico

Calcinación
Superficial



Perdida
masa
descascaramiento

Calcinación
Avanzada



Descarbonatación
Evidente
Desintegración
Concreto

Calcinación
Muy Avanzada

PRUEBA RESISTENCIA DEL CONCRETO AL CALOR (Radiación)



Nota. Adaptado ASTM C -596 , ASTM E 119, Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials y código ACI 216.1- 97 Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies

9. PATOLOGÍA DEL CONCRETO EXPUESTO EN INCENDIOS



10. EFECTOS SOBRE EL CONCRETO ARMADO

(Desprendimiento)

SPALLING

↓↓↓ Capacidad carga
↓↓ Sección Transversal Concreto
↑↑ P° Secciones Concreto restantes
Manifiesta también $T^{\circ} > 200^{\circ}\text{C}$
↑ ↑ Estrés Térmico Calentamiento
Rápido ↑↑ P° Evaporación Agua
Higroscópica en Concreto



10. EFECTOS SOBRE EL CONCRETO ARMADO

(Agrietamiento)

CRACKING

Complemento Spalling

Expansión térmica deshidratación
Patrón Fisuramiento indica la ruta
calentamiento directo hacia Acero
↑↑ Profundidad grietas ↑↑ T° fuego
Grietas dan acceso al fuego a
compartimientos adyacentes.



10. EFECTOS SOBRE EL CONCRETO ARMADO



Nota. Adaptado ASTM C -596 , ASTM E 119, Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials y código ACI 216.1- 97 Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies



Fire Resistance: The term “ fire resistance” designates the ability of a laboratory-constructed assembly to contain a fire in a carefully controlled test setting for a specified period of a time.

11. EFECTOS SOBRE EL CONCRETO ARMADO

(Fluencia)

FRAGILIDAD DUCTIL

Fabricante Protegidas $250^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$
 $C=Fe=$ Expansión Térmica(400°C).
Si se reducen T° desde 700°C
Capacidad portante Ac. Refuerzo
 $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$ 20% valor de diseño
- Fibra vidrio, carbonó, FRP



11. EFECTOS SOBRE EL ACERO



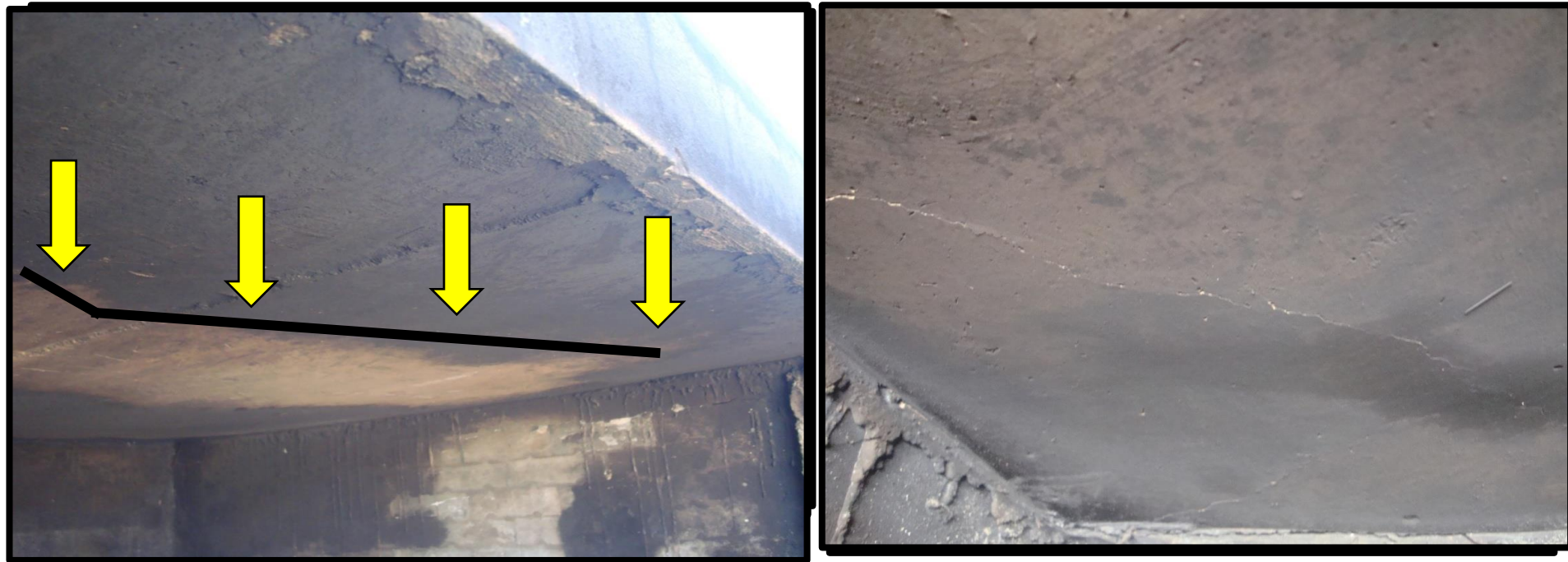
Nota. Adaptado Incendio Centro Comercial las Malvinas, Lima 2017.

12. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DEL CONCRETO



Nota. Adaptado ASTM C -596 , ASTM E 119, Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials y código ACI 216.1- 97 Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies.

12. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DEL CONCRETO



Nota. Adaptado ASTM C -596 , ASTM E 119, Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials y código ACI 216.1- 97 Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies. NFPA 1033 Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator 2014

12. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DEL CONCRETO



Nota. Adaptado ASTM C -596 , ASTM E 119, Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials y código ACI 216.1- 97 Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry Construction Assemblies. NFPA 1033 Standard for Professional Qualifications for Fire Investigator 2014

12. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DEL CONCRETO

Primeros 30min

Primeros 40 min

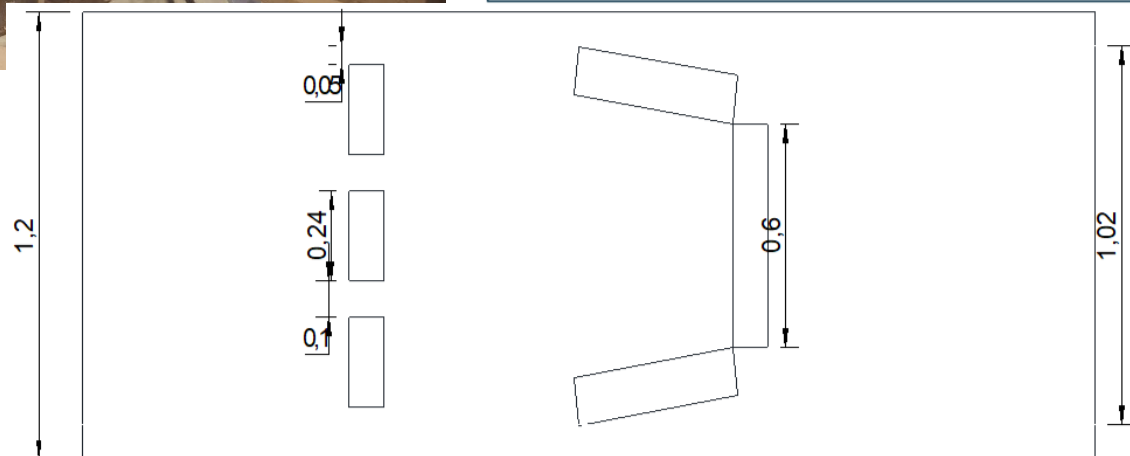
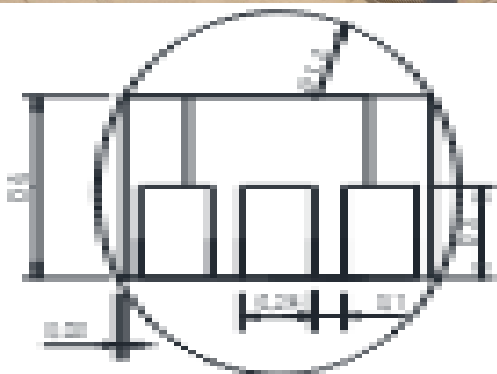
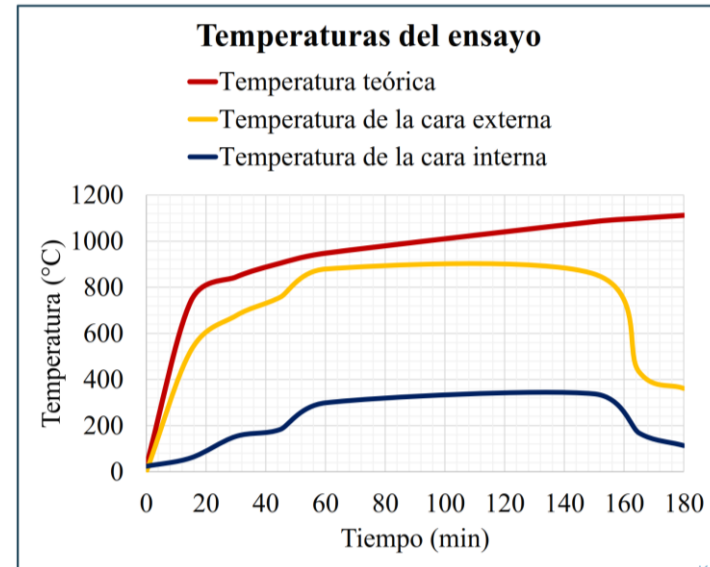
El incendio se produjo en el cuadrante 8vo parte corredor central contando de izquierda a derecha

La dirección del viento en esos momentos era de sur a norte (avanzando la propagación interiormente de derecha a izquierda y exteriormente de izquierda a derecha)



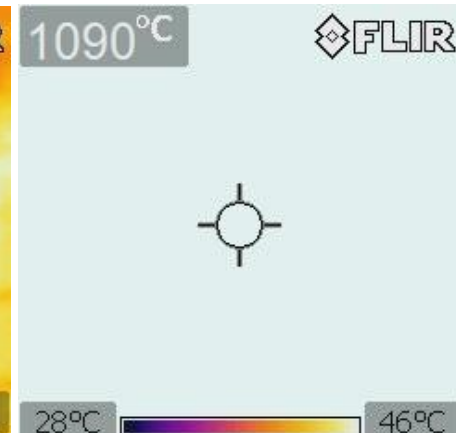
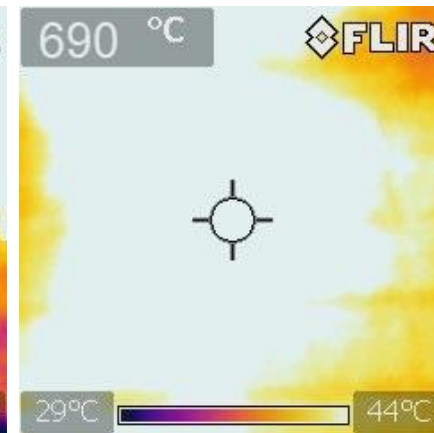
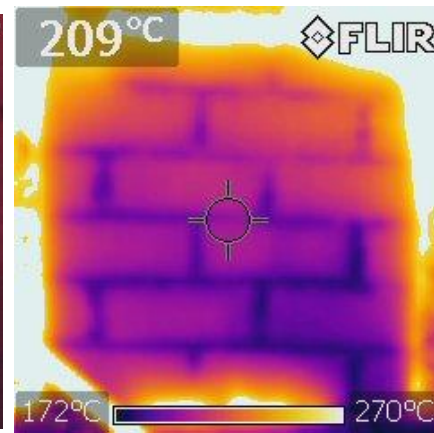
Nota. Adaptado Incendio Centro Comercial Las Malvinas Lima, 2017.

13. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DE LA ALBAÑILERÍA



Nota. Quemador de Dissel – Ladrillera el Diamante. Arequipa 2018.

13. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DE LA ALBAÑILERÍA



Nota. Ensayos de pilas y muertes de albañilería tipo V, expuestas al fuego. (Norma NCH 935/1). FIC UNSA 2018.

13. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DE LA ALBAÑILERÍA



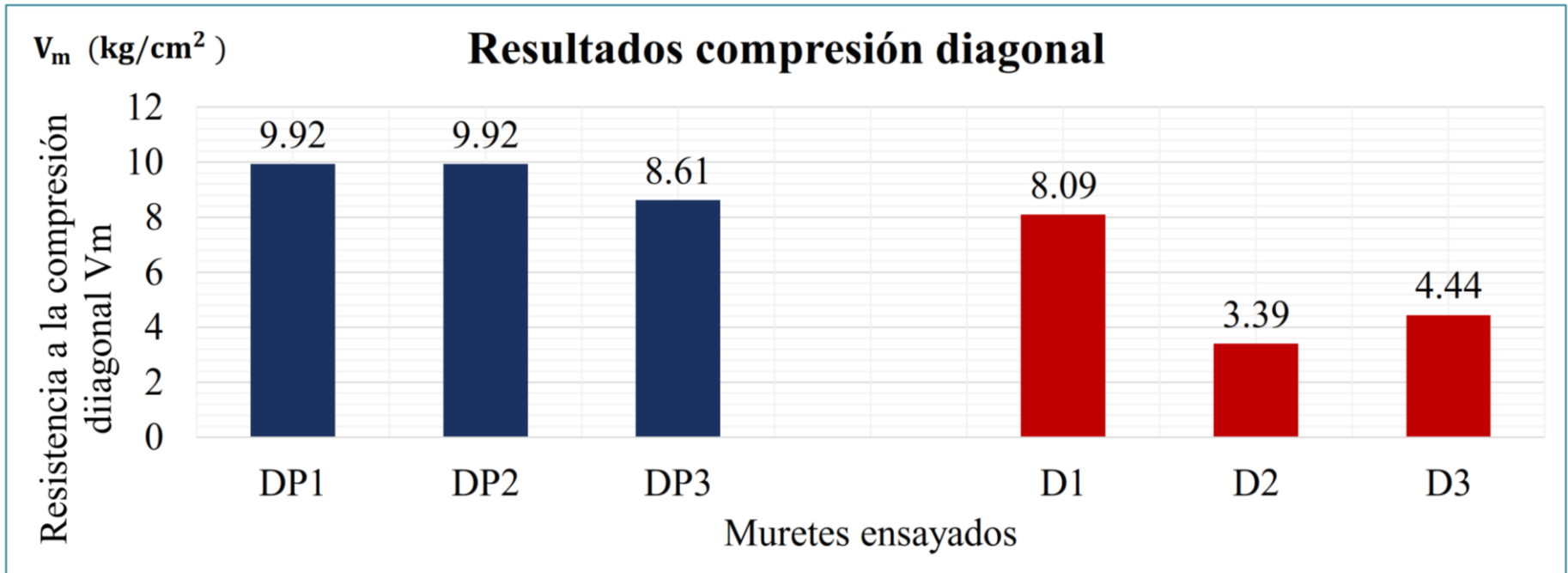
ENSAYO RESISTENCIA AL
FUEGO EN ALBAÑILERIA
UNIDAD TIPO IV
RNE E-OTCA-00 AS3700 2008
NCH 935/1019 NFP 220 ASTM 119
AREQUIPA 05 DIC 2018
LUGAR LADRILLERA EL DIAMANTE
HORA 12:35 HRS
HORA TERMINO

Nota. Ensayos de pilas y muertas de albañilería tipo V, expuestas al fuego. (Norma NCH 935/1). FIC UNSA 2018.

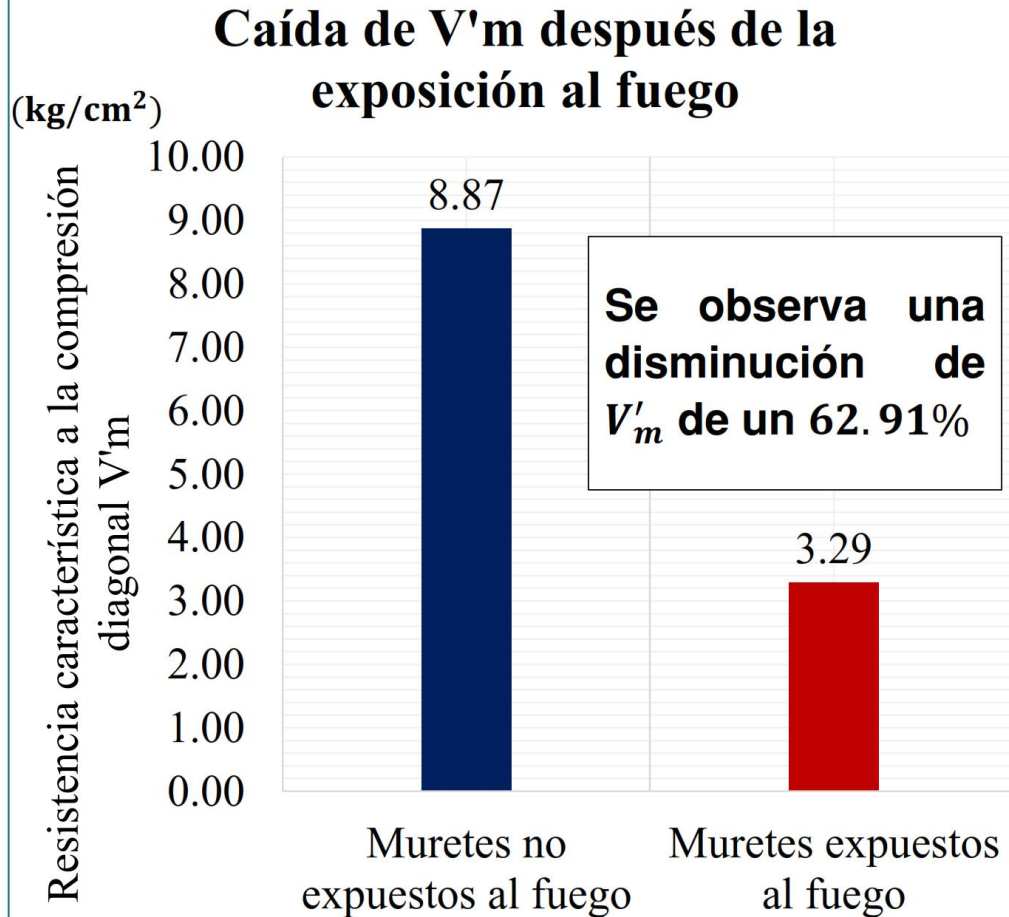
13. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DE LA ALBAÑILERÍA



3.2.1. COMPRESIÓN DIAGONAL DE LOS MURETES (NTP 399.621)



13. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DE LA ALBAÑILERÍA



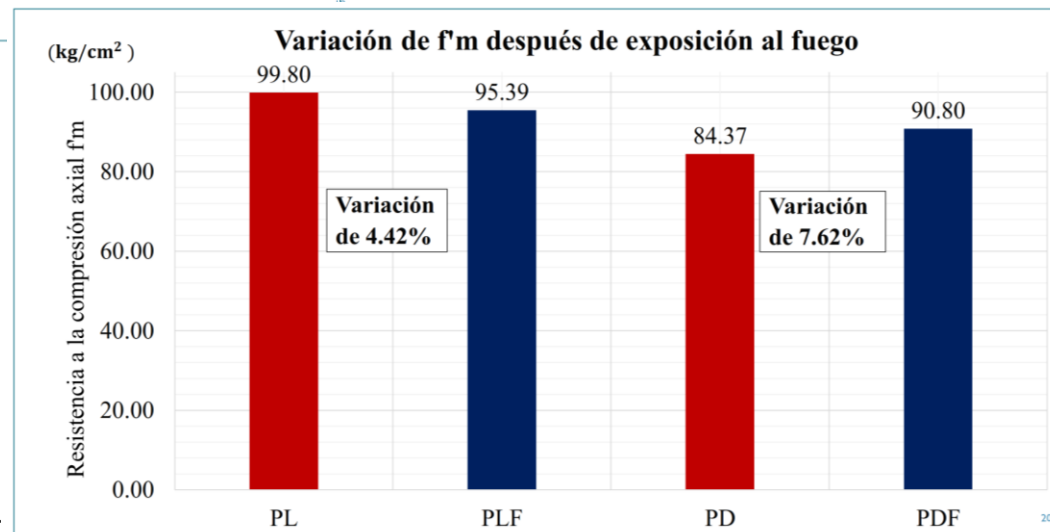
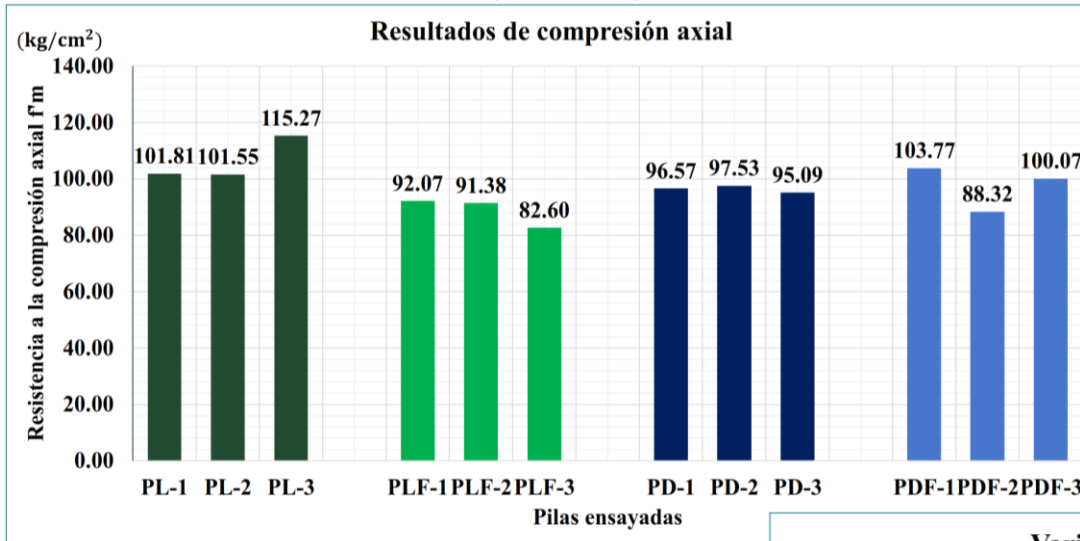
Patrón de falla de los muretes expuestos al fuego

Nota. Ensayos de mueres de albañilería estructural. FIC UNSA 2018.

13. DE LA TEORÍA A LA PRACTICA, DESEMPEÑO ESTRÉS Y COLAPSO DE LA ALBAÑILERÍA



3.2.2. COMPRESIÓN SIMPLE PARA PILAS (NTP 399.605)



Nota. Ensayos de muertes de albañilería estructural. FIC UNSA 2018.

THANKS FOR YOUR ATTENTION!!



MBA ING. RAFAEL OJEDA

rojeday@pucp.pe

(+51) 957 748 818

13. CONCLUSIONES

- Δ 200°C a 800°C, por extinción o enfriamiento generan shock térmico, agrietamientos y desprendimientos. Mayor gradiente temperatura mayores lesiones.
- f'_{cr} a 800°C temperatura bajo a 75% f'_c (Tiempo exposición 2 horas).
- f'_{cr} a 600°C de temperatura bajo a 20% f'_c ; (bibliografía Δ 35%).
- f'_{cr} a 500°C a 600°C bajo a 10% a 15% f'_c .
- MR a 500° a 600°C bajo en máximo 50% MR.
- Las muestras entre los rangos de 500° 600° y 800°C, presentaron el efecto “spalling” y “cracking”.
- Δ pH concreto, expuestas al fuego, pH bajo expuestas CO₂, Carbonatación del concreto.
- Δ pH concreto, el acero no sufrió daños debido al recubrimiento; mediano plazo corrosión.