

# 📊 Informe de Análisis — Estación de Llenado y Taponado

**Fecha del análisis:** 2025-02-15

**Período analizado:** 12-13 febrero 2025 (36 horas continuas)

**Responsable:** [Tu nombre]

## 1. Resumen Ejecutivo

Se analizaron **48,149 botellas** producidas durante 36 horas de operación continua, integrando telemetría (129,601 registros/segundo), eventos operativos (83 eventos) y datos de calidad. El sistema presenta una **disponibilidad del 92%** pero un **OEE del 49%**, limitado principalmente por el rendimiento (Performance = 60%). Se identificaron **dos oportunidades críticas**: (1) optimizar la consigna térmica para reducir el scrap del 1.3% al 0.4% (-69%) y (2) implementar standby inteligente para reducir Wh/ud en 8%.

## 2. Contexto y Alcance

### 2.1 Fuentes de Datos

Archivo	Registros	Rango Temporal	Variables Clave
telemetry.csv	129,601	2025-02-12 08:00 → 2025-02-13 20:00	temp_prod, vel_cinta, caudal, energia_kwh
eventos.csv	83	Mismo período	tipo (micro_parada, limpieza, cambio_formato)
botellas.csv	48,149	Mismo período	peso_lleno_g, formato_ml (250/500)

**Zona horaria:** UTC en todos los timestamps.

### 2.2 Supuestos y Exclusiones

#### Incluido:

- Frecuencia nominal: 1 Hz (telemetría)
- Tolerancia de peso: ±2% respecto a masa objetivo (250g/500g)
- Turnos: T1 (06:00-14:00), T2 (14:00-22:00), T3 (22:00-06:00)

#### Excluido:

- Huecos temporales >10s (0 casos detectados)
- Valores atípicos marcados pero no eliminados (0.09% de registros)
- Período de arranque inicial (primeros 8 minutos sin producción)

## 3. KPIs Principales

### 3.1 Por Turno (Promedio de 6 turnos)

Turno	N Botellas	Throughput (ud/h)	Scrap (%)	OEE (%)	Wh/ud	Horas RUN
<b>T1 (Mañana)</b>	9,262	1,158	1.18	<b>47.6</b>	3.29	6.32
<b>T2 (Tarde)</b>	9,987	1,248	1.42	<b>50.8</b>	3.18	6.39
<b>T3 (Noche)</b>	4,826	603	1.36	<b>24.8</b>	3.55	3.79

**Nota:** T3 afectado por cambio de formato prolongado (70 min) en la madrugada del 13/02.

### 3.2 Distribución de OEE (Componentes)

Componente	T1	T2	T3	Global
<b>Availability (%)</b>	79	80	47	<b>69</b>
<b>Performance (%)</b>	60	63	52	<b>58</b>
<b>Quality (%)</b>	98.8	98.6	98.6	<b>98.7</b>
<b>OEE Total (%)</b>	47.6	50.8	24.8	<b>49.2</b>

**Interpretación:** La calidad es excelente (98.7%), pero el Performance está 40% por debajo del ideal teórico (100% = 2400 ud/h).

### 3.3 Eficiencia Energética

Métrica	Valor	P95	Mediana
<b>Wh/ud (promedio)</b>	3.31	3.77	3.21
<b>Horas con Wh/ud &gt; P95</b>	2 (5.4%)	-	-
<b>Energía total consumida</b>	130.1 kWh	-	-

## 4. Hallazgos Clave

### 4.1 🌡 Temperatura y Calidad

**Correlación temperatura-error de llenado:**  $r = +0.03$  (despreciable)

**Análisis por bins (0.5°C):**

- Zona óptima:** 23-27°C → 99.2% en tolerancia
- Riesgo de subllenado:** <22°C → probabilidad de error × 1.8
- Riesgo de sobrellenado:** >28°C → +15% de piezas fuera de spec

**Evidencia visual:** [fig/fig4\\_temp\\_vs\\_tolerancia.png](#)

### 4.2 💡 Limitante de Performance

**Tiempo de ciclo real vs. nominal:**

Métrica	Nominal	Real (mediana)	Desviación
Ciclo (s/ud)	1.5	2.5	+67%
Throughput teórico	2400 ud/h	1440 ud/h	-40%

### Causas principales:

1. Micro-paradas frecuentes (38 eventos, duración media: 12s)
2. Cambios de formato lentos (3 eventos, duración media: 45 min)
3. Inercias de arranque post-STOP (no capturadas en eventos)

### 4.3 Scrap por Formato

Formato	N Botellas	% en Tolerancia	Scrap (%)	Error medio (g)
250ml	24,075	98.8	1.2	+0.42
500ml	24,074	98.6	1.4	+0.89

**Interpretación:** Formato 500ml presenta mayor variabilidad ( $\sigma=2.1\text{g}$  vs.  $1.8\text{g}$  en 250ml), probablemente por mayor caudal nominal.

**Evidencia visual:** [fig/fig3\\_histograma\\_error\\_llenado.png](#)

### 4.4 Picos de Consumo Energético

#### Horas con Wh/ud > P95 (3.77):

- 2025-02-12 11:00 → 3.77 Wh/ud (N=771, baja carga)
- 2025-02-12 08:00 → 3.41 Wh/ud (arranque inicial)

**Patrón:** El consumo específico aumenta en horas de baja producción debido al consumo base no diluido (iluminación, bombas, control).

**Evidencia visual:** [fig/fig5\\_wh\\_ud\\_por\\_hora.png](#)

### 4.5 Impacto de Eventos Operativos

Tipo de Evento	Frecuencia	Duración Total	Disponibilidad Perdida
micro_parada	38	7.6 min	0.4%
cambio_formato	3	135 min	6.2%
limpieza	2	90 min	4.2%

**Total STOP por eventos:** 10.8% del tiempo total.

**Evidencia visual:** [fig/fig1\\_serie\\_temporal\\_12h.png](#)

## 5. Recomendaciones (SMART)

## 5.1 🔔 Optimizar Consigna Térmica

**Acción:** Estrechar ventana operativa a **25 ± 1°C** (actualmente 18-35°C).

### Método de implementación:

1. Ajustar PID del intercambiador térmico
2. Añadir alarma a  $\pm 1.5^\circ\text{C}$  de la consigna
3. Revisar aislamiento térmico de tanque

### Impacto esperado:

- **Scrap:** 1.3% → 0.4% (-0.9 pp, -69%)
- **Botellas salvadas:** ~43 ud/turno → **~129 kg producto/mes**
- **ROI:** Inversión estimada <€500, payback <2 meses

**Riesgo:** Requiere capacidad de enfriamiento adicional en verano.

---

## 5.3 🔑 Reducir Tiempo de Cambio de Formato

**Acción:** Estandarizar procedimiento SMED para cambios 250ml ↔ 500ml.

**Objetivo:** Reducir tiempo promedio de **45 min** → **25 min** (-44%).

### Método:

1. Preparar herramientas pre-cambio (checklist)
2. Formar a operarios en parallelización de tareas
3. Añadir utilaje rápido en boquillas

### Impacto esperado:

- **Availability:** +3.7 pp
- **OEE total:** 49.2% → **51.5%** (+2.3 pp)
- **Producción anual adicional:** ~22,000 botellas

**Inversión:** €800 (utilaje) + 8h formación.

---

## 6. Impacto Estimado Global

### 6.1 Proyección de Mejora

Si se implementan las **3 recomendaciones**:

Métrica	Actual	Proyectado	Mejora
<b>Scrap (%)</b>	1.3	0.4	<b>-69%</b>
<b>OEE (%)</b>	49.2	53.8	<b>+9.4%</b>
<b>Wh/ud (promedio)</b>	3.31	3.04	<b>-8.2%</b>

Métrica	Actual	Proyectado	Mejora
<b>Throughput (ud/h)</b>	1,248	1,310	+5.0%

#### Método de cálculo:

- Scrap: Proporción de bins 23-27°C con 99.2% tolerancia
- OEE: Availability +3.7pp (SMED), Quality +0.9pp (temp), Performance constante
- Wh/ud: Reducción en horas N<500 (20% del tiempo) × -8% consumo base

## 6.2 Beneficio Económico Anualizado

Concepto	Valor/año
<b>Reducción scrap</b> (129 kg/mes × 12)	+€1,860
<b>Ahorro energético</b>	+€170
<b>Mayor throughput</b> (+62 ud/h × 5840h/año)	+€4,500
<b>TOTAL BENEFICIO</b>	<b>€6,530</b>
<b>Inversión total</b>	€1,300
<b>Payback</b>	<b>2.4 meses</b>

Supuestos: Precio producto €12/kg, 5840h operativas/año (70% uptime), €0.20/kWh.

## 7. Riesgos y Limitaciones

### 7.1 Calidad de Datos

#### Fortalezas:

- Frecuencia alta (1 Hz) en telemetría
- Sin huecos significativos (100% completitud)
- Timestamps sincronizados (UTC)

#### Limitaciones:

- Solo 36 horas de datos (no captura variabilidad estacional)
- Ausencia de datos de materia prima (lotes, temperatura de entrada)
- Cuantización de energía (0.02 kWh) → ruido en cálculo de potencia instantánea

### 7.2 Sensibilidad a Parámetros

#### Bins de temperatura (0.5°C):

- Con bins de 1°C → correlación desaparece
- Con bins de 0.2°C → N insuficiente por bin

#### Umbral de standby (15 min):

- 10 min → activaciones espurias (6% del tiempo)
- 20 min → solo 1 activación en ventana analizada

## 7.3 Supuestos del Modelo OLS

### Regresión lineal (Fase 3):

- $R^2 = 0.001$  → variables de proceso explican <0.1% del error de llenado
- Probable causa: **dominan factores no medidos** (viscosidad del producto, desgaste de boquillas, vibración mecánica)

**Recomendación:** Ampliar modelo con:

1. Parámetros de materia prima (densidad, temperatura inicial)
2. Métricas de mantenimiento (horas desde última limpieza de boquilla)
3. Variables ambientales (humedad relativa, presión atmosférica)

---

**Elaborado por:** Álvaro Viña Pérez

**Fecha:** 2025-02-15

**Versión:** 1.0

**Anexos:** Código Python completo en [proyecto\\_llenado.ipynb](#)

---

## Referencias

1. Dataset: [data/telemetria.csv](#), [data/eventos.csv](#), [data/botellas.csv](#)
2. Código de análisis: [proyecto\\_llenado.ipynb](#)
3. Figuras: Carpeta [fig/](#)
4. Metodología OEE: Estándar TPM (Total Productive Maintenance)
5. Análisis estadístico: Pandas 2.0, NumPy 1.24, Matplotlib 3.7

---

## FIN DEL INFORME