



Combustión de $\text{NH}_3\text{-CH}_4$ en un reactor de medios porosos

Dr. Mario Toledo, Profesor Titular
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad Técnica Federico Santa María
Valparaíso, Chile

USM - Valparaíso, Chile



Grupo de Termoquímica Sostenible

- ▶ Formado en 2007 y compuesto por doctores, ingenieros, técnicos, estudiantes de postgrado y pregrado.
- ▶ Fuerte vinculación internacional con países como Alemania, EE. UU., Reino Unido, Canadá, España, Rusia y Australia.
- ▶ +60 publicaciones WoS, 7 patentes nacionales/internacionales, +50 proyectos I+D con financiamiento externo, equipos de combustión desarrollados con certificación para comercialización, +250 profesionales formados (PhD, MSc. e Ing.).
- ▶ Fundadores de “QUEMPIN”: Mejor start-up, World LPG challenge 2020.



Áreas de Investigación



**Termo-
química Solar**

**Termo-
química
Forestal**

**Termo-
química
Residencial**

**Termo-
química
Industrial**

**Termo-
química del
Futuro**

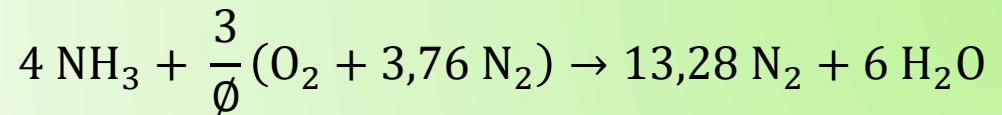
NH₃ como combustible

Beneficios

- ▷ Ampliamente usado en la industria
- ▷ Alta densidad energética volumétrica
- ▷ Alto contenido de H
- ▷ Tecnologías validadas para producción, almacenamiento y transporte
- ▷ Relevante para Chile

Desafíos

- ▷ Poco reactivo
- ▷ Bajas temperaturas de combustión
- ▷ Tóxico
- ▷ Tendencia a generar NO_x e inquemados



Combustión en MPI

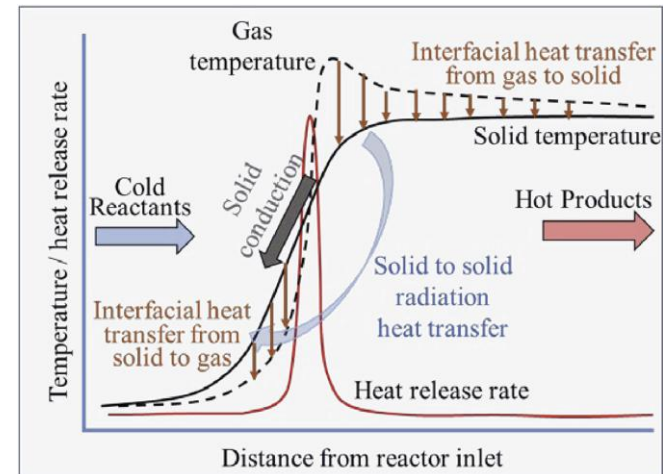
Recirculación de calor

- ▷ Alta eficiencia de combustión
- ▷ Alta flexibilidad de combustible
- ▷ Altas tasas de transferencia de calor
- ▷ Bajos niveles de emisión

Pueden quemar combustibles con bajo poder calorífico y poco reactivos, de forma eficiente



Llamas estabilizadas en MPI



Combustión de NH_3 en MPI: Primeros pasos

- ▶ En 2017, Nozari et al. queman mezclas $\text{NH}_3\text{-H}_2$ por primera vez en un reactor de MPI.
- ▶ Usando quimioluminiscencia para OH^* , se observa que en algunos casos estudiados la llama no se estabilizó al interior del reactor.
- ▶ Además, se observaron emisiones de NO_x superiores a las 5000 ppm

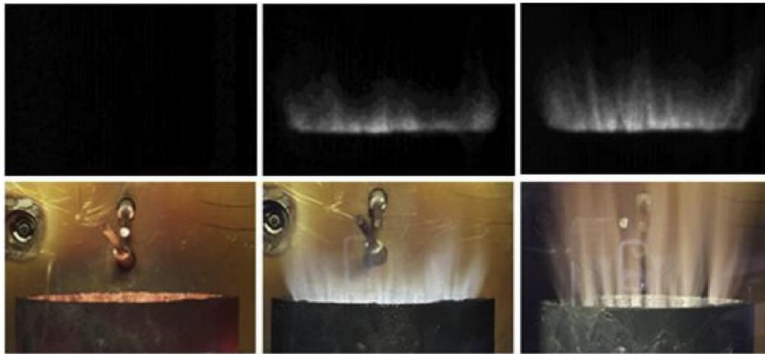


Fig. 3 – OH^* chemiluminescence and visual images for $\phi = 1.1$ 70% NH_3 7 m/s (left), $\phi = 1.1$ 80% NH_3 13.5 m/s (center), and $\phi = 1.1$ 90% NH_3 12 m/s (right).

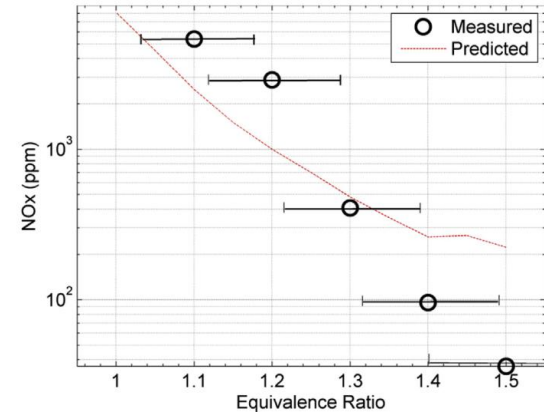
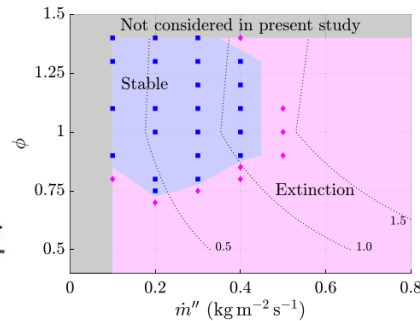
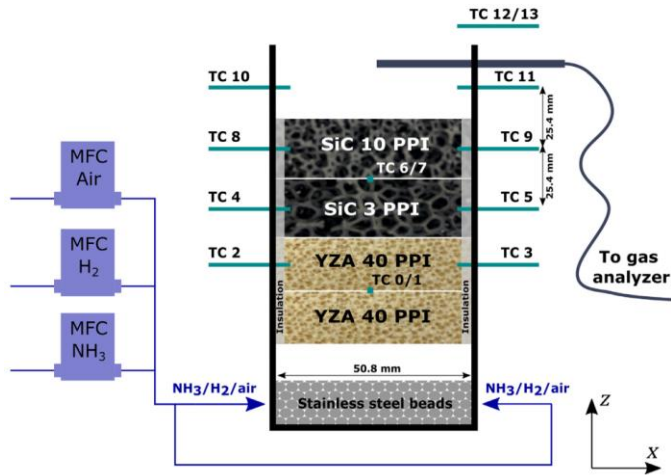


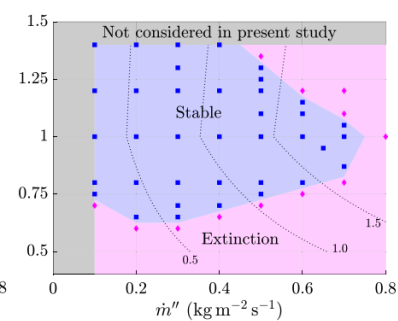
Fig. 11 – Exhaust NO_x concentrations for 80% NH_3 .

Combustión de NH_3 en MPI: Resultados prometedores

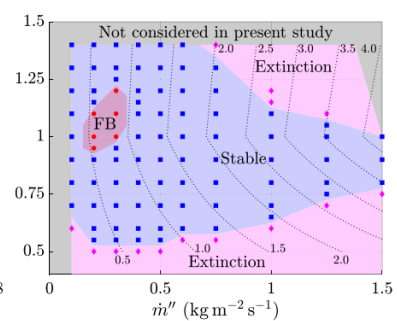
- En 2023, un grupo de Stanford University estudiaron llamas de $\text{NH}_3\text{-H}_2$ en MPI, estabilizando por primera vez una llama de NH_3 puro en uno de estos reactores.



(a) $X_{\text{NH}_3} = 100\%$.



(b) $X_{\text{NH}_3} = 85\%$.

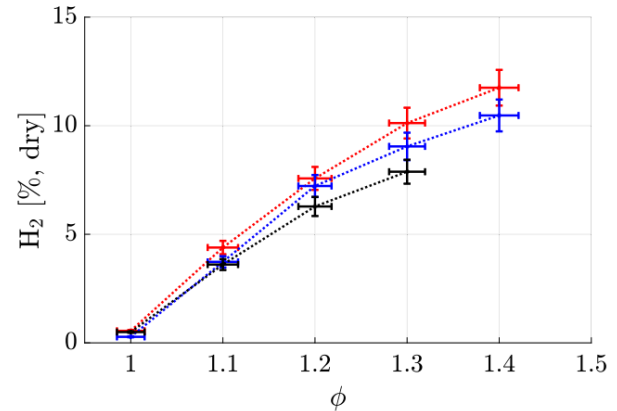
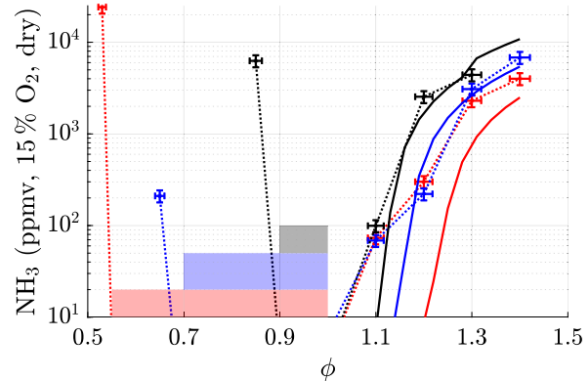
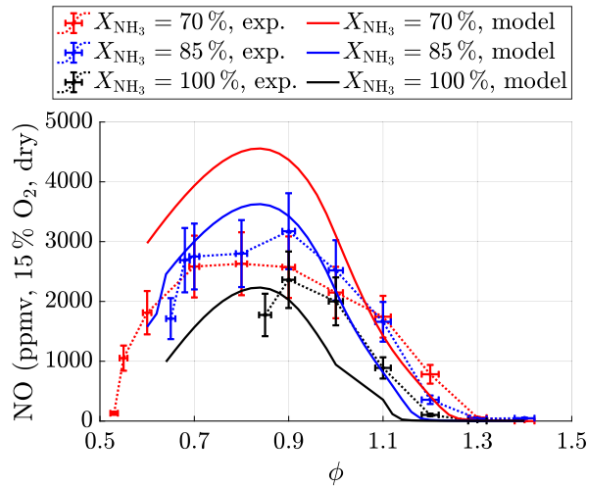


(c) $X_{\text{NH}_3} = 70\%$.

Combustión de NH_3 en MPI: Emisiones

Tenemos dos regímenes con bajas emisiones, con sus respectivas desventajas:

- ▷ $\phi \sim 1,05$: La eficiencia puede reducirse por operar con mezcla rica.
- ▷ $\phi \sim 0,55$: Estamos cerca de la extinción de la llama.



Combustión de NH_3 : USM

Proyecto IDeA:

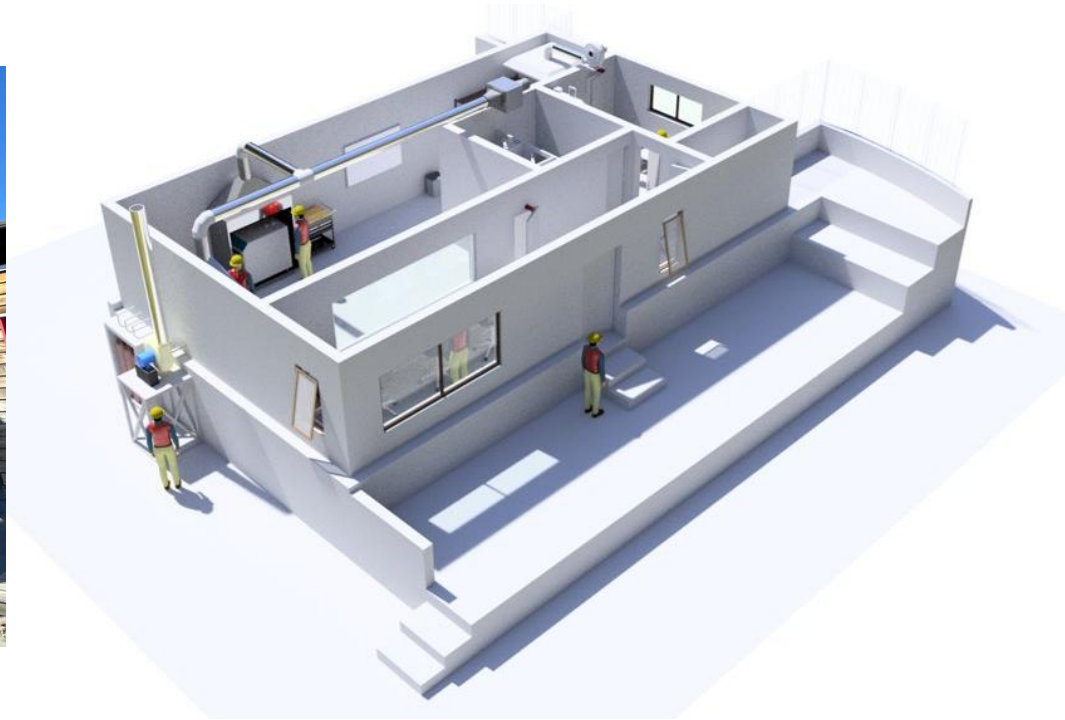
- ▷ Desarrollo de un quemador de MPI para mezclas $\text{NH}_3\text{-H}_2$
- ▷ Colaboración con Guacolda Energía y el CEN
- ▷ Trabajo experimental y numérico

Proyecto FOVI: Tecnologías termoquímicas del futuro

- ▷ Trabajo colaborativo con Cardiff University en combustión de $\text{NH}_3\text{-CH}_4$ en quemadores de MPI

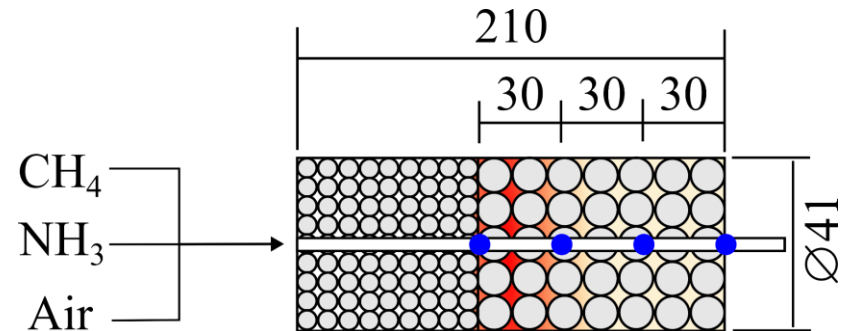
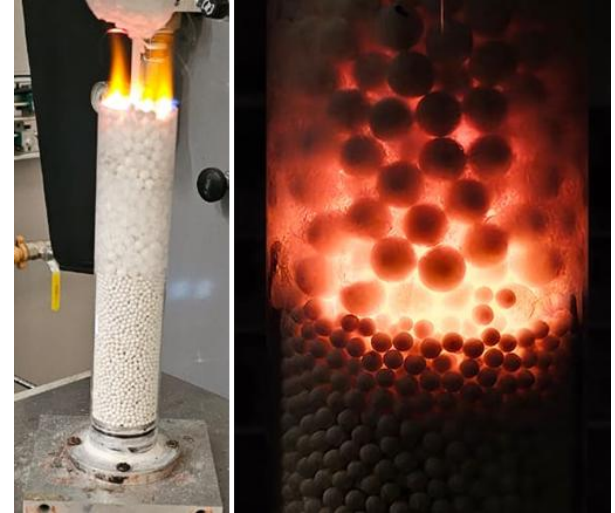


Laboratorio de Combustión de NH_3 (100 m²)

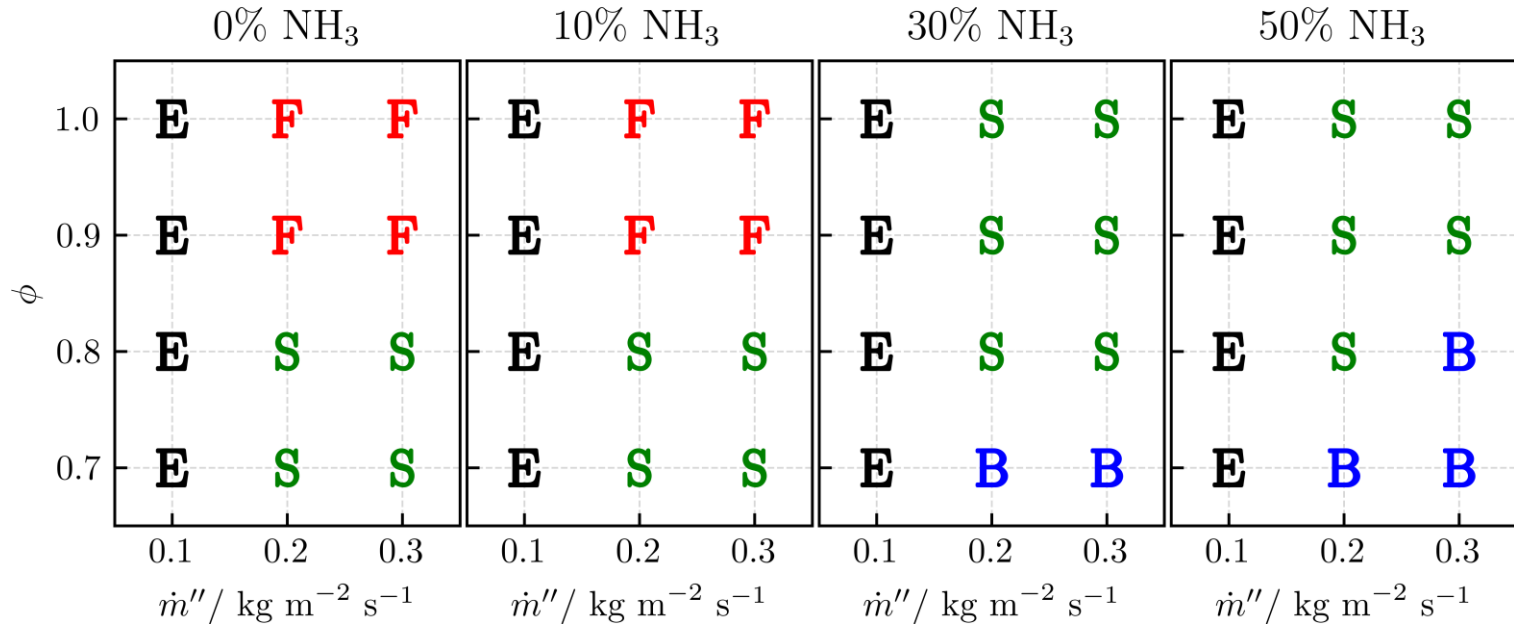


Combustión de $\text{NH}_3\text{-CH}_4$ en MPI: Set-up experimental

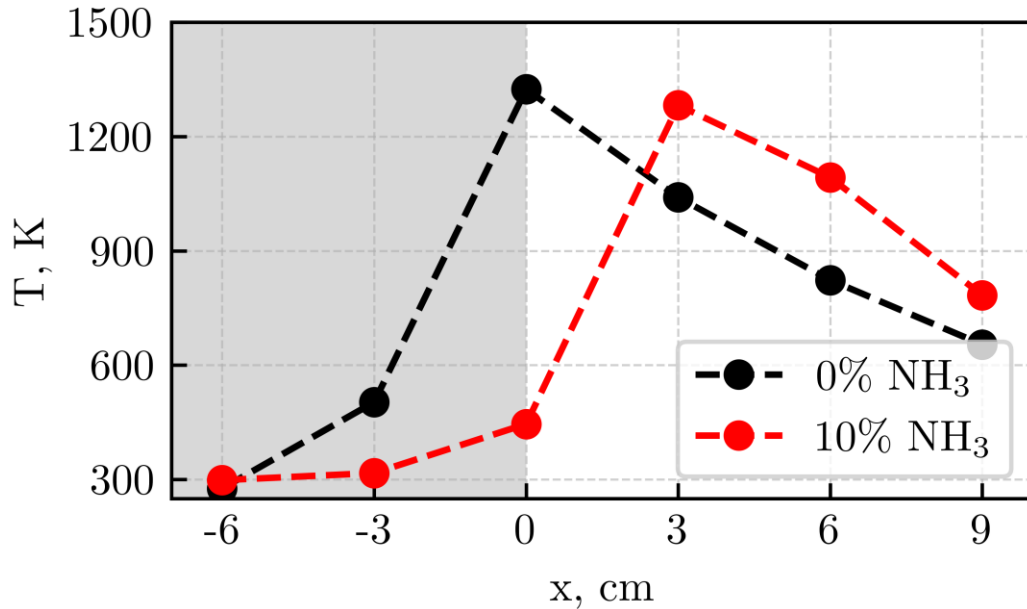
- ▷ Cilindro de cuarzo no aislado
- ▷ Uso de dos zonas de MPI con esferas de 3 y 6 mm de diámetro
- ▷ Termocuplas tipo S
- ▷ Mediciones para llamas estabilizadas en la interfaz de ambas zonas



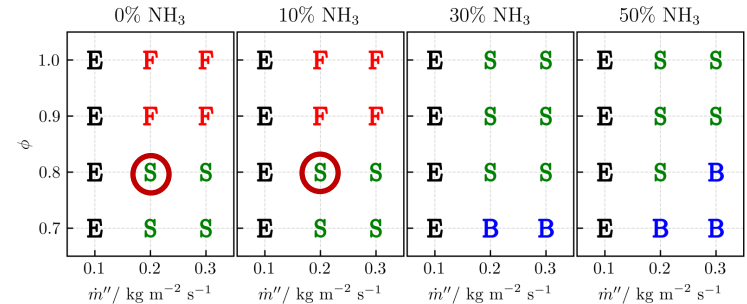
Combustión de $\text{NH}_3\text{-CH}_4$ en MPI: Mapas de estabilidad



Combustión de $\text{NH}_3\text{-CH}_4$ en MPI: Comparación de Temperaturas



$$\varnothing = 0,8 ; \dot{m} = 0,2 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

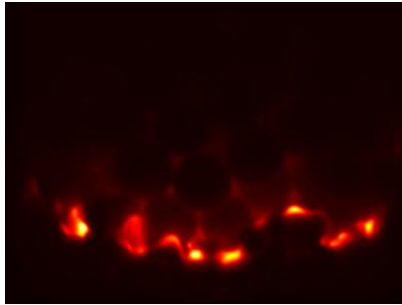


La adición de tan sólo 10% NH_3 provoca:

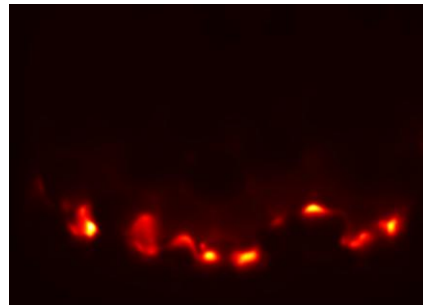
- ▷ Reducción de la reactividad del combustible → Desplazamiento aguas abajo
- ▷ Reducción en la Temperatura

Combustión de $\text{NH}_3\text{-CH}_4$ en MPI: Chemiluminiscencia (Trabajo en desarrollo)

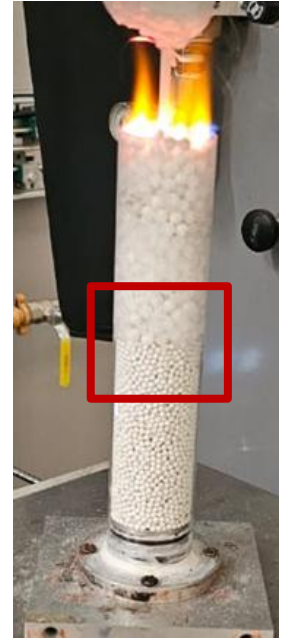
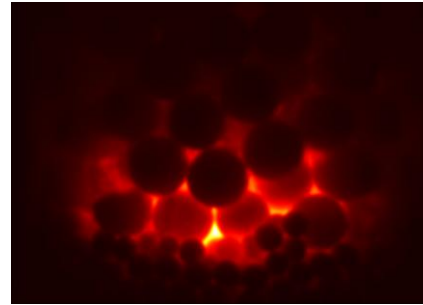
OH^*



NH^*



NH_2^*



$\varnothing = 1, \dot{m} = 0,2 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}, 50\% \text{ NH}_3$



Combustión de $\text{NH}_3\text{-CH}_4$ en un reactor de medios porosos

Dr. Mario Toledo, Profesor Titular
Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad Técnica Federico Santa María
Valparaíso, Chile