



**GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y
SISTEMAS APLICADOS**

www.gesaengineeringgroup.com

TANDEMSIM

SIMULADOR DE MOLIENDA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

MANUAL DE USUARIO Y REFERENCIA TÉCNICA

Versión de Documento: 1.0 (Completa)

Módulo: Ingeniería de Molienda y Simulación Termodinámica

JULIO 2026



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

ÍNDICE GENERAL

- I. Introducción al Sistema TandemSim
 - 1.1 Propósito del Documento
 - 1.2 Estructura General del Modelo
 - 1.3 Limitaciones para Uso Ingenieril
- II. Fundamentos de los Balances de Masa y Proceso
 - 2.1 Base de Cálculo y Composición de Caña
 - 2.2 Cierre Masa/Fibra por Molino
 - 2.3 Conexiones, Splits y Recirculaciones
 - 2.4 Iteración de Punto Fijo
- III. Modelado Físicoquímico y de Extracción
 - 3.1 Balance de Solubles, Pol, Brix y Pureza
 - 3.2 Modelo de Humedad, Solubles y Pol en Bagazo
 - 3.3 Cálculo de Extracción
 - 3.4 Cribado y Reciclo de Bagacillo
 - 3.5 Modelo de Materia Extraña (Trash) y Cenizas
 - 3.6 Propiedades de Jugo (Densidad y Viscosidad)
- IV. Módulo de Ingeniería Mecánica y Geometría
 - 4.1 Conversión de Tonelaje a Masa
 - 4.2 Diámetros Medios y Velocidades Periféricas
 - 4.3 Aberturas en Vacío y en Trabajo
 - 4.4 Volumen de Alimentación y Salida
 - 4.5 Coeficientes de Compresión (Rc) y Reabsorción (Kr)
 - 4.6 Altura de Colchón y Ángulo de Alimentación
 - 4.7 Relación de Compresión y Criterio de Agarre
 - 4.8 Fuerza Hidráulica, Potencia y Torque
- V. Modelo Dinámico y Transitorios
 - 5.1 Holdup CSTR y Mezcla Perfecta
 - 5.2 Delay Puro y Controladores
- VI. Estructura de Configuración de Casos (Inputs)
 - 6.1 Estructura General y Metadatos
 - 6.2 Entradas Globales de Producción
 - 6.3 Estado Térmico y Composición de Caña
- VII. Configuración de Corrientes y Conexiones
 - 7.1 Estrategia de Imbibición y Correlaciones



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

- 7.2 Configuración de Cribado y Curvas de Eficiencia
- 7.3 Nodos y Topología de Conexiones
- VIII. Parámetros Operativos por Molino (Stages)
 - 8.1 Cinemática e Hidráulica
 - 8.2 Potencia, Tracción y Eficiencias
 - 8.3 Desgaste de Campaña y Dinámica
 - 8.4 Dimensiones Geométricas
 - 8.5 Analítica de Laboratorio (Objetivos)
- IX. Validaciones, Alarmas y Guía Operativa
 - 9.1 Validaciones de Proceso y Mecánicas
 - 9.2 Robustez Instrumental
 - 9.3 Guía de Calibración Rápida
 - 9.4 Buenas Prácticas para Resultados Físicos
- X. Glosario Técnico Exhaustivo



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN AL SISTEMA TANDEM SIM

1.1 Propósito del Documento

Este manual documenta, con un enfoque profundo en la ingeniería de procesos azucareros, los métodos de cálculo implementados en TandemSim para simular un tándem de molinos. El objetivo es proporcionar al ingeniero, jefe de turno o investigador las herramientas necesarias para identificar qué balances, correlaciones, aproximaciones, reconciliaciones y límites se están aplicando antes de utilizar los resultados para el análisis operativo, la comparación de escenarios o el diagnóstico de planta.

1.2 Estructura General del Modelo

El simulador representa el tándem de molienda como una red de etapas (molinos) conectadas por corrientes de bagazo, jugos de imbibición en contracorriente, agua fresca, jugos externos y reciclaje de bagacillo. La base de cálculo estacionaria principal es de 100 unidades de masa de caña (100% caña). Debido a esto, una gran parte de los resultados se expresan en función del porcentaje de caña (t/h por cada 100 t/h de ingreso). Cuando el motor del simulador calcula la mecánica y la reología, estos porcentajes se transforman de manera interna a caudales reales volumétricos e hidráulicos utilizando el tonelaje real de molienda.

1.3 Limitaciones para Uso Ingenieril

TandemSim es una herramienta avanzada, pero posee fronteras operativas que el usuario debe comprender:

1. **Balances Oficiales:** No debe usarse como sustituto directo de los balances oficiales de fábrica sin una calibración rigurosa con datos de laboratorio y mediciones de caudal.
2. **Humedad de Bagazo:** La predicción de la humedad final es extremadamente sensible a la fibra en bagazo, la pol en bagazo, el Brix del jugo y la configuración del desgaste de la campaña.
3. **Robustez Analítica:** Si las mediciones de Brix, pureza o humedad cargadas por el usuario son termodinámicamente inconsistentes, el simulador activará mecanismos de *fallback* (salvaguardas) para producir resultados plausibles, pero advertirá sobre la desviación instrumental.
4. **Mecánica Cuasiestática:** El modelo mecánico utiliza geometría y correlaciones volumétricas empíricas. No resuelve mediante elementos finitos la deformación elástica del colchón, ni la dinámica torsional de los ejes.
5. **Cálculo de Potencia:** La potencia del accionamiento depende fuertemente de los coeficientes de tracción y eficiencia configurados. Si estos parámetros no se calibran contra el histórico del ingenio, la potencia debe interpretarse como una estimación comparativa y no absoluta.



CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS DE LOS BALANCES DE MASA Y PROCESO

2.1 Base de Cálculo y Composición de Caña

El sistema establece una base fija para la masa total:

$$M_{caña} = 100$$

A partir de la fibra en caña (F_c), pol en caña (P_c) y humedad de caña (H_c), el simulador calcula los **solubles iniciales** como el remanente másico:

$$S_c = \max(0, 100 - F_c - H_c)$$

Si la pol declarada por laboratorio supera a los solubles calculados (una imposibilidad física), el sistema la recorta automáticamente:

$$P_c = \min(P_c, S_c)$$

Nota técnica: Esta aproximación asume que los solubles de caña representan todo aquello que no es fibra ni humedad pura. El modelo base no separa explícitamente no-sacarosa, cenizas o azúcares reductores, a menos que se habilite el módulo avanzado de Trash/Ash.

2.2 Cierre Masa/Fibra por Molino

En cada etapa i , la alimentación total (M_i^{in}) se compone mediante la suma de todas las corrientes incidentes:

$$M_i^{in} = B_i^{prev} + J_i^{imb} + W_i + J_i^{ext} + R_i^{bagacillo}$$

De manera análoga, se realiza el balance estricto de fibra (F_i^{in}):

$$F_i^{in} = F_i^{prev} + F_i^{imb} + F_i^{bagacillo}$$

La salida física del molino se divide rigurosamente en bagazo (B_i^{out}) y jugo total drenado (CJT_i). El usuario debe proporcionar dos datos analíticos o físicos clave: 1. Fb_i : Fracción de fibra en el bagazo. 2. xf_i : Fracción de fibra arrastrada en el jugo total.

El cierre algebraico estricto se plantea como:

$$M_i^{in} = B_i^{out} + CJT_i$$

$$F_i^{in} = B_i^{out} Fb_i + CJT_i xf_i$$



Despejando el bagazo de salida, obtenemos la ecuación principal del balance de etapa:

$$B_i^{out} = \frac{F_i^{in} - M_i^{in} x f_i}{F b_i - x f_i}$$

Para que esta ecuación sea físicamente válida, se imponen restricciones estrictas: $F b_i > 0$, $x f_i \geq 0$, y obligatoriamente $F b_i > x f_i$ (la concentración de fibra en el bagazo debe superar ampliamente a la del jugo).

2.3 Conexiones, Splits y Recirculaciones

El modelo supera la topología lineal tradicional. Soporta avance de bagazo, flujos en contracorriente, agua dulce, jugos externos y reciclos. Los *splits* (fracciones de derivación) para salidas con múltiples destinos se normalizan garantizando que la suma másica sea del 100% por nodo.

2.4 Iteración de Punto Fijo

La existencia de jugos en contracorriente y bagacillo genera bucles o lazos algebraicos complejos. TandemSim utiliza un algoritmo de punto fijo que itera las variables acopladas (B_i^{out} , CJT_i , CJ_i , solubles, humedad estimada, etc.). Para garantizar la convergencia y evitar oscilaciones térmicas o másicas, se aplica amortiguamiento (*damping*):

$$x_i^{new,damped} = x_i^{old}(1 - d) + x_i^{calc}d$$

La simulación converge cuando el error absoluto (Δ_{abs}) y relativo (Δ_{rel}) caen por debajo de las tolerancias configuradas:

$$\Delta_{abs} = \max |x^{new} - x^{old}|$$
$$\Delta_{rel} = \max \frac{|x^{new} - x^{old}|}{\max(10^{-12}, |x^{old}|)}$$



CAPÍTULO 3. MODELADO FISCOQUÍMICO Y DE EXTRACCIÓN

3.1 Balance de Solubles, Pol, Brix y Pureza

Los solubles y la sacarosa se conservan a través de los nodos:

$$S_i^{in} = S_i^{prev} + S_i^{imb} + S_i^{agua} + S_i^{ext} + S_i^{bagacillo}$$

$$P_i^{in} = P_i^{prev} + P_i^{imb} + P_i^{agua} + P_i^{ext} + P_i^{bagacillo}$$

Se fuerza termodinámicamente que $P_i^{in} \leq S_i^{in}$. La pureza estimada de entrada al molino se define como:

$$Pur_i^{in} = 100 \frac{P_i^{in}}{S_i^{in}}$$

Para la salida del jugo post-cribado, utilizando la masa no fibrosa ($CJNF_i = CJ_i - CFJ_i$):

$$Brix_i^{out} = 100 \frac{S_i^{CJ}}{CJNF_i}$$

$$Pol_i^{out} = 100 \frac{P_i^{CJ}}{CJNF_i}$$

$$Pur_i^{out} = 100 \frac{P_i^{CJ}}{S_i^{CJ}}$$

3.2 Modelo de Humedad, Solubles y Pol en Bagazo

El modelo no asume la humedad del bagazo como un valor fijo estático, sino que estima la partición de la fase líquida retenida. La humedad *legacy* (referencia empírica) es:

$$H_{legacy} = baseline - 0.10(Fb - 43) + 0.030D + 0.012R + 0.050(KL - 10) + 0.30(rpm - 6) + 0.008L$$

Esta humedad se mezcla iterativamente con la humedad reconciliada del laboratorio (H_{rec}) utilizando un factor de confianza analítica (w_m).

El límite de Brix del líquido retenido decae progresivamente hacia la cola del tándem:



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

$$Brix_{ret,max} = 14 - 7f_{etapa} + sesgo_{Brix}$$

Y la pureza máxima retenida sigue un patrón similar:

$$Pur_{ret,max} = 84 - 14f_{etapa} + sesgo_{Pureza}$$

3.3 Cálculo de Extracción

El KPI de extracción acumulada base ($E_{acum,base}$) se calcula a partir de las relaciones Pol/Fibra de la caña virgen y el bagazo final:

$$R_{caña} = 100 \frac{Pol_{caña}}{Fibra_{caña}} \quad ; \quad R_{bagazo} = 100 \frac{Pol_{bagazo}}{Fibra_{bagazo}}$$
$$E_{acum,base} = 100 \frac{R_{caña} - R_{bagazo}}{R_{caña}}$$

Se fuerza matemáticamente a ser no decreciente a lo largo del tándem.

3.4 Cribado y Reciclo de Bagacillo

Si se habilita el módulo de tamices (screening), se captura una porción de la fibra arrastrada en el jugo total drenado (RFT_i). Si η_{scr} es la eficiencia del tamiz:

$$RF_i = RFT_i \eta_{scr}$$

$$RT_i = \frac{RF_i}{x_{f,bagacillo}}$$

$$CJ_i = CJT_i - RT_i$$

3.5 Modelo de Materia Extraña (Trash) y Cenizas

El módulo separa la “basura” (hojas, tierra, cogollo) en fracciones solubles e insolubles:

$$Trash_{sol} = Trash_{caña} f_{sol}$$

$$Trash_{insol} = Trash_{caña} (1 - f_{sol})$$



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

Estos componentes generan una penalidad directa en la extracción termodinámica:

$$Penalidad_i = ExtractionPenalty_i \cdot \frac{Trash_i^{in}}{M_i^{in}}$$

$$E_{acum} = \max(0, E_{acum,base} - Penalidad_i)$$



CAPÍTULO 4. MÓDULO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y GEOMETRÍA

4.1 Conversión de Tonelaje a Masa

El simulador convierte los caudales de t/h y $\%$ a kg/min para los cálculos de volumen estrujado:

$$\dot{m}_c [kg/min] = Q_c \frac{1000}{60}$$
$$\dot{m}_x = \dot{m}_c \frac{x\%_{ca} \cdot a}{100}$$

4.2 Diámetros Medios y Velocidades Periféricas

Para la cinemática del molino, se calculan los diámetros medios ajustados por la altura de los dientes ($HDM, HDHE, HDHS$):

$$DME = \frac{DM + DHE}{2} + \frac{HDM + HDHE}{2}$$
$$DMS = \frac{DM + DHS}{2} + \frac{HDM + HDHS}{2}$$

Las velocidades periféricas (VPE a la entrada, VPS a la salida) resultan de:

$$VPE = \pi DME \cdot RPM \quad ; \quad VPS = \pi DMS \cdot RPM$$

4.3 Aberturas en Vacío y en Trabajo

Las aberturas libres geométricas en vacío se obtienen mediante la trigonometría de los centros de los mazos y el paso de los dientes (PDM):

$$HE_v = \sqrt{LE^2 - \left(\frac{PDM}{2}\right)^2} - \frac{HDM + HDHE}{2}$$
$$HS_v = \sqrt{LS^2 - \left(\frac{PDM}{2}\right)^2} - \frac{HDM + HDHS}{2}$$

Al sumar el levante hidráulico operativo (KL), obtenemos las aberturas reales de trabajo:

$$HE = HE_v + KL$$



$$HS = HS_v + KL$$

4.4 Volumen de Alimentación y Salida

El volumen físico de la mezcla de bagazo de salida (VBS) se modela separando la masa en fibra ($\dot{m}_f$) y jugo/humedad residual ($\dot{m}_j$):

$$VBS = \frac{\dot{m}_f}{\rho_f} + \frac{\dot{m}_j}{\rho_j}$$

La densidad de la fibra ρ_f es de 1.5 kg/dm³. La densidad del jugo ρ_j depende rigurosamente del Brix y la temperatura.

4.5 Coeficientes de Compresión (R_c) y Reabsorción (K_r)

El **Coeficiente de Compresión (R_c)** se calcula como la relación entre la altura comprimida del colchón (Hcb) y la abertura de salida de trabajo (HS):

$$Rc_i = \frac{Hcb_i}{HS_i}$$

El **Coeficiente de Reabsorción (K_r)** se define de manera volumétrica rigurosa (con factor 1000 por unidades de decímetros y milímetros):

$$Kr_i = \frac{VBS_i \cdot 1000}{LM_i \times HS_i \times VPS_i}$$

Nota técnica: Si faltan datos geométricos, TandemSim aplica correlaciones empíricas como fallback de seguridad: $Kr = 0.017VPS + 1.06$ para el mazo inicial y $Kr = 0.019VPS + 1.20$ para los posteriores.

4.6 Altura de Colchón y Ángulo de Alimentación

La altura real del colchón compacto (Hcb) es la solución a la siguiente ecuación cuadrática:

$$h^2 - (DME + HE)h + \frac{VBS \cdot 1000 \cdot DME}{VPE \cdot LM} = 0$$

El ángulo de alimentación (Grip, α) se determina como:

$$\cos(\alpha) = \frac{DME + H_{ref} - Hcb}{DME} \Rightarrow \alpha = \arccos(\cos(\alpha))$$



4.7 Relación de Compresión y Criterio de Agarre

Para garantizar que el molino “trague” la caña y no rechace el colchón, se evalúa el coeficiente de fricción requerido:

$$\mu_{req} = \tan(\alpha)$$

Si α excede los límites físicos de fricción del acero rayado fundido ($\sim 20^\circ$ - 22°), el simulador dispara alarmas de atoro o *no-grip*.

4.8 Fuerza Hidráulica, Potencia y Torque

Fuerza hidráulica total, incorporando el área de los cilindros (A_{cm^2}), presión en bar (P_{bar}) y fuerza extra por resortes o fricción:

$$F_P = \frac{P_{bar} \cdot 10^5 \cdot A_{cm^2} \cdot 10^{-4} \cdot N_{cil} \cdot MA}{1000}$$

$$F_{total} = F_P + F_{KL} + F_{offset}$$

La fuerza tangencial y el torque (τ) se traducen a potencia demandada en el eje:

$$P_{eje} = \tau \omega \quad ; \quad P_{motor} = \frac{P_{eje}}{\eta_{tren}}$$



CAPÍTULO 5. MODELO DINÁMICO Y TRANSITORIOS

5.1 Holdup CSTR y Mezcla Perfecta

En simulaciones en el dominio del tiempo (t), las variaciones de inventario y calidad de los jugos no son instantáneas. TandemSim utiliza un modelo de reactores CSTR (Continuous Stirred-Tank Reactor) para los tanques de jugo y colchones:

$$\frac{dM}{dt} = F_{in} - F_{out} \quad ; \quad F_{out} = \frac{M}{\tau}$$

Integración numérica (método implícito):

$$M_{k+1} = \frac{M_k + \Delta t F_{in,k}}{1 + \Delta t / \tau}$$

5.2 Delay Puro y Controladores

El transporte de fluidos en largas tuberías (ej. jugos de imbibición hacia molinos anteriores) se modela mediante retrasos puros discretizados en buffers circulares:

$$\bar{N} = \text{round} \left(\frac{\text{Delay}}{\Delta t} \right)$$

Adicionalmente, el entorno admite controladores PID, limitadores de tasa y filtros de primer orden para simular la automatización de la planta.



CAPÍTULO 6. ESTRUCTURA DE CONFIGURACIÓN DE CASOS (INPUTS)

6.1 Estructura General y Metadatos

Todo modelo se aloja en un archivo de configuración (JSON). | Parámetro | Significado | Efecto en la Simulación | | :— | :— | :— | | **name** | Identificador del escenario. | Sin impacto numérico; trazabilidad. | | **caseSchemaVersion** | Versión del formato. | Asegura compatibilidad del parser (ej. 1.3). |

6.2 Entradas Globales de Producción

Parámetro	Significado	Rango y Efecto
caneRateTph	Caña molida total en toneladas/hora.	Límite > 0. Aumenta directamente cargas, potencias y holdup en todo el tren.
freshWaterImbibitionPercentCane	Imbibición de agua fresca como % de caña.	Rango 15-35%. Sube extracción, diluye jugos y aumenta carga hidráulica en las bombas.
freshWaterBrixPercent	Brix de aguas dulces aportadas.	Normal 0-5%. Disminuye el gradiente de lavado osmótico.
freshWaterPolPercent	Pol presente en el agua de imbibición.	Altera el balance global de recuperación si no es agua pura.

6.3 Estado Térmico y Composición de Caña

Parámetro	Significado	Rango y Efecto
caneTemperatureC	Temperatura de la caña.	15-45 °C. Impacta la viscosidad y reología de los jugos extraídos.
freshwaterTemperatureC	Temperatura del agua fresca.	10-50 °C. Modifica la viscosidad del jugo mezclado final.
fiberInCanePercent	Contenido de fibra seca pura.	10-16%. Carga mecánica primordial. Un aumento súbito dispara la presión y potencia.



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

Parámetro	Significado	Rango y Efecto
polInCanePercent	Contenido de sacarosa polarimétrica.	10-16%. Fija el techo teórico de azúcar recuperable.
moistureInCanePercent	Humedad biológica de la caña.	65-75%. Influye en la facilidad de compresión volumétrica inicial.



CAPÍTULO 7. CONFIGURACIÓN DE CORRIENTES Y CONEXIONES

7.1 Estrategia de Imbibición y Correlaciones

Parámetro	Significado	Opciones y Efecto
solverMode	Estrategia de resolución de matrices.	de strictMassFiber : Obliga al cierre de termodinámico total.
imbibitionMode	Topología de lavado de fibra.	CounterCurrent : Habilita los cálculos de lixiviación inversa.
freshWaterTargetStage	Molino que recibe el agua virgen.	Típicamente el último molino (etapa N).
correlationPackage	Fórmulas reológicas a utilizar.	LegacyExcel o Campaign2024 (mejor modelado térmico).

7.2 Configuración de Cribado y Curvas de Eficiencia

El bloque **screening** gestiona la recuperación del bagacillo arrastrado en el jugo: * **enabled**: Booleano para activar el módulo. * **returnStage**: Etapa que recibe el sólido recuperado (típicamente el Molino 1). * **bagacilloFiberPercent**: Humedad o “sequedad” del bagacillo reciclado. * **efficiencyCurve[]**: Define la fracción retenida (**efficiencyPercent**) según la carga actual (**fiberLoadPctCane**), el caudal de líquidos (**juiceFlowPctCane**) y el desgaste de la malla (**screenCondition**).

7.3 Nodos y Topología de Conexiones

El bloque **connections[]** mapea los caños de la fábrica: * **kind**: Puede ser **BagasseForward**, **JuiceCounterCurrent**, **FreshWater**, **ExternalJuice** o **BagacilloRecycle**. * **fromStage** / **toStage**: Nodos numéricos de origen y destino. * **splitFraction**: Coeficiente de derivación (0.0 a 1.0) para flujos bifurcados.



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

CAPÍTULO 8. PARÁMETROS OPERATIVOS POR MOLINO (STAGES)

Cada molino i se modela mediante variables mecánicas (geometry) e indicadores de laboratorio (analytics).

8.1 Cinemática e Hidráulica

Parámetro	Significado y Rangos
rpmMacho	Velocidad de giro. Típico 3-8 RPM. Altos valores generan arrastre.
hydraulicLiftKlMm	Levante operativo o "Lift" del cabezal en milímetros.
hydraulicPressureBar	Presión del banco hidráulico en bar. Normal: 120-220.
hydraulicCylinderAreaCm2	Superficie transversal del pistón en cm ² .

8.2 Potencia, Tracción y Eficiencias

- **installedDrivePowerKw**: Capacidad máxima del motor o turbina en kW.
- **minimumPowerReservePercent**: Margen de alarma (Típico 10-20%). Si el motor demanda el 95% de la potencia y la reserva es 10%, el sistema activa alarma.
- **baseTractionCoefficient**: Fricción empírica de los mazos (Típico 0.05-0.20).
- **transmissionEfficiency**: Eficiencia del reductor y coronas (Típico 0.90-0.98).

8.3 Dimensiones Geométricas (Estructura de Mazas)

Parámetro	Definición
millLengthLmMm	Longitud de la maza o guiño en mm.
dmMachoMm	Diámetro exterior del mazo superior (macho).
dheHembraEntradaMm	Diámetro del mazo cañero (hembra de entrada).
dhsHembraSalidaMm	Diámetro del mazo bagacero (hembra de salida).
pdmPasoDienteMm	Distancia entre crestas o "pitch" del rayado.
hdmAlturaDienteMachoMm	Profundidad del rayado en el mazo principal.

8.4 Analítica de Laboratorio (Objetivos)

Estas mediciones (analytics) fuerzan al simulador a realizar una reconciliación de datos: * **measuredBrixOutPercent / measuredPolOutPercent**: Concentraciones extraídas (0-100%). * **fiberInJuicePercent**: Arrastre de fibra en el jugo. Altos valores comprometen el clarificador. * **fiberInBagassePercent**: Fibra en el colchón de salida. Debe ser lógicamente superior al porcentaje de fibra en jugo. * **bagasseMoisturePercent**: Humedad final medida en laboratorio.



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

CAPÍTULO 9. VALIDACIONES, ALARMAS Y GUÍA OPERATIVA

9.1 Validaciones de Proceso y Mecánicas

TandemSim detendrá o emitirá advertencias severas si detecta imposibilidades termodinámicas o geométricas: * Bagazo de salida negativo o mayor que la masa de entrada. * Pol mayor que los solubles disponibles. * Fibra en bagazo menor o igual a la fibra en jugo. * Argumentos de raíces cuadrados negativos (Aberturas físicamente superpuestas o *atoro geométrico*). * Ángulos de *Grip* inoperables.

9.2 Robustez Instrumental

El módulo `bagasseRobustness` detecta si los datos del laboratorio violan las leyes físicas: Si el *Consistency Score* cae por debajo de los umbrales (ej. `minAnalyticsTrustForMeasuredSignals`), el simulador advertirá que los datos del ingenio tienen problemas de calibración y utilizará estimaciones empíricas para evitar la interrupción del cálculo.

9.3 Guía de Calibración Rápida

Para estabilizar un modelo nuevo desde cero: 1. **Paso 1: Macro-balance.** Fije la capacidad (`caneRateTph`), la composición de la caña y la imbibición de agua. 2. **Paso 2: Ajuste Geométrico.** Cargue los diámetros exactos, los pasos de diente y el RPM de cada molino. 3. **Paso 3: Hidráulica y Potencia.** Ingrese las presiones reales (`hydraulicPressureBar`) y las potencias instaladas. 4. **Paso 4: Sintonía de Eficiencia.** Si la potencia simulada es mayor a la real, ajuste ligeramente las ganancias de tracción o el `baseTractionCoefficient`. Si la humedad es muy alta, valide los datos del laboratorio.



CAPÍTULO 10. GLOSARIO TÉCNICO EXHAUSTIVO

B

bagacilloFiberPercent: Porcentaje de fibra seca contenida en la materia particulada recuperada por el tamiz. Define el volumen de masa retornada al tándem.

bagasseMoisturePercent: Humedad objetivo del bagazo medida por laboratorio (secado estufa).

baseTractionCoefficient: Calibración empírica para la fricción metal-bagazo que impacta en el requerimiento torsional del molino.

brixPercent / polPercent: Carga de azúcares y sólidos disueltos de una corriente fluida.

C

campaignWearPercent: Progresión del desgaste de las mazas que penaliza la tracción y extracción.

caneRateTph: Tonelaje total de molienda de caña de azúcar en la unidad de tiempo.

caneTemperatureC: Temperatura de ingreso de la caña al primer molino en °C.

captureFromStages: Matriz de nodos que define de qué etapas se recolecta el jugo sucio para su filtración.

caseSchemaVersion: Versión del formato de archivo JSON soportado.

correlationPackage: Paquete algorítmico utilizado para predecir densidades y viscosidades del jugo.

D

defaultScreenCondition: Factor unitario de mantenimiento del tamiz. Un valor cercano a 0 implica mallas tapadas o rotas.

dmMachoMm / dheHembraEntradaMm / dhsHembraSalidaMm: Diámetros geométricos en milímetros de la maza superior, cañera y bagacera respectivamente.

E – F

efficiencyPercent: Porcentaje de fibra arrastrada que el tamiz logra retener exitosamente.



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

enableWearDegradation: Booleano que activa la degradación del rendimiento traccional a lo largo de la campaña.

equivalentDriveRadiusMm: Radio equivalente (en mm) usado para la proyección del torque de los ejes.

equivalentRotatingInertiaKgM2: Inercia mecánica rotacional combinada del molino para cálculos dinámicos.

externalJuiceTemperatureC: Atributo térmico del jugo retornado desde procesos foráneos (Filtros, clarificadores).

fiberInBagassePercent: Contenido de fibra seca en el bagazo que abandona la etapa.

fiberInCanePercent: Contenido de fibra seca pura en la caña virgen.

fiberInJuicePercent: Porcentaje de insolubles finos arrastrados por el flujo del jugo.

fiberLoadPctCane / juiceFlowPctCane: Flujos másicos normalizados respecto a la caña para calcular curvas de tamices.

freshWaterBrixPercent / freshWaterPolPercent: Contenido de azúcares presentes en el agua de imbibición.

freshWaterImbibitionPercentCane: Carga hidráulica total de agua aplicada para la lixiviación de sacarosa, parametrizada contra la caña molida.

freshWaterTargetStage: Etapa (molino) donde se inyecta el flujo de agua fresca de imbibición.

fromStage / toStage: Nodos origen y destino que definen las conexiones de los fluidos.

G - K

gearboxEfficiency / transmissionEfficiency: Eficiencias mecánicas de la caja reductora y transmisiones.

hdmAlturaDienteMachoMm: Elevación milimétrica del rayado de la maza.

hydraulicCylinderAreaCm2: Área transversal en cm² del pistón hidráulico del cabezal.

hydraulicLiftKlMm: Diferencial de altura (Lift) entre la posición de reposo y la condición de trabajo impulsada por el colchón.



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

hydraulicPressureBar: Presión de la central oleohidráulica aplicada en los pulmones superiores.

imbibitionMode: Modo operativo de la imbibición (típicamente en contracorriente o CounterCurrent).

installedDrivePowerKw: Potencia instalada en la placa del motor de accionamiento.

kind: Enumeración que categoriza el flujo (BagasseForward, JuiceCounterCurrent, etc.).

L - M

leProfundidadEntradaMm / lsProfundidadSalidaMm: Profundidad del ajuste entre cilindros en las aberturas.

maxDriveTorqueKnM: Límite de torque de seguridad del sistema de transmisión en kNm.

measuredBrixInPercent / measuredBrixOutPercent: Grados Brix del jugo de entrada/salida medidos por el laboratorio.

measuredJuicePurityInPercent / measuredJuicePurityOutPercent: Purezas medidas del jugo.

measuredPollInPercent / measuredPolOutPercent: Concentración de Pol medida en el jugo.

millLengthLmMm: Longitud operativa de los cilindros del molino en mm.

minimumPowerReservePercent: Margen de potencia sobrante exigido para evitar alarmas de sobrecarga.

minimumWearEfficiencyMultiplier: Cota inferior que evita que la degradación desgaste el molino hasta valores imposibles.

moistureInCanePercent: Humedad total de la caña al momento de entrar al tándem.

P - T

pdmPasoDienteMm: *Pitch* o paso longitudinal del ranurado del molino.

percentCane: Caudal nominal de una conexión externa expresada en porcentaje respecto a la caña.



GESTIÓN DE LA ENERGÍA Y SISTEMAS APLICADOS

www.gesaengineeringgroup.com

pollnBagassePercent: Concentración objetivo de Pol residual contenida en el bagazo.

pollnCanePercent: Porcentaje de sacarosa total presente en la masa de la caña.

requireNonIncreasingCurve: Booleano que fuerza a la curva del tamiz a ser lógicamente descendente al saturarse.

returnStage: Etapa donde se deposita el bagacillo recolectado tras el cribado.

rpmMacho: Velocidad rotacional de operación de la maza principal.

solverMode: Estrategia matemática usada para resolver el balance estacionario (fijo a strictMassFiber).

splitFraction: Coeficiente ponderado de ramificación de tuberías y transportadores.

temperatureC: Override explícito de temperatura para una corriente específica.

traction...Gain: Sensibilidades diferenciales (Alpha, Rc, Kr, Vbs) aplicadas para calcular el torque y el coeficiente de fricción efectivo.