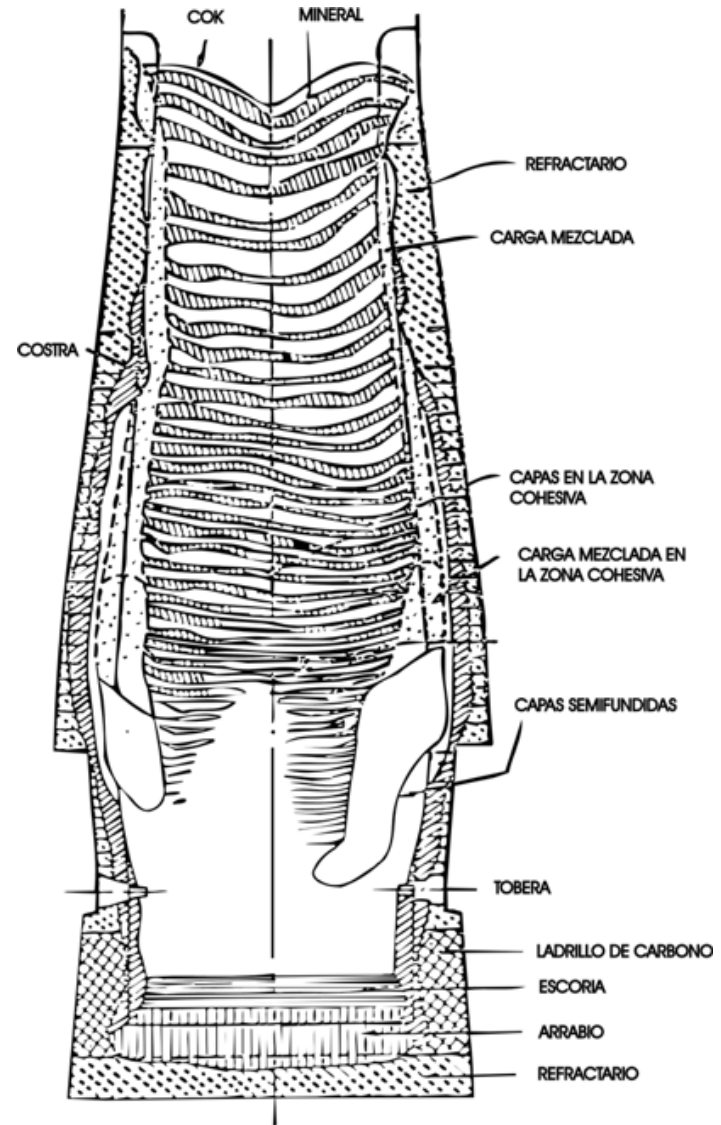

INGENIERIA SIDERURGICA

Proceso de sinterización

2015

Sinter para el horno alto

- Composición química
- Permeabilidad
- Resistencia
- Reblandecimiento y fusión

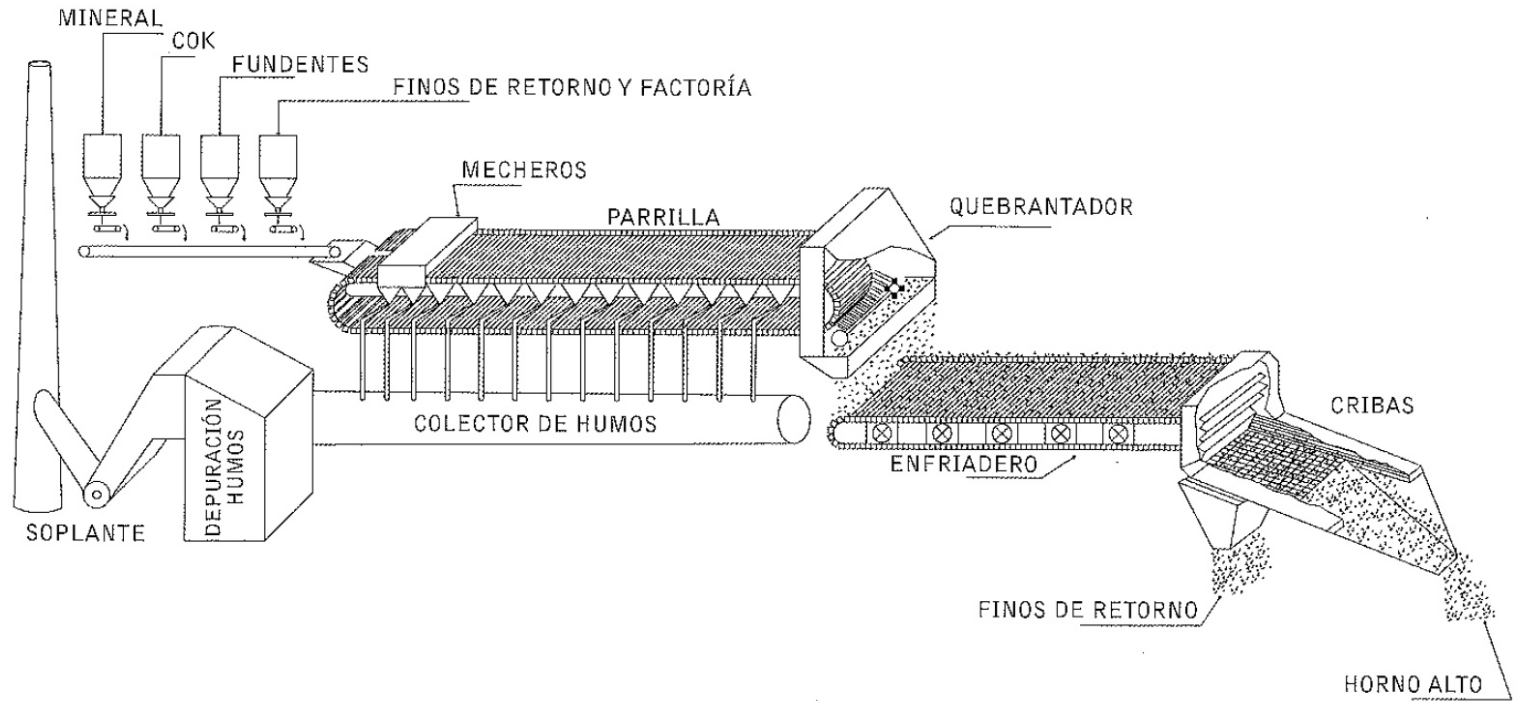


Sinter

- Matriz de estructura vítrea
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$
 - Fayalita $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$
- Constituyente disperso
 - Hematites Fe_2O_3
 - Magnetita Fe_3O_4
- Oxido ferroso FeO (6%)



Máquina de sinterizar



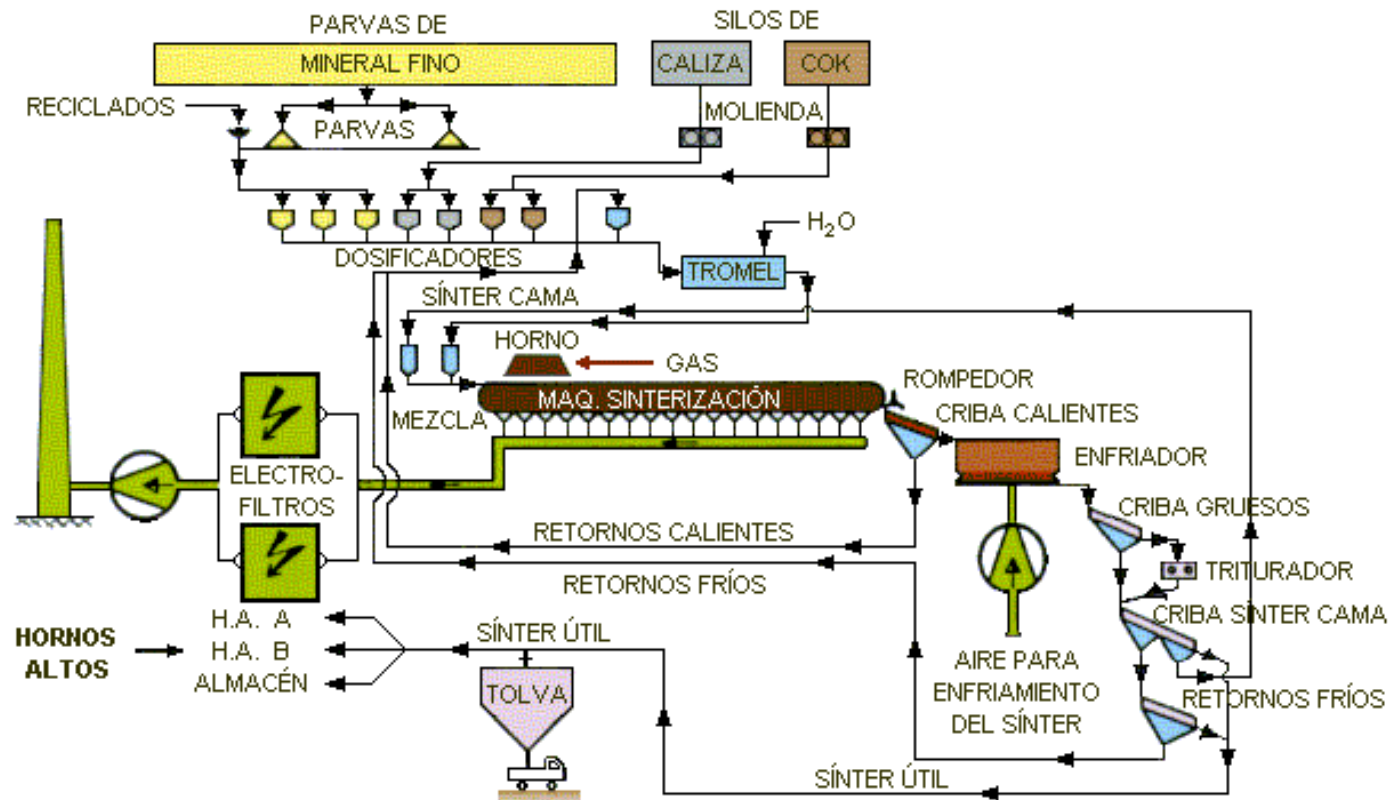
Dwight Lloyd



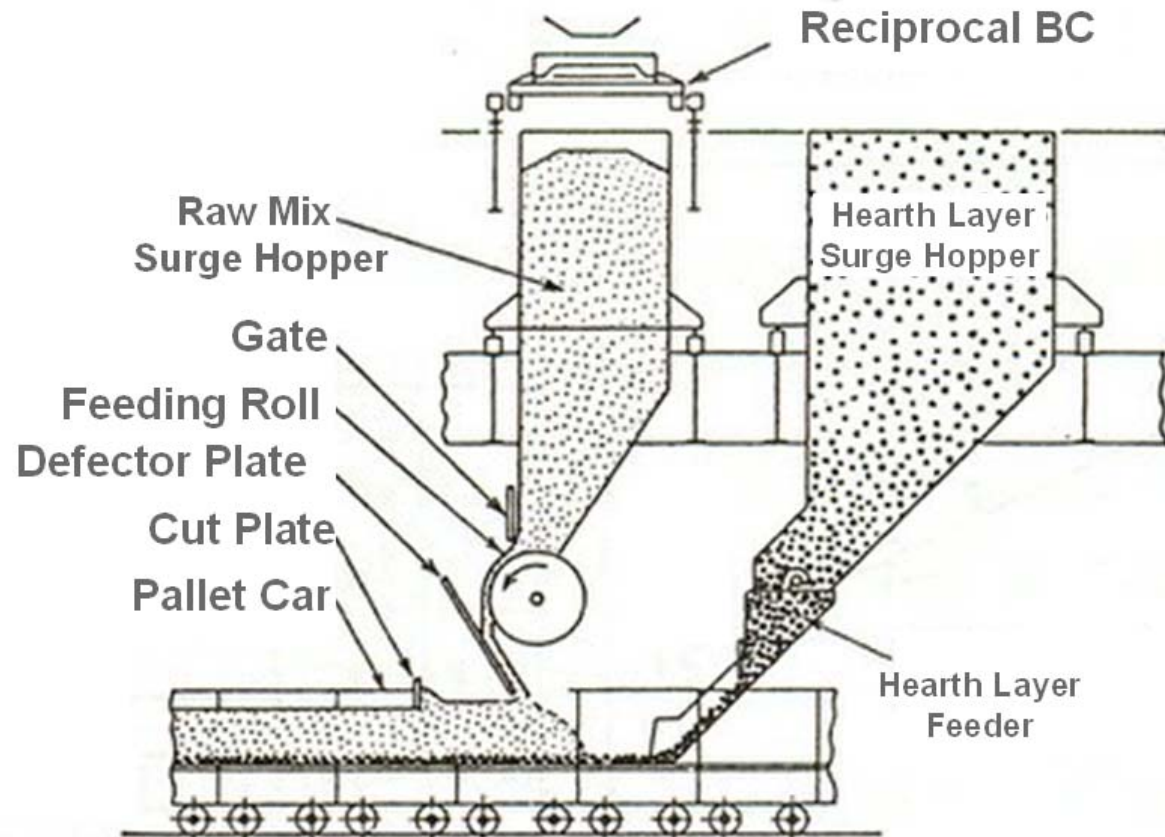
La carga del sinter

- Finos de mineral (<3mm)
- Finos de cok (<3mm)
- Finos de fundentes Caliza (CaCO_3) y dunita (MgSiO_3)
- Finos de factoría o recuperaciones, barreduras, cascarilla, cribados de hornos altos,...
- Finos de retorno (%40)
- Agua ($\approx 6.5\%$) que favorece la nodulación

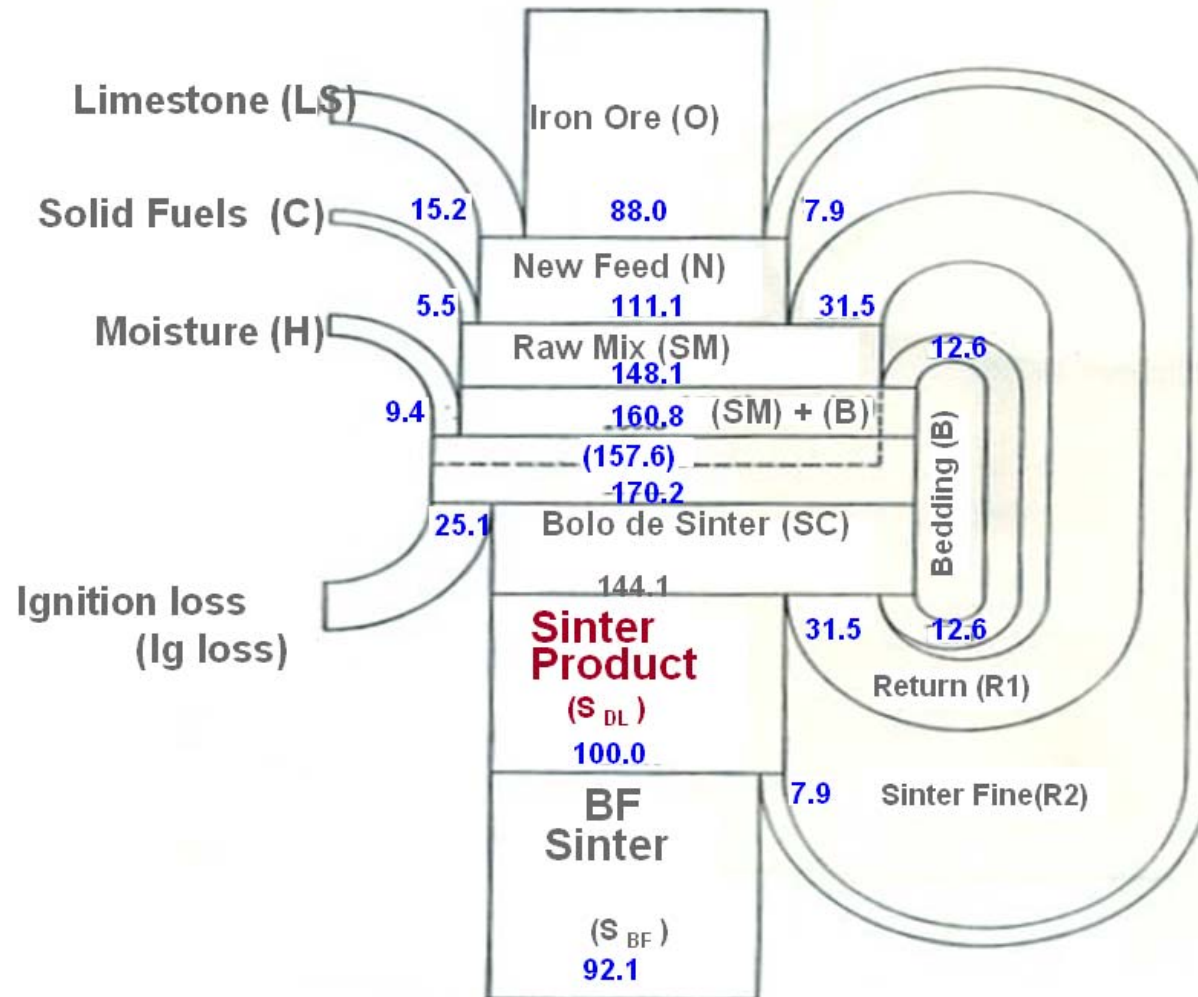
Proceso de sinterización



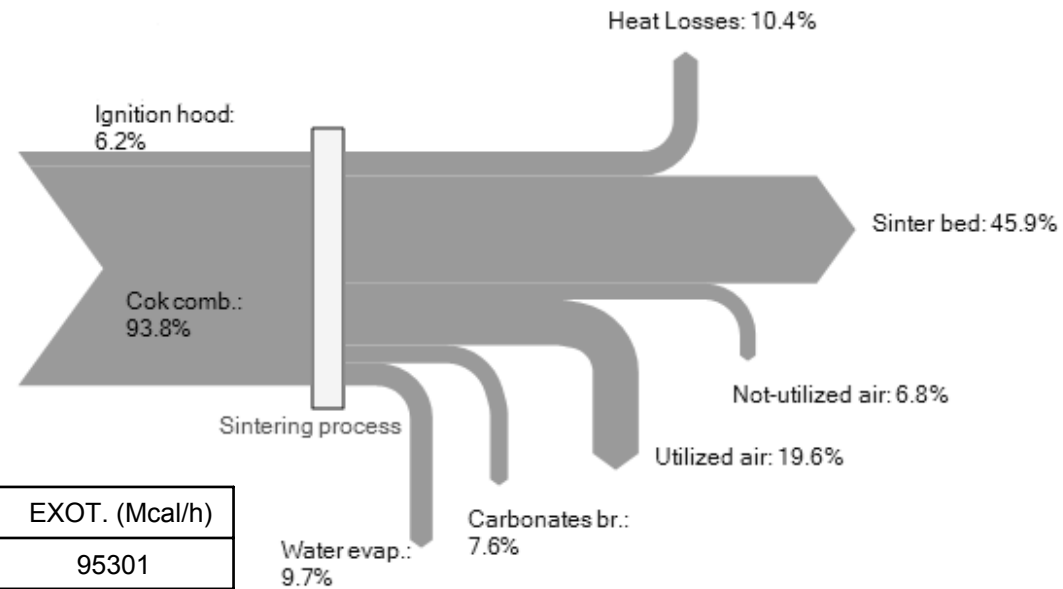
Feeding machine



Balance de materia



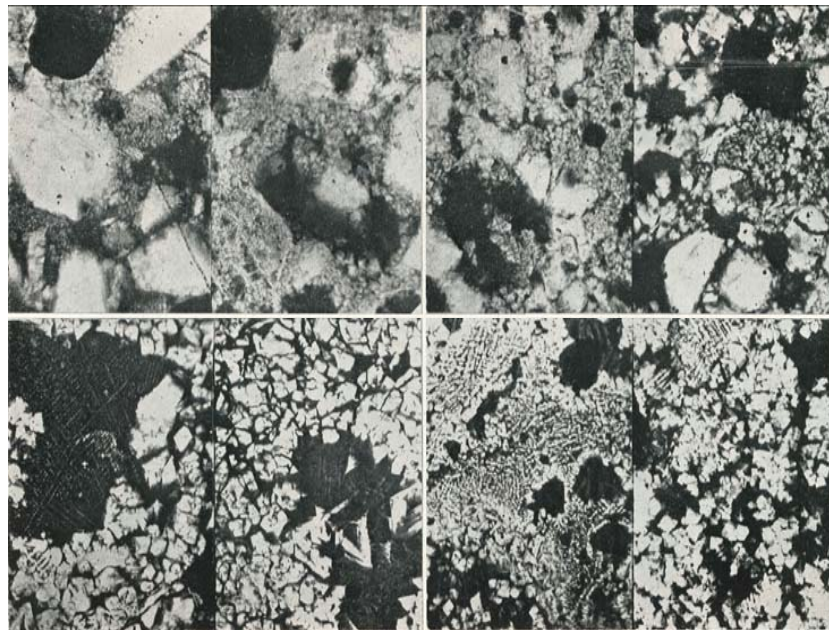
Balance global



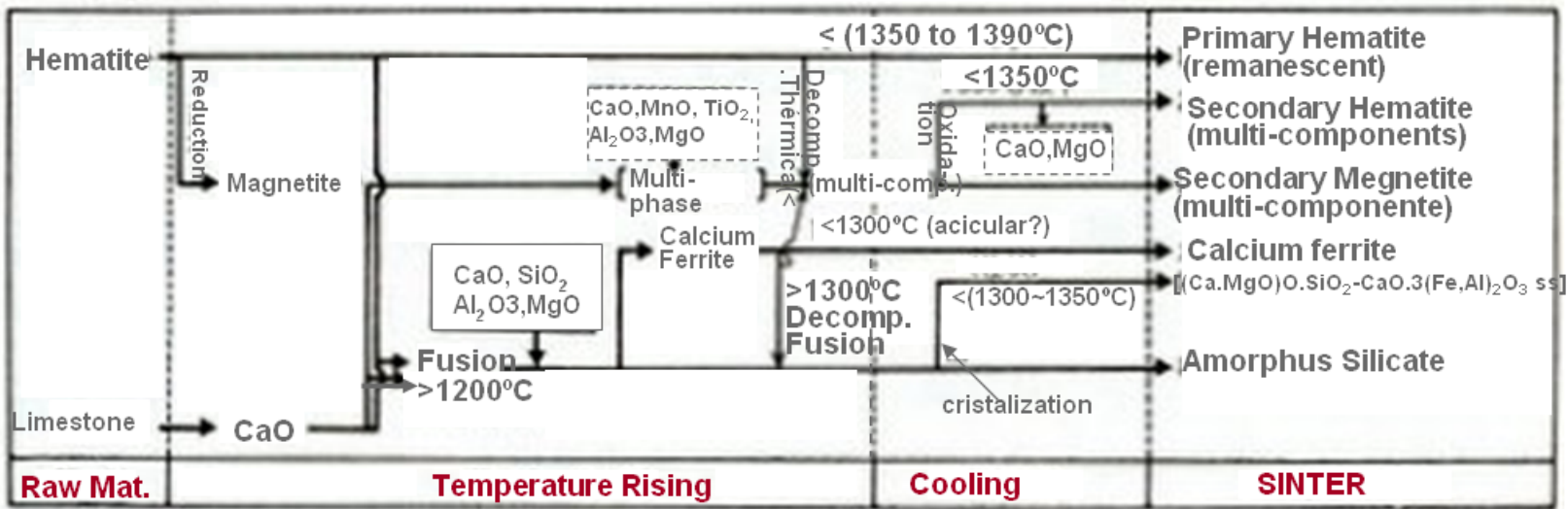
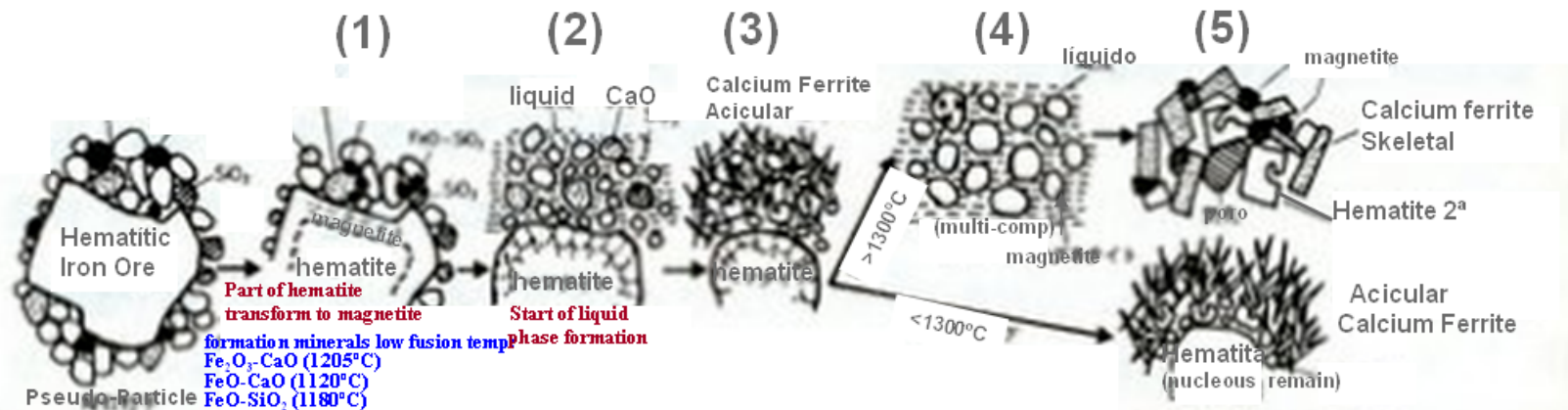
	ENDOT. (Mcal/h)	EXOT. (Mcal/h)
Calor combustión del cok		95301
Horno de encendido		6299
Evaporación del agua	9855	
Descomposición de carbonatos	7722	
Calor sensible gas	19914	
Calor sensible aire falso	6909	
Sinter	46634	
Pérdidas	10566	
Total	101600	101600

Estudio radiográfico

- Mineral original inalterado
- Mineral original recristalizado
- Material secundario resultado de la fusión y disolución
 - Posterior solidificación
 - Recristalización fuera de la disolución en dendritas



“Menor cantidad posible de material recristalizado”



Ref: Minoru Sasaki et al.

Control del cok

- Cok y agua son los parámetros fundamentales
- El cok suministra la energía necesaria para la fusión
- Es el parámetro más crítico
 - Demasiado cok se reduce la permeabilidad y baja la producción
 - Poco cok no se fundiría y aumentarían los finos de retorno
- El tamaño debe ser pequeño 1 mm
- El FeO es el mejor indicador $\approx 5.9\%$
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2 \text{FeO} + \text{CO}_2$
- La temperatura del sinter y de la criba suben

Ajuste de la basicidad

- Basicidad es la relación CaO/SiO_2 y es dada por el laboratorio
- Objetivo cercano a 2
- Se ajusta la parva añadiendo caliza o cal viva

CALCULO

Calcular la cantidad de caliza que es necesario adicionar para obtener un sinter de una determinada basicidad a partir del análisis de la parva.

Análisis de parva: 6.0% CaO, 6.0% SiO₂

Análisis de sinter: 6.0% SiO₂ , $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.7$

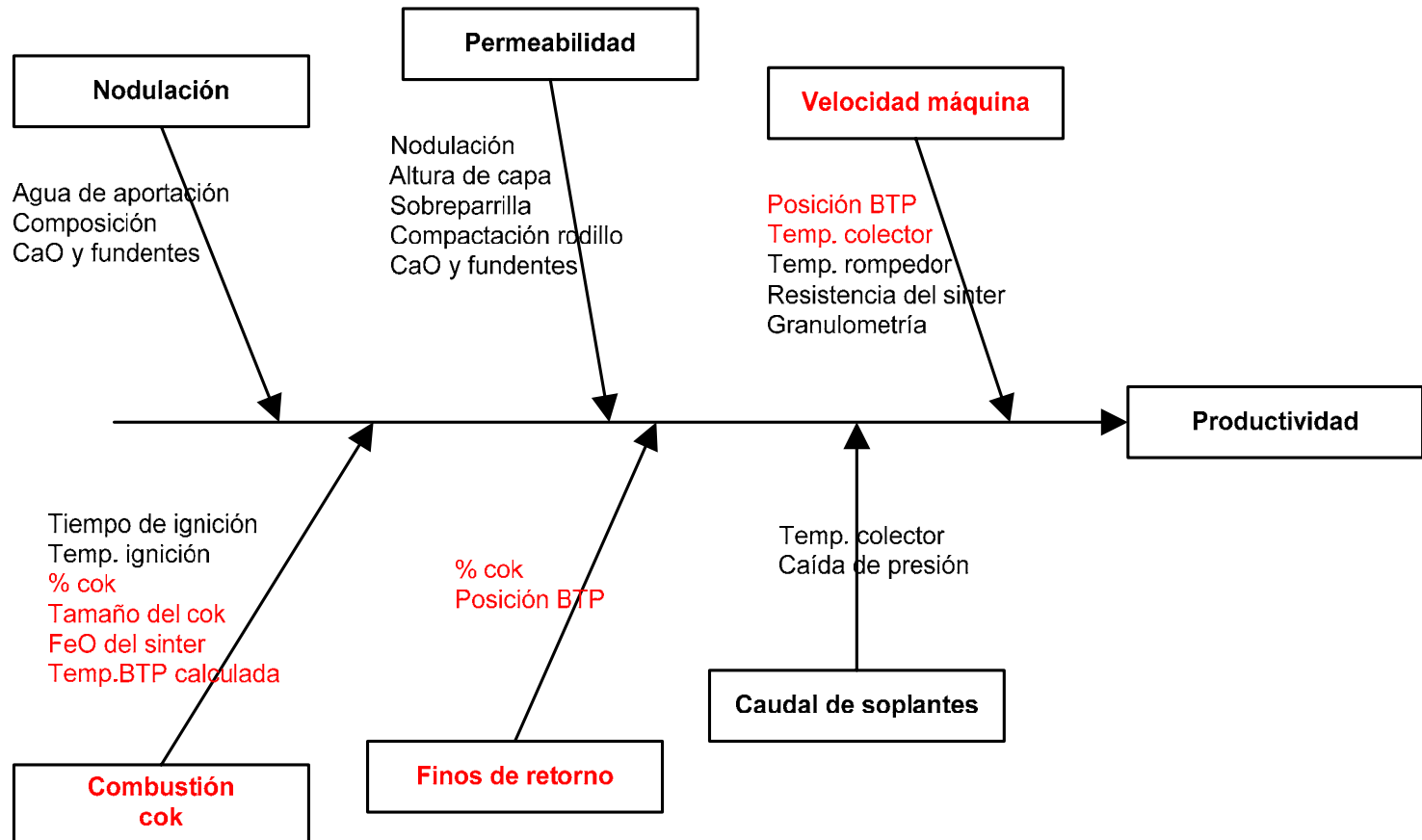
Ajuste de la basicidad

Solución:

La cantidad de CaO en el sinter = $1.7 * 6.0 = 10.2$

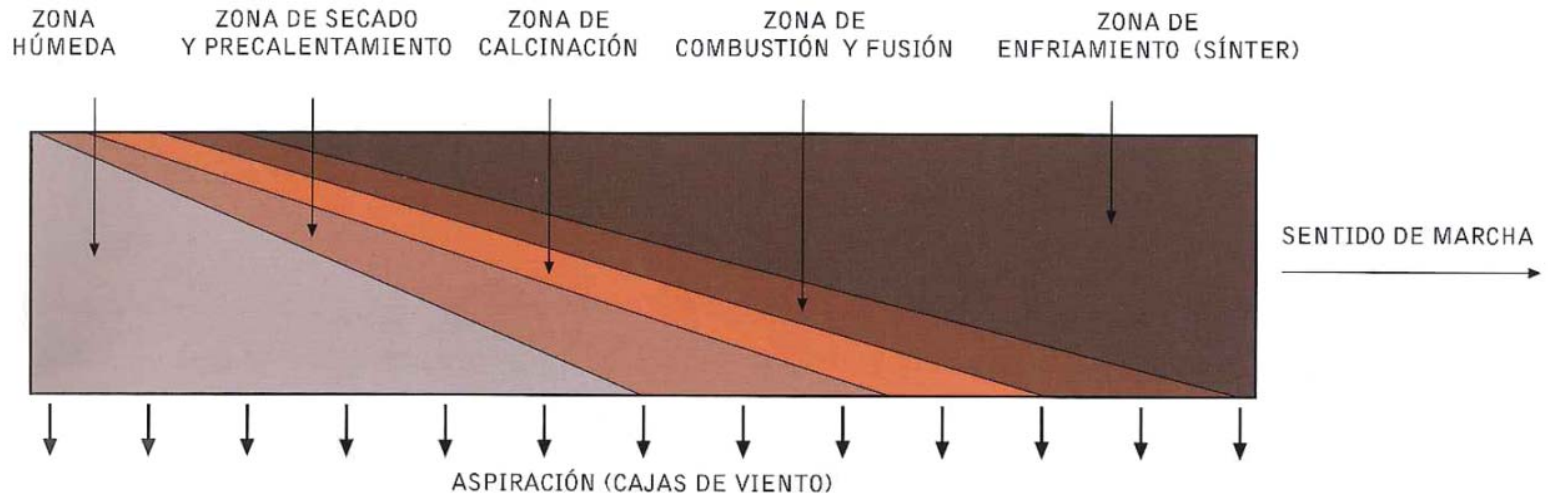
La cantidad de CaCO_3 a añadir será = $(10.2-6.0)*100/56 = 7.5 \%$

Control del sinter



Zonas sinterización

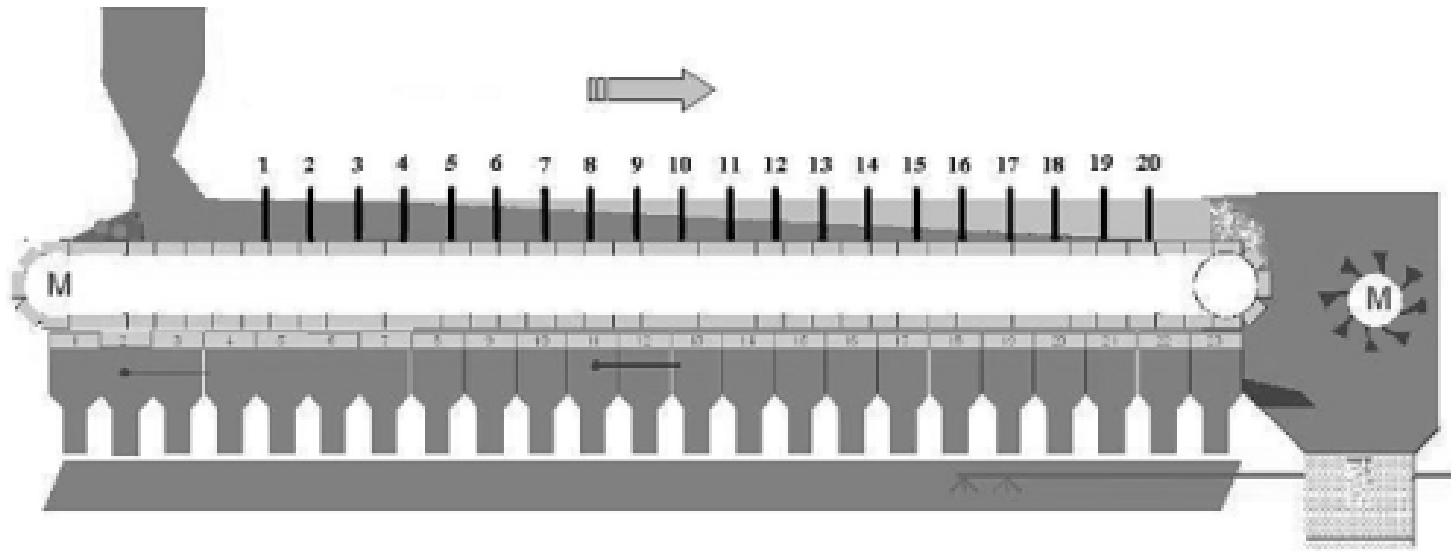
- **Zona húmeda.** Hasta 100°C
- **Zona de secado.** Entre 100 y 500°C. Evaporación agua y deshidratación hidróxidos
- **Zona de reacción.** Hasta 1300°C. Tiene lugar la ignición del cok.
 - Zona de calcinación. Descomposición de carbonatos.
 - Zona de combustión del cok
- **Zona de enfriamiento.**



Reacciones

- Zona de secado:
 - $H_2O_l = H_2O_v$
 - $Ca(OH)_2 = CaO + H_2O$
 - Combustión del cok:
 - $2 C + O_2 = 2CO + \text{calor}$
 - $C + O_2 = CO_2 + \text{calor}$
 - Descomposición de carbonatos
 - $CaCO_3 + \text{calor} = CaO + CO_2$
 - $MgCO_3 + \text{calor} = MgO + CO_2$
 - Reacciones en fase sólida
 - Oxidos de hierro + CaO = ferritas cálcicas
 - Oxidos de hierro + SiO₂ = fayalitas
 - CaO + SiO₂ = silicatos
 - Reacciones de reducción y reoxidación
 - $3 Fe_2O_3 + C = 2 Fe_3O_4 + CO$
 - $3 Fe_2O_3 + CO = 2 Fe_3O_4 + CO_2$
 - Reacciones de formación del magma
-

Modelo



- 20 secciones de trabajo imaginarias
- 40 divisiones/sección

Balances

- Balance de materia

$$\frac{dq_{si}}{dt} = \sum r_i \quad \frac{dq_{gi}}{dt} = -\frac{\partial}{\partial y}(q_{gi}v_g) + \sum r_i$$

- Balance de energía

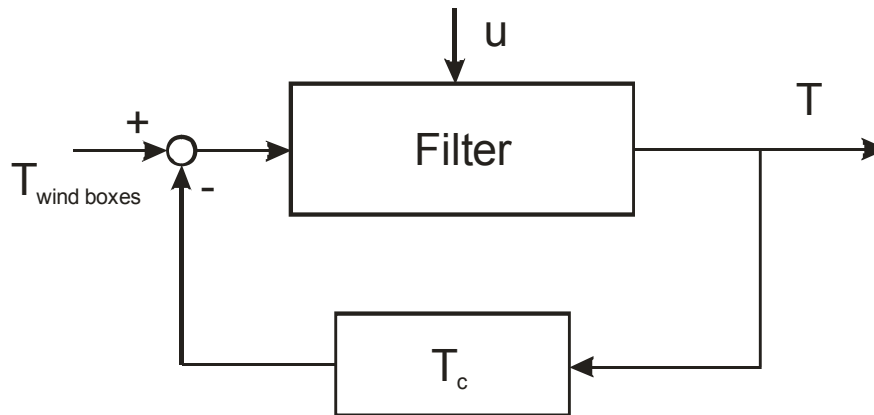
$$M_c \cdot c_{e,s} \cdot \frac{\partial T_s}{\partial t} = (0.4) \sum H_i \cdot r_i - h_c \cdot (T_s - T_g) + k \frac{\partial^2 T_s}{dz^2}$$

$$M_g \cdot c_{e,g} \cdot \frac{\partial T_g}{\partial t} = -\frac{d}{dy}(q_g \cdot v_g \cdot c_{e,g} \cdot T_g) + (0.6) \sum H_i \cdot r_i + h_c \cdot (T_s - T_g)$$

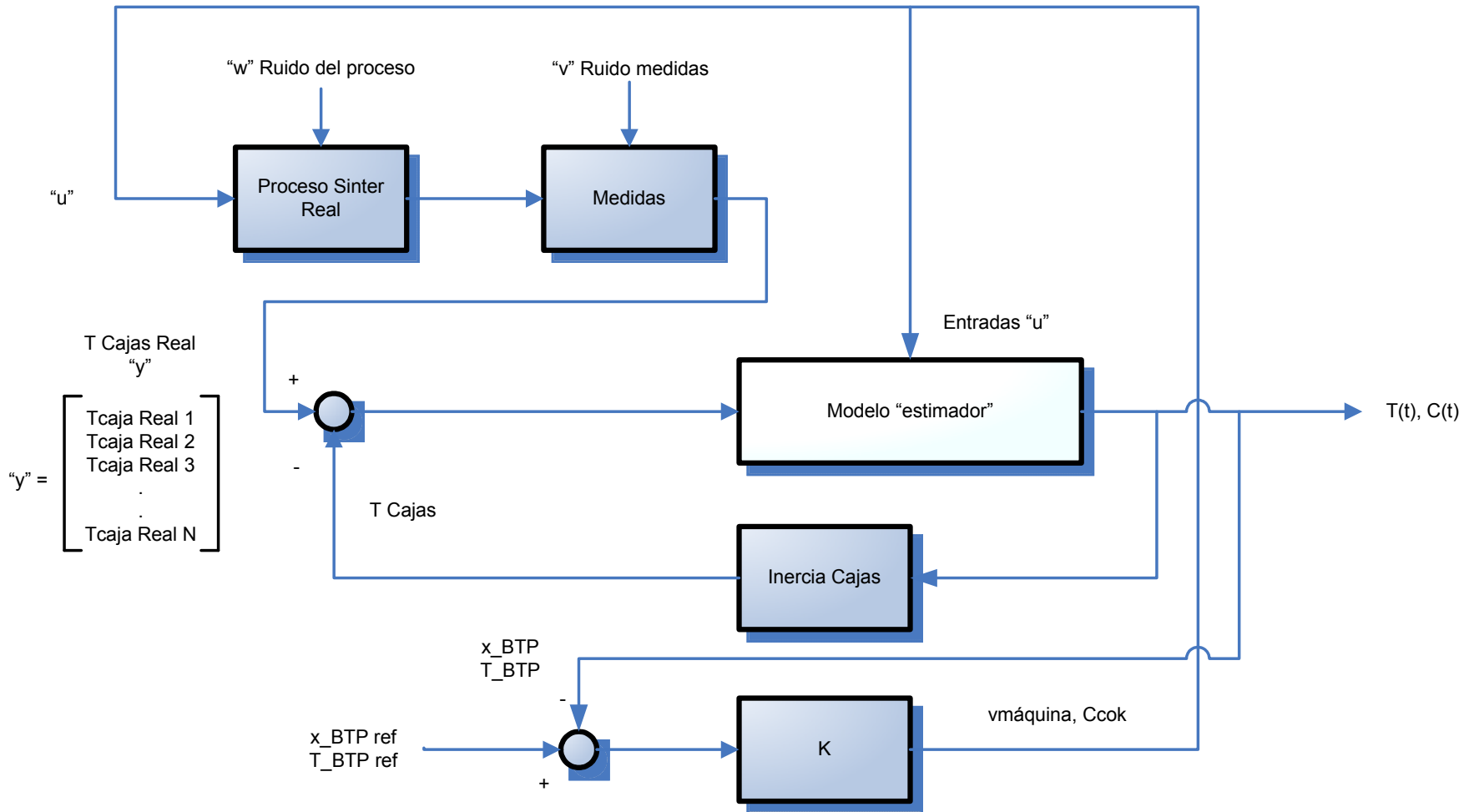
Filtro

- De acuerdo con la Teoría de Control para procesos estocásticos, de aplicación al mundo real, el modelo tiene que ser “**filtrado**” y “**observable**”

$$\frac{\partial T}{\partial t} = f(T, u, t) \quad \rightarrow \quad \frac{\partial T}{\partial t} = f(T, u, (T_m - T_c), t)$$
$$T_c = q(T, t)$$



Bucle de control



Variables de control

- Control de la velocidad

$$V = V_{ref} * \frac{Q_v}{Q_{ref}} + k_1 * (T_c - 160) - k_2 * (x_{BTP} - x_{BTP_{ref}})$$

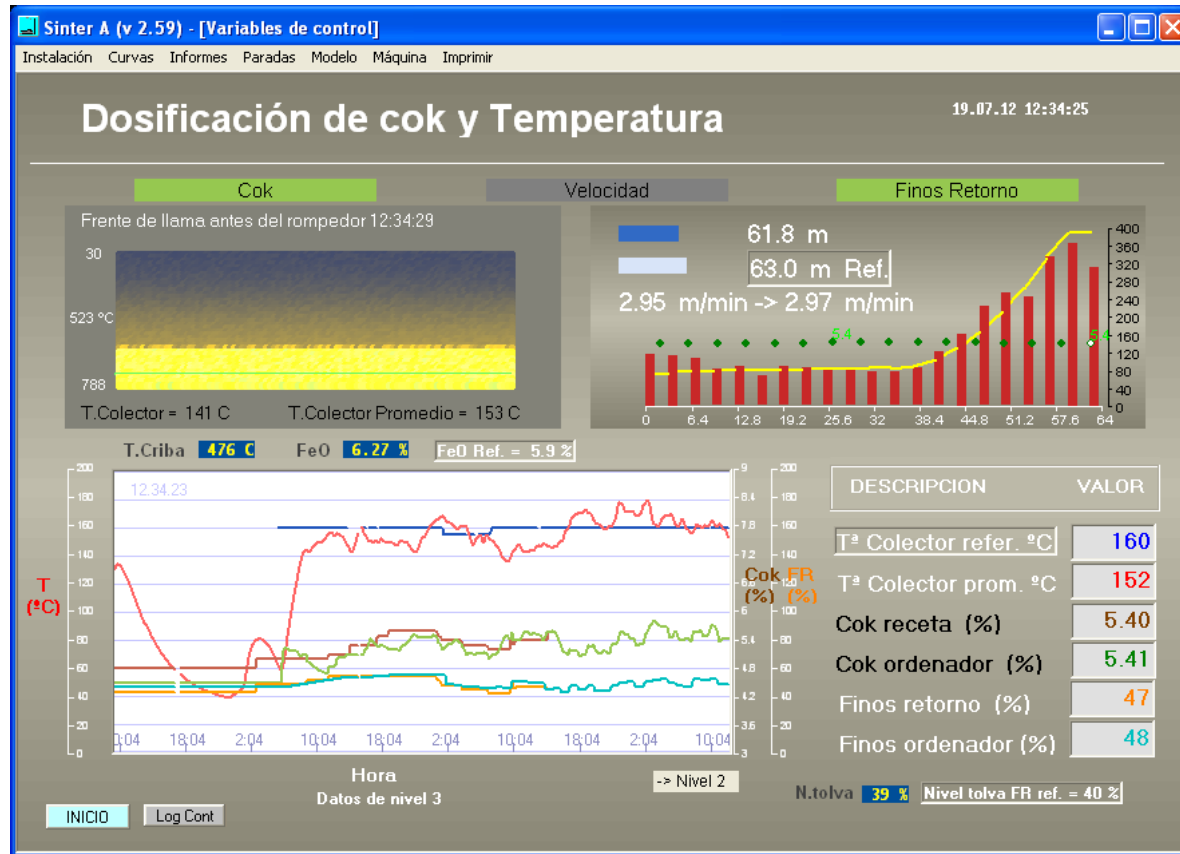
- Control del cok

$$C = C_{ref_{RF=30\%}} * \frac{100 - 0.6 * FR}{70} + k * (T_{BTP} - T_{ref})$$

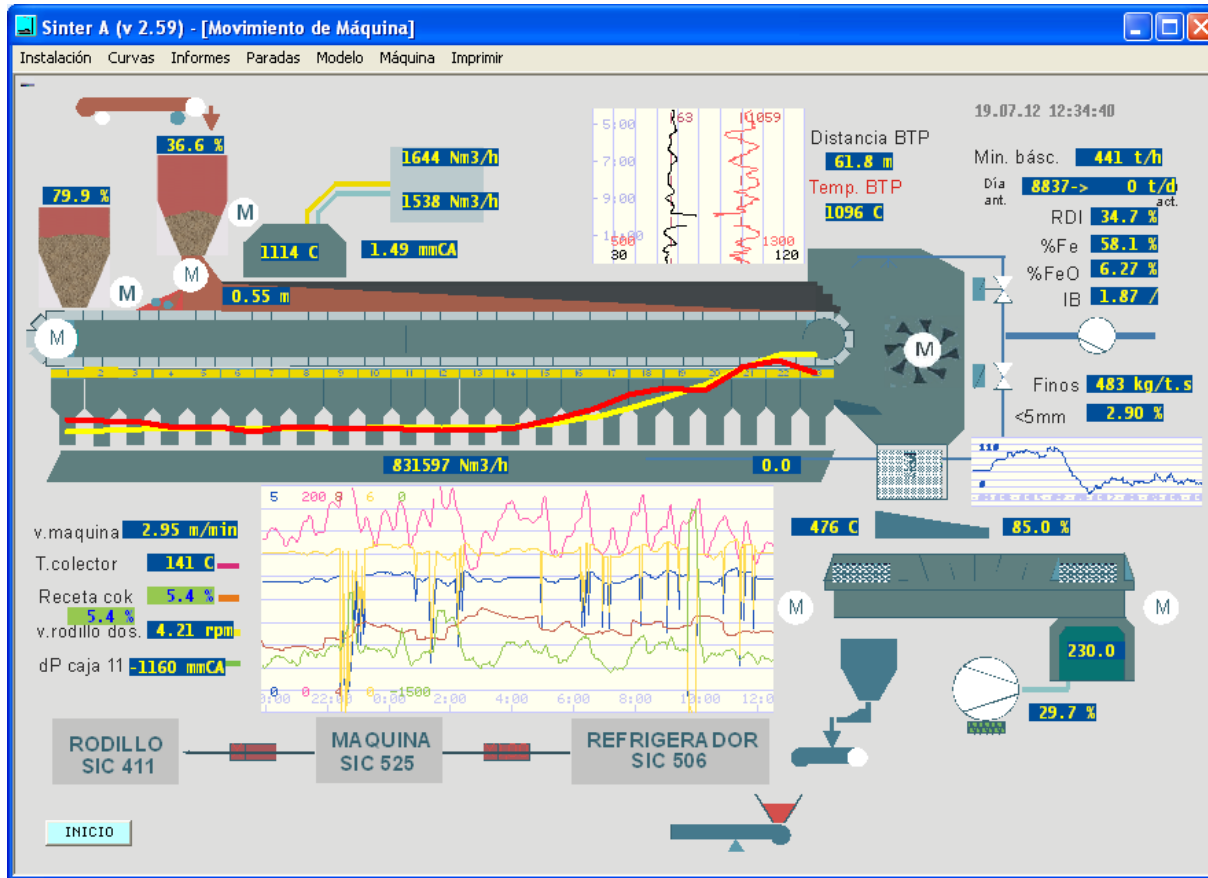
- Control finos de retorno

$$FR = FR_{ref} + k * (Nivel - Nivel_{ref})$$

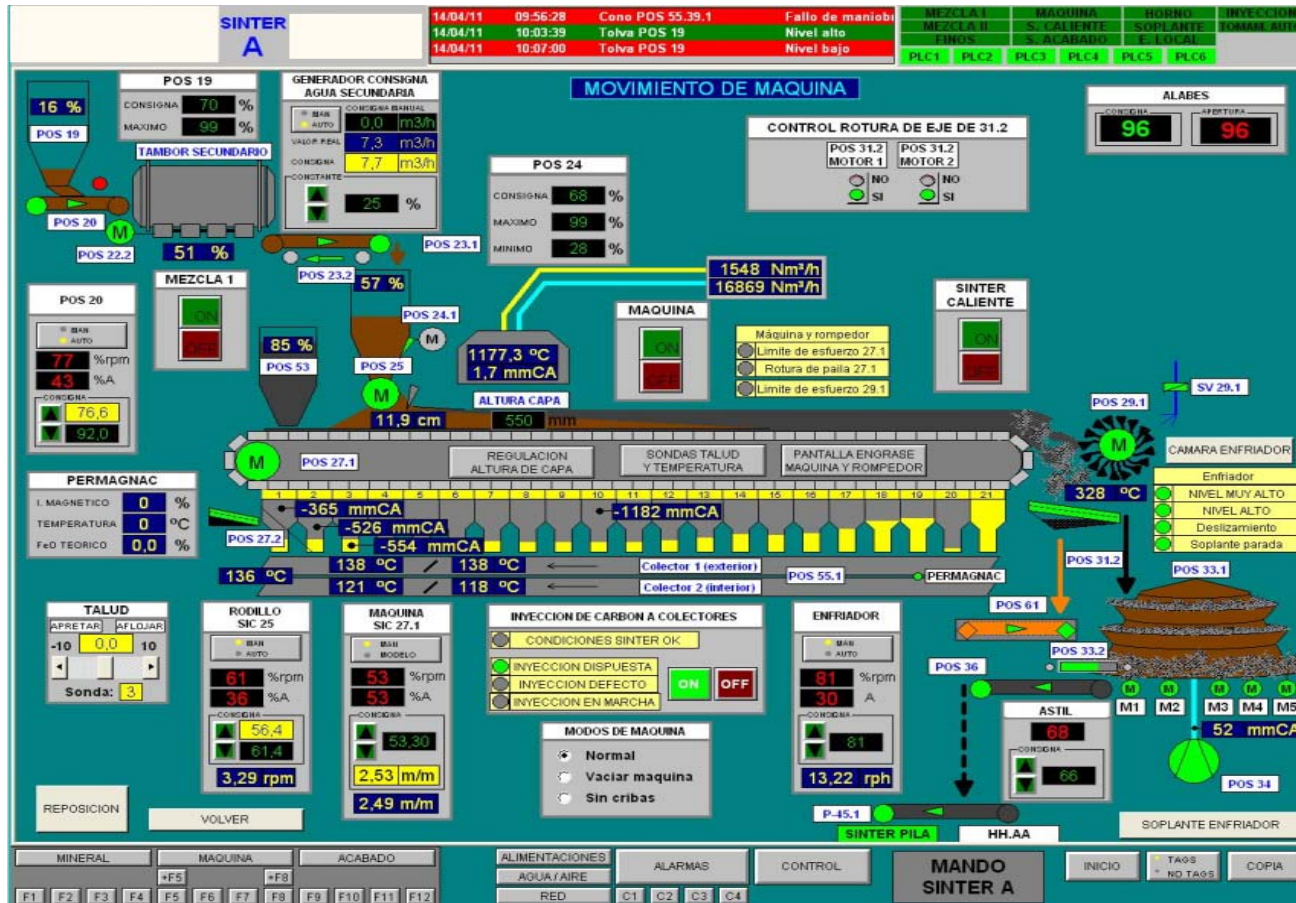
Ordenador de proceso



Ordenador de proceso



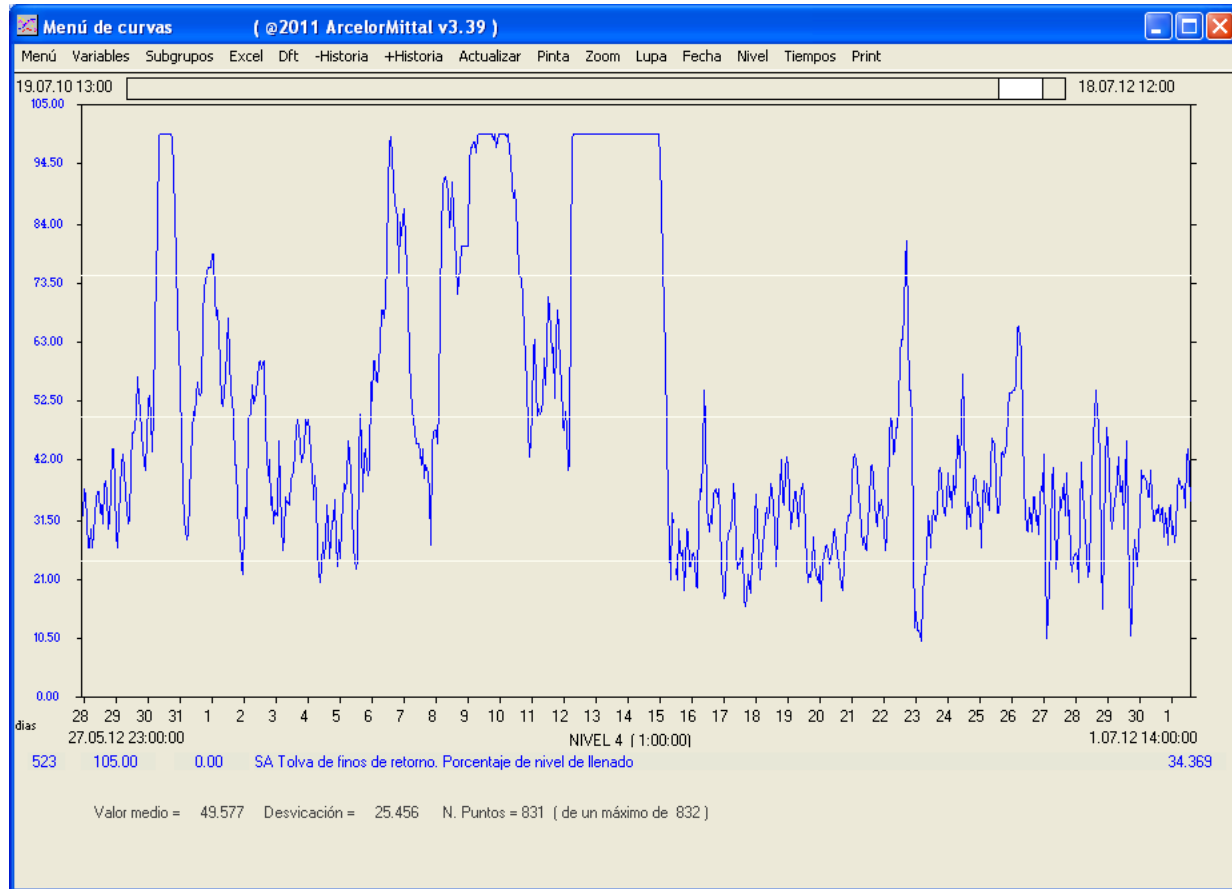
Comunicación con la básica



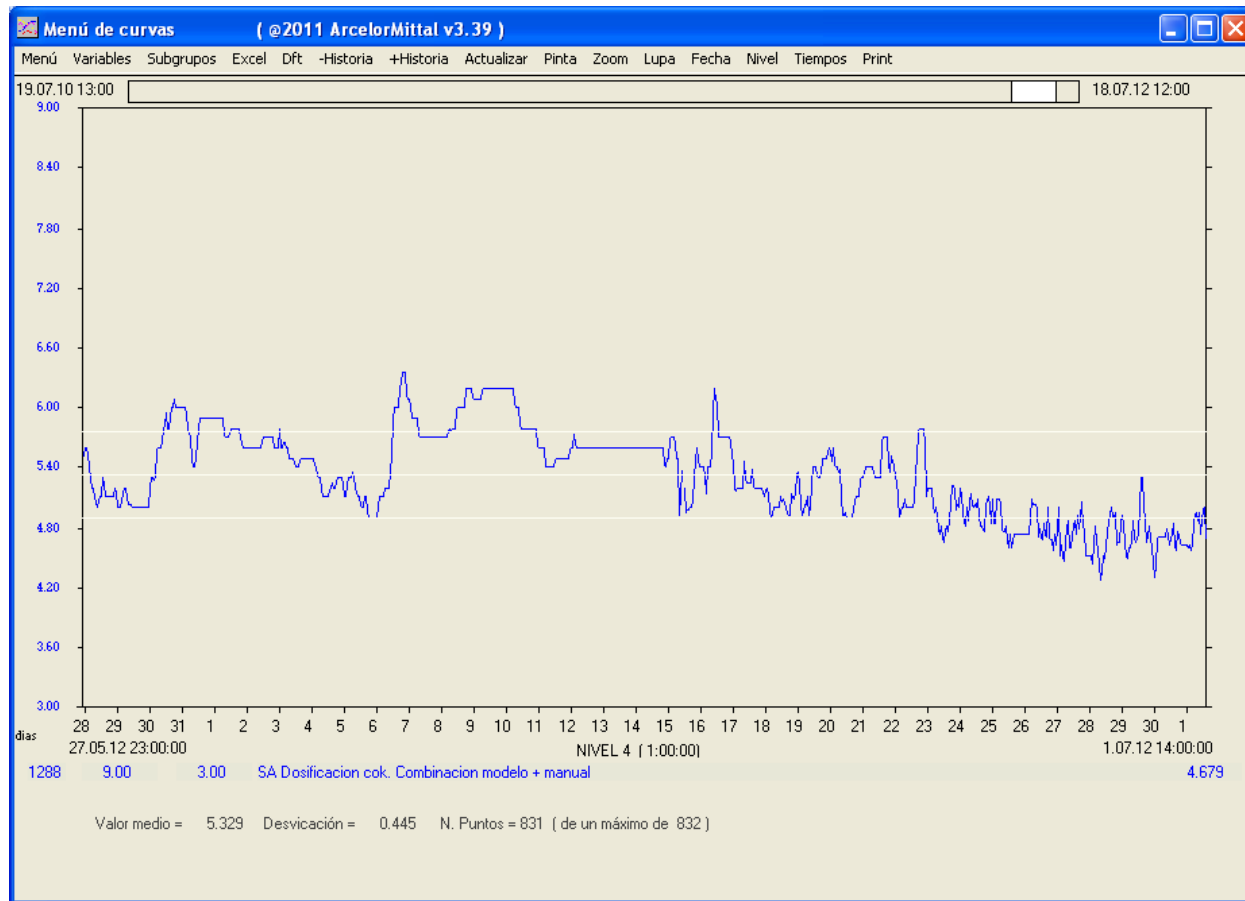
Ventajas del control automático

- Se mantiene la posición del punto BTP
- El FeO más estable (desviación pasa de 0.85 a 0.49)
- Baja el consumo de cok
- La temperatura del colector más estable
- La tolva de finos mantiene un nivel más estable
- Aumenta la productividad

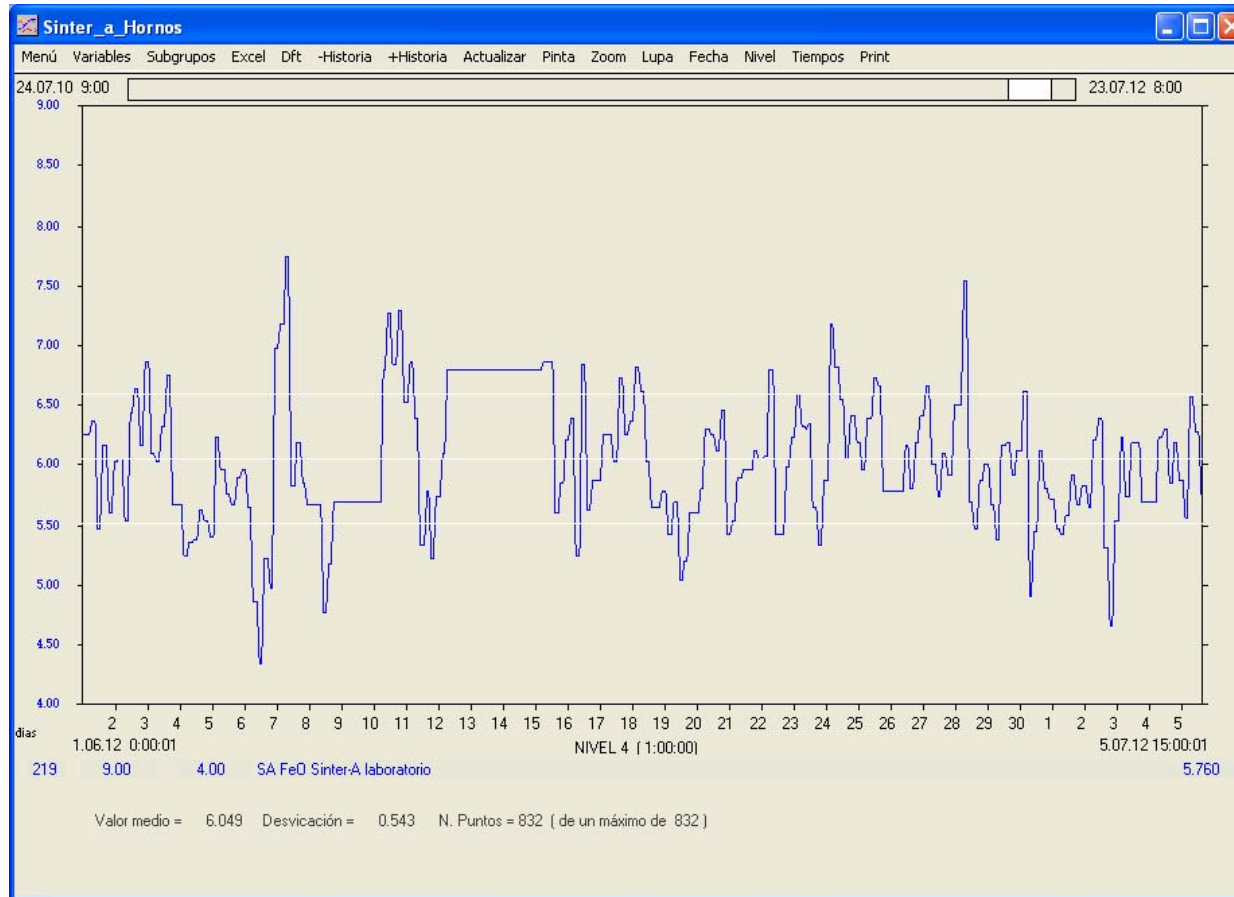
Control del nivel de la tolva de finos



Consumo de cok



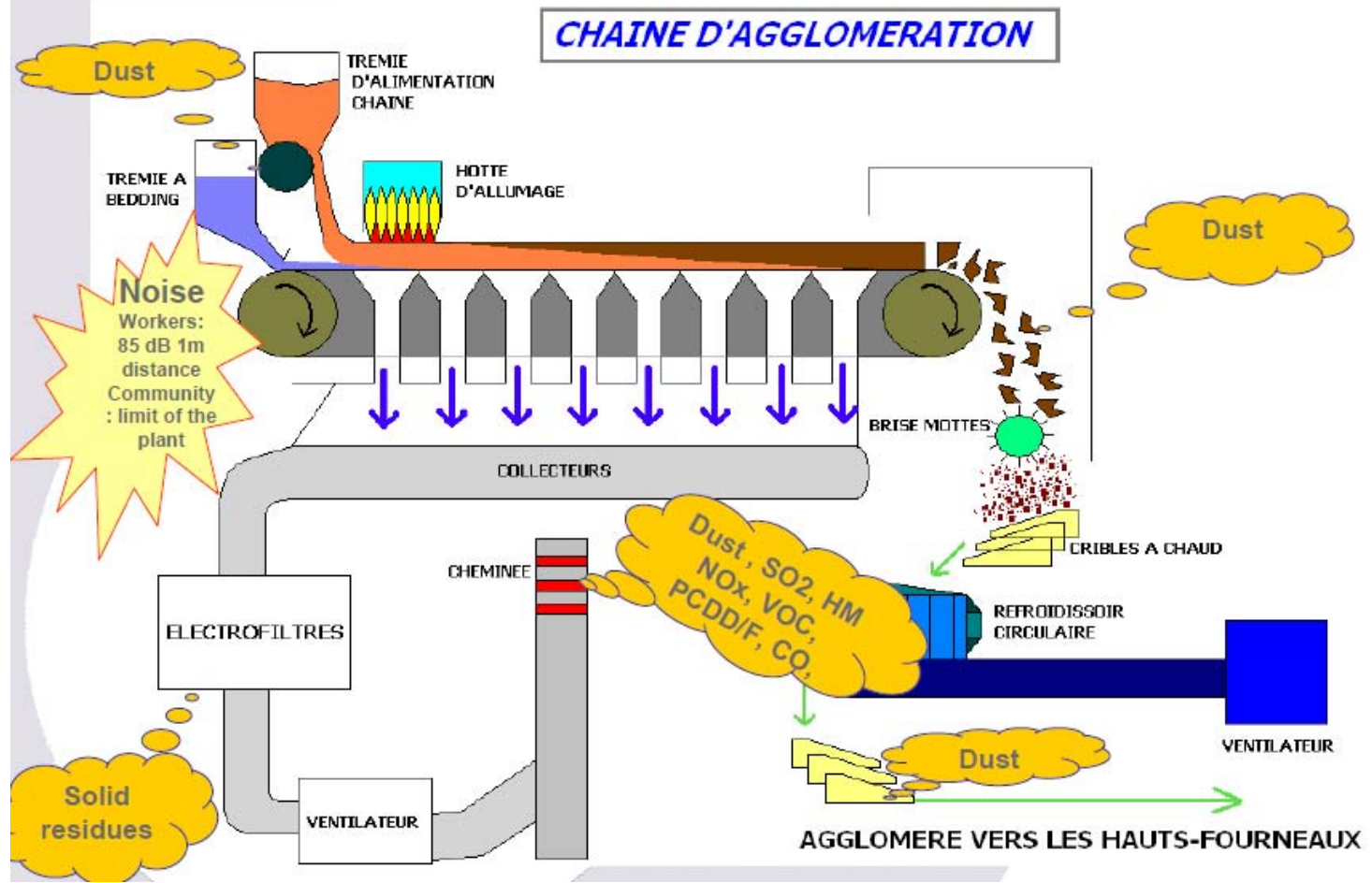
Control del FeO



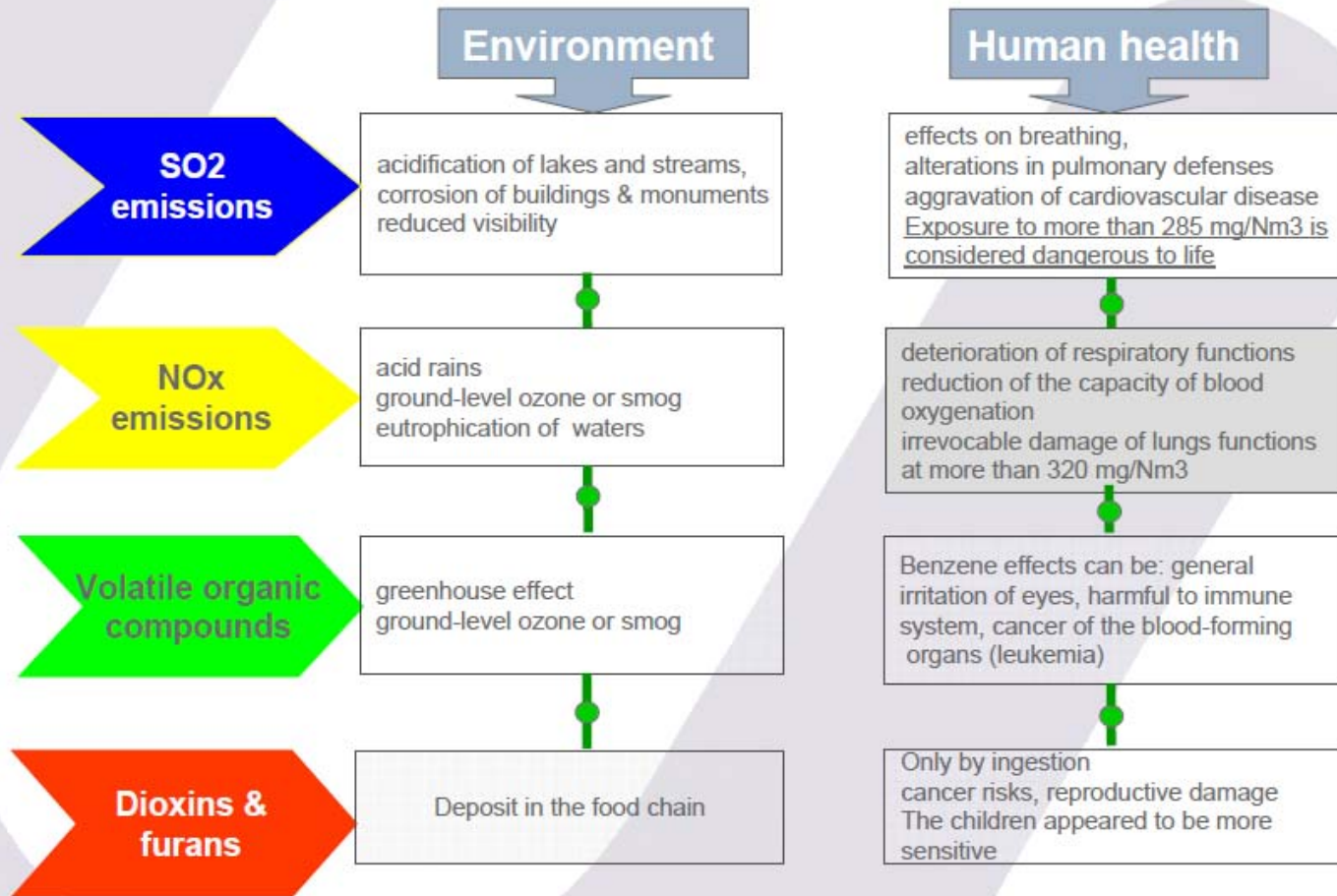
Ensayos de calidad del sinter

- Ensayos en frío
 - Tumbler >6.3 : resistencia al impacto ($>70\%$)
 - Tumbler <0.6 : resistencia a la abrasión ($<7\%$)
- Ensayos en caliente
 - RDI: mide la resistencia por reducción por CO. Porcentaje < 3 mm ($<28\%$)
- Otros:
 - Hinchamiento, porosidad y reductibilidad

Main sources of emissions at sinter plant



Sintering emissions. Effects on environment & human health



Emisiones

