



# CONCURSO INGENIERÍA

## VI CONCURSO INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN 2019

### MEMORIAS, INVESTIGACIONES, PROYECTOS DE TÍTULO, PATENTES

El VI Concurso de Ingeniería Madera21 de CORMA 2019 invita a presentar investigaciones relacionadas de manera directa o indirecta con la utilización de la madera y sus productos asociados en los ámbitos de ingeniería estructural, forestal, bioquímica, construcción, inmobiliario y otros relacionados.

SEMANA DE LA

**MADERA 2019**

ARQUITECTURA - DISEÑO - INGENIERÍA - INNOVACIÓN - EMPRENDIMIENTO



**Equipo ING786**

EQUIPO ING786

# DISEÑO DE HORNO EXPERIMENTAL Y VALIDACIÓN DE PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA LA FUTURA NORMA NCH1198-2

Mauricio Rey González y Santiago Cerfogli  
Ingeniería Civil – Universidad de Chile

Profesor Guía: Mario Wagner

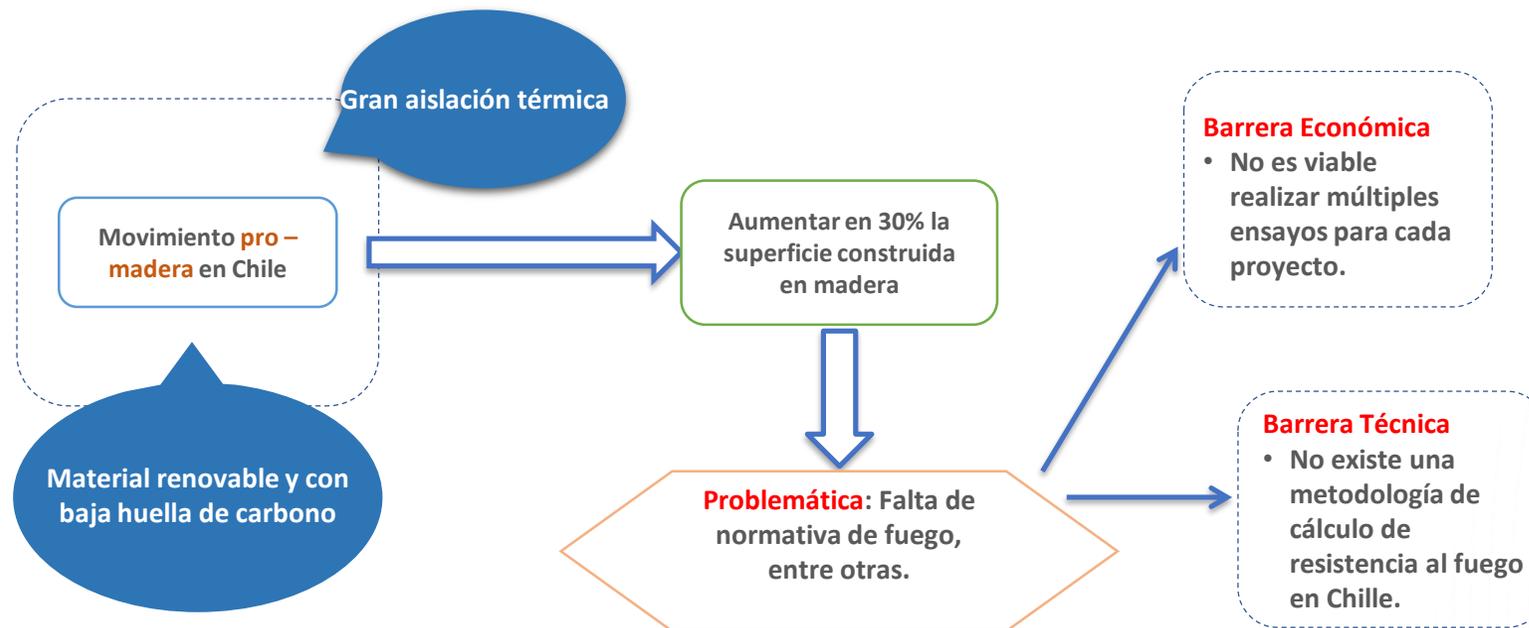


CONCURSO  
**INGENIERÍA**

SEMANA DE LA  
**MADERA 2019**  
ARQUITECTURA - DISEÑO - INGENIERÍA - INNOVACIÓN - EMPRENDIMIENTO

**MADERA21**  
de CORMA

## ANTECEDENTES



## OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Diseño y construcción de un horno experimental que permita estudiar el comportamiento de la madera y de las soluciones de protección contra el fuego de esta, a un bajo costo y con validez normativa.
- Validar las velocidades de carbonización utilizadas por distintas normas internacionales por medio de ensayos, utilizando para esto, el horno experimental nuevo.

## EL CONCEPTO DE RESISTENCIA AL FUEGO Y SU IMPORTANCIA



### Estrategia de Protección Contra incendios

- 1 Propagación exterior
- 2 Propagación interna
- 3 **Estructuras y Compartimentación**
- 4 Reacción al fuego de materiales

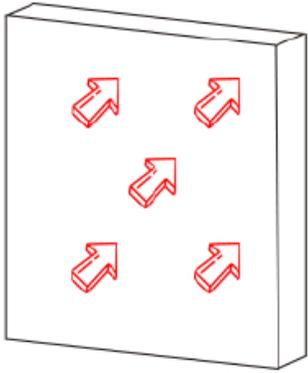


- 5 Comportamiento Humano.
- 6 Evacuación y Alarma.
- 7 Sistemas activos
- 8 Control de riesgos especiales

## METODOLOGÍA – DISEÑO DEL HORNO EXPERIMENTAL

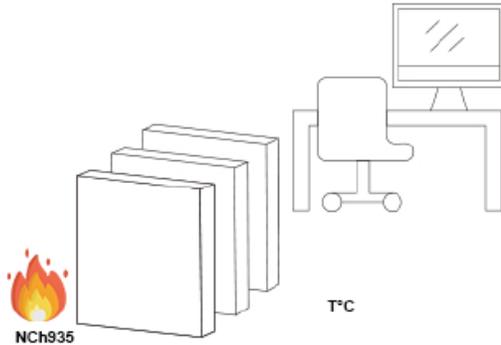
### Objetivo:

Someter probetas planas a un incendio estándar simulando condiciones de transferencia de calor unidimensional.



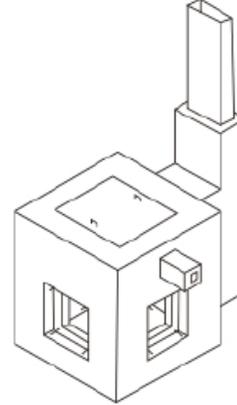
### Parámetros Básicos de Diseño:

- Ensayos de 2-3 probetas planas de dimensiones aprox. 50cmx50cm
- Cumplir con NCh935. Incendio estándar.
- Permitir el monitoreo de T° en horno y probetas.



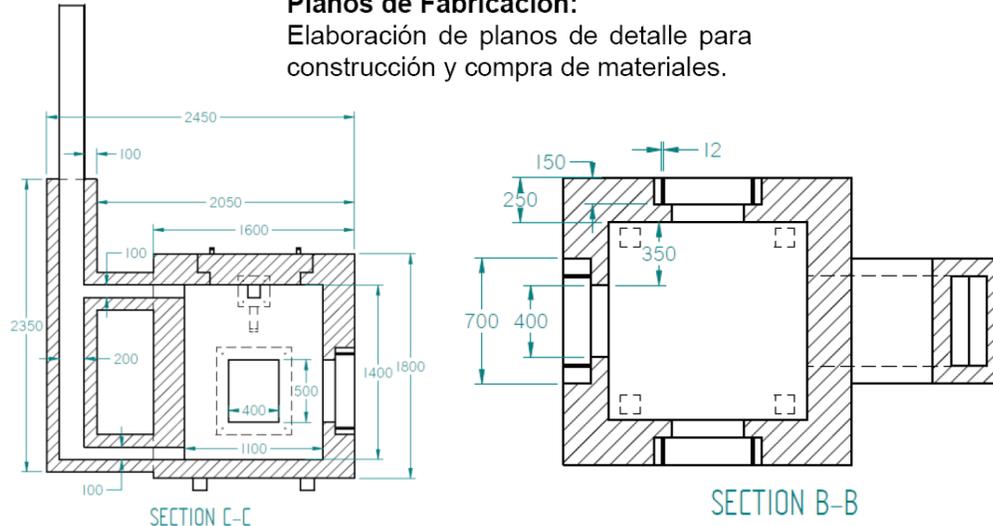
### Pre-diseño:

Elaboración de un diseño conceptual del horno experimental para el posterior diseño de su envolvente estructural y aislante.



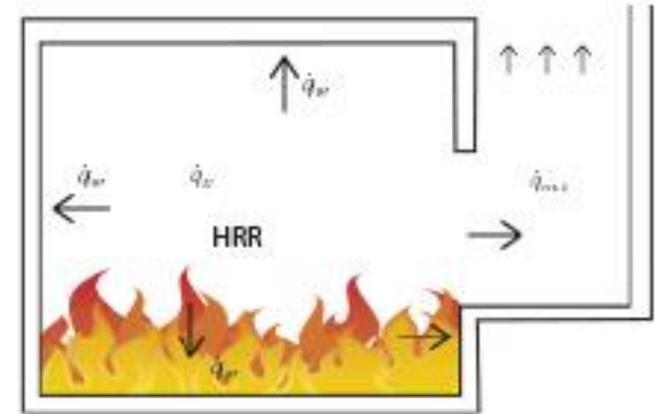
### Planos de Fabricación:

Elaboración de planos de detalle para construcción y compra de materiales.



### Diseño Térmico:

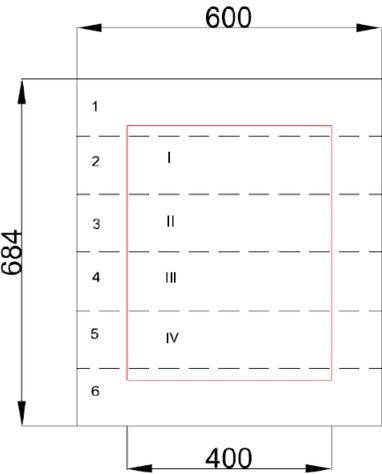
- Análisis de transferencia de calor para el diseño de espesores (cerámica y acero).
- Determinación de la potencia del quemador para poder seguir la curva de tiempo vs temperatura estándar.



## METODOLOGÍA – DISEÑO DEL PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

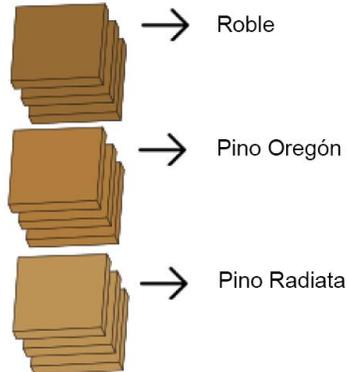
### Obtención de Muestras:

Por cada probeta, se sacan 4 muestras (I a IV), en las que se insertan 5 termocuplas a distintas profundidades. Para asegurar transferencia de calor unidimensional se utiliza solo la parte central (delimitación en rojo).



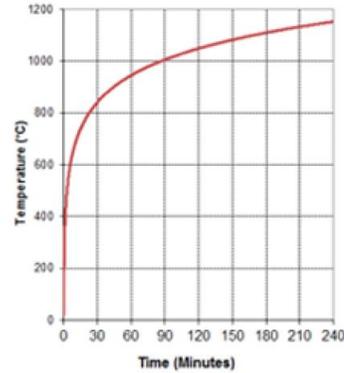
### Especies Estudiadas:

Se estudiaron especies coníferas (softwood) como latifoliadas (hardwoods), estas fueron; Pino Radiata, Pino Oregón y Roble. Además, se ensayaron probetas de madera laminada encolada (MLE).



### Ensayo Bajo Incendio Estándar:

Las probetas se expusieron a la curva, de tiempo vs temperatura, de la norma NCh935, conocida también como curva de incendio estandar.



### Medición con Termocuplas:

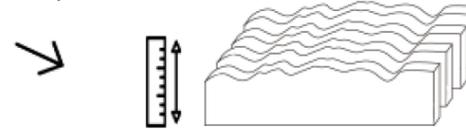
Se obtiene la evolución de la temperatura a distintas profundidades en las probetas y se grafican.



Figura 9: obtención de temperaturas medidas con termocuplas insertas en la madera

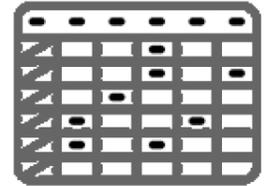
### Medición de Ancho Residual:

Seccionando las probetas en múltiples muestras se miden anchos residuales y se promedian.



### Resumen de resultados:

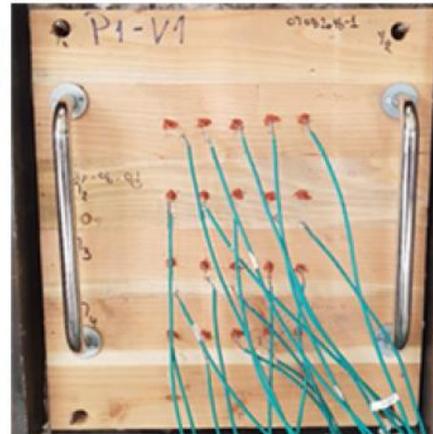
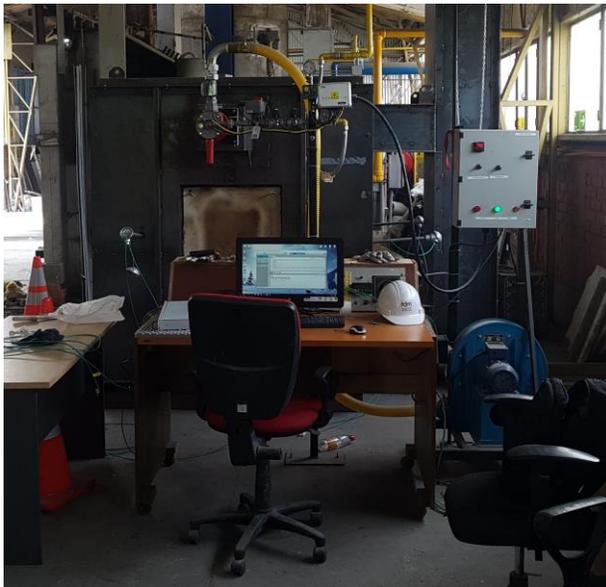
Tablas resumen con los resultados de velocidades de carbonización medidas con ambos métodos y para las tres especies estudiadas.



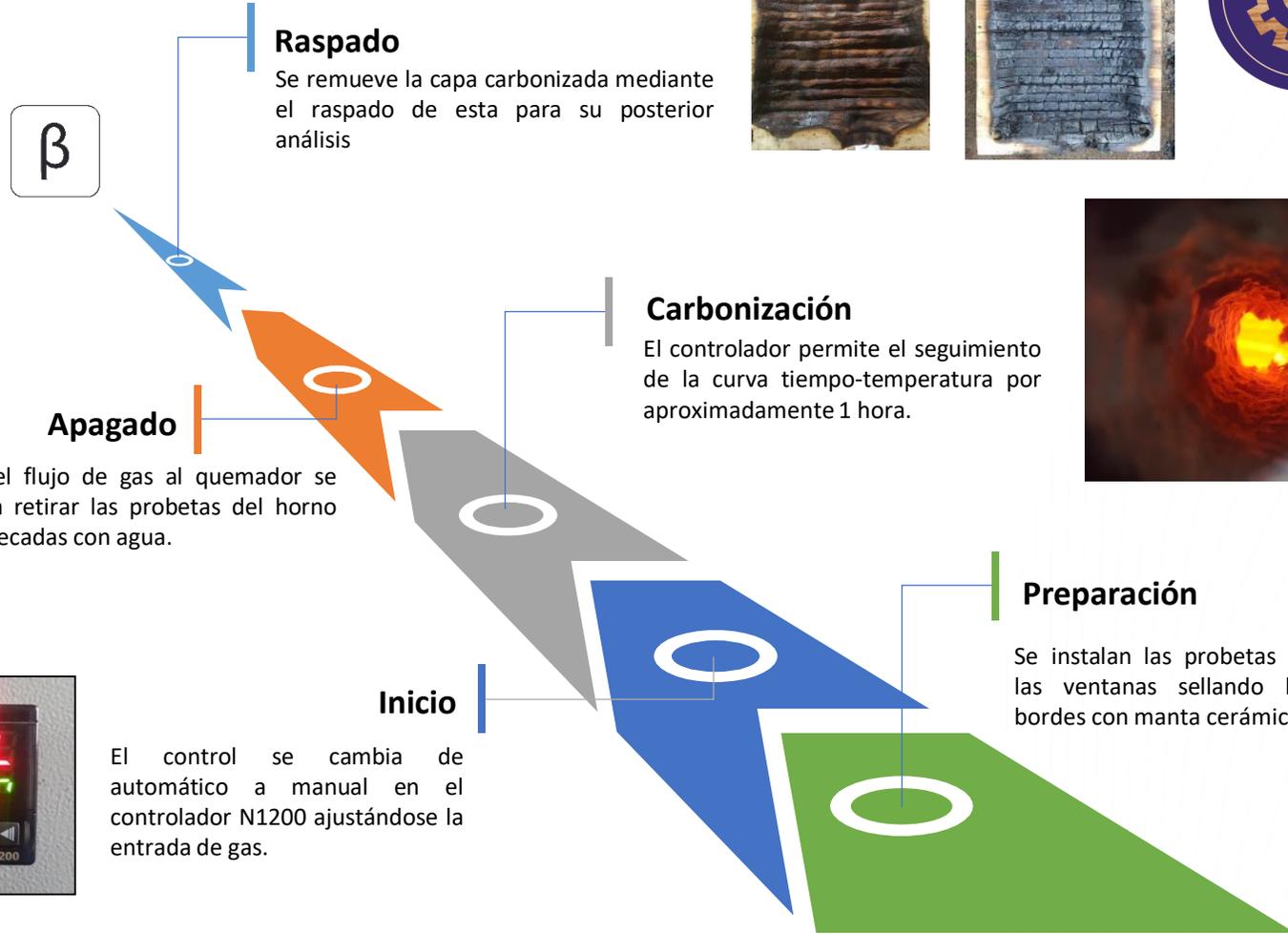
## RESULTADOS – DISEÑO DEL HORNO EXPERIMENTAL



## RESULTADOS – ENSAYOS



## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO



### Raspado

Se remueve la capa carbonizada mediante el raspado de esta para su posterior análisis

### Carbonización

El controlador permite el seguimiento de la curva tiempo-temperatura por aproximadamente 1 hora.



### Preparación

Se instalan las probetas en las ventanas sellando los bordes con manta cerámica



### Inicio

El control se cambia de automático a manual en el controlador N1200 ajustándose la entrada de gas.

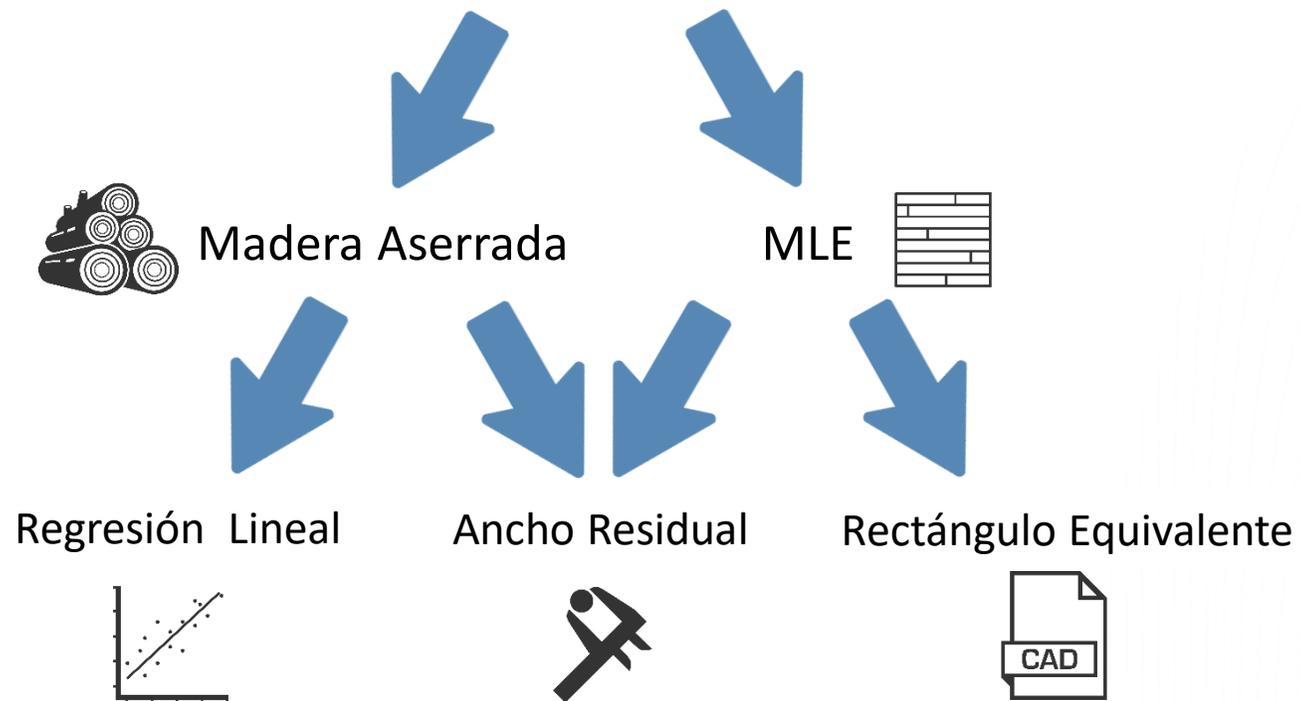
### Apagado

Cortado el flujo de gas al quemador se procesa a retirar las probetas del horno para ser secadas con agua.

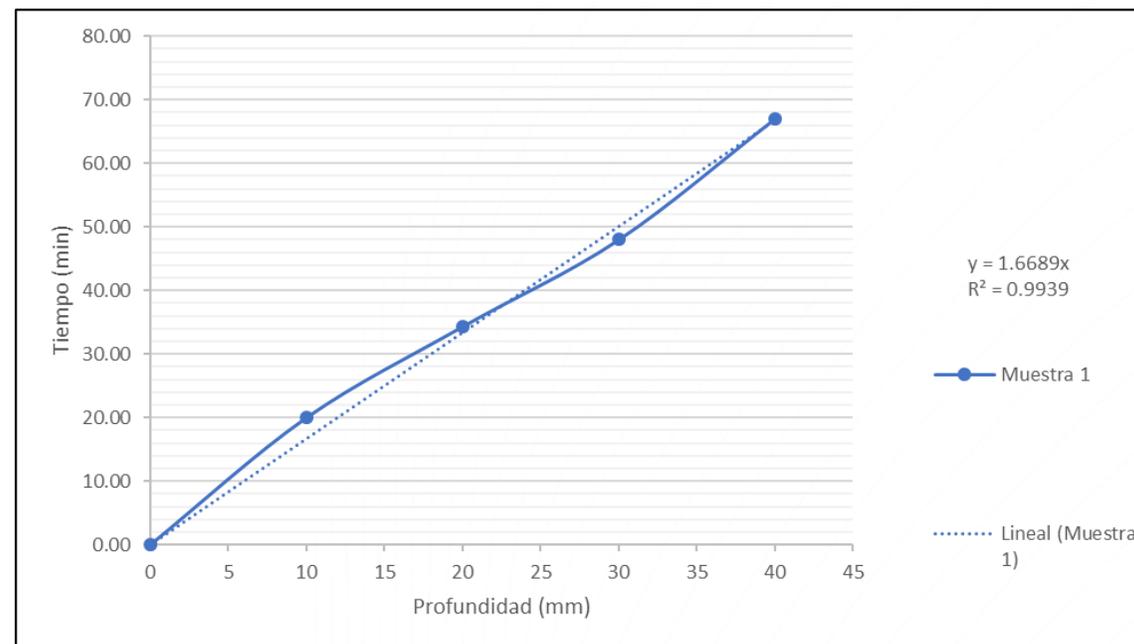
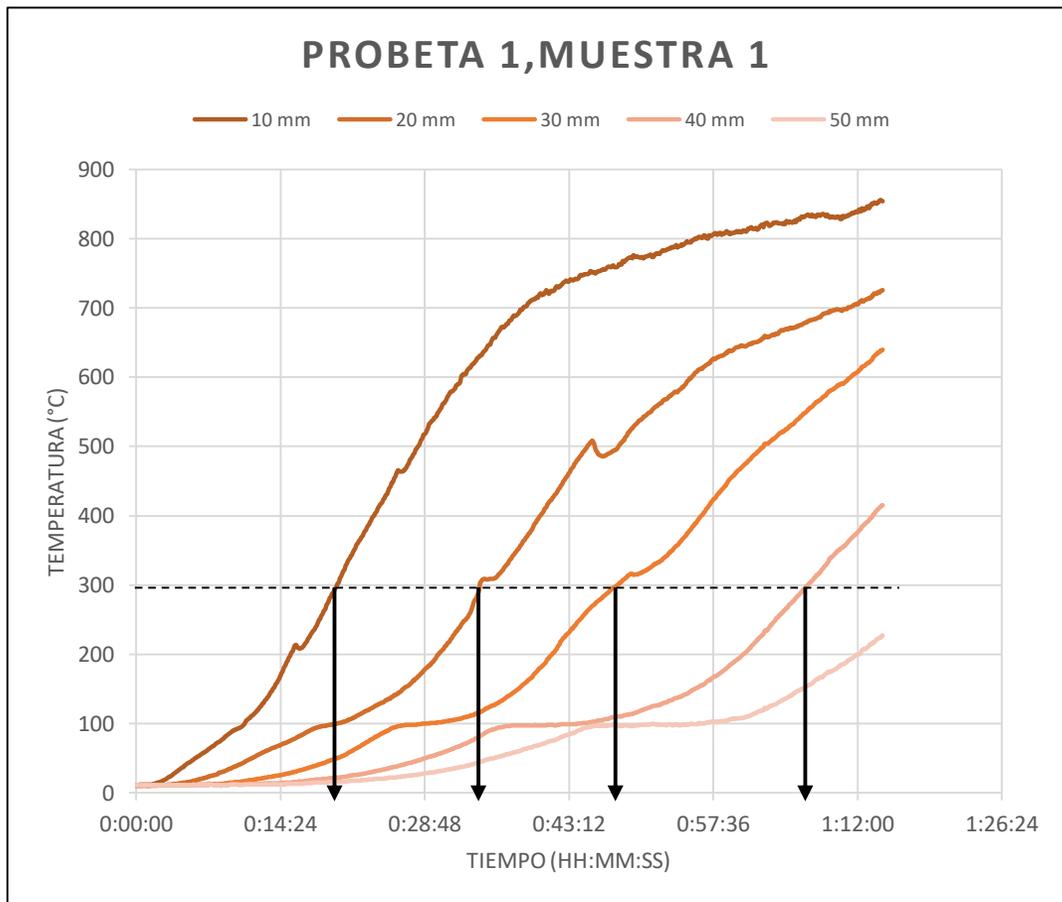
β



## Métodos de obtención para Velocidad de Carbonización



## MÉTODO CON REGRESIÓN LINEAL



$$m = 1,669 \longrightarrow \beta = \frac{1}{1,669} = 0,6 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

## MÉTODO DE ANCHO RESIDUAL



### Separar Muestras y Soportes

Mediante cortes en la líneas encolas se separan las muestras y se eliminan los soportes.



### Probeta Carbonizada

Apagada la llama en la probeta se deja secar como mínimo 2 días.



### Raspar Muestra

Mediante una escobilla se remueve la capa carbonizada hasta alcanzar la sección intacta.



### Cortar Bordes

Se remueven 20 cm por cada lado de las muestras, correspondiendo a la sección de transición de la ventana del horno.



### Dividir Mini-Muestras

Se cortan 6 mini-muestras de 5 cm de espesor cada una, que luego se analizan mediante pie de metro.

## RESULTADOS PRELIMINARES

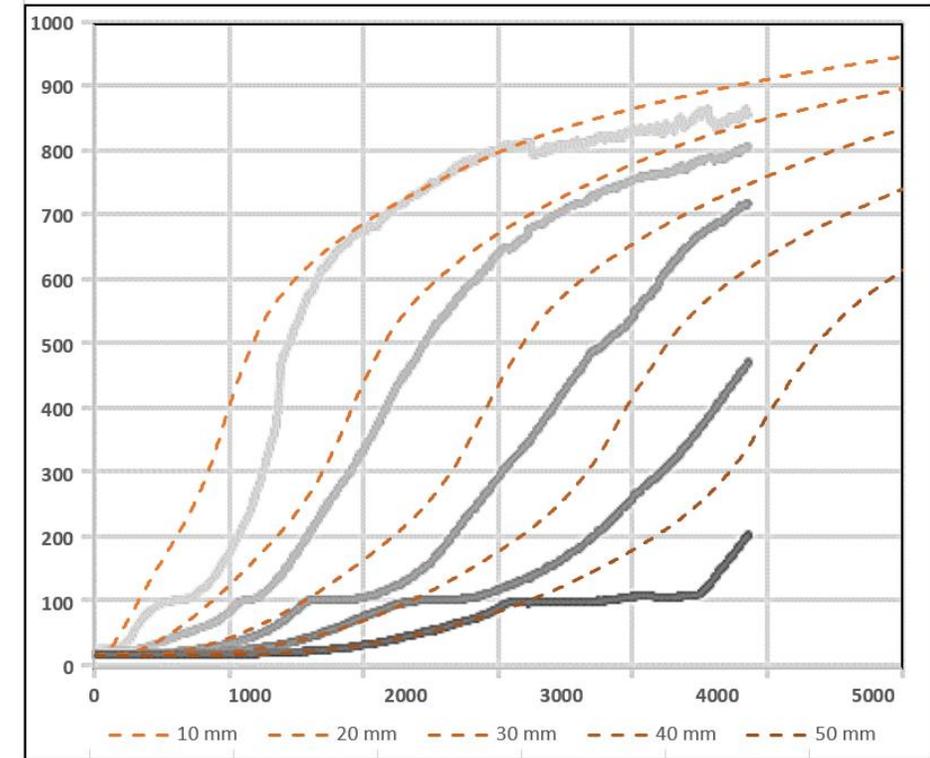
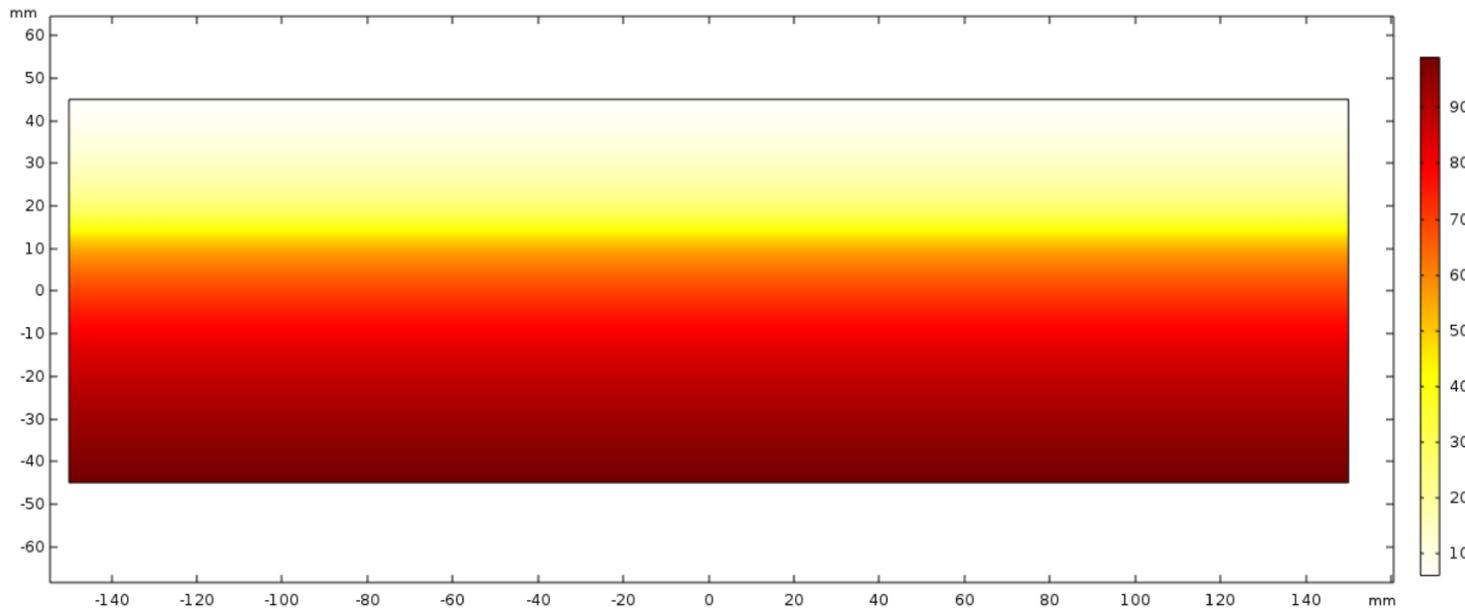
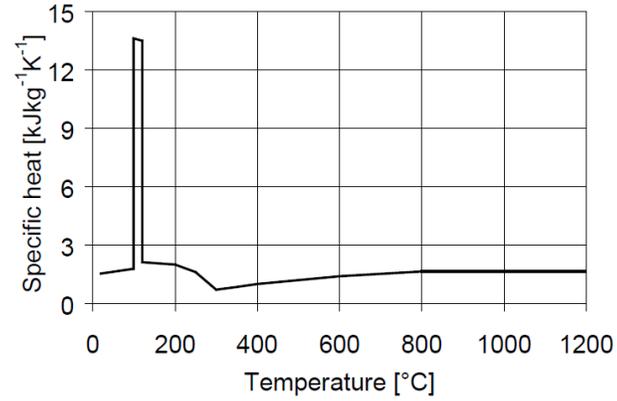
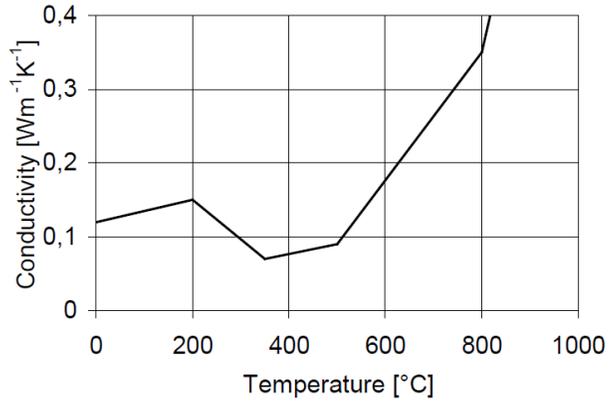
### VELOCIDADES DE CARBONIZACIÓN



| Especie Maderera | Método de Análisis     | Velocidad de Carbonización [mm/min] |            |
|------------------|------------------------|-------------------------------------|------------|
|                  |                        | Trabajo Actual                      | Eurocodigo |
| Pino Radiata     | Ancho Residual         | 0,7                                 | 0,8        |
|                  | Regresión Lineal       | 0,59                                | 0,8        |
| Pino Oregón      | Ancho Residual         | 0,627                               | 0,8        |
| Roble            | Ancho Residual         | 0,39                                | 0,55       |
| MLE              | Ancho residual         | 0,776                               | 0,7        |
|                  | Rectángulo Equivalente | 0,782                               | 0,7        |

Tabla resumen de velocidades de carbonización (Por Santiago Cerfogli)

## SIMULACIONES COMPUTACIONALES CON ELEMENTOS FINITOS



## CONCLUSIONES

El principal objetivo de este proyecto fue diseñar y construir un equipo experimental de alto estándar, lo suficientemente moderno y compacto como para permitir realizar ensayos de bajo costo. A la vez debían ser válidos para estudiar el comportamiento tanto de la madera como de sus soluciones de protección, ante el fuego. Esto permitirá el estudio de soluciones innovadoras (convencionales y no convencionales), a nivel nacional, y con esto seguir impulsando la madera.

El análisis de las mediciones de las velocidades de carbonización, parámetro fundamental para el cálculo de la resistencia al fuego de estructuras de madera, permite validar gran parte de las metodologías de cálculo utilizadas a nivel internacional.

La buena concordancia de los resultados experimentales con los de simulación computacional permiten concluir dos cosas:

- (1) el horno simula bien el incendio estándar
- (2) la utilización de las propiedades térmicas (figura 20) arroja resultados conservadores, para las condiciones ensayadas.



## RESULTADOS FUTUROS PRÓXIMOS

- Validación de los tiempos de inicio de carbonización y tiempos de protección de placas de yeso cartón.
- Validación de velocidades de carbonización y tiempos de protección de tableros OSB y Terciados



## CARTA DE APOYO



Santiago de Chile

11 de Agosto del 2019

Señores:

Por medio de esta carta, les comunico mi apoyo al exalumno e ingeniero civil de la Universidad de Chile, Mauricio Rey, como profesor guía del estudio “Diseño de horno experimental y validación de parámetros de cálculo para la norma NCH1198-2”, que constituyó un hito relevante del proyecto CORFO Innova 16BPE-62353, desarrollado por IDIEM, de la Universidad de Chile, el el que participé como ingeniero asesor senior. Esto, con motivo del Concurso de Ingeniería de la Semana de la Madera.

Acredito, además, que el Sr. Mauricio Rey participó activamente en este como investigador responsable de este proyecto.

En el estudio se presentan, además, los resultados del trabajo de título del alumno recién egresado, don Santiago Cerfogli, quién dio permiso para la exposición de resultados de su trabajo.

Les saluda atentamente

Mario Wagner M.

Ingeniero Civil Universidad de Chile

