



**3° CONGRESO INTERNACIONAL  
PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO**

# Combustión espontánea y riesgo de incendios: teoría, casos y aplicaciones

**Sebastián Norambuena Riveros**

*Jefe de Sección Peritajes – Ingeniería de Protección contra el Fuego*

*Dictuc S.A.*

# COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA



Video: ABC News (<https://abcnews.go.com/WNT/video/linseed-oil-spontaneous-combustion-17438033>)

## 1. Qué es la combustión espontánea

Caso 1

## 2. Cómo ocurre

## 3. Por qué ocurre

Caso 2

## 4. Clasificación de productos

Caso 3

## 5. Análisis teórico

Caso 4

## 6. Extinción y prevención

## 7. Conclusiones

# QUÉ ES LA COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA

## Tipos de ignición



Fuentes: Brabauskas V. 2003, Ignition Handbook  
Wikimedia Commons

# QUÉ ES LA COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA

## Tipos de ignición

### - NFPA 921 art. 3.3.169

#### Spontaneous ignition

Iniciación de la combustión de un material por una reacción química interna o biológica que ha producido suficiente calor para encender el material

### - NFPA 921 art. 3.3.154

#### Self ignition

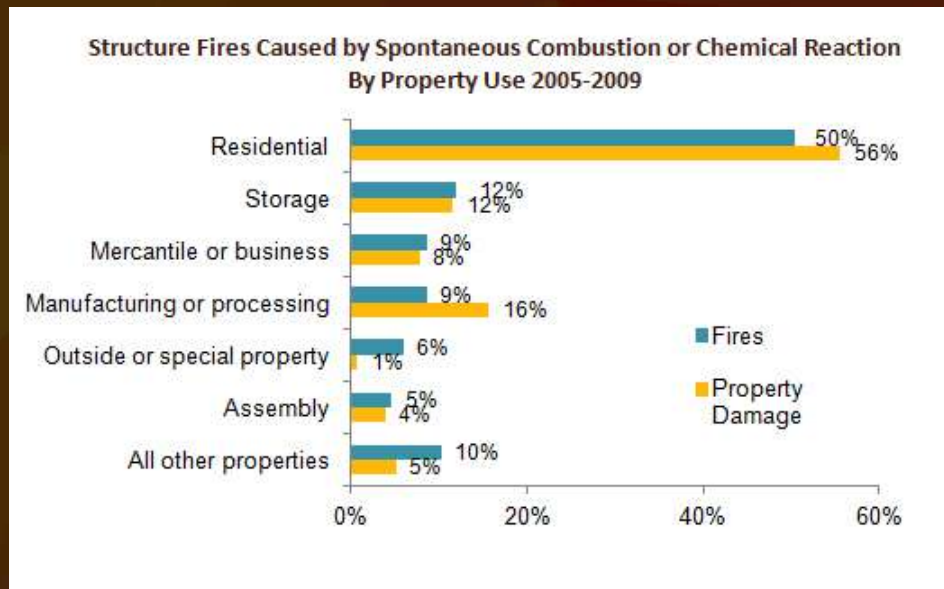
Ignición que resulta de un autocalentamiento



Incendio en un acopio de fardos al aire libre, generado por combustión espontánea

# QUÉ ES LA COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA

## Tipos de ignición



- Trapos aceitosos
- Autocalentamiento de productos agrícolas
- Almacenamiento inadecuado

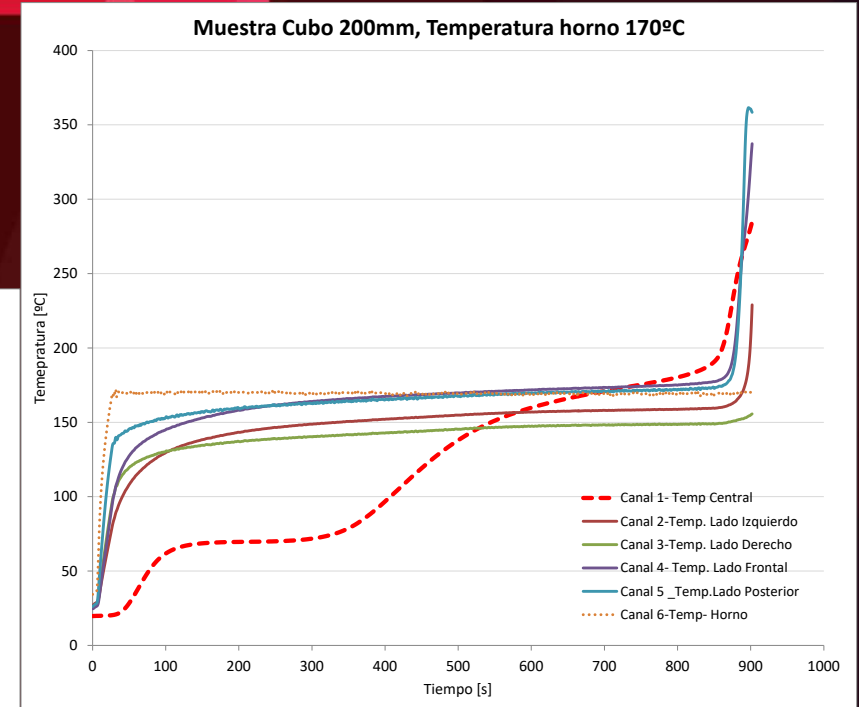
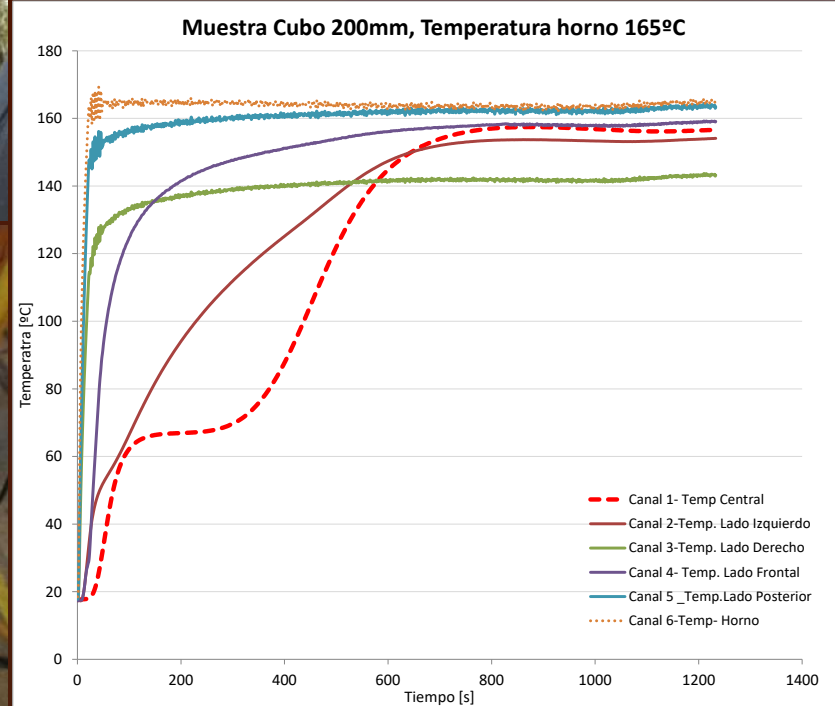


Imagen de <https://www.earthmagazine.org/article/rising-global-interest-coal-fires>

# CASO 1: INCENDIO DE FARDOS



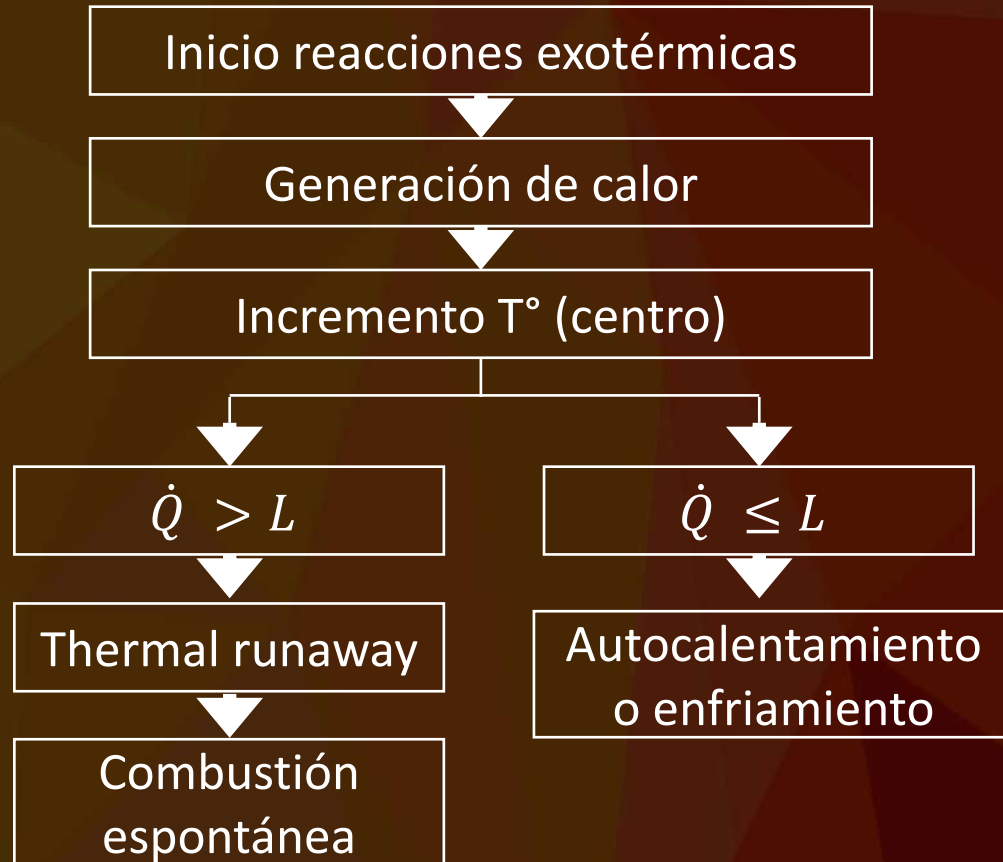
# CASO 1: INCENDIO DE FARDOS





# CÓMO OCURRE

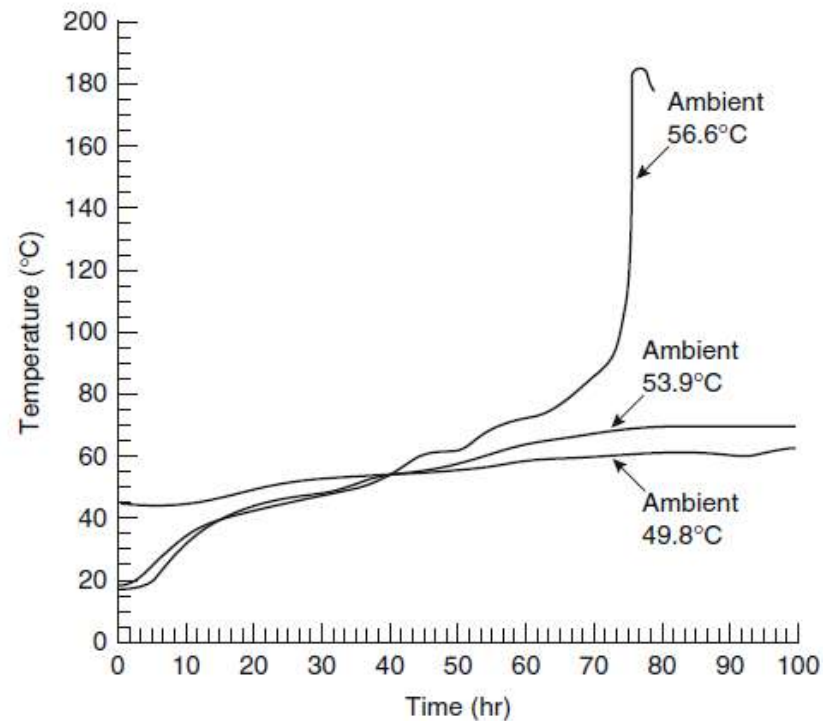
## Procesos



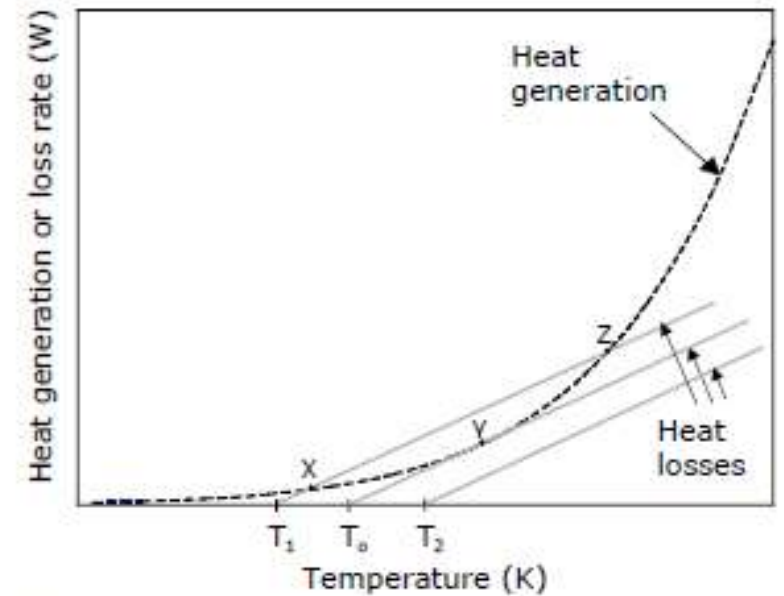
Video: Val Ansett  
(<https://www.youtube.com/watch?v=qXEXtcpGBHk>)

## Condición crítica

**Fig. 20.6** Two subcritical and one supercritical center temperature/time traces for a 0.175-m-radius equicylinder of hydrated calcium hypochlorite [17]



Fuente: SFPE Handbook of fire protection 5th Ed.



**Figure 2** Heat losses and gains, as represented in the Semenov theory

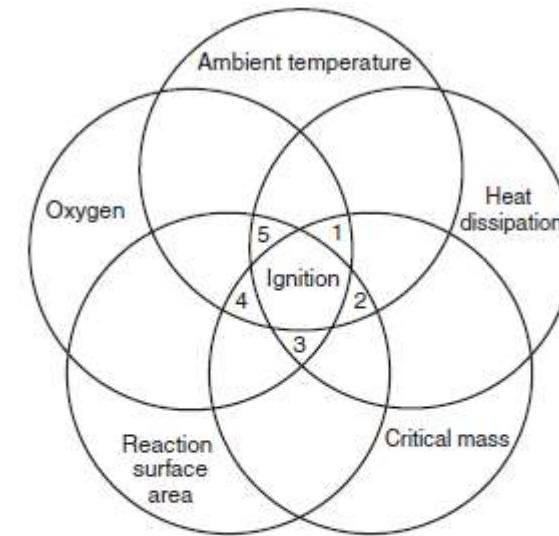
Fuente: Brabauskas V. 2003, Ignition Handbook

## Generación de calor

- Oxidación, polimerización, isomerización, descomposición
- Reacciones metabólicas biológicas
- Procesos físicos que producen calor

## Como se verá, variables importantes son:

- Cantidad de material acumulado
- Temperatura del entorno
- Características del material
- Humedad
- Reactividad



- (1) Insufficient reaction surface area
- (2) Insufficient oxygen concentration or diffusion
- (3) Ambient temperature too low
- (4) Insufficient insulation — heat dissipates
- (5) Insufficient material

FIGURE 5.7.4.1.3.3 Conditions Required for Spontaneous Ignition to Occur in Materials Capable of Self-Heating.

Fuente: NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations

# POR QUÉ OCURRE

En los 3 estados de la materia, pero de interés particular en:

- Líquidos
- Sólidos porosos

Se requiere

- Material debe formar carbonización rígida
- Material debe permitir ingreso de aire
- Baja relación superficie/volumen
- Material debe ser propenso a autocalentarse



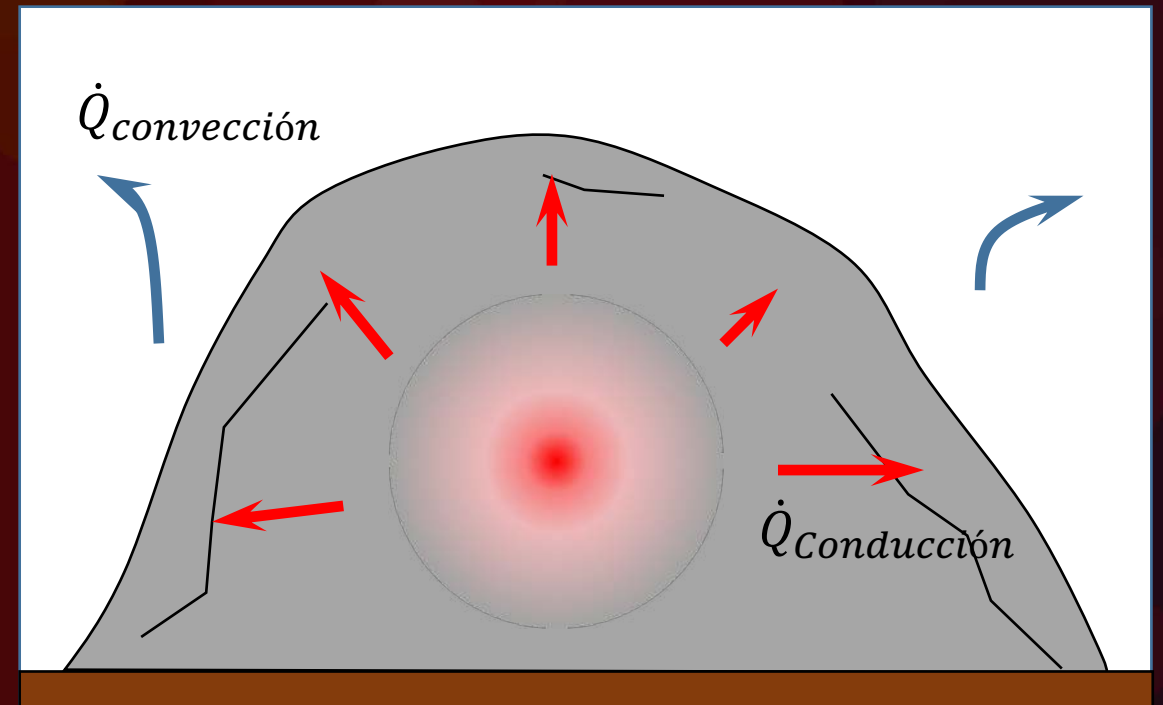
# POR QUÉ OCURRE

$$\dot{Q}_{convección} = A_{cv}h\Delta T$$

$$\dot{Q}_{conducción} = \frac{A_{cd}k}{e}\Delta T$$

Por lo tanto:

- Baja relación superficie/volumen disminuye pérdidas de calor
- Incremento de tamaño aumenta resistencia térmica
- Atención al acopio o procesos en caliente!

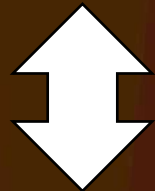


# POR QUÉ OCURRE

En particular para los líquidos:

- Líquido poco volátil
- Aislación porosa
- Fuga “controlada”

Si la aislación (o el material poroso) entra en contacto con un líquido oxidable



Lagging fire (similar al caso del sólido poroso)



# POR QUÉ OCURRE

Name	Tendency to spontaneous heating	Usual shipping container or storage method	Precautions against spontaneous heating	Remarks
Charcoal	High	Bulk, bags	Keep dry. Supply ventilation.	Hardwood charcoal must be carefully prepared and aged. Avoid wetting and subsequent drying.
Distillers' dried grains with oil content (brewing grains)	Moderate	Bulk	Maintain moisture 7–10%. Cool below 38°C before storage.	Very dangerous if moisture content is 5% or lower.
Fish meal	High	Bags, bulk	Keep moisture 6–12%. Avoid exposure to heat.	Dangerous if overdried or packaged over 38°C.
Foam rubber in consumer products	Moderate		Where possible remove foam rubber pads, etc. from garments to be dried in dryers or over heaters. If garments containing foam rubber parts have been artificially dried, they should be thoroughly cooled before being piled, bundled or put away. Keep heating pads, hair dryers, other heat sources from contact with foam rubber pillows, etc.	Foam rubber may continue to heat spontaneously after being subjected to forced drying as in home or commercial dryers and after contact with heating pads and other heat sources. Natural drying does not cause spontaneous heating.
Grain (various kinds)	Very slight	Bulk, bags	Avoid moisture extremes.	Ground grains may heat if wet and warm.
Hay	Moderate	Bulk, bags	Keep dry and cool.	Wet or improperly cured hay is almost certain to heat in hot weather. Baled hay seldom heats dangerously.

Fuente: An Introduction to Fire Dynamics, D. Drysdale

# POR QUÉ OCURRE

Name	Tendency to spontaneous heating	Usual shipping container or storage method	Precautions against spontaneous heating	Remarks
Linseed oil	High	Tank cars, drums, cans, glass	Avoid contact of leakage from containers with rags, cotton or other fibrous combustible materials.	Rags or fabric impregnated with this oil are extremely dangerous. Avoid piles, etc. Store in closed containers, preferably metal.
Manure	Moderate	Bulk	Avoid extremes of low or high moisture contents. Ventilate the piles.	Avoid storing or loading uncooled manures.
Oiled rags	High	Bales	Avoid storing in bulk in open.	Dangerous if wet with drying oil.
Rags	Variable	Bales	Avoid contamination with drying oils. Avoid charring. Keep cool and dry.	Tendency depends on previous use of rags. Partially burned or charred rags are dangerous.
Sawdust	Possible	Bulk	Avoid contact with drying oils. Avoid hot, humid storage.	Partially burned or charred sawdust may be dangerous.
Wool wastes	Moderate	Bulk, bales, etc.	Keep cool and ventilated or store in closed containers. Avoid high moisture.	Most wool wastes contain oil, etc. from the weaving and spinning and are liable to heat in storage. Wet wool wastes are very liable to spontaneous heating and possible ignition.

<sup>a</sup> Reprinted from Fire Protection Handbook, 18th Ed. Copyright © 1997. National Fire Protection Association, Quincy, MA. Reprinted with permission.

Fuente: An Introduction to Fire Dynamics, D. Drysdale



# POR QUÉ OCURRE

En particular para los líquidos:

- Tendencia es proporcional al grado de insaturación de aceite (Número de yodo, IN)
- Aceites vegetales tienen IN más alto
  - Ricos en ácido oléico, linoléico, linolénico
- Aceites minerales son menos propensos

Aceite de perilla (menta púrpura)	196-201
Aceite de linaza	175-195
Aceite de semilla de cáñamo	145-167
Aceite de arenque americano	139-180
Aceite de semilla de amapola	133-143
Aceite de soja	137-143
Aceite de semilla de azafrán silvestre	129-150
Aceite de semilla de girasol	119-135
Aceite de colofonia (resina de pino)	112-115
Aceite de maíz	111-130
Aceite de semilla de algodón	108-110
Aceite de mostaza	96-107
Aceite de maní	97
Aceite de castor	82-86
Aceite de oliva	79-88
Aceite de tibia de ganado	70
Mantequilla	26-42
Aceite de coco	7-10

Type of fat	Iodine value	Proportion of fatty acids monounsaturated	Proportion of fatty acids polyunsaturated
Beef tallow	42 - 48	45%	1.5%
Mutton tallow	32 - 44		
Pork lard	50 - 65	50%	11%
Poultry fat	50 - 80	46%	24.5%

Fuentes: Brabauskas V. 2003, Ignition Handbook  
Meat Research Corporation. Iodine Value, 1998.

# CASO 2: INCENDIO EN HORNO

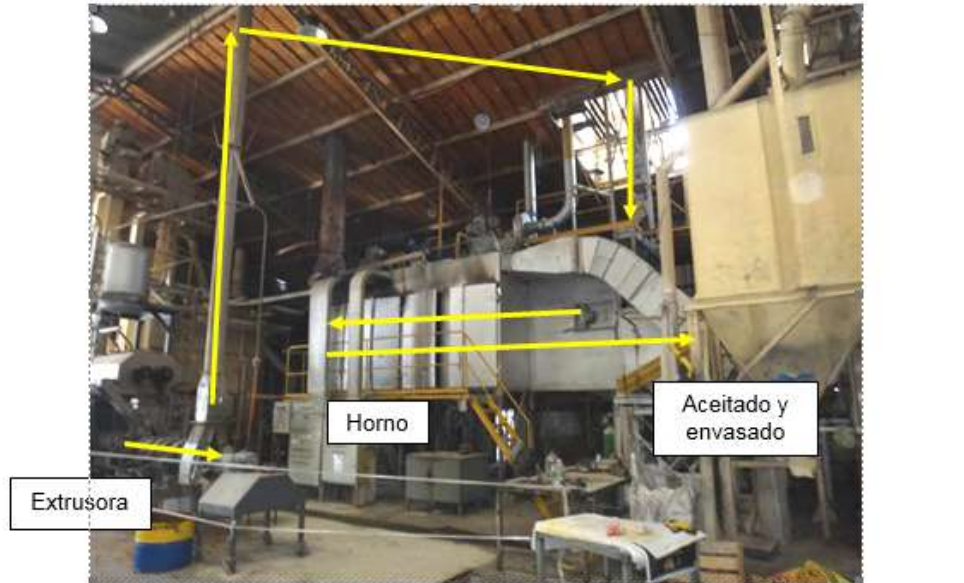


Figura 3 – Planta de proceso de alimento para mascotas. Zonas de extrusión, secado, aceitado y envasado.



Figura 15 – Sector de ingreso de pellet al horno. Se observan acumulaciones de polvo en las inmediaciones.

# CASO 2: INCENDIO EN HORNO

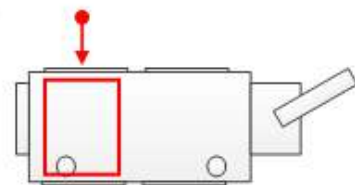


Figura 21 – Bandeja inferior de transporte de pellet. Se observa con material acumulado.



Figura 36 – Obtención y armado de muestra a partir de un polvo de pellet recolectado del interior del horno.

# CASO 2: INCENDIO EN HORNO

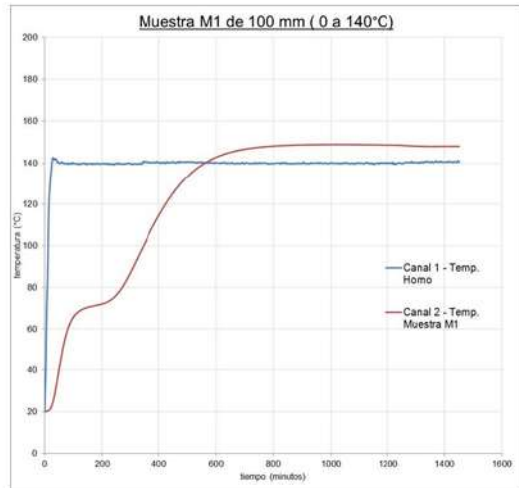


Figura 37 – Resultados cubo de 100 mm a temperatura de horno 140°C. La muestra se mantiene a una distancia superior del horno pero constante.

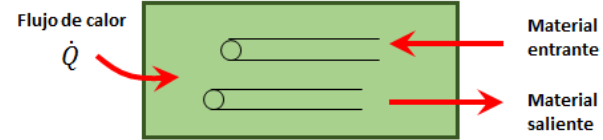


Figura 42 – Diagrama termodinámico del horno

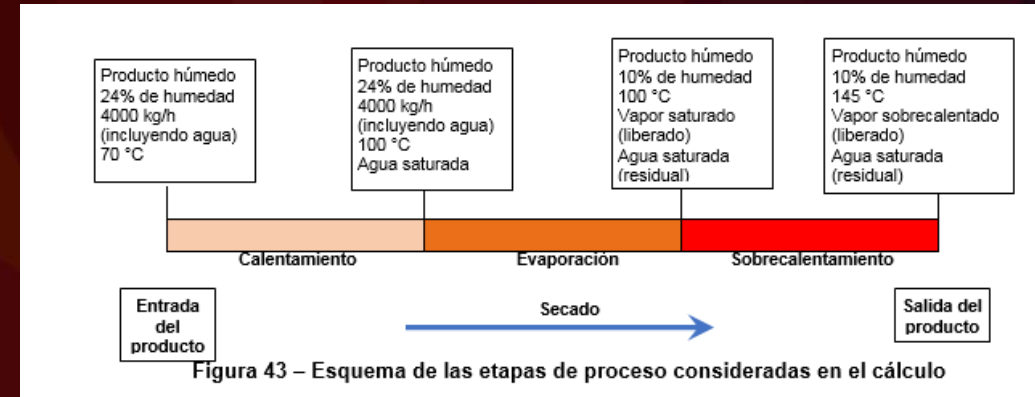


Figura 43 – Esquema de las etapas de proceso consideradas en el cálculo

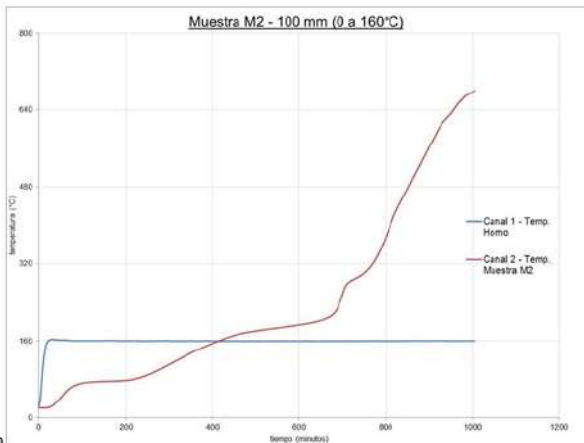


Figura 38 – Resultados cubo de 100 mm a temperatura de horno 160°C. La muestra se mantiene aumenta su temperatura por sobre la del horno (autocalentamiento).

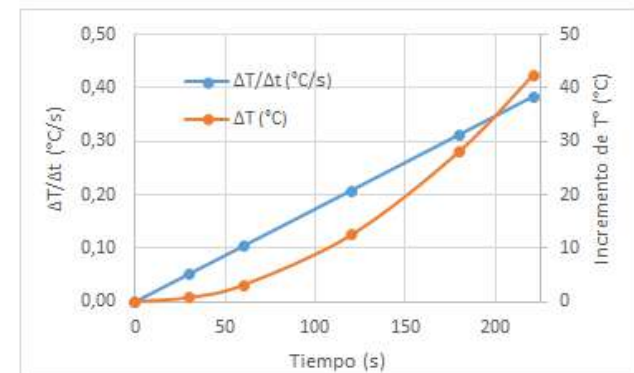


Figura 45 - Incremento en la temperatura del aire del horno ( $c_{p,p} = 490 \frac{J}{kg K}$ )

De acuerdo a NCh382:

**Clase 4 Sólidos inflamables; sustancias que pueden experimentar combustión espontánea, sustancias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables**

- División 4.1 Sólidos inflamables, sustancias de reacción espontánea y sólidos explosivos insensibilizados
- División 4.2 Sustancias que pueden experimentar **combustión espontánea**
- División 4.3 Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables

**NORMA  
CHILENA**

**NCh382**

Sexta edición  
2013.08.29

---

**Sustancias peligrosas - Clasificación**

*Hazardous materials - General classification*

# CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS

## De acuerdo a NCh382:

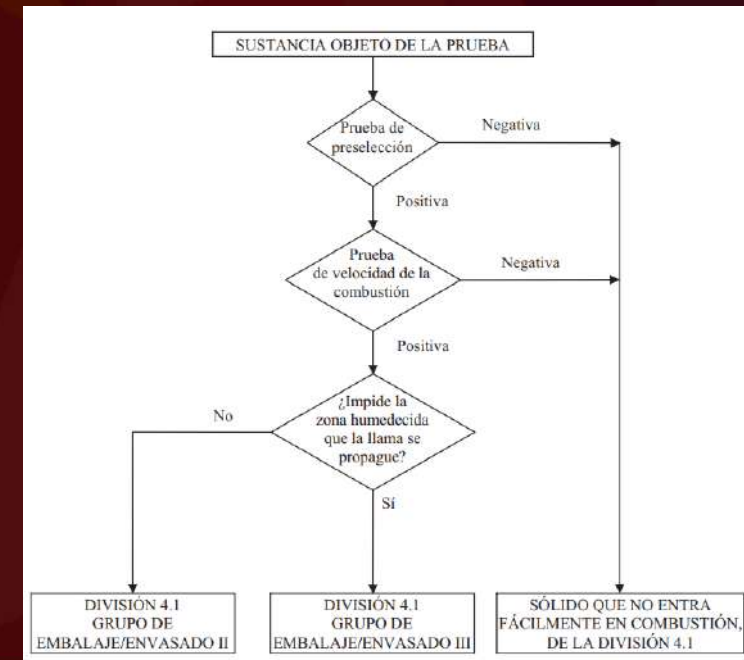
División 4.1 Sólidos inflamables, sustancias de reacción espontánea y sólidos explosivos insensibilizados

- Sólidos inflamables
- Sustancias que reaccionan espontáneamente
- Explosivos sólidos insensibilizados

Clasificación según Manual de Pruebas y Criterios, sección 33.2.1

Fuentes: INN. NCh382 Sustancias peligrosas- Clasificación  
UN. Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas – Manual de pruebas y criterios

N° UN	Producto	Grupo de Embalaje
1309	Aluminio en polvo recubierto	II y III
1331	Fósforos distintos de los de seguridad	III
1350	Azufre	III
1352	Titanio en polvo, humidificado...	II
1869	Magnesio o aleaciones de magnesio, con +50%	III
2717	Alcanfor sintético	III



# CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS

## De acuerdo a NCh382:

División 4.1 Sólidos inflamables, sustancias de reacción espontánea y sólidos explosivos insensibilizados

- Carbón activo en formato pellets de  $\varnothing 3\text{mm} \times 6\text{mm}$



# CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS

## De acuerdo a NCh382:

División 4.2 Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea

- Sustancias pirofóricas
- Sustancias que experimentan calentamiento espontáneo

Clasificación según Manual de Pruebas y Criterios:

- Sección 33.3.1.4 y 33.3.1.5
- Sección 33.3.1.6

**NORMA  
CHILENA**

**NCh382**

Sexta edición  
2013.08.29

---

**Sustancias peligrosas - Clasificación**

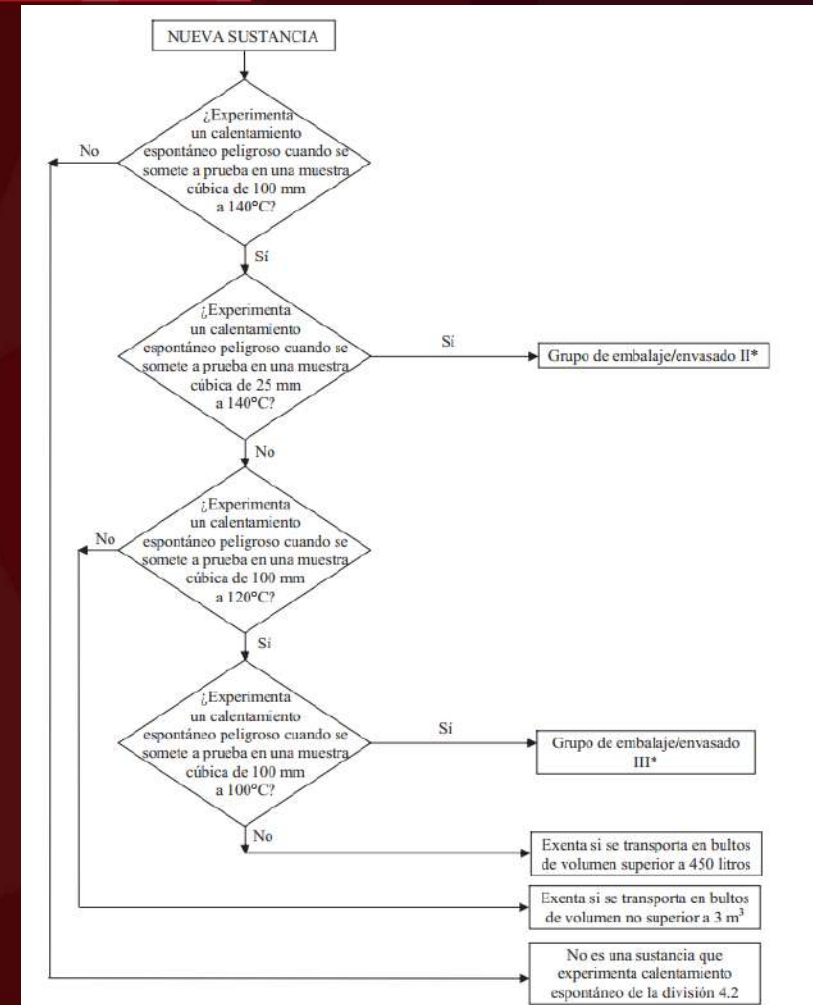
*Hazardous materials - General classification*



# CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS

## De acuerdo a NCh382, ensayos respecto a metodología de Manual de Pruebas y Criterios, subsección 33.3.1.6:

- Un resultado positivo con muestra cúbica de lado 25 mm a 140°C
- Un resultado positivo con muestra cúbica de lado 100 mm a 140°C y uno negativo con una muestra cúbica de lado 100 mm a 120°C y la sustancia se transporta en bultos cuyo volumen es mayor que 3 m<sup>3</sup>;
- Un resultado positivo con muestra cúbica de 100 mm de lado a 140°C y uno negativo con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 100°C, y la sustancia se transporta en bultos cuyo volumen es mayor que 0,45 m<sup>3</sup>;
- Un resultado positivo con una muestra cúbica de 100 mm de lado a 140°C y un resultado positivo con una muestra cúbica de lado 100 mm a 100°C.

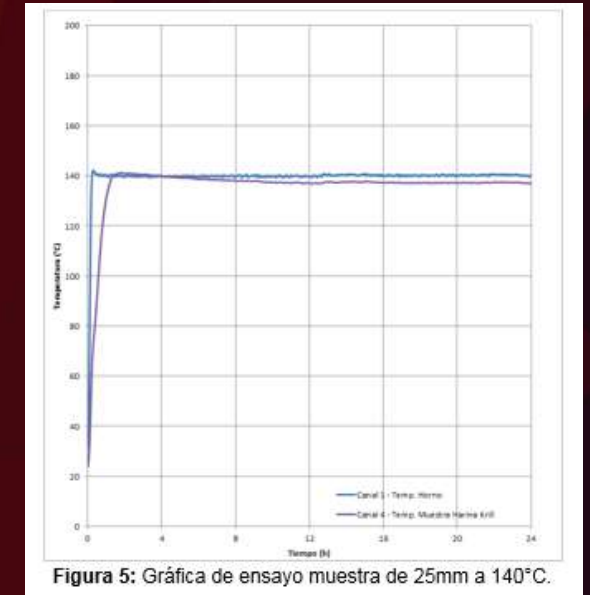
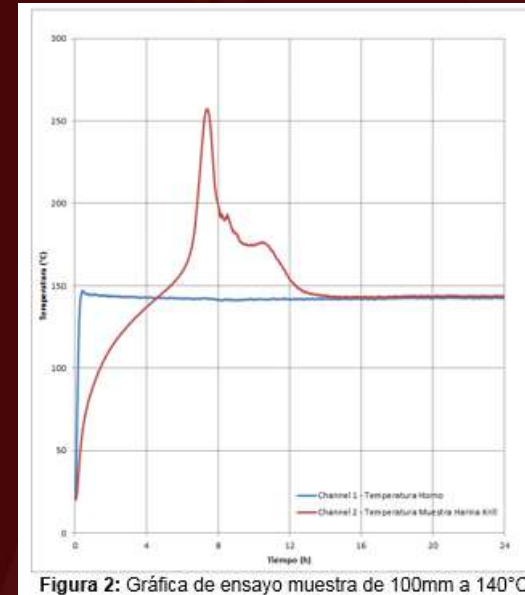


# CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS

## De acuerdo a NCh382:

División 4.2 Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea

- Harina de pescado y similares



# CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS

De acuerdo a NCh382, ensayos respecto a metodología de Manual de Pruebas y Criterios, subsección 33.3.1.6:

1361	CARBON animal o vegetal	4.2		II		0	E2	133
1361	CARBON animal o vegetal	4.2		III	223	0	E1	133
1362	CARBON ACTIVADO	4.2		III	223	0	E1	133
1363	COPRA	4.2		III	29	0	E1	135
1364	DESECHOS GRASIENTOS DE ALGODON	4.2		III		0	E1	133
1365	ALGODON HUMEDO	4.2		III	29	0	E1	133
1369	p-NITROSO-DIMETILANILINA	4.2		II		0	E2	135
1372	FIBRAS DE ORIGEN ANIMAL o FIBRAS DE ORIGEN VEGETAL quemadas, húmedas o mojadas	4.2		III	117	0	E1	133
1373	FIBRAS o TEJIDOS DE ORIGEN ANIMAL o VEGETAL o SINTETICOS, N.E.P., impregnados de aceite	4.2		III		0	E1	133
1374	HARINA DE PESCADO (DESECHOS DE PESCADO) NO ESTABILIZADA	4.2		II	300	0	E2	133
1376	OXIDO DE HIERRO AGOTADO o HIERRO ESPONJOSO AGOTADO procedentes de la purificación del gas de hulla	4.2		III	223	0	E1	135
1378	CATALIZADOR DE METAL HUMEDECIDO con un exceso visible de líquido	4.2		II	274	0	E2	170
1379	PAPEL TRATADO CON ACEITES NO SATURADOS, incompletamente seco (incluso el papel carbón)	4.2		III		0	E1	133
1380	PENTABORANO	4.2	6.1	I		0	E0	135

Fuentes: INN. NCh382 Sustancias peligrosas- Clasificación

Recomendaciones relativas al

## TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS

Manual  
de Pruebas y Criterios

*Sexta edición revisada*

# CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS

## De acuerdo a NCh382:

División 4.3 Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables

Clasificación según el Manual de Pruebas y Criterios, sección 33.4.1

**NORMA  
CHILENA**

**NCh382**

Sexta edición  
2013.08.29

---

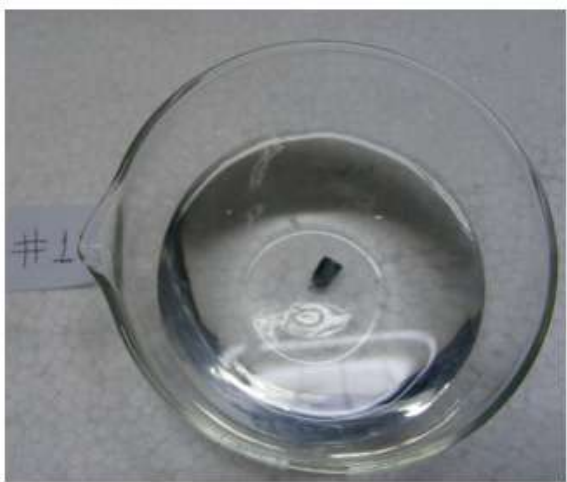
**Sustancias peligrosas - Clasificación**

*Hazardous materials - General classification*

# CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS

De acuerdo a NCh382:

División 4.3 Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables



Fotografía 2: Ensayo según Ítem 33.4.1.4.3.2.



Fotografía 3: Ensayo según Ítem 33.4.1.4.3.3.



Fotografía 4: Ensayo según Ítem 33.4.1.4.3.4.



Fotografía 6: Ensayo según Ítem 33.4.1.4.3.5, en la séptima hora de ensayo.

# CASO 3: MATERIALES COMUNES

## Productos agrícolas

- **Heno** Alta humedad
- **Almidón** - Reacción microbiológica (~70°C)
- **Trigo** Oxidación
- **Semillas** Respiración celular

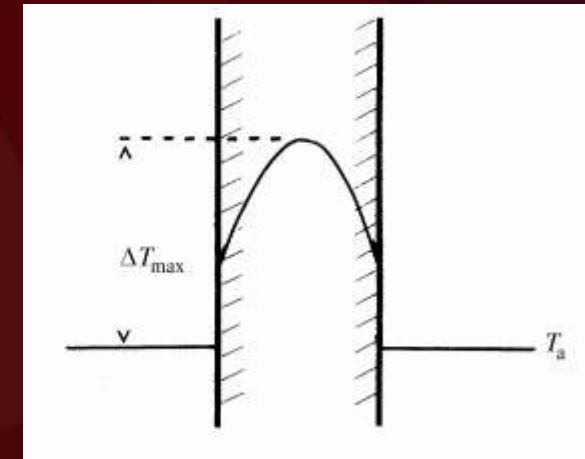
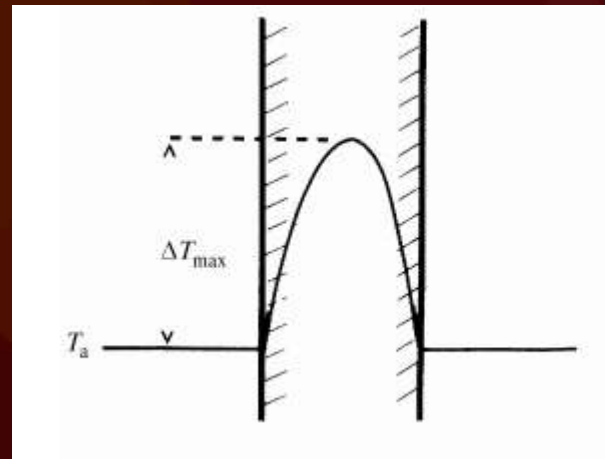
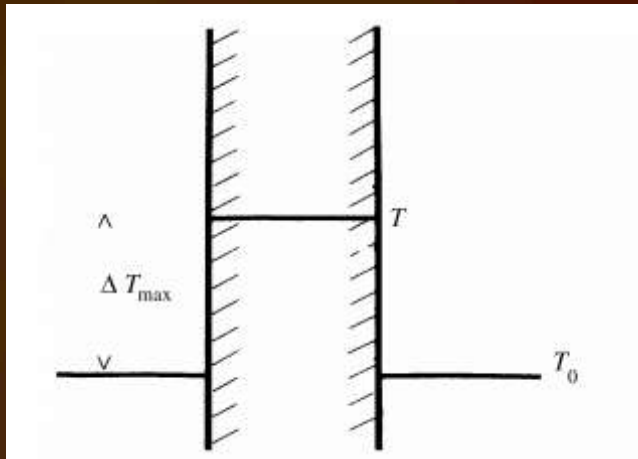
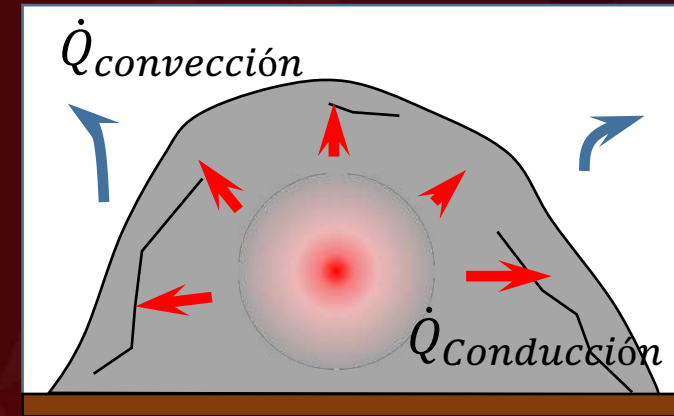
## Harina de pescado y similares

- Alto contenido de grasas (>11%)
- Alta humedad (>12%)



Los estudios más reconocidos pertenecen a:

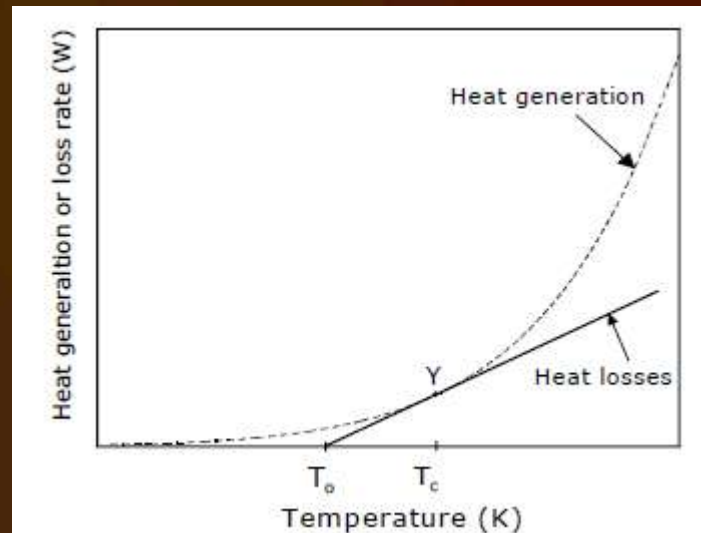
- Nikolai Semenov en 1928
- David Frank-Kamenetskii en 1939
- Philip Thomas en 1958



Fuente: An Introduction to Fire Dynamics, D. Drysdale

## Modelo Frank-Kamenetskii F-K

$$\ln \left( \frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2} \right) = \ln \left( \frac{E_A \Delta H_c A C_i^n}{kR} \right) - \frac{E_A}{RT_{a,cr}}$$



**Table 20.1** Values of  $\delta_{critical}$  for various geometries

Geometry	Dimensions	$\delta_{critical}$
Infinite plane slab	Width $2r$	0.878
Rectangular box	Sides $2l, 2r, 2m$ ; $r < l, m$	0.873 $(1 + r^{2/l^2} + r^2/m^2)$
Cube	Side $2r$	2.52
Infinite cylinder	Radius $r$	2.00
Equicylinder	Height $2r$ , radius $r$	2.76
Sphere	Radius $r$	3.32
Infinite square rod	Side $2r$	1.700

Fuentes: Brabauskas V. 2003, Ignition Handbook  
SFPE Handbook of fire protection 5th Ed.



## Modelo Frank-Kamenetskii F-K - Consideraciones

- **Tamaño y forma de la acumulación**
  - Mayor tamaño, menor temperatura crítica
- **Tiempo**
- **Porosidad del material**
  - Proceso “crea” porosidades

$$\ln \left( \frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2} \right) = \ln \left( \frac{E_A \Delta H_c A C_i^n}{kR} \right) - \frac{E_A}{RT_{a,cr}}$$

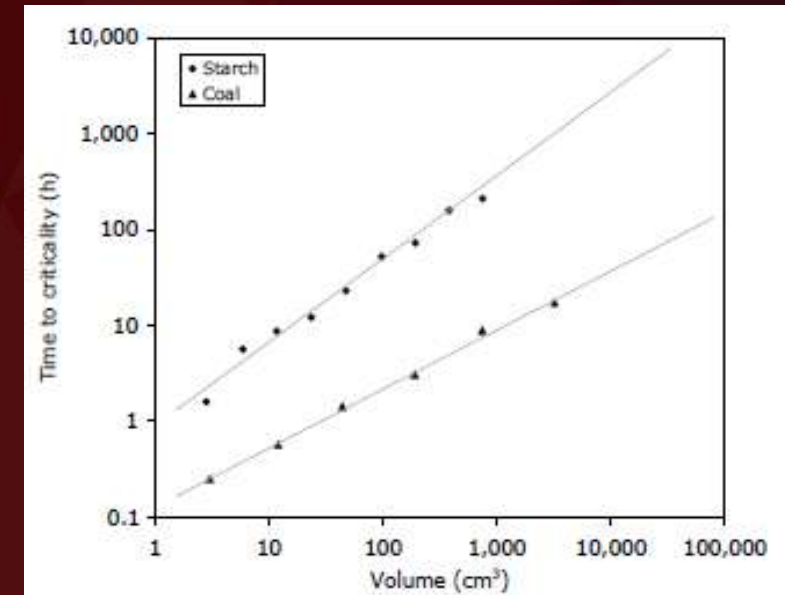


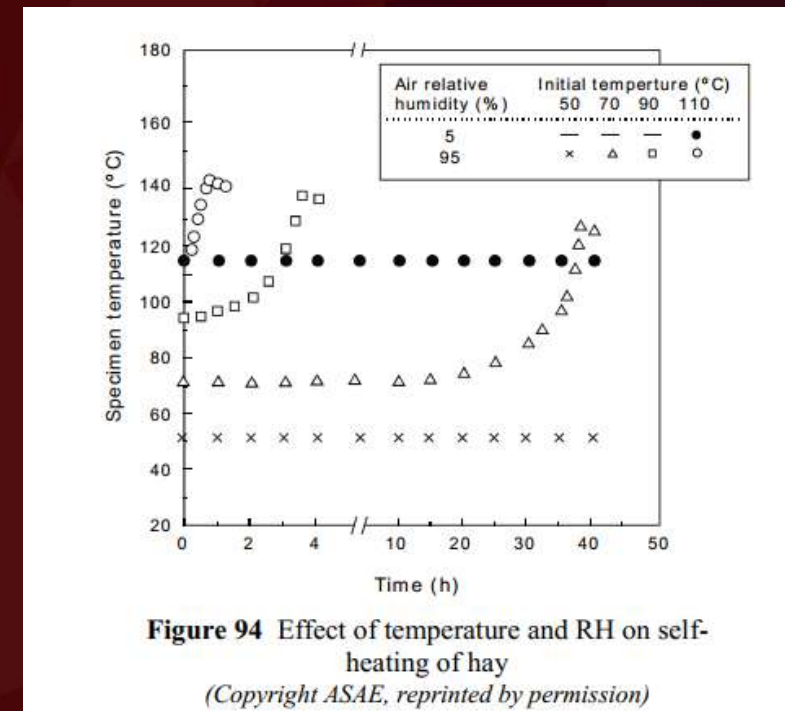
Figure 22 Time to criticality data for two dusts; each data point represents a test run at the lowest temperature leading to criticality

Fuente: Brabauskas V. 2003, Ignition Handbook

## Modelo Frank-Kamenetskii F-K - Consideraciones

- **Tamaño y forma de la acumulación**
  - Mayor tamaño, menor temperatura crítica
- **Tiempo**
- **Porosidad del material**
  - Proceso “crea” porosidades
- **Humedad**
  - Reacciones químicas y biológicas
  - Aumenta conductividad
  - Evaporación absorbe calor

$$\ln\left(\frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2}\right) = \ln\left(\frac{E_A \Delta H_c A C_i^n}{kR}\right) - \frac{E_A}{RT_{a,cr}}$$



**Figure 94** Effect of temperature and RH on self-heating of hay  
(Copyright ASAE, reprinted by permission)

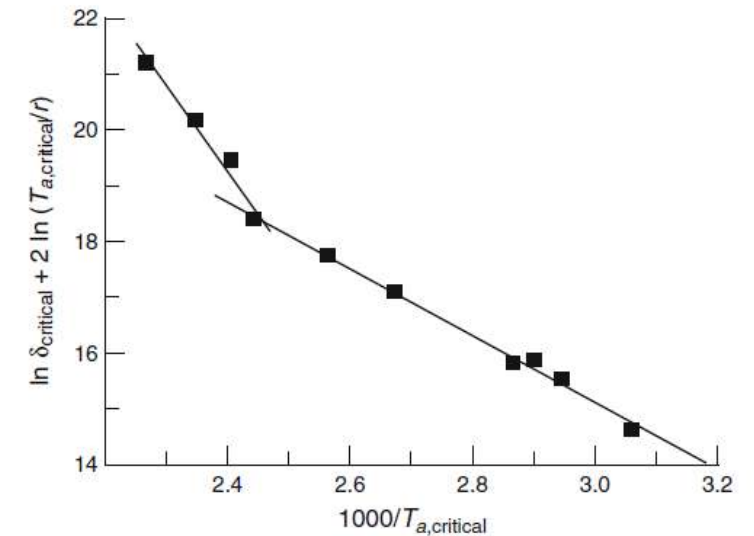
Fuente: Brabauskas V. 2003, Ignition Handbook

## Modelo Frank-Kamenetskii F-K - Consideraciones

- **Tamaño y forma de la acumulación**
  - Mayor tamaño, menor temperatura crítica
- **Tiempo**
- **Porosidad del material**
  - Proceso “crea” porosidades
- **Humedad**
  - Reacciones químicas y biológicas
  - Aumenta conductividad
  - Evaporación absorbe calor
  - Puede afectar los resultados

$$\ln \left( \frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2} \right) = \ln \left( \frac{E_A \Delta H_c A C_i^n}{kR} \right) - \frac{E_A}{RT_{a,cr}}$$

**Fig. 20.8** Frank-Kamenetskii plot for hydrated calcium hypochlorite with reaction mechanism change



Fuente: SFPE Handbook of fire protection 5th Ed.

## Modelo Frank-Kamenetskii F-K - Consideraciones

- Densidad
- Antioxidantes

$$\ln \left( \frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2} \right) = \ln \left( \frac{E_A \Delta H_c A C_i^n}{kR} \right) - \frac{E_A}{RT_{a,cr}}$$

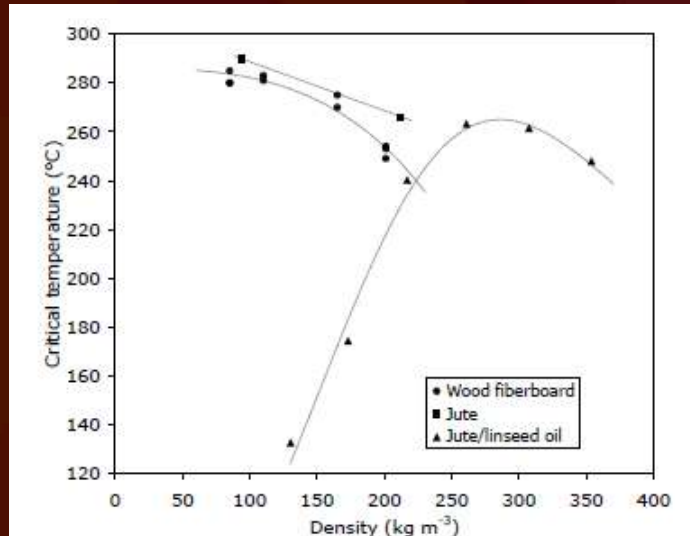


Figure 24 Effect of density of the critical ambient temperature for several materials

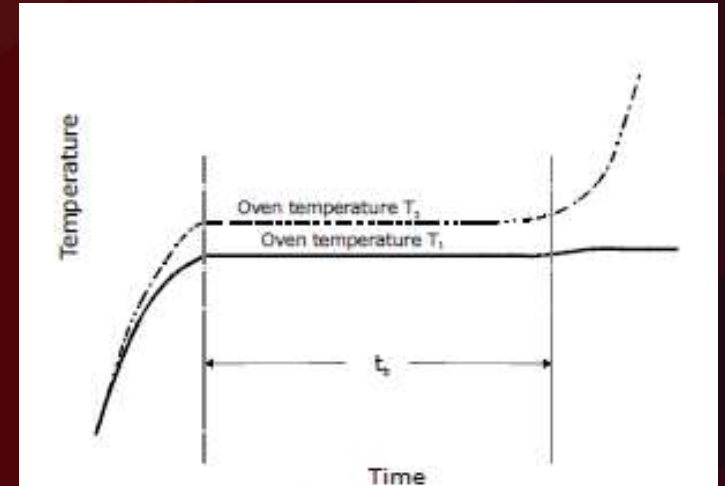


Figure 25 Oven heating results for specimen with antioxidant

Fuente: Brabauskas V. 2003, Ignition Handbook

## Modelo Frank-Kamenetskii F-K - Consideraciones

- Densidad
- Antioxidantes
- Número de Biot
  - Modelo F-K de “Biot infinito”
  - Depende de la conductividad del material

$$\ln\left(\frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2}\right) = \ln\left(\frac{E_A \Delta H_c A C_i^n}{kR}\right) - \frac{E_A}{RT_{a,cr}}$$

$$Bi = \frac{hr_0}{k}$$

$$h = 20 \frac{W}{m^2 K}$$

$$k = 0,2 \frac{W}{m K}$$

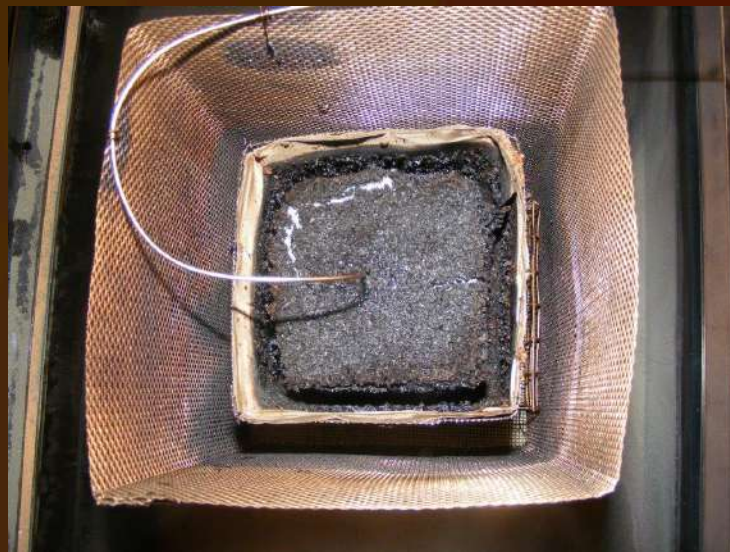
$$r_0 = 0,1 m$$

$$Bi = 10 \rightarrow \delta = 0,83 \delta_{cr}$$

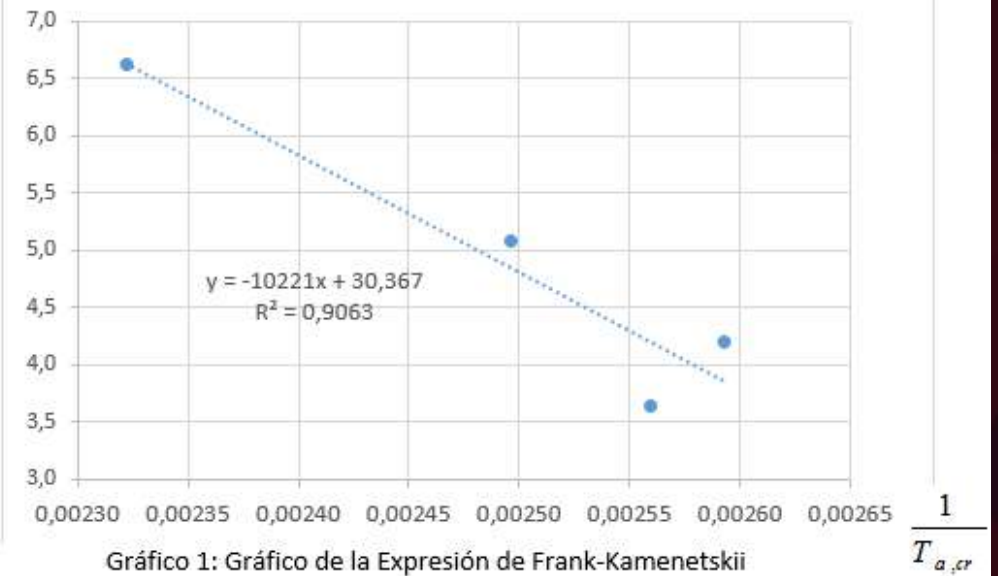
## Modelo Frank-Kamenetskii F-K - Aplicabilidad

- Bagazo (debido al rol de pivote de la humedad)
- Peróxido de benzoilo (debido a múltiples reacciones y efectos del cambio de fase)
- Hipoclorito de calcio (debido a dos regímenes de reacciones diferentes)
- Fertilizantes (debido a reacciones múltiples, variación en la conductividad, humedad y fusión)
- Pajares (debido a calentamiento microbiológico)

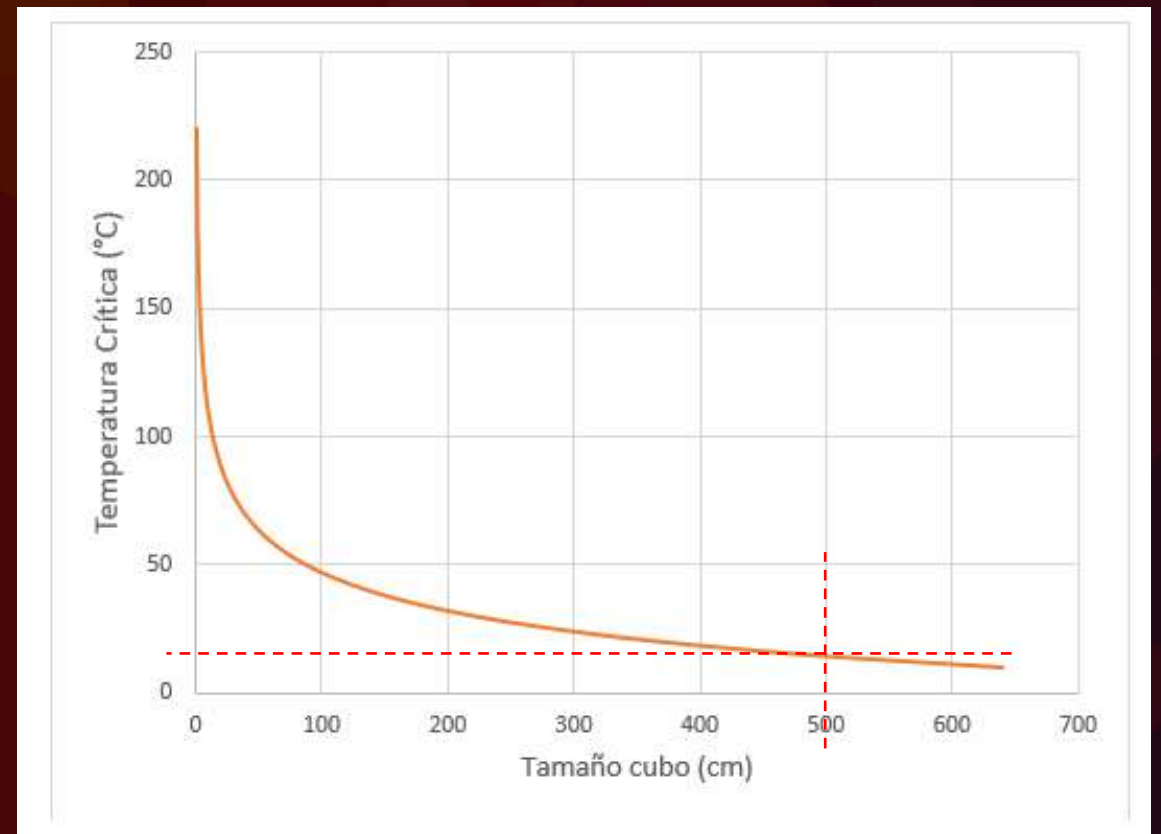
# CASO N° 4



$$\ln\left(\frac{2,52 \cdot T_{a,cr}^2}{r_0^2}\right)$$



# CASO N° 4





## Extinción

- Difícil de extinguir
- Requiere gran cantidad de agua
  - Estudios en smoldering de carbón indican 1 a 2 l por kg de combustible encendido
- Inertización de la atmósfera puede ser insuficiente
- Agente extintor sigue “canales”
- Puede reencender días después



## Prevención

- Conocer las características del material
- Disminuir tamaño de almacenamiento
- Utilizar envases impermeables al aire
- Monitorear la temperatura o los productos de combustión

## NFPA 652-16 art. 8.5.11.1

Material en silos y otras pilas de almacenamiento grandes de partículas propensas a autocalentarse será administrado para controlar este fenómeno o tener provisiones para detectarlo.



## NFPA 652-16 art. A.8.5.11.1

... Métodos de detección de autocalentamiento incluyen monitores de temperatura en la pila o silo y monitores de CO<sub>2</sub> en el silo.

...control de la temperatura del material a medida que se agrega al almacenamiento...

...control del tiempo de residencia en el almacenamiento.

## NFPA 61-17 art. 8.3.9.4.2.2 (Secadores de almidón)

Las puertas de inspección y limpieza deben ubicarse en puntos del sistema donde es probable que ocurra una ignición espontánea, especialmente donde se puede acumular almidón y donde el almidón está sujeto a calor continuo.



# CONCLUSIONES

## Autocalentamiento e ignición espontánea

- Causa de incendios no muy popular
- Requiere conocimiento del comportamiento de los materiales

## Incendios por autocalentamiento

- Son de frecuencia relativamente baja.
- Por lo general grandes daños
- Son de difícil extinción

# CONCLUSIONES

Afecta principalmente

- Materiales combustibles porosos
- Líquidos en sustrato poroso (ej.: grasas insaturadas)

Se produce por:

- Oxidación del material
- Descomposición del material
- Reacciones microbiológicas

NCh 382 especifica una clasificación de sustancias basado en métodos de la UN:

- División 4.1 Sólidos inflamables, sustancias de reacción espontánea y sólidos explosivos insensibilizados
- División 4.2 Sustancias que pueden experimentar **combustión espontánea**
- División 4.3 Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables

Existe metodología para predecir comportamiento:

$$\ln \left( \frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2} \right) = \ln \left( \frac{E_A \Delta H_c A C_i^n}{kR} \right) - \frac{E_A}{RT_{a,cr}}$$

# CONCLUSIONES

Debido a que la extinción puede ser difícil, se recomienda prevención:

- Conocer las características del material
- Disminuir tamaño de almacenamiento
- Utilizar envases impermeables al aire
- Monitorear la temperatura o los productos de combustión



expofuego

Chile 2018

