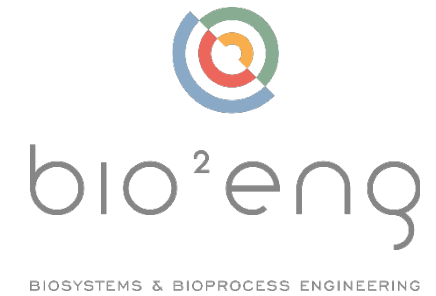




**Universidad
de Valladolid**



Integrated plant-wide control and
optimization for industry4.0



Desarrollo y operación de un gemelo digital en una planta de tableros MDF

Cesar de Prada, Manuel Pérez Miranda,
Jose L. Pitarch, Hicham el Bahja
[Universidad de Valladolid](#)

Workshop final
20-21 junio, 2022

Fabricación de tableros MDF



Factoría de
Valladolid

Proceso de fabricación

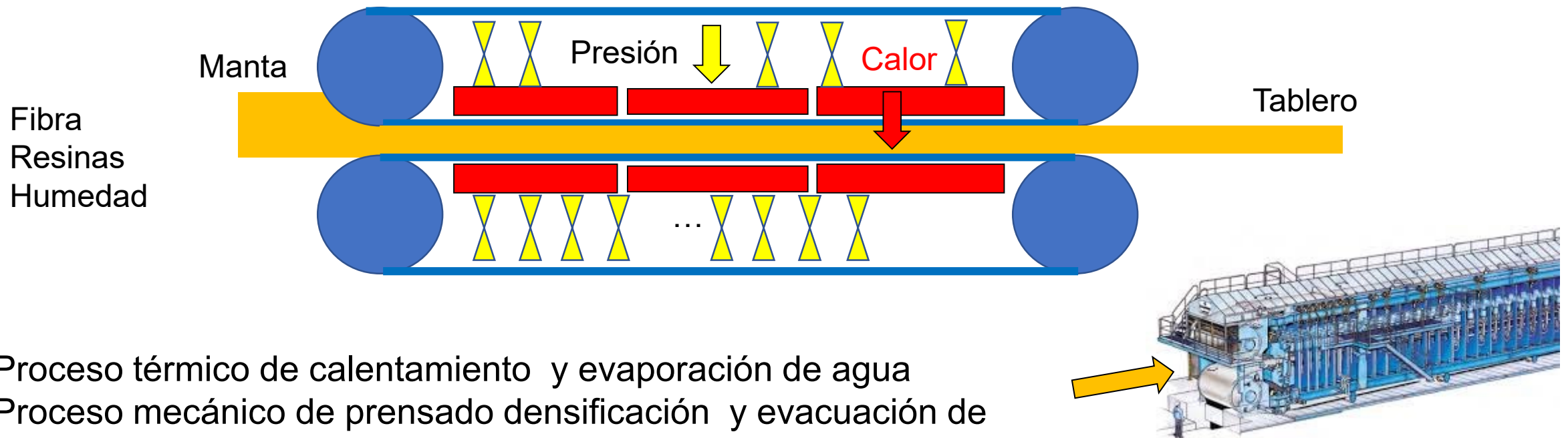


- ✓ Preparación de la madera
- ✓ Secadero
- ✓ Preparación de la manta
- ✓ Prensa y formación del tablero
- ✓ Corte y almacenamiento

Alto grado de digitalización y programa de implantación de Industria4.0

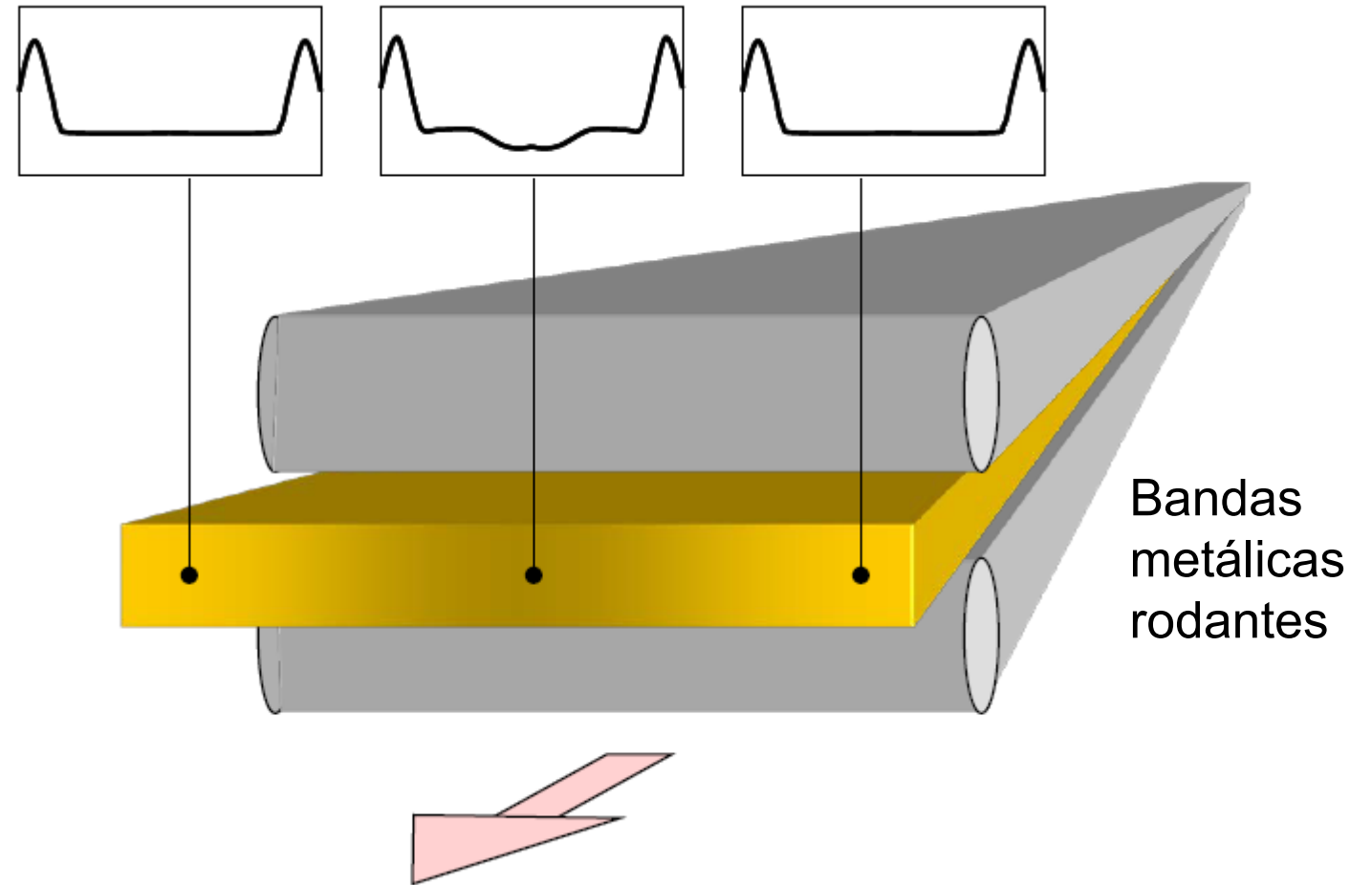


Distribución de temperaturas, presiones y avance de las reacciones químicas a lo largo de la prensa

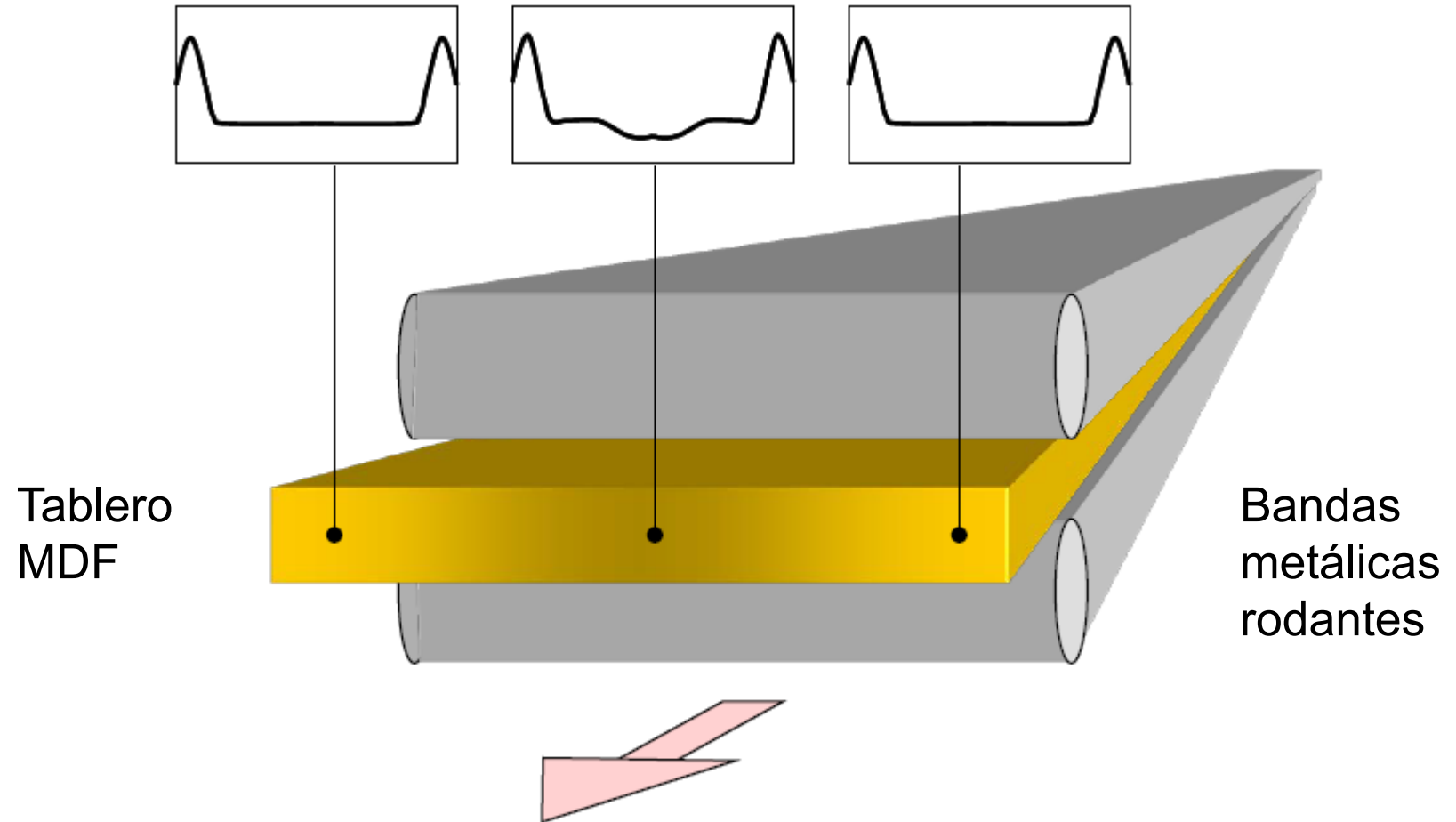


Proceso térmico de calentamiento y evaporación de agua
Proceso mecánico de prensado densificación y evacuación de gases
Proceso químico de formación de resinas y cambio de propiedades

- ✓ El prensado aumenta la densidad, de la cual dependen muchas propiedades físicas
- ✓ El calentamiento acelera las reacciones químicas y evapora agua
- ✓ El vapor y aire salen por los laterales debido a la presión
- ✓ Las reacciones químicas forman la resina que da consistencia al tablero



Perfiles de densidad vertical



MVs

- Temperatura de platos de calefacción
- Velocidad de prensa
- Distribución de presiones en bastidores
- Adición de productos químicos
- Spray de agua a la entrada
- Caudal de manta

CVs

- Espesor a la salida
- Perfiles de densidad a la salida
- Tracción final
- Humedad a la salida
- Contenido de formaldehído a la salida



Escasez de medidas

- Ninguna en el interior, CVs en el laboratorio
- Espesor en los bastidores
- Humedad previa
- Espesor a la entrada
- Densidad a la entrada
- Caudal de manta y químicos

Avanzar en Industria4.0

Estimar variables no medidas

Supervisar el proceso

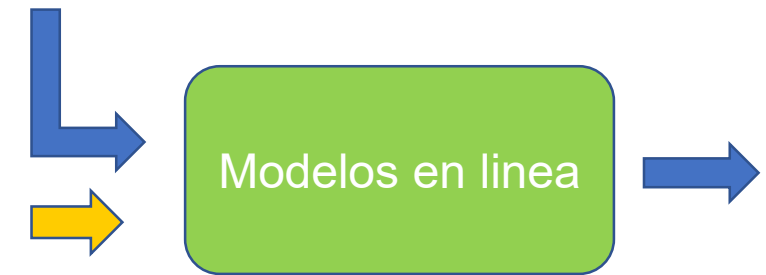
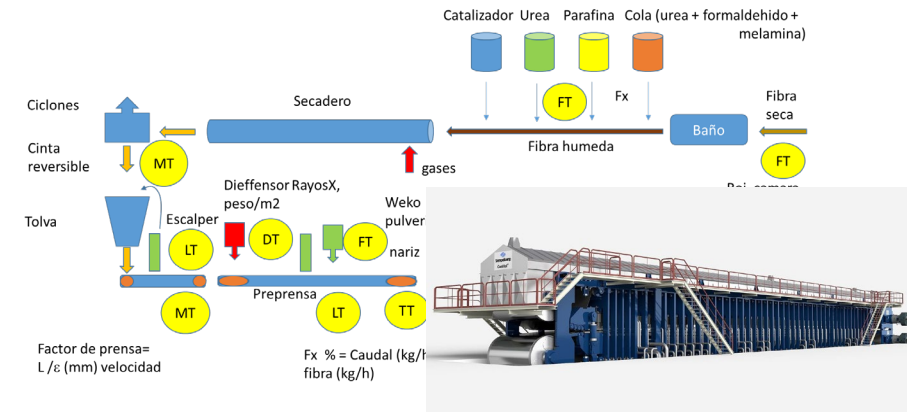
Ayudar en la toma de decisiones sobre la operación óptima respetando las restricciones de operación y de calidad del producto (máxima velocidad)

Basado en el uso de un modelo del proceso operando como simulación predictiva en tiempo real en paralelo al proceso

Digital Twin

Acceso a la base de datos pero dificultad de experimentación

La ausencia de medidas internas en la prensa lleva a proponer una arquitectura basada en modelos

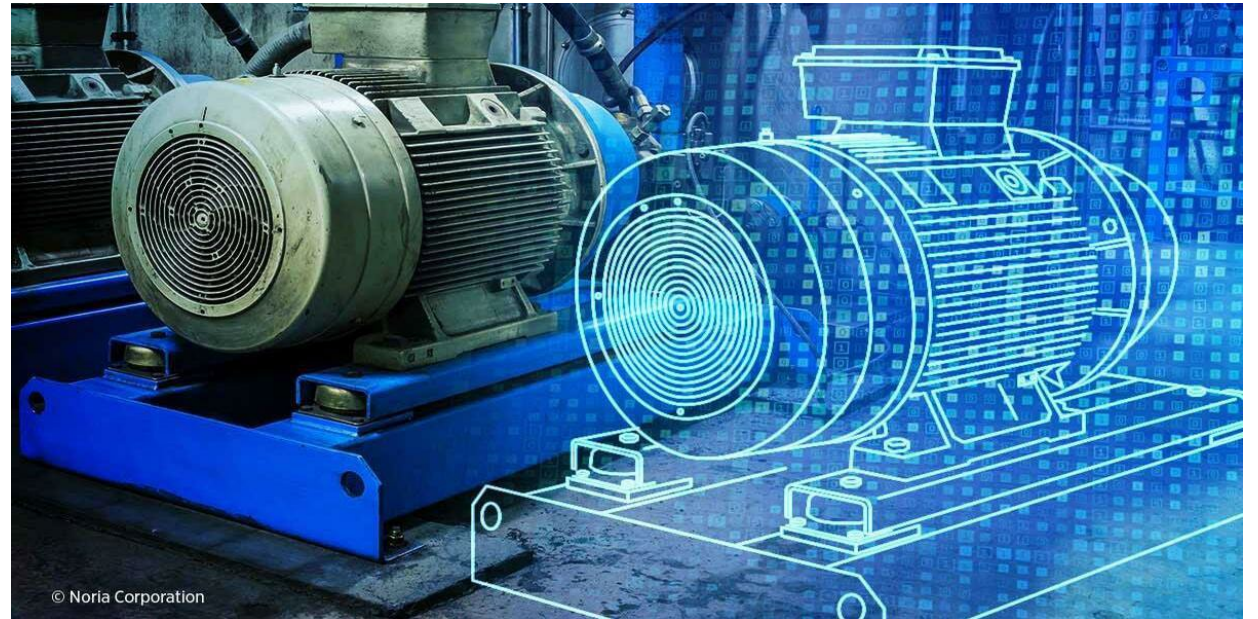


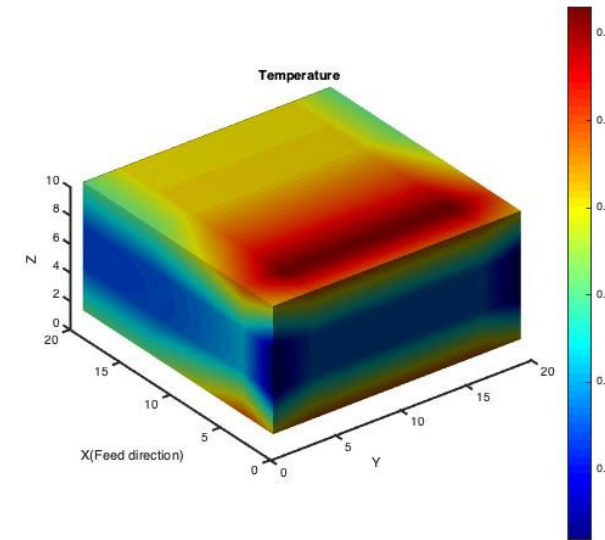
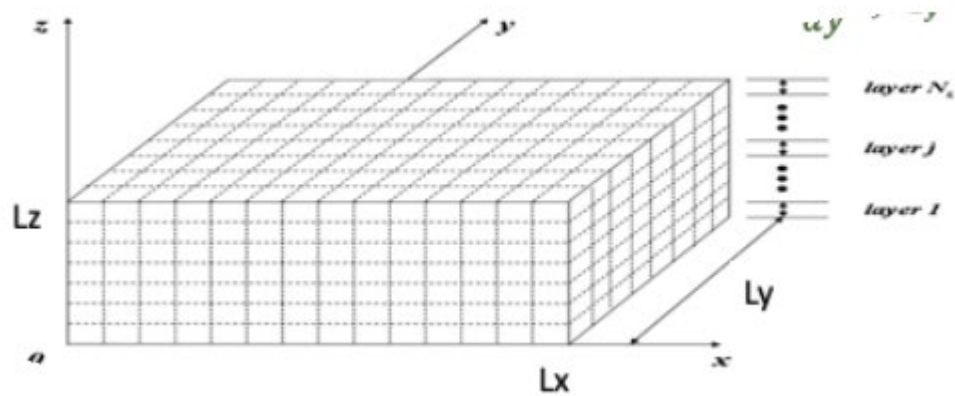
Para ¿que pasa si...?

Proporciona variables del proceso

- ✓ Una representación virtual de la realidad en forma de modelo
- ✓ Para la ayuda en la toma de decisiones en tiempo real, lo que normalmente implica relacionar aspectos muy diversos y mantener la información y modelos actualizados.

La representación actualizada del estado de un sistema físico para la toma de decisiones distingue a un DT de una simulación convencional



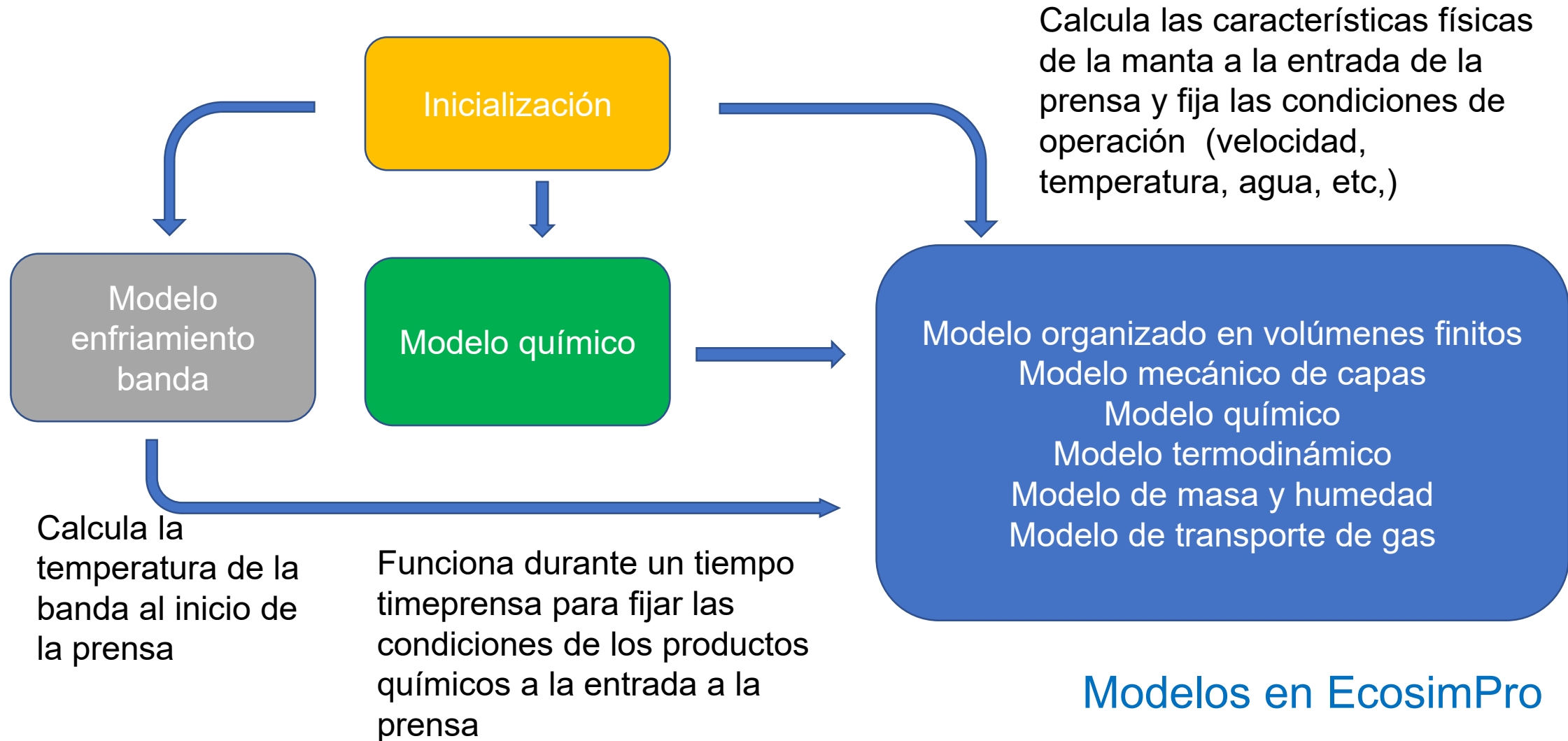


Compromiso velocidad- fidelidad

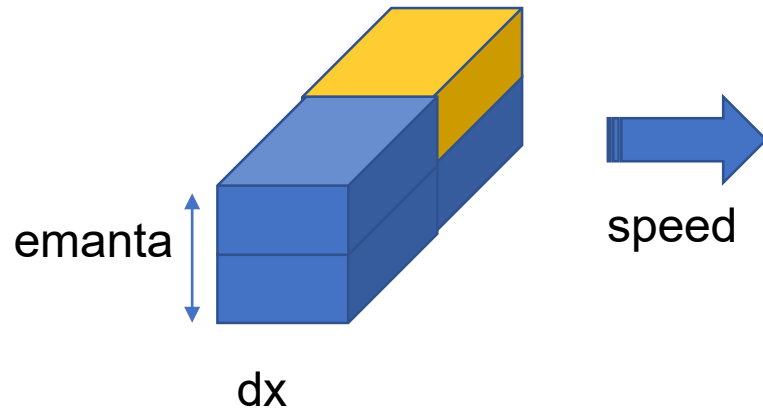
PDEs en 3 dimensiones

Modelos existentes no integran los efectos de los compuestos químicos

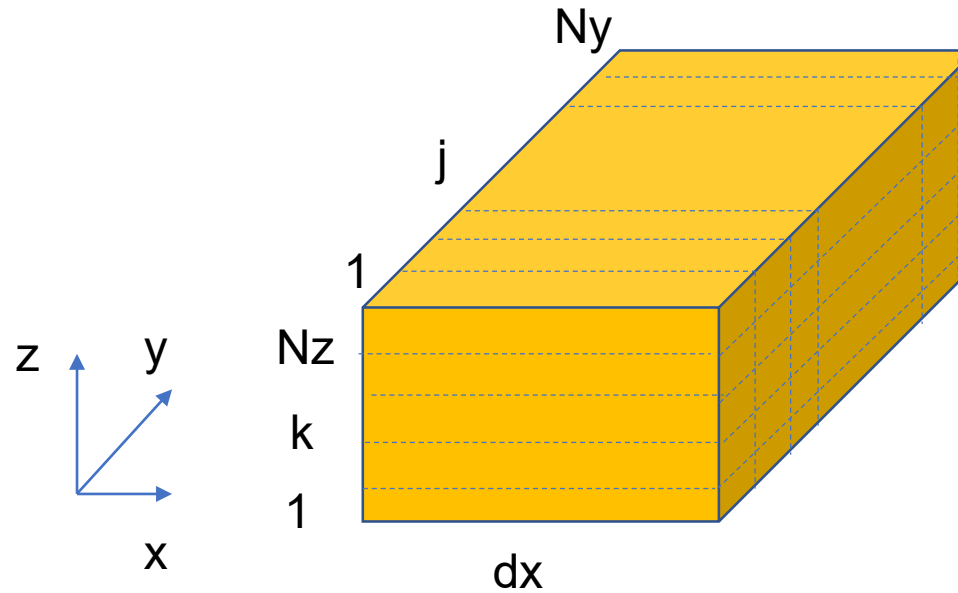
Modelo de la línea de fabricación



Modelos en EcosimPro

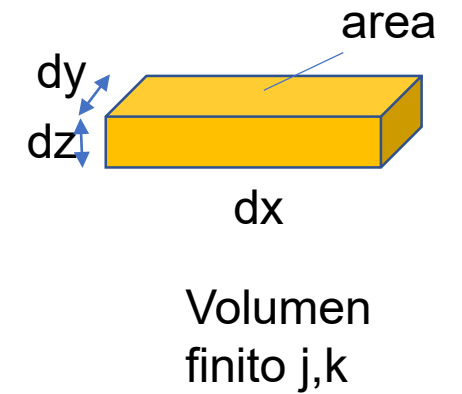


Sección transversal del tablero de longitud dx en la dirección de avance. Se considera un cuarto (superior izquierda por simetría

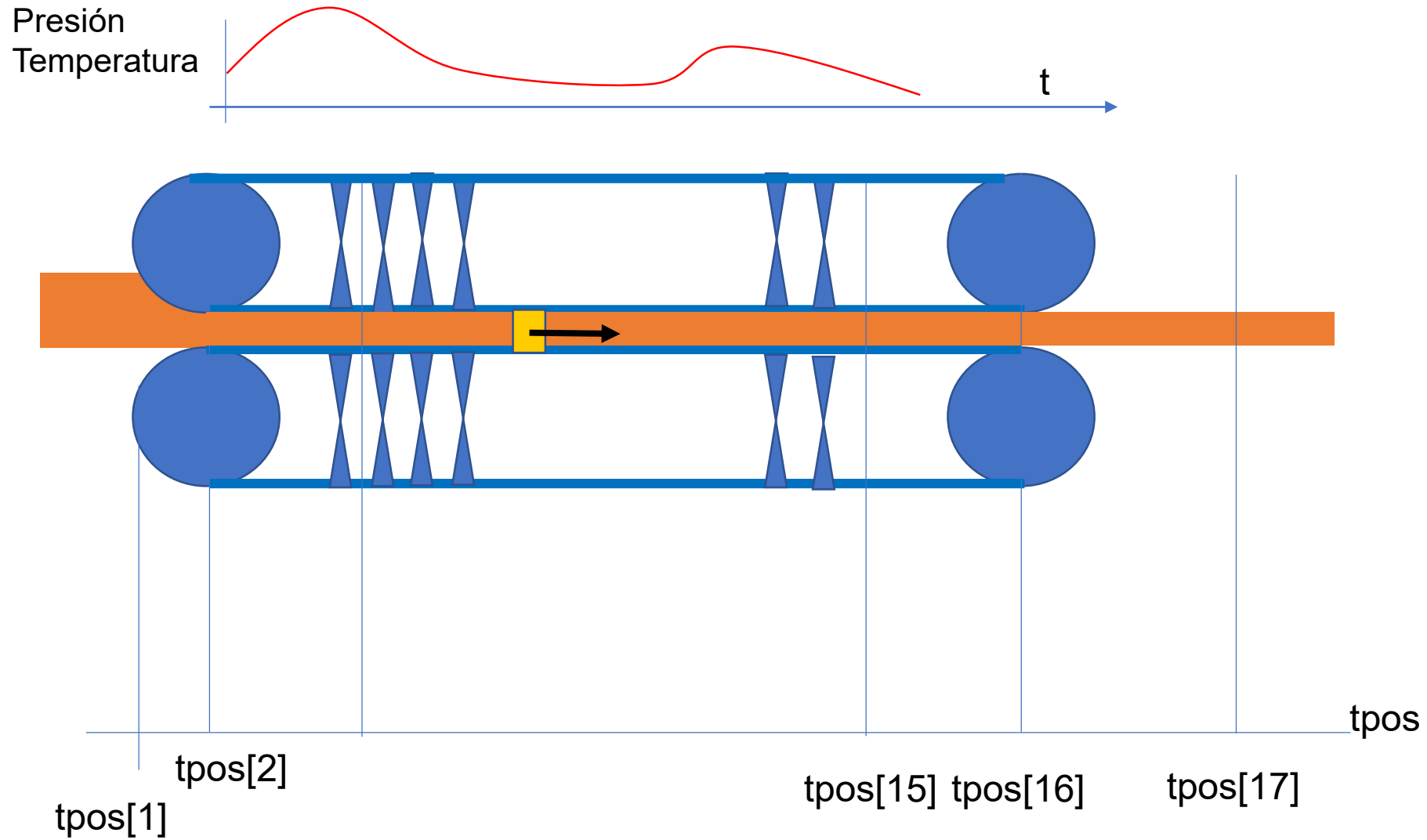


Ecuaciones dinámicas en derivadas parciales resueltas mediante volúmenes finitos

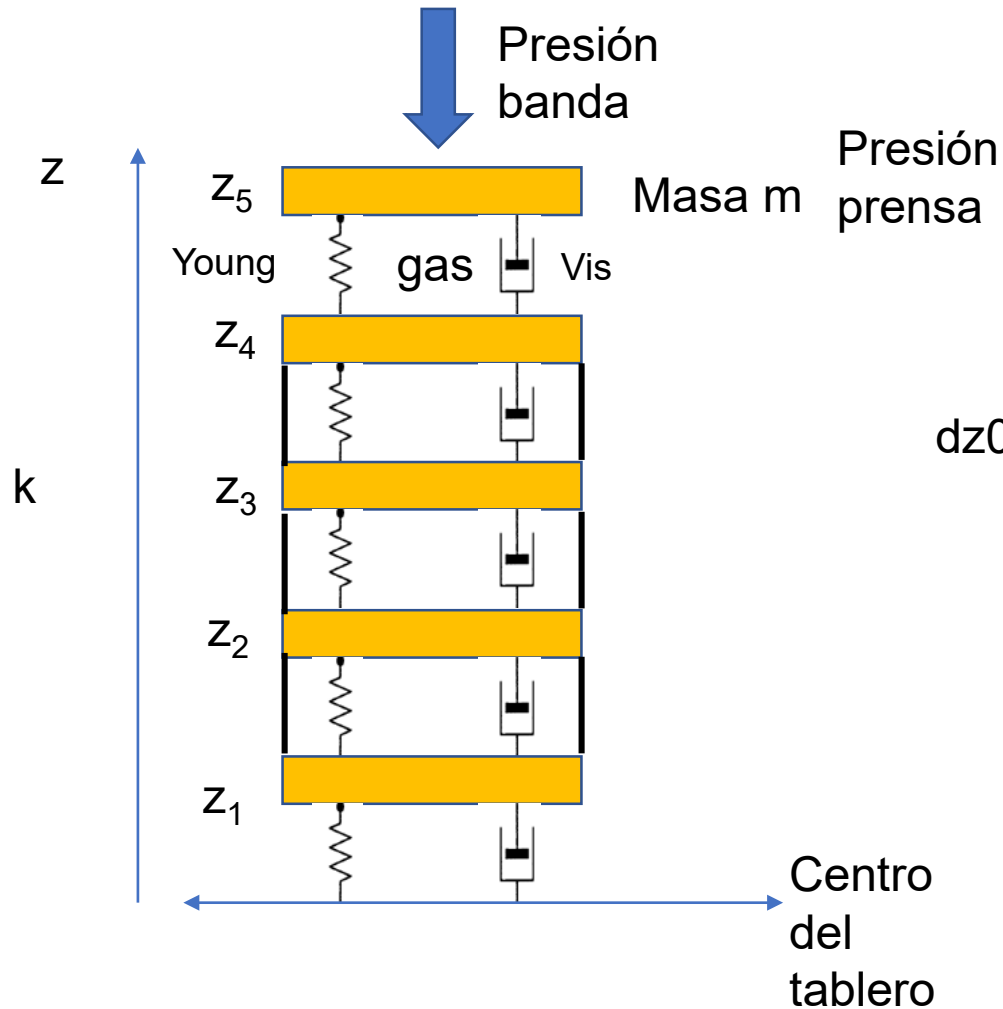
Compromiso velocidad- fidelidad
Modelo gris



Condiciones de contorno dinámicas



Modelo viscoelástico



$$area \frac{d(mv_z)}{dt} = -P_{el,k+1} + P_{el,k} - P_{vis,,k} + P_{vis,,k+1} + P_{gas,,k} - P_{gas,,k+1}$$

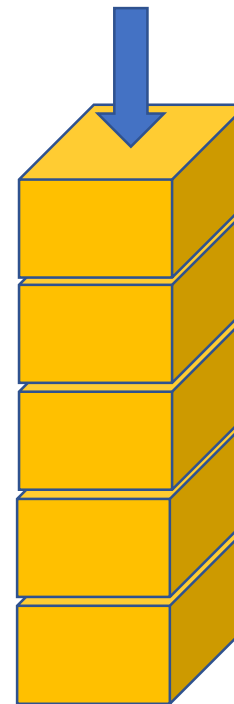
$$\frac{dz}{dt} = v_z$$

$$P_{el,k} = Young_k \frac{dz_{0k} - dz_k}{dz_{0k}}$$

$$P_{vis,,k} = Vis_k \frac{vz_k - vz_{-1}}{dz_{0k}}$$

$$Young(h_{bs}, T, \rho, Rc)$$

$$Vis(h_{bs}, T, \rho, Rc)$$



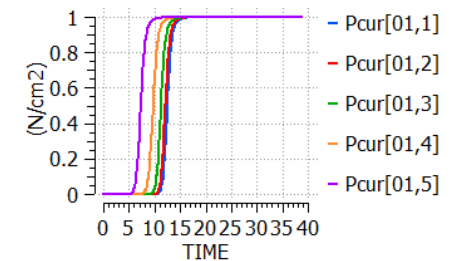
Deformación en la dirección z

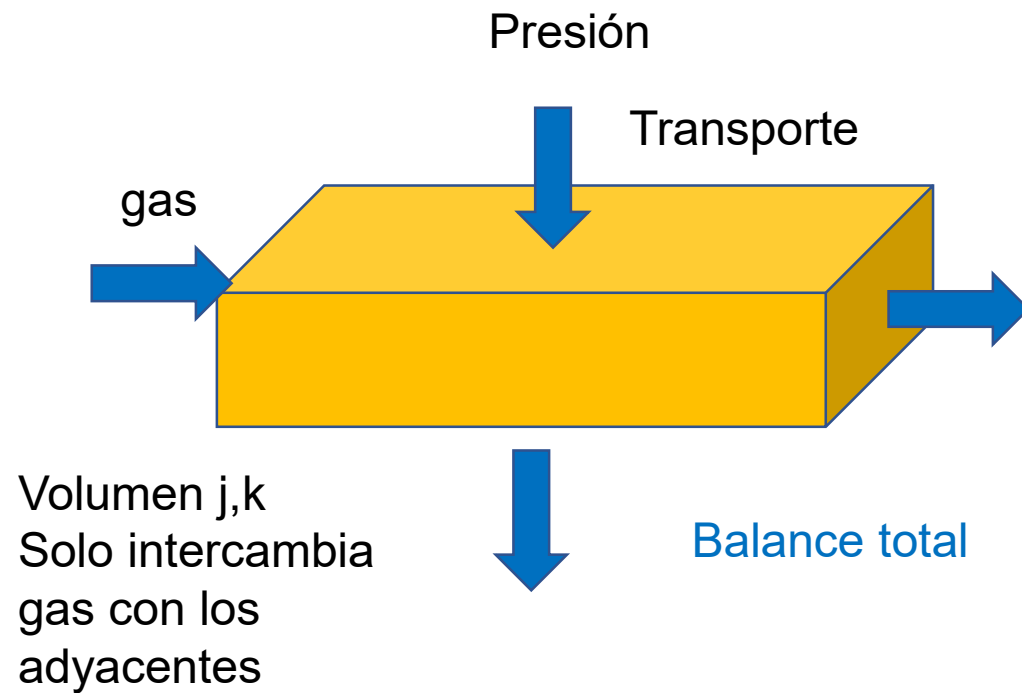
dz_{0k}



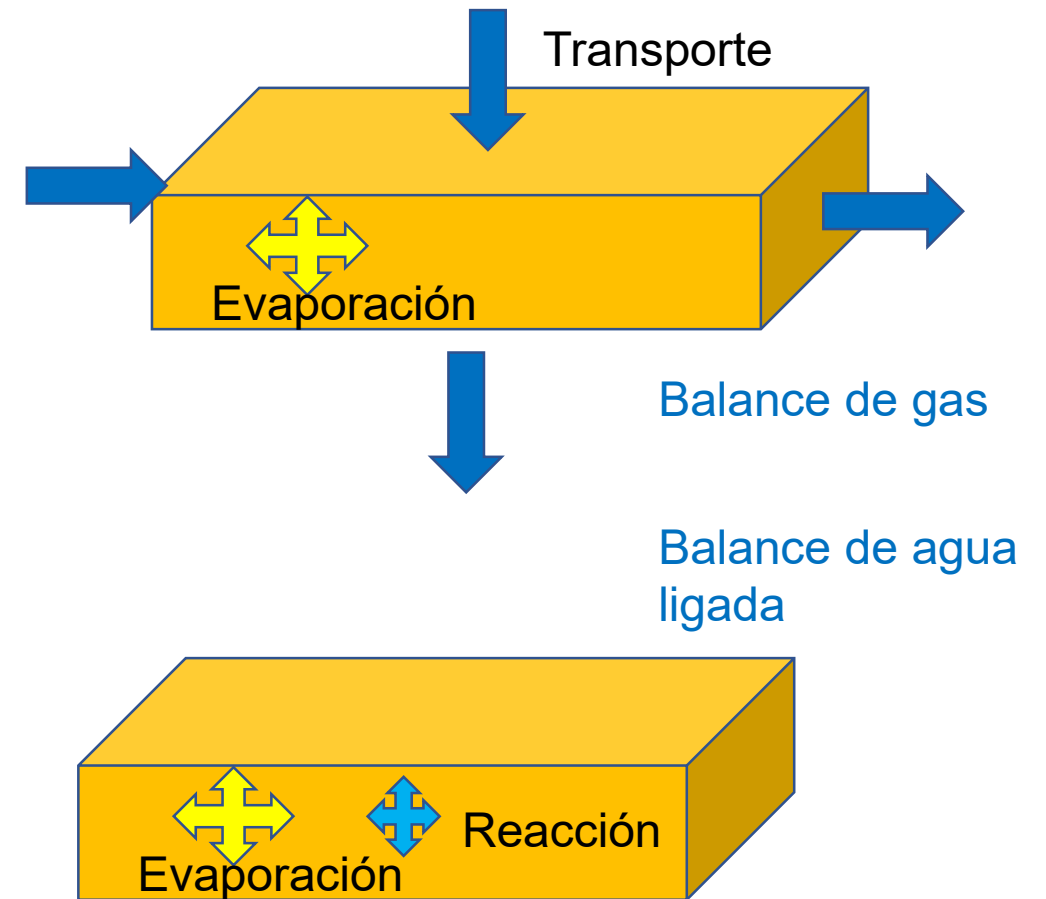
dz_k

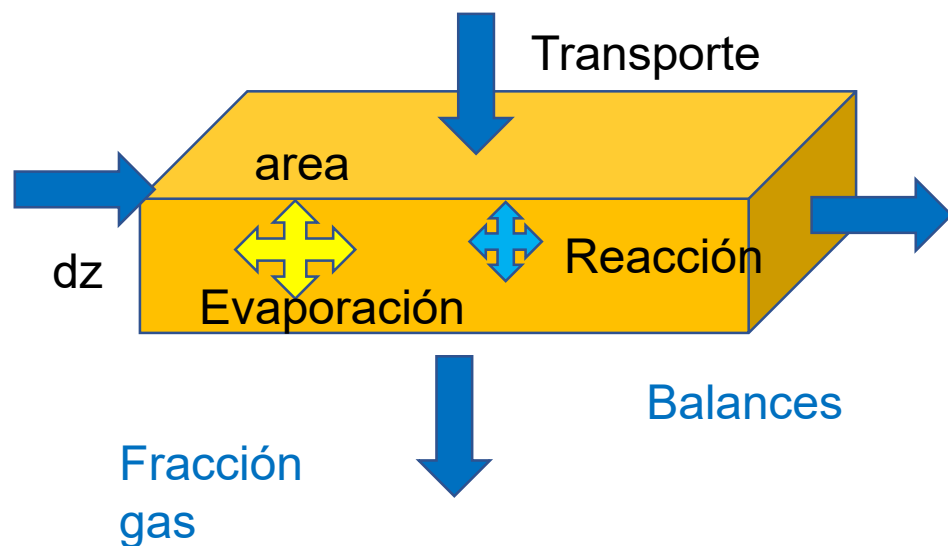
La viscosidad crece con el curado y el modulo de Young decrece





$$F = \rho \text{ permeabilidad} \frac{\text{area}}{Vis_g} \frac{\partial P}{\partial z}$$





$$F = \rho K \frac{\text{area} \partial P}{V_{isg} \partial z}$$

$$\rho = \frac{1000 m}{(\text{area} dz_k)}$$

$$h = \frac{m_w + m_s}{m}$$

$$\frac{dm_s}{dt} = \text{evap} + F_{s,in,k} + F_{s,in,j} - F_{s,out,k} - F_{s,out,j}$$

$$\frac{dm_a}{dt} = F_{a,in,k} + F_{a,in,j} - F_{a,out,k} - F_{a,out,j}$$

$$\frac{dm_q}{dt} = -\text{rate}W$$

$$\frac{dm_w}{dt} = \text{rate}W - \text{evap}$$

Moles/kg quimicos

U urea

F formaldehido

M methylols

W agua

B bisulfito amónico

Rc resina curada

H HMTA

E Melamina

Catalizador/Endurecedor :
bisulfito amónico $\text{SO}_3\text{H}(\text{NH}_4)$

Metilols



Velocidades
de reacción

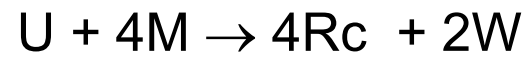
rcola

Melamina



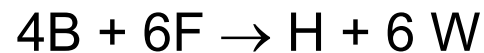
rfe

Condensación

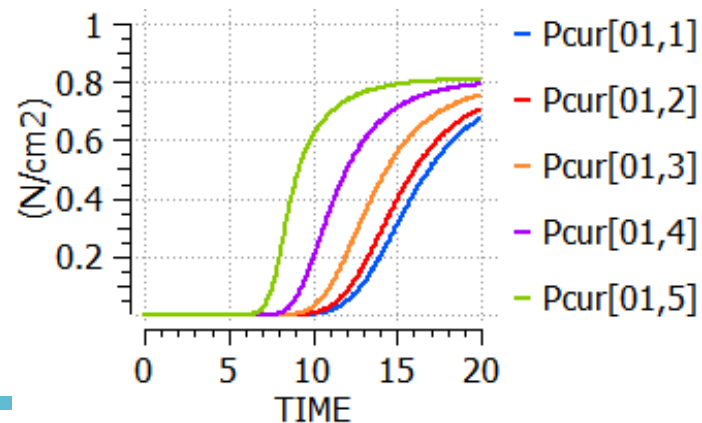


rum

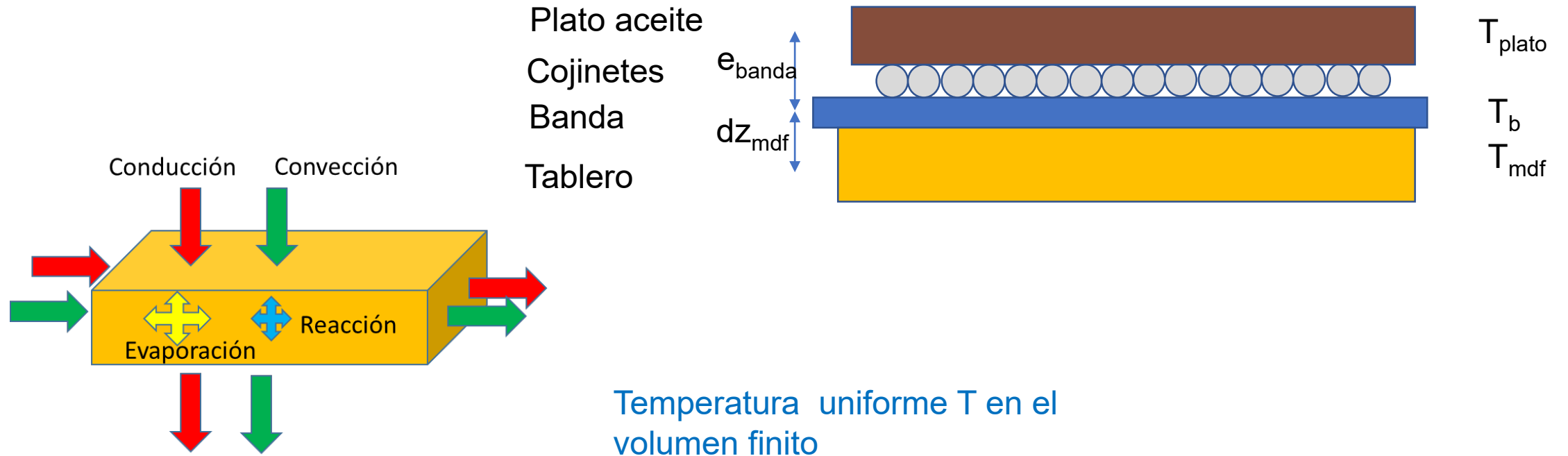
Endurecimiento



rbf

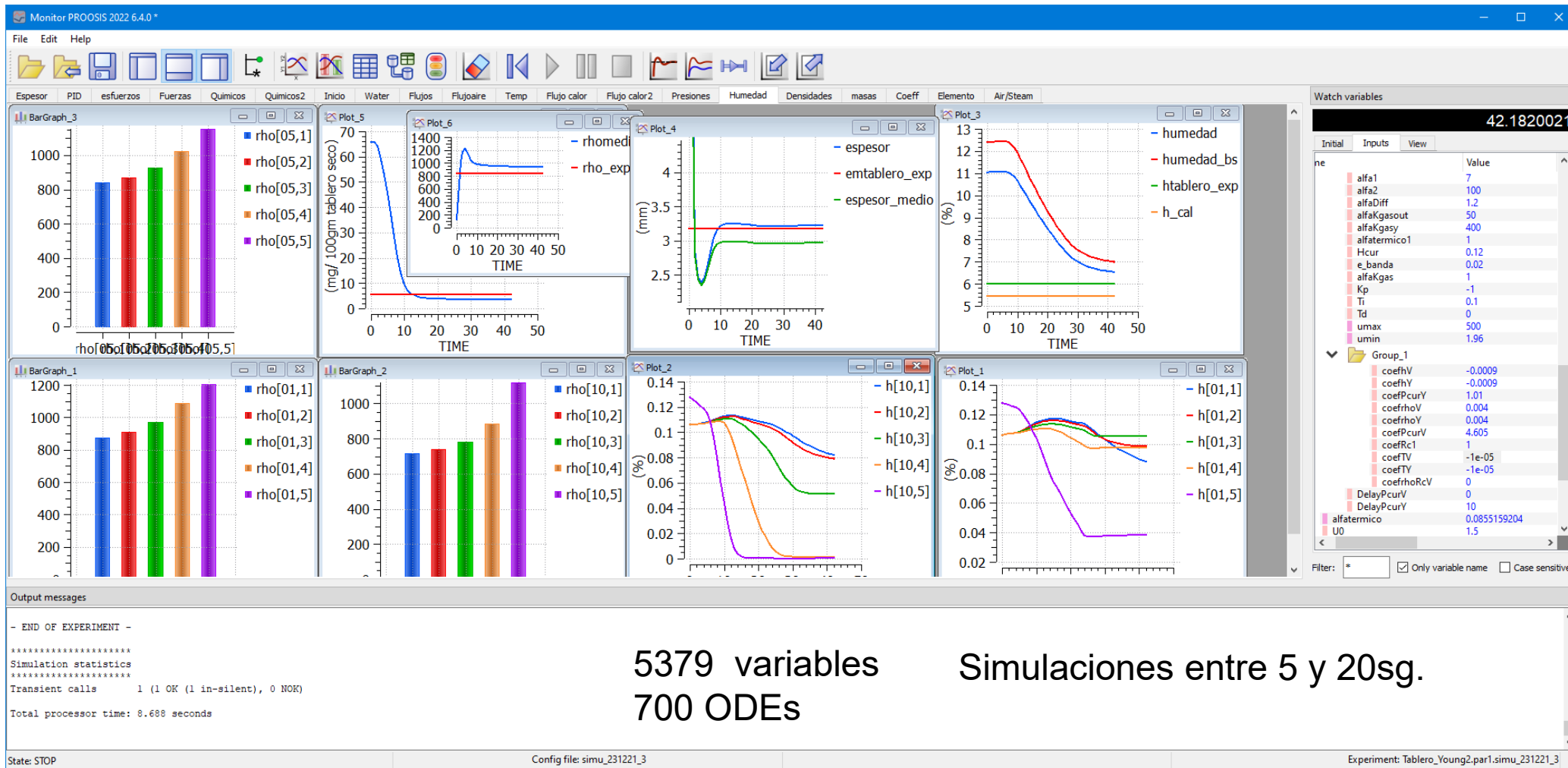


Se estima el curado en función de la concentración de resina curada Rc por fibra seca



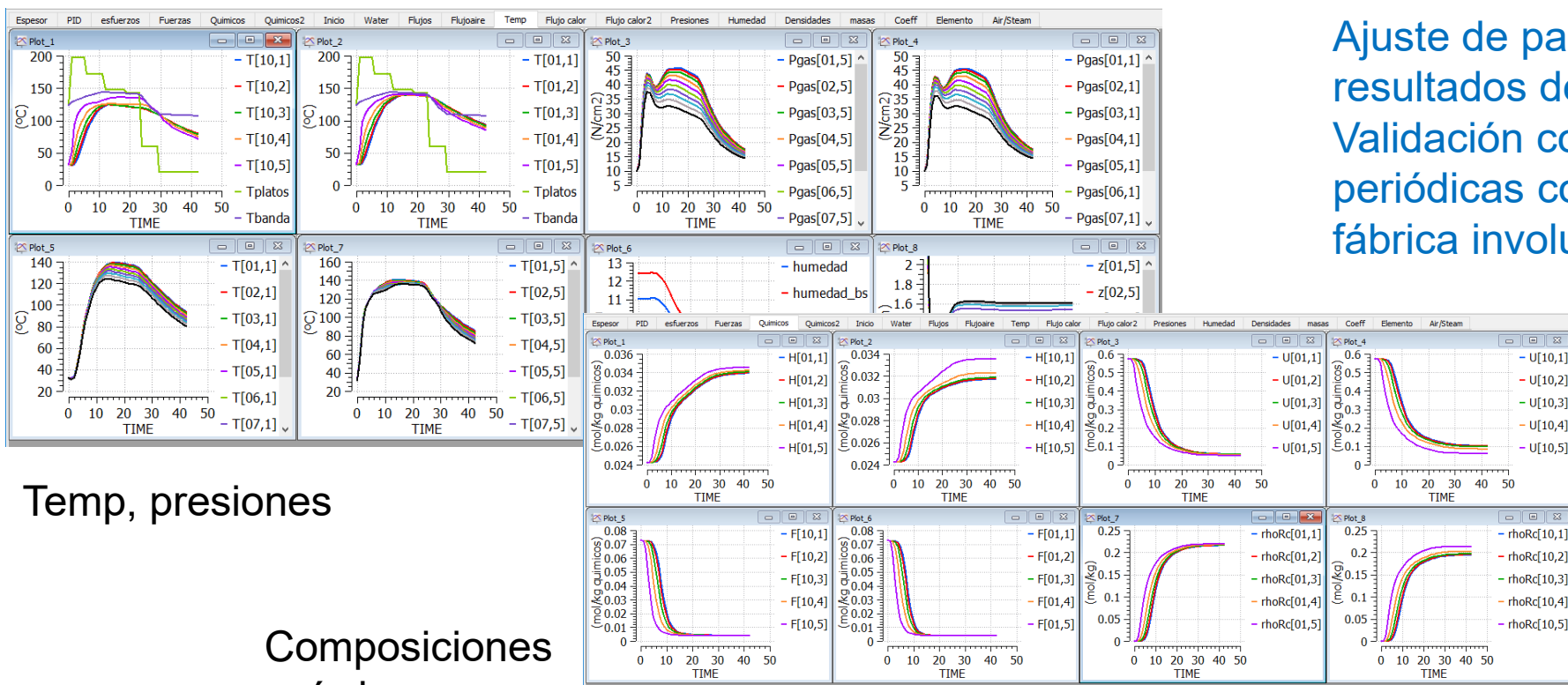
Volumen j,k

$$\frac{d(m c_p T)}{dt} = Q_{g,in} - Q_{g,out} + D_{h,in} - D_{h,out} - Q_{evap} - Q_{react}$$



5379 variables
700 ODEs

Simulaciones entre 5 y 20sg.

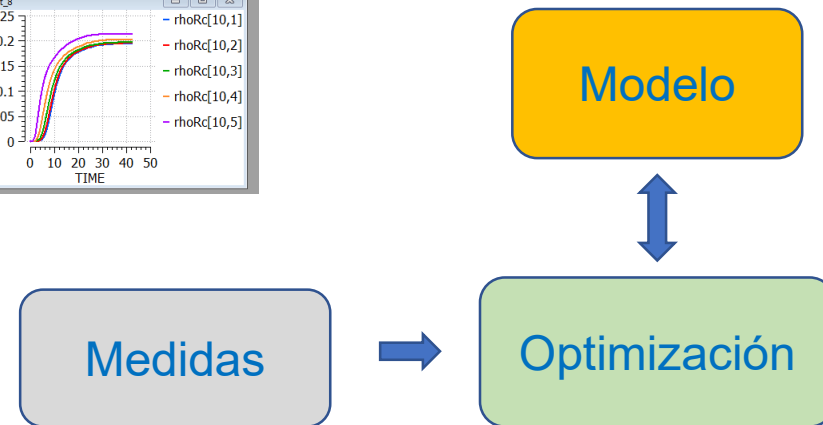


Temp, presiones

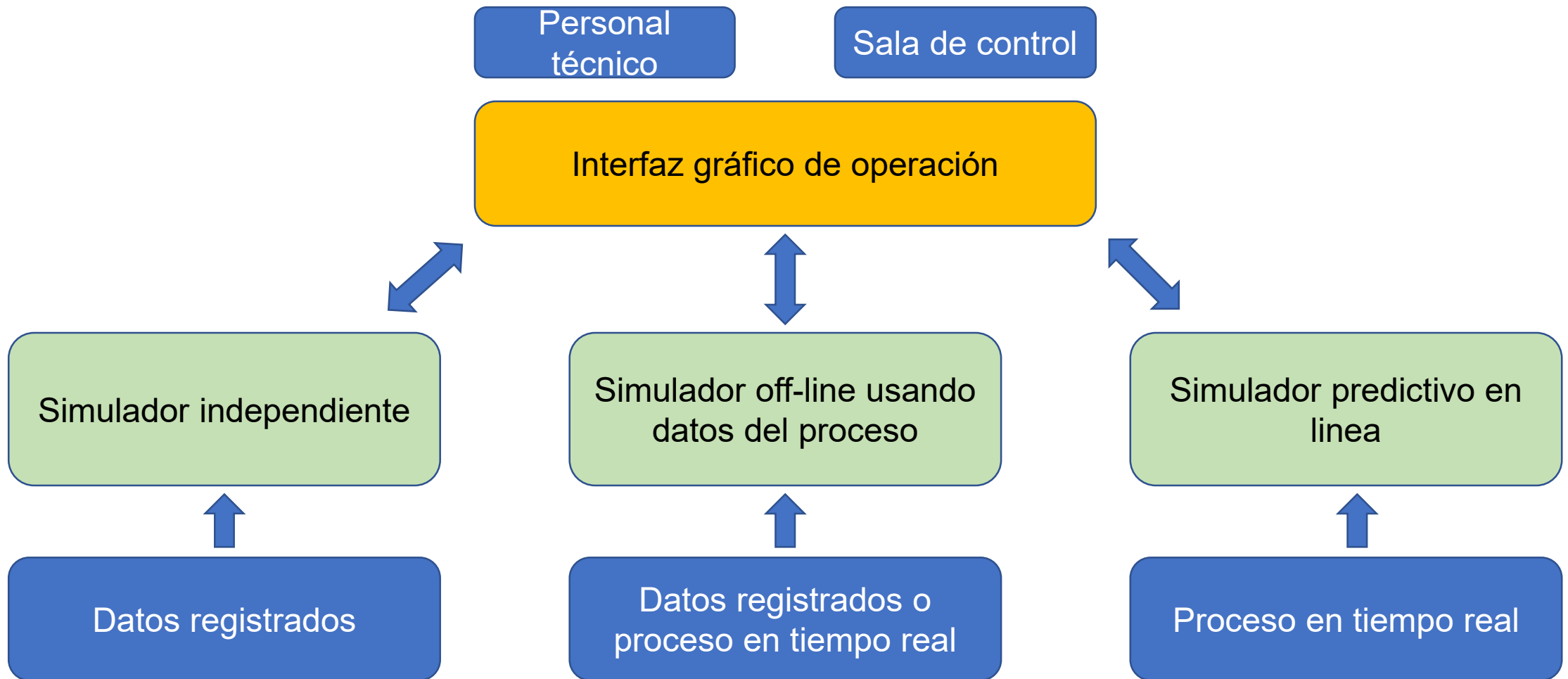
Composiciones químicas

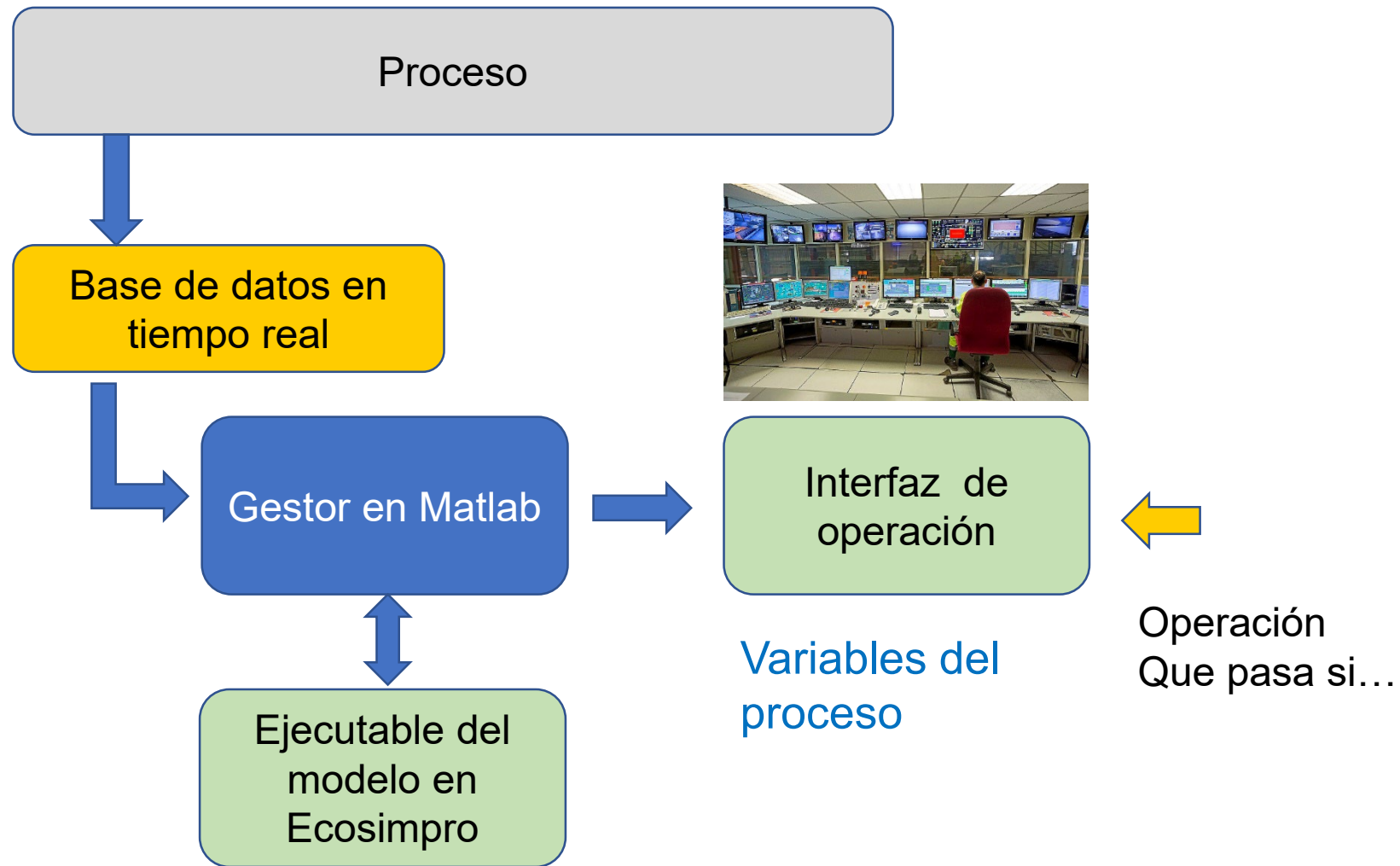
Dificultad para expresar el ajuste en funciones de costo

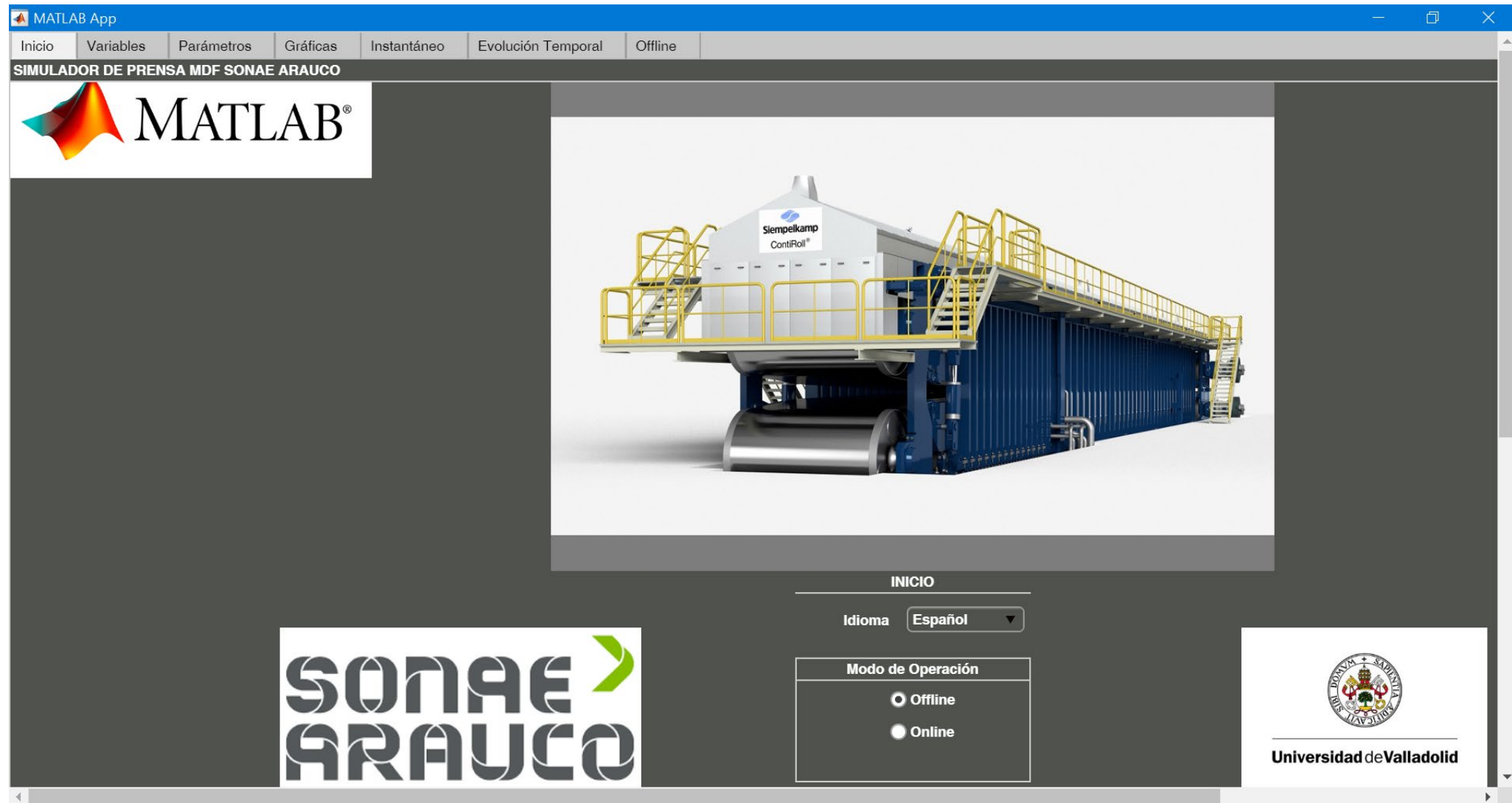
Ajuste de parámetros con resultados de laboratorio
Validación con reuniones periódicas con el personal de fábrica involucrado

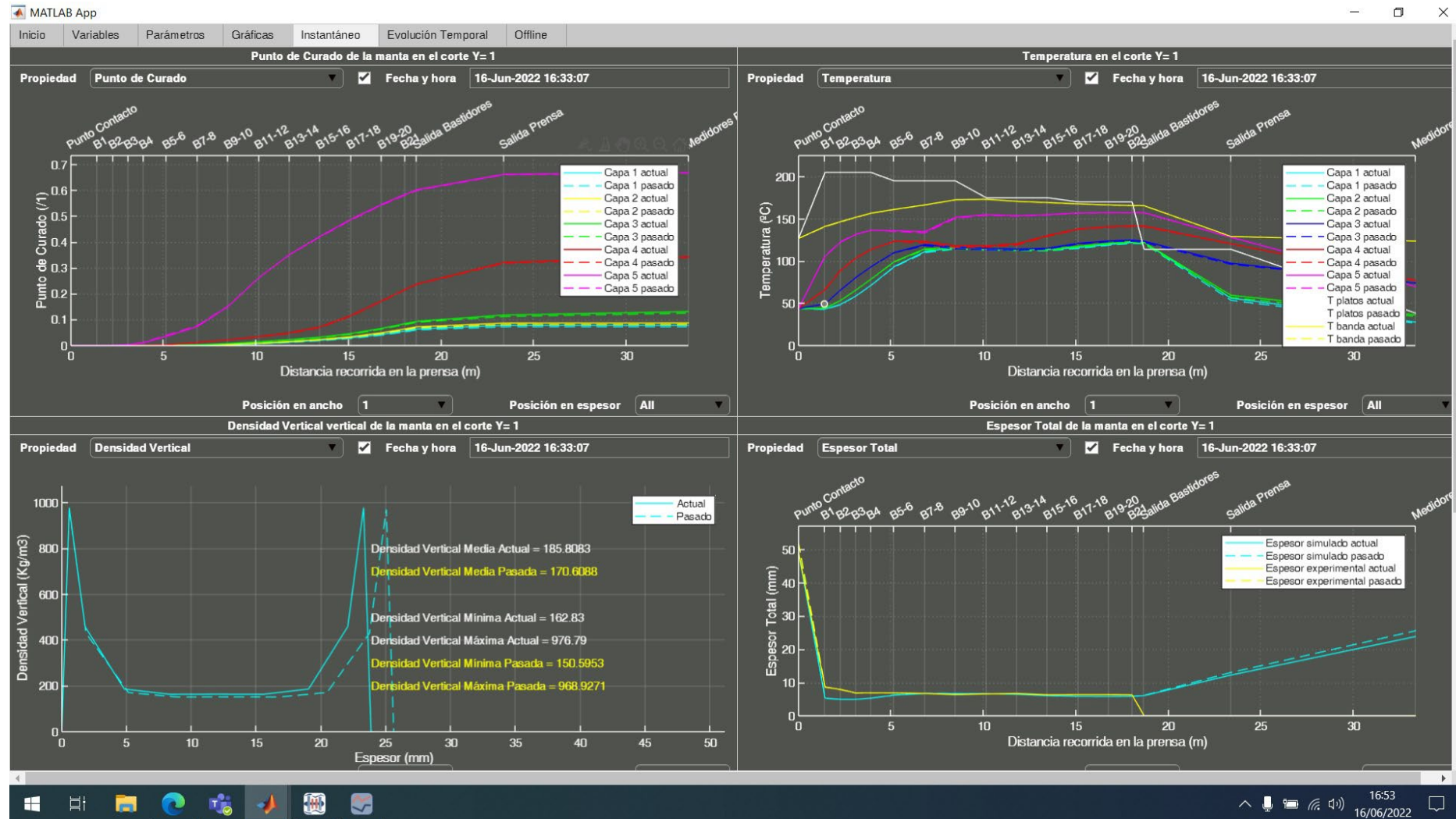


Digital Twin: Tres modos de operación









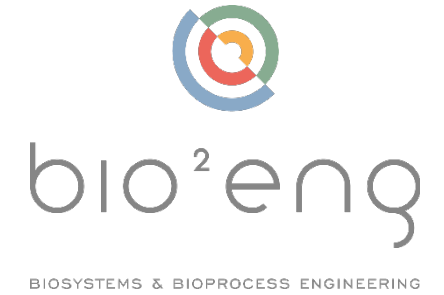
- ✓ Se han establecido las bases de un Digital Twin operando en paralelo al proceso y proporcionando información útil para su operación
- ✓ La ausencia de medidas internas y la dimensionalidad del problema son obstáculos importantes para la parametrización del modelo
- ✓ Los modelos deben completar su ajuste con experimentos en otras instalaciones
- ✓ Un punto relevante para la parametrización mediante optimización es la formulación de las funciones de costo adecuadas. Esto es un problema abierto.
- ✓ El uso de herramientas estándar para la construcción de interfases en tiempo real con los procesos es deseable.



**Universidad
de Valladolid**



Integrated plant-wide control and
optimization for industry4.0



Gracias por vuestra atención

**Workshop final
20-21 junio, 2022**