



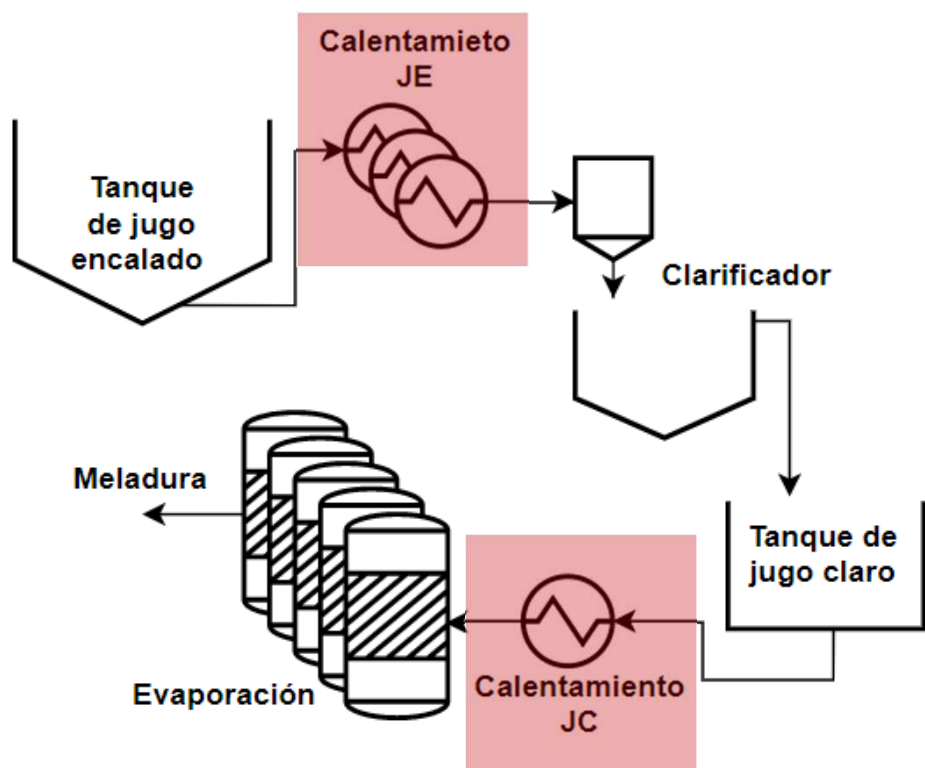
Estrategias de control en calentamiento

John Andrés Tierradentro
Ingeniero Electrónico
jatierradentro@cenicana.org

Control de temperatura en calentamiento

Objetivos de Proceso

- Calentar el jugo encalado para promover la remoción de aire disuelto y favorecer las reacciones en el proceso de clarificación.
- Elevar la temperatura del jugo claro que se dirige al primer efecto en el proceso de evaporación y disminuir consumos de vapor.



Objetivos de Control

Control de temperatura estable del jugo con los menores consumos de vapor.

Sistema Experimental de Calentamiento (SEC)

Características

Calentador de placas - 3 t/h

El SEC toma corrientes suministradas por el ingenio:

- Jugo claro
- Vapor (escape o vegetal)
- Condensados (para configuración líquido-líquido)
- Agua industrial (para lavados)

Entrega el jugo caliente, nuevamente al proceso.



Instrumentación SEC

Corriente de jugo

T entrada y salida de jugo

Flujo

Bomba + Variador

Corriente Vapor

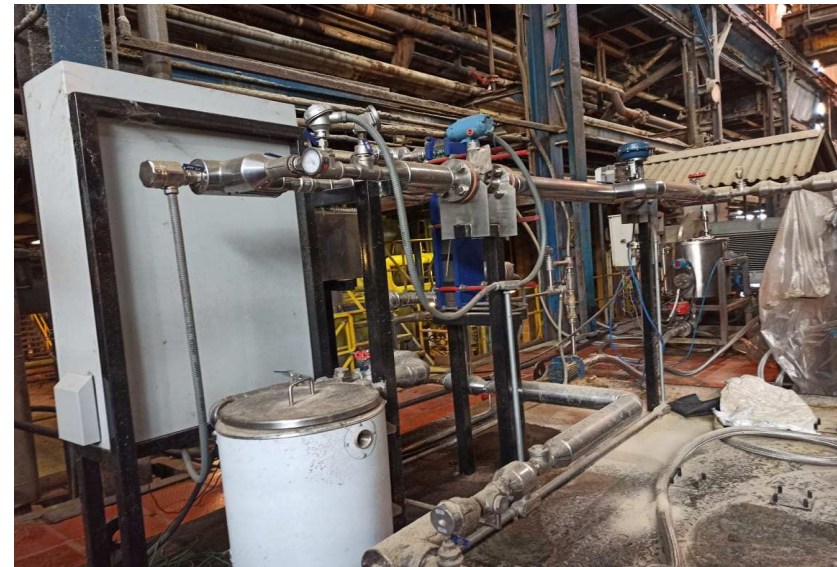
Flujo

Presión

T de entrada

T de condensados

Válvula de control.



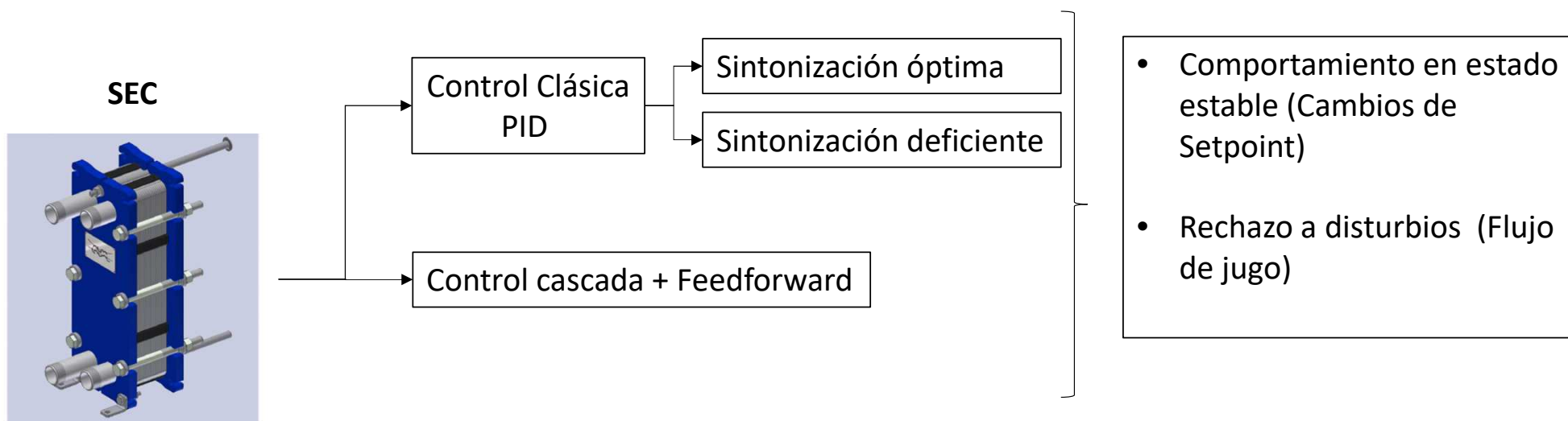
Control de temperatura en calentamiento

Comentarios

“El 75% de todos los bucles de control instalados en plantas de proceso, globalmente, NO están operando en su intervalo óptimo de prestaciones”

“Una producción estable y un uso de energía optimizado se logran eficiencias alrededor de 15 a 25 % más comparada con una planta inestable”

International Sugar Journal



**Evaluación bajo iguales condiciones de operación

Sistema experimental de calentamiento



El SEC toma corrientes suministradas por el ingenio:

- Jugo claro o jugo diluido
- Vapor (escape o vegetal)
- Condensados (para configuración líquido-líquido)
 - Agua industrial (para lavados)

Entrega el jugo caliente, nuevamente al proceso.



Consumos de vapor – condiciones estables

Cambios de setpoint

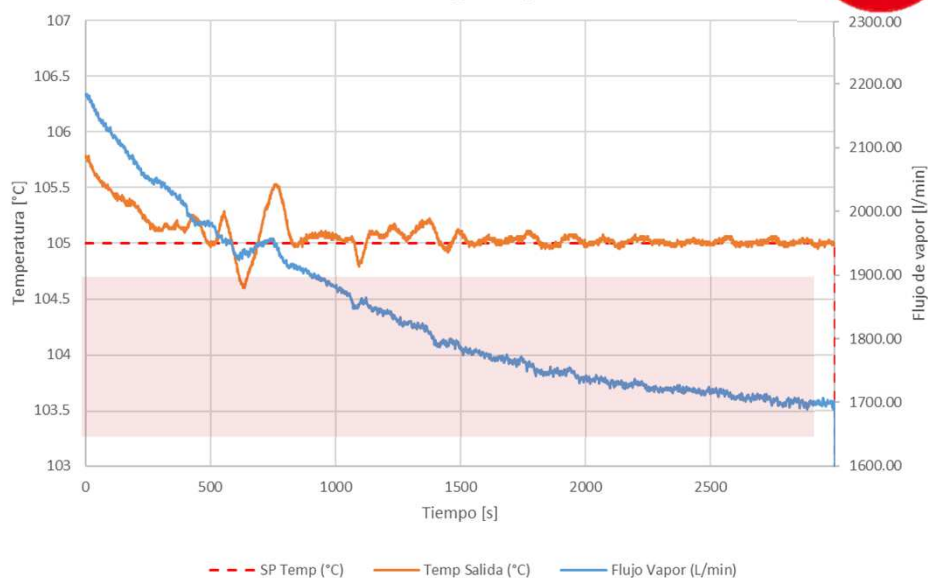
Respuesta a disturbios

Flujo

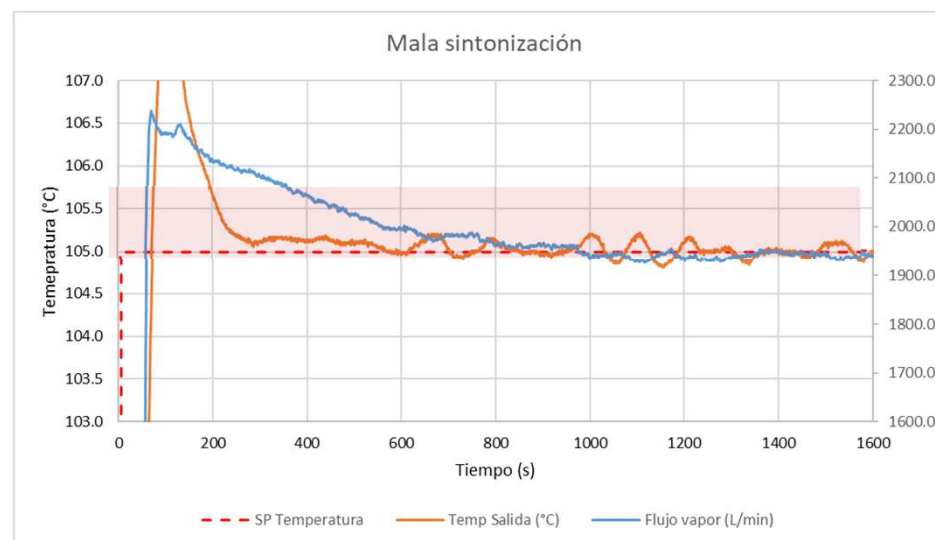
Estrategia Simple



Estrategia Simple



Estrategia Simple mal sintonizada



	Mala sint.	Simple	Diferencia
Consumo Total [L/m]	2,598,202	2,445,614	152,588
Consumo promedio [L/m]	1989	1873	-5.8%
C.V	2.9%	3.7%	

Consumos de vapor – condiciones estables

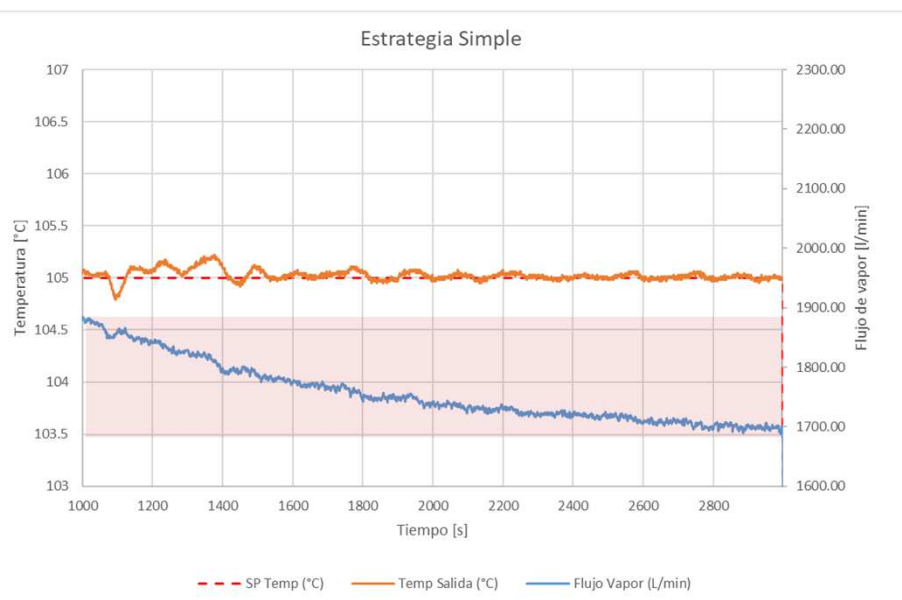
Cambios de setpoint

Respuesta a disturbios

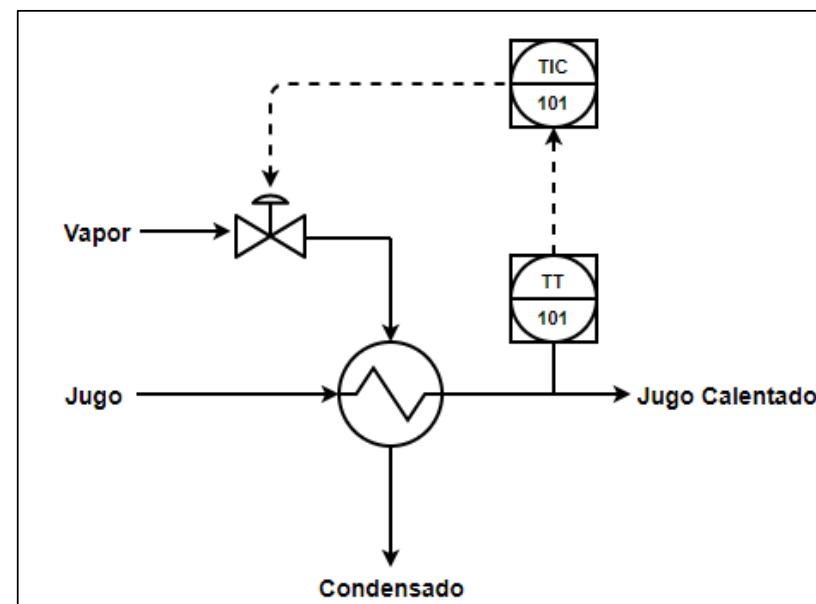
Flujo

100-105 °C

Estrategia Simple



Estrategia Simple – Basada en PID



Consumos de vapor – condiciones estables

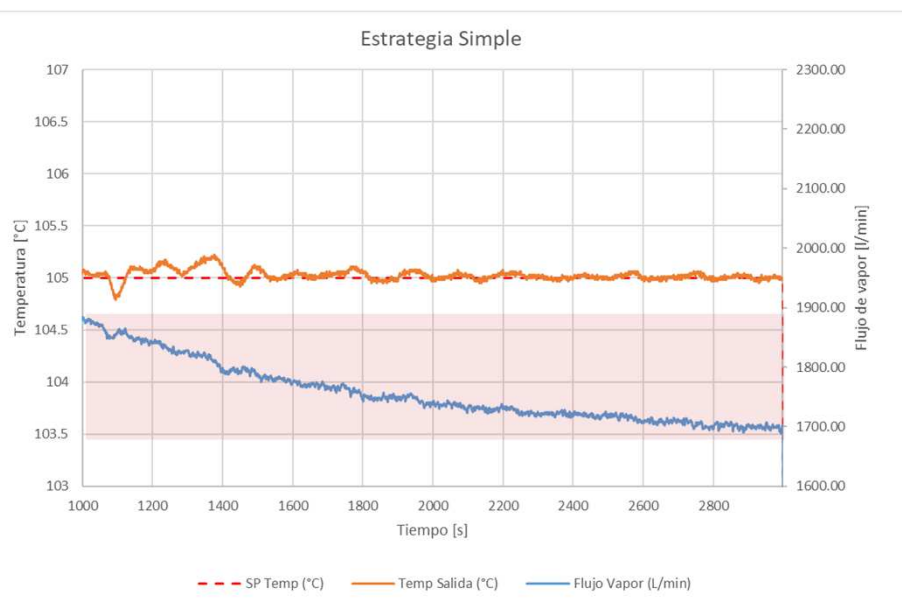
Cambios de setpoint

Respuesta a disturbios

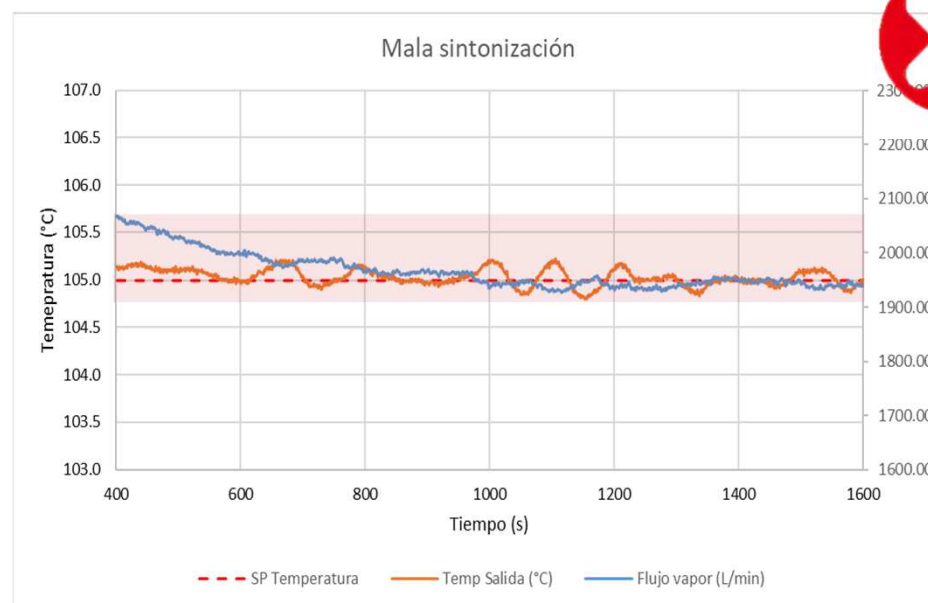
Flujo

100-105 °C

Estrategia Simple



Estrategia Simple deficiente



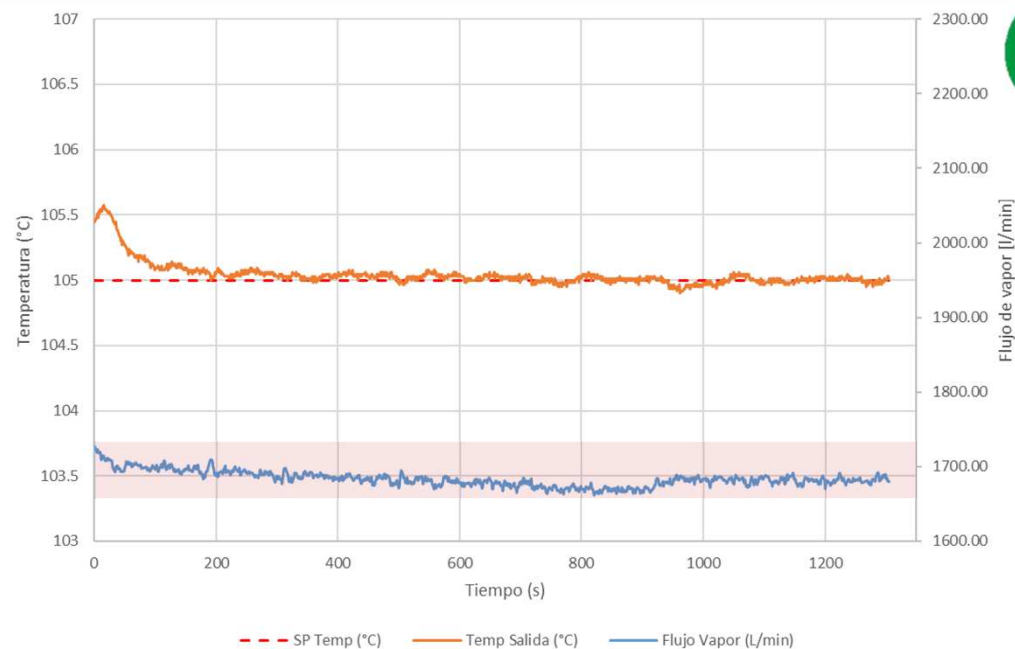
	Sint. defic.	Simple	Diferencia
Consumo Total [L/m]	2,598,202	2,445,614	152,588
Consumo promedio [L/m]	1989	1873	-5.8%
C.V	2.9%	3.7%	

Consumos de vapor – condiciones estables

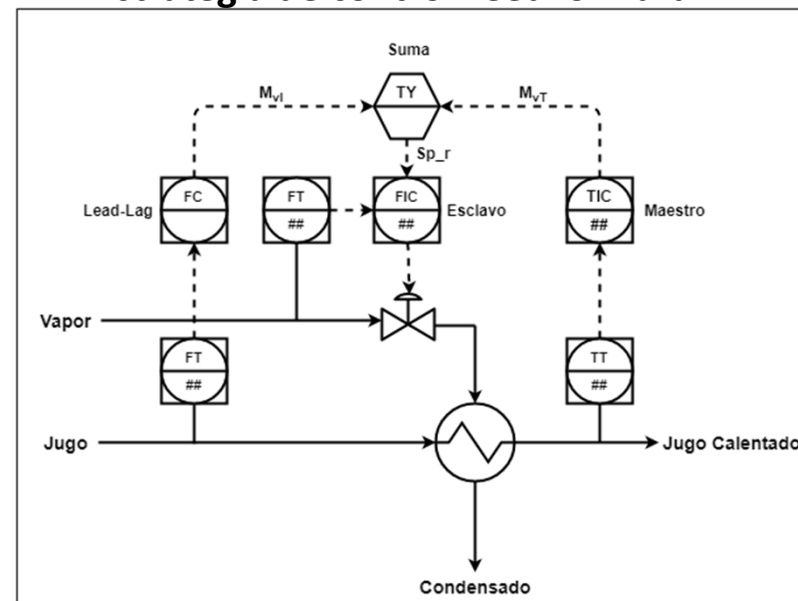
Cambios de setpoint

Respuesta a disturbios

Flujo



Estrategia de control FeedForward



	Simple	Cascada	Diferencia
Consumo Total [L/m]	2,445,614	2,198,425	247,189
Consumo promedio [L/m]	1873	1683	-10.1%
C.V	3.7%	0.6%	

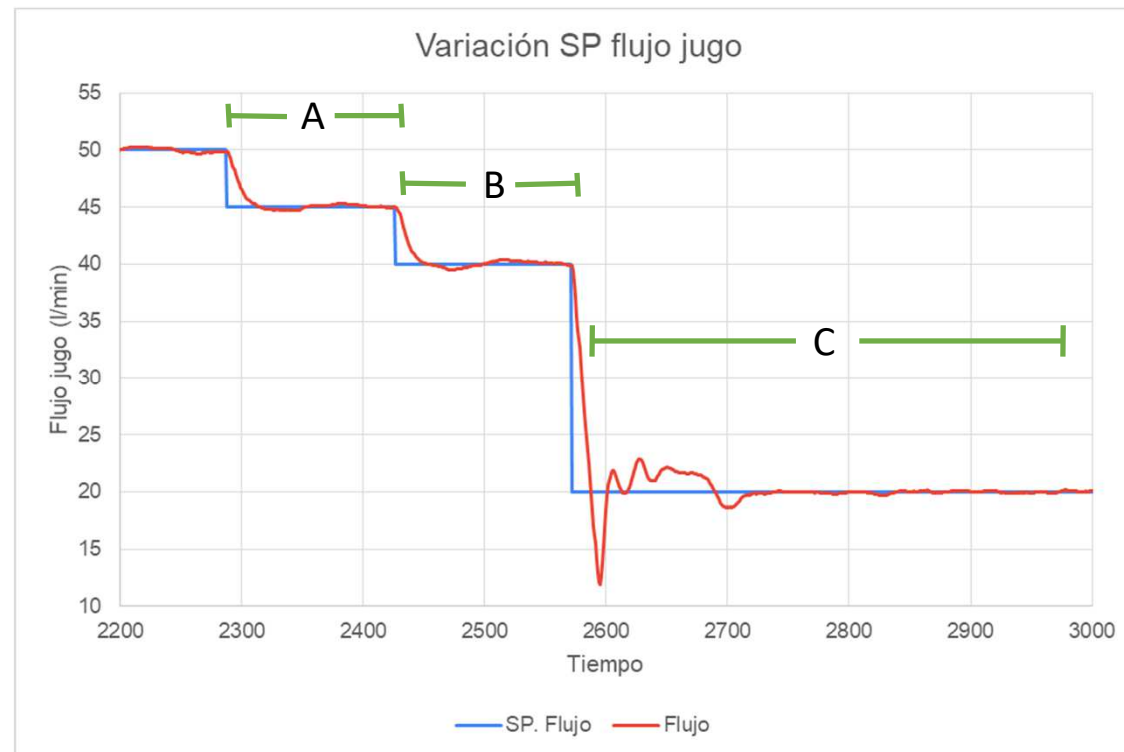
	Sint. defic.	Cascada	Diferencia
Consumo Total [L/m]	2,598,202	2,198,425	399,777
Consumo promedio [L/m]	1989	1683	-15.4%
C.V	2.9%	0.6%	

Comparación de estrategias de control – Rechazo de disturbios

Cambios de setpoint

Respuesta a disturbios

Flujo



Variaciones en el setpoint de flujo de jugo
simulando disturbios en el sistema

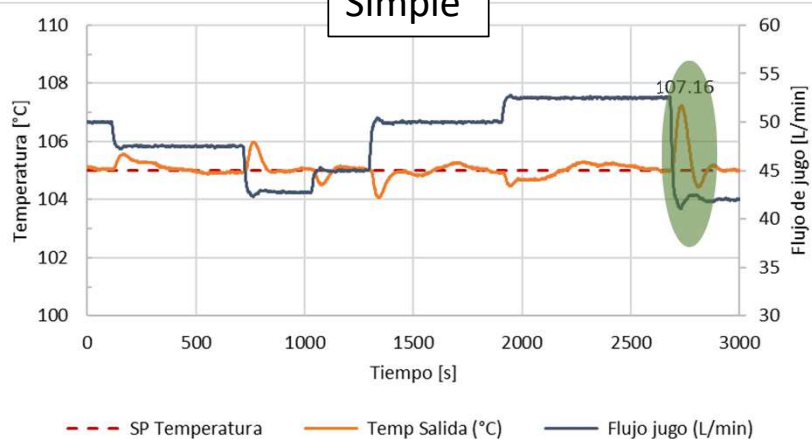
Comparación de estrategias de control – Rechazo de disturbios

Cambios de setpoint

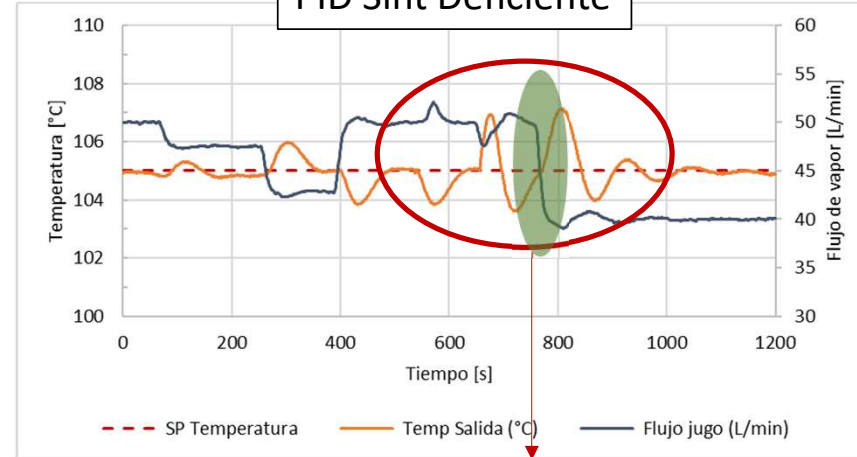
Respuesta a disturbios

Flujo

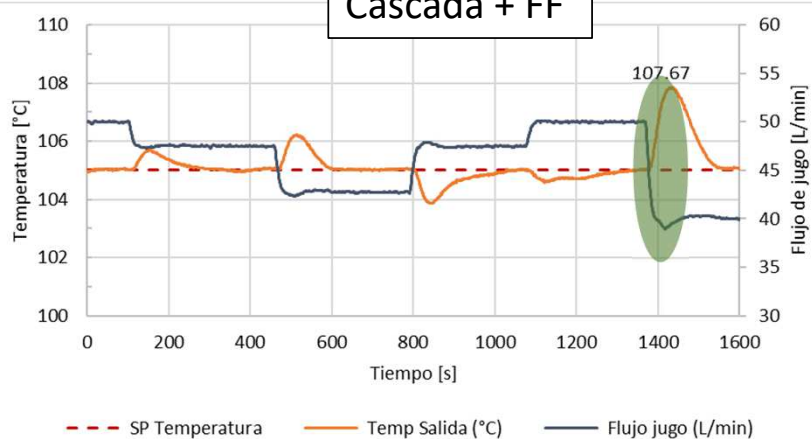
Simple



PID Sint Deficiente



Cascada + FF



Sintonización de respuesta rápida provoca inestabilidad en la temperatura final del jugo

Ninguna de las estrategias de control evaluadas logró mitigar disturbios superiores a 20% del flujo nominal

- Es necesario trabajar en estrategias de control de flujo de jugo

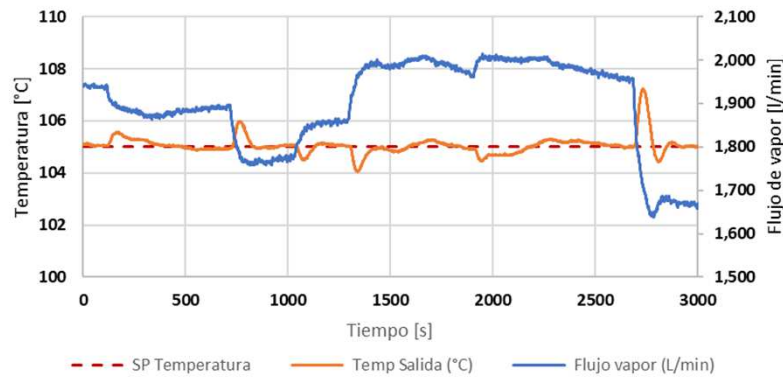
Comparación de estrategias de control – Rechazo de disturbios

Cambios de setpoint

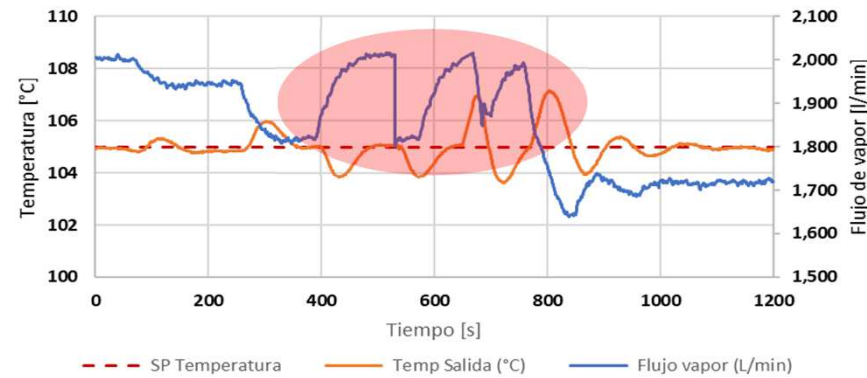
Respuesta a disturbios

Flujo

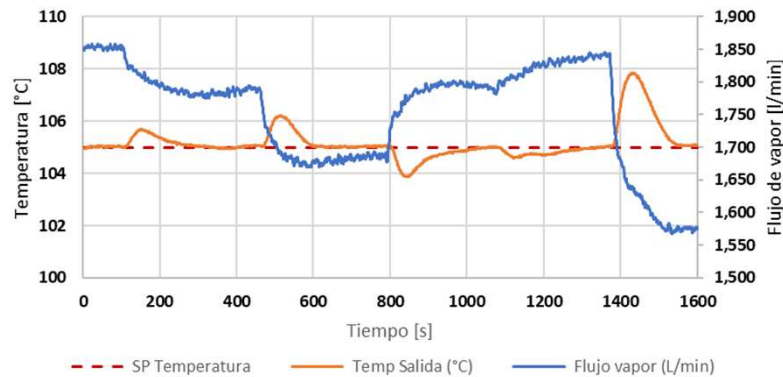
Simple



PID Sint Deficiente



Cascada + FF



Consumos de vapor inestables

Disturbios en otras unidades de operación - Evaporación
- Cocimientos

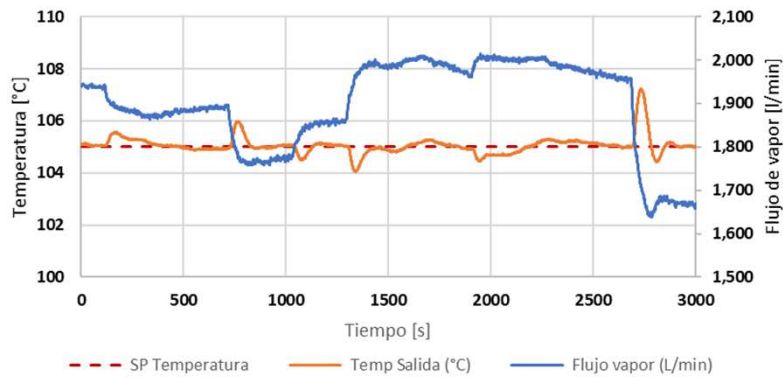
Comparación de estrategias de control – Rechazo de disturbios

Cambios de setpoint

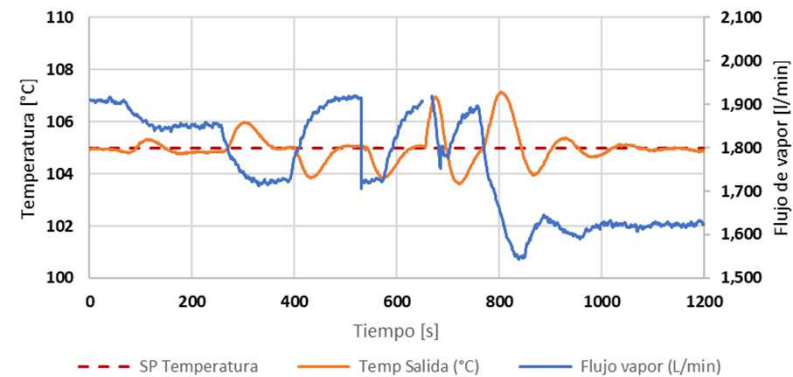
Respuesta a disturbios

Flujo

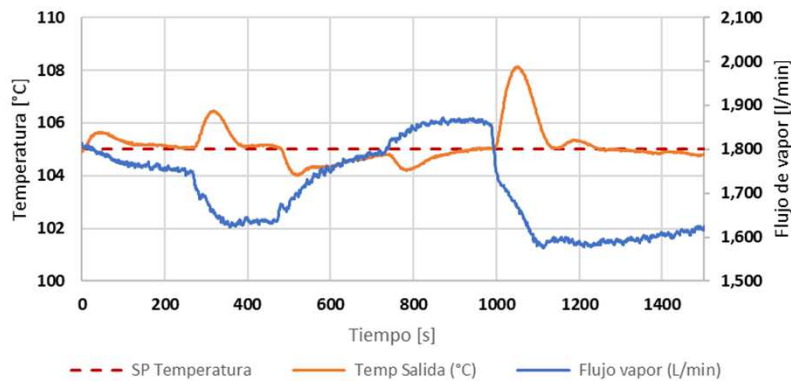
Simple



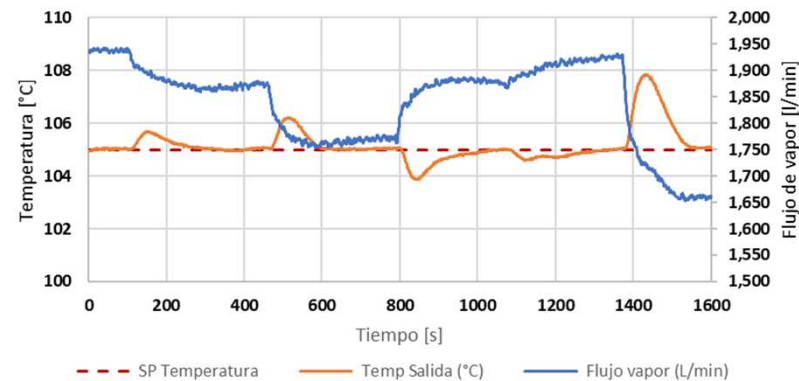
PID Sint Deficiente



Cascada



Cascada + FF



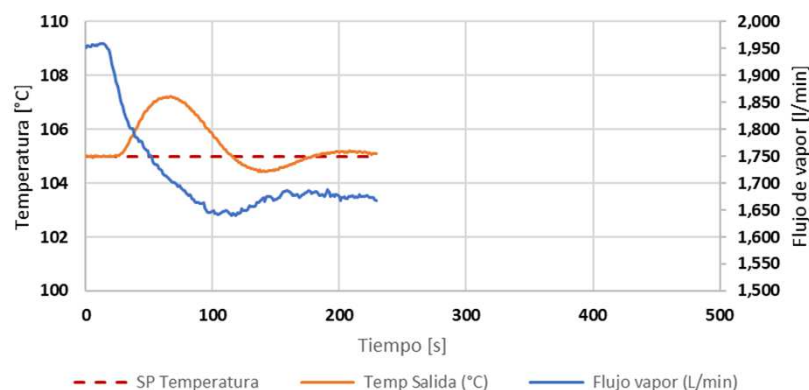
Comparación de estrategias de control – Rechazo de disturbios

Cambios de setpoint

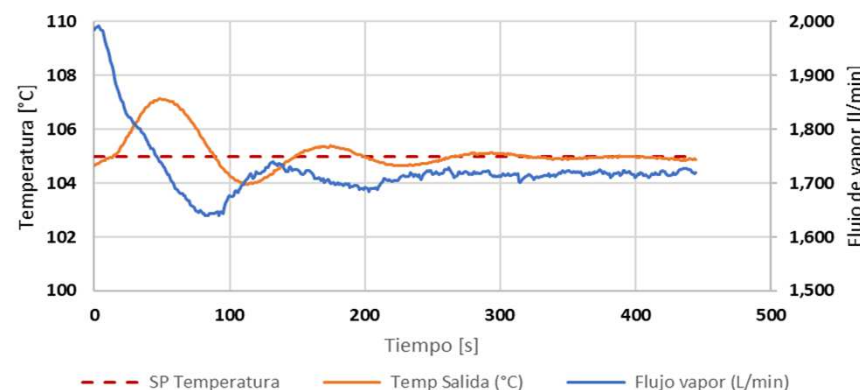
Respuesta a disturbios

Flujo

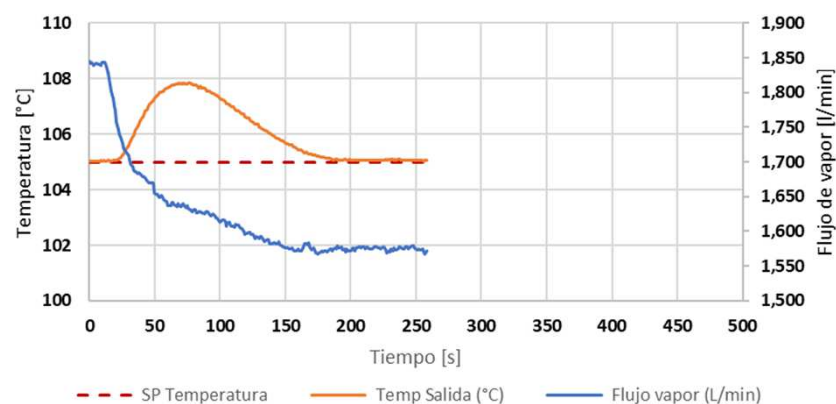
Simple



PID Sint Deficiente

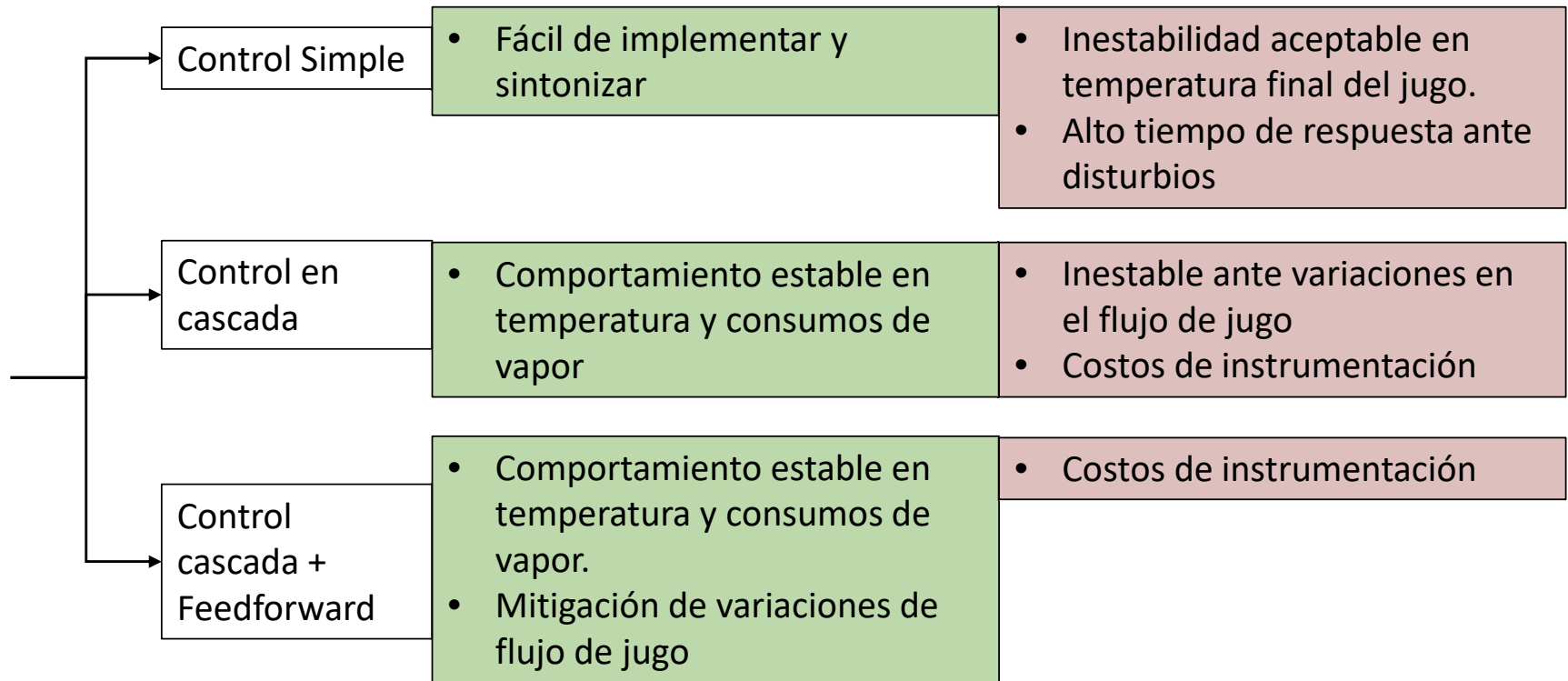
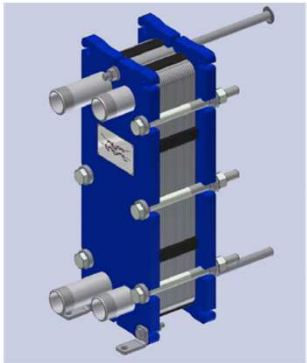


Cascada + FF



	Consumos vapor	Tiempo evaluación	Consumo/t	Ahorro
Simple	392530.1531	229	1714.11	
Simple Def	769118.3669	445	1728.36	-1%
Cascada + FF	420803.2191	258	1631.02	5%

Comparación estrategias de control en calentamiento



Estrategias de control en calentamiento



Conclusiones

En la etapa de calentamiento con un control basado en Clásico (PID) bien sintonizado puede generar ahorros de vapor alrededor del 5.8% bajo condiciones estables de flujo.

La estrategia de control cascada permite una mayor estabilidad tanto en la temperatura del jugo de salida como en los consumos de vapor, presentando ahorros alrededor del 10% al compararse con el control clásico.

La estrategia de control feedforward diseñada para rechazo a disturbios puede mitigar disturbios hasta el 10% de flujo de jugo, pero ante variaciones superiores al 20% ninguna de las estrategias de control logra mitigar el fenómeno. Sin embargo con la estrategia feedforward se logran ahorros de vapor alrededor del 5% comparado con una estrategia de control simple bien sintonizada.

Proyecciones

Evaluar condiciones de operación y estado de sistemas de control en calentamiento en equipos industriales.

Determinar posibles mejoras en sintonización de sistemas de control.

Obtener modelo dinámico de calentadores industriales mediante extracción de datos reales en planta con el fin de simular y evaluar las diferentes estrategias de control y proyectar implementaciones.