

CAPÍTULO 1

La flexografía que sí imprime

En la impresión flexográfica de etiquetas autoadheribles, la variabilidad del proceso rara vez se origina en una sola causa visible. La interacción entre múltiples estaciones, los cambios de velocidad, la presión por productividad y la acumulación de pequeñas desviaciones generan inestabilidad progresiva que suele manifestarse como ajustes constantes, incremento de consumo y pérdida de repetibilidad entre tirajes.

Comprender esta realidad es fundamental para interpretar correctamente los problemas operativos y evitar soluciones compensatorias que trasladan la variabilidad en lugar de eliminarla.

1.1 Enfoque del capítulo

Antes de analizar componentes individuales, es necesario comprender el principio rector del proceso:

Un sistema flexográfico estable imprime con mínima intervención correctiva.

Cuando la operación depende de ajustes constantes, el problema no está en el trabajo actual, sino en la estructura del proceso.

Este capítulo define las variables fundamentales que determinan estabilidad.

1.2 Definición técnica formal de estabilidad

Estabilidad operativa en flexografía es la capacidad del sistema de impresión de mantener constantes las variables críticas de transferencia, presión, registro y dosificación dentro de rangos controlados y repetibles, tanto durante un tiraje como entre tirajes repetitivos.

Variables críticas que deben mantenerse dentro de rango

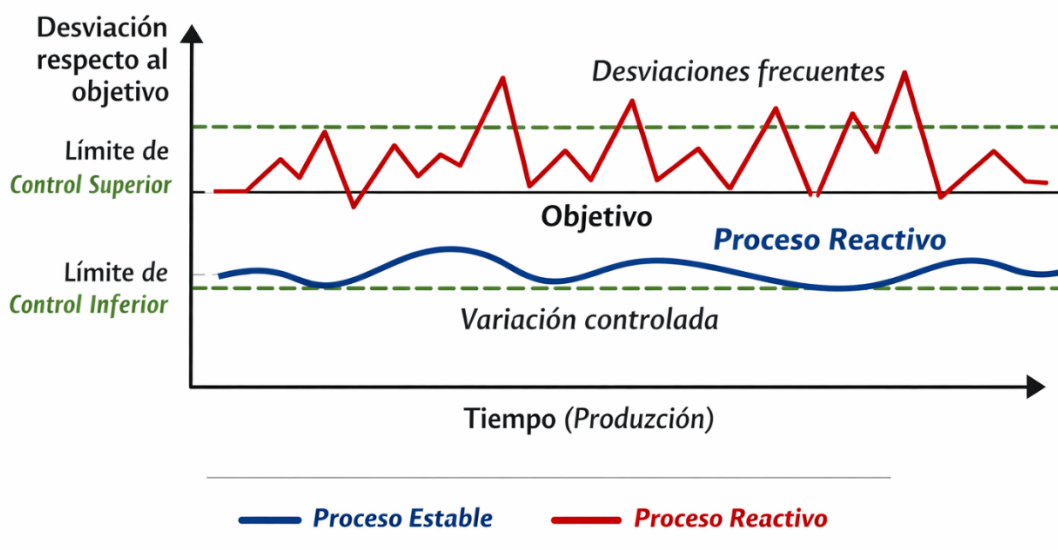
- Volumen efectivo del anilox
- Viscosidad real de la tinta
- Presión mínima efectiva
- Compresión del sistema placa–adhesivo
- Tensión longitudinal estable

Representación conceptual de estabilidad operativa

Un proceso estable no es aquel que no presenta variación, sino aquel cuya variación permanece dentro de límites controlados y predecibles.

Un proceso reactivo presenta desviaciones frecuentes que obligan a intervención constante, generando acumulación de variabilidad.

Comparación: Proceso Estable vs Proceso Reactivo



Proceso estable vs proceso reactivo

La gráfica representa de manera conceptual el comportamiento de un sistema flexográfico a lo largo del tiempo.

El eje horizontal (X) representa el tiempo de producción o la secuencia de tirajes.

El eje vertical (Y) representa la desviación respecto al objetivo operativo, que puede interpretarse como variación en tono, cubrimiento, registro o consumo.

Proceso estable (línea azul)

El proceso estable presenta una variación controlada que se mantiene dentro de los límites de control superior e inferior.

Características:

- Oscilaciones pequeñas y predecibles.
- No requiere ajustes constantes.
- Se mantiene dentro de un rango operativo documentado.
- Permite repetibilidad entre tirajes.

La variación no desaparece, pero permanece dentro de parámetros controlados.

Un proceso estable no es perfecto; es predecible.

Proceso reactivo (línea roja)

El proceso reactivo muestra desviaciones frecuentes y abruptas respecto al objetivo.

Características:

- Picos recurrentes fuera de los límites de control.
- Necesidad constante de ajustes compensatorios.
- Variación acumulativa.
- Inestabilidad entre turnos o entre tirajes.

Este comportamiento suele ser resultado de:

- Falta de documentación estructurada.
- Compensaciones repetidas.
- Parámetros no estandarizados.
- Mantenimiento reactivo.

En este escenario, cada ajuste genera nuevas desviaciones, lo que obliga a intervenir continuamente.

Interpretación técnica

Un sistema estable opera dentro de límites definidos y controlados.

Un sistema reactivo depende de intervención constante para mantener resultados aceptables.

La diferencia no radica en la existencia de variación, sino en su magnitud y previsibilidad.

En flexografía aplicada a etiquetas autoadheribles, la estabilidad operativa es la base para:

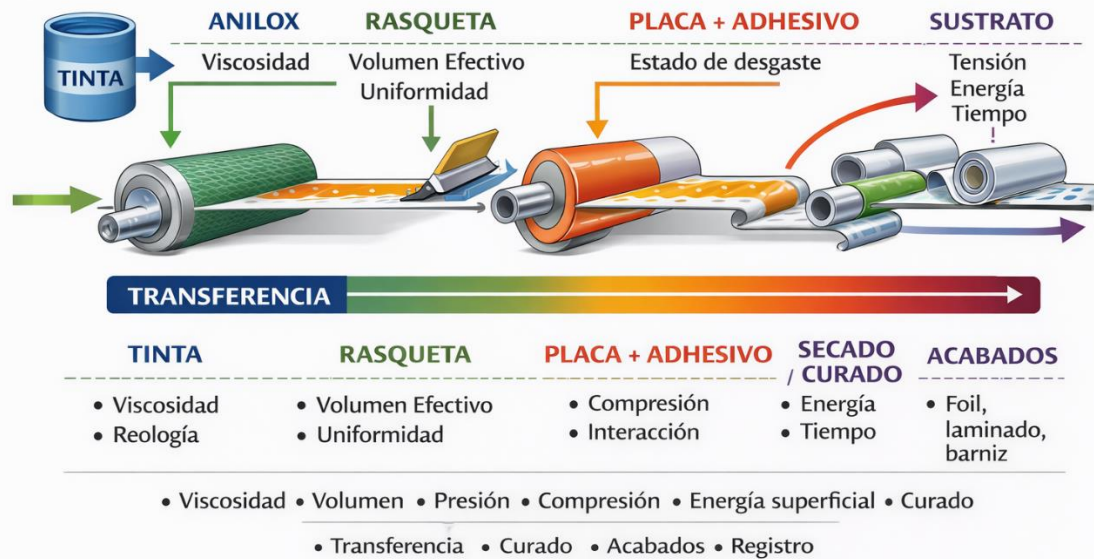
- Reducir consumo incremental.
- Mejorar repetibilidad.
- Disminuir tiempo de arranque.
- Proteger margen.
- Sostener trabajos premium.

Estabilidad aparente

Algunos procesos pueden aparentar estabilidad cuando se evalúan en condiciones controladas, a baja velocidad o durante tirajes cortos. Sin embargo, la estabilidad real se valida cuando el sistema mantiene consistencia entre turnos, trabajos y condiciones operativas variables.

Un proceso que depende de ajustes frecuentes para sostener la calidad no es estable, aun cuando el resultado visual momentáneo sea aceptable. La estabilidad verdadera se caracteriza por la repetibilidad sin intervención correctiva constante.

Modelo Sistémico del Proceso de Transferencia en Etiquetas Autoadheribles



Modelo sistémico de transferencia en flexografía

La impresión flexográfica no es una suma de componentes aislados.

Es un sistema interdependiente donde cada elemento influye en el siguiente.

El modelo presentado muestra el flujo completo de transferencia en etiquetas autoadheribles:

Tinta → Anilox → Rasqueta → Placa → Adhesivo → Sustrato → Secado/Curado → Acabados → Rebobinado

Variables críticas en cada etapa

1 Tinta

- Viscosidad
- Reología
- Humectación
- Energía superficial

Impacto: estabilidad tonal y cubrimiento.

2 Anilox

- Volumen nominal
- Volumen efectivo
- Uniformidad de celda
- Estado de limpieza

Impacto: dosificación real de tinta.

3 Sistema de doctorado

- Ángulo de rasqueta
- Presión de contacto
- Estabilidad del raspado

Impacto: uniformidad de película.

4 Placa + Adhesivo de montaje

- Compresión
- Recuperación elástica
- Espesor total

Impacto: ganancia de punto y transferencia controlada.

5 Sustrato

- Energía superficial
- Espesor
- Estabilidad dimensional

Impacto: adherencia y registro.

6 Secado o curado

- Energía aplicada
- Tiempo de exposición
- Uniformidad

Impacto: fijación estable de la tinta.

7 Acabados (Foil, laminado, barniz)

- Espesor acumulado
- Presión adicional
- Registro fino

Impacto: amplificación de variaciones previas.

8 Rebobinado

- Tensión longitudinal
- Presión radial
- Alineación lateral

Impacto: estabilidad final entregada al cliente.

Interpretación técnica clave

El sistema es secuencial pero interdependiente.

Una desviación en etapas tempranas (por ejemplo, volumen efectivo reducido en anilox) puede compensarse temporalmente con presión.

Pero esa compensación:

- Aumenta compresión.
- Incrementa ganancia de punto.
- Genera variación dimensional.

- Amplifica problemas en foil y registro.
- Se evidencia finalmente en rebobinado.

La estabilidad debe construirse desde el inicio del flujo, no corregirse al final.

Este esquema refuerza una idea central:

La flexografía estable no depende de un solo componente.
Depende del equilibrio controlado de todo el sistema.

Tabla Técnica

La estabilidad operativa no es abstracta. Se traduce en parámetros medibles que deben mantenerse dentro de rangos controlados y documentados.

Rangos de Referencia Operativa en Etiquetas Autoadheribles

Los valores presentados son rangos típicos observados en aplicaciones de etiquetas autoadheribles. Deben ajustarse según especificaciones del fabricante de tinta, placa y equipo.

1 Tinta base agua (etiquetas)

Parámetro	Rango típico
Viscosidad (Zahn #2)	18 – 25 segundos
pH	8.5 – 9.5
Temperatura de operación	20 – 25 °C
Energía superficial mínima del sustrato > 38 dyn/cm	

2 Tinta UV (etiquetas)

Parámetro	Rango típico
Viscosidad (Brookfield, cps)	150 – 600 cps
Temperatura recomendada	20 – 30 °C

Parámetro	Rango típico
Energía superficial del sustrato	> 38 dyn/cm
Dosis UV típica	Según especificación del fabricante

3 Anilox (aplicaciones típicas en etiquetas)

Aplicación	Volumen típico (cm ³ /m ²)	Lineatura aproximada (LPI)
Sólidos y blanco	6 – 12	250 – 400
Proceso / cuatricromía	3 – 6	400 – 600
Barniz	8 – 15	200 – 350
Adhesivo frío	10 – 20	150 – 300

Nota: El volumen efectivo puede reducirse progresivamente si no existe limpieza preventiva adecuada.

4 Presión y compresión

Parámetro	Referencia operativa
Presión mínima efectiva	La menor presión que logra transferencia uniforme
Incremento crítico de presión	>10–15% sobre presión base puede afectar ganancia de punto
Espesor típico de cinta montaje	0.38 – 0.55 mm (según aplicación)

5 Tensión en rebobinado (referencial)

Parámetro	Rango típico
Tensión longitudinal etiquetas estándar	Depende del ancho y material; mantener constante y documentada

Parámetro	Rango típico
Variación máxima recomendada	±5% sobre tensión establecida

La estabilidad operativa depende de que estos parámetros permanezcan dentro de rangos documentados y repetibles.

La desviación progresiva fuera de estos rangos no siempre genera un defecto inmediato visible, pero puede producir incremento acumulado de consumo, ajustes compensatorios y variabilidad intermitente.

La documentación y verificación periódica de estos valores es parte esencial de un proceso estructurado.

1.3 Concepto técnico esencial

En términos operativos, la calidad en flexografía depende de cinco variables interdependientes:

Condición funcional del anilox

Transferencia efectiva de tinta

Sistema de doctorado estable

Montaje correcto de placa

Limpieza técnica adecuada

Cuando estas variables están controladas, el sistema opera dentro de un rango estable.

Cuando una falla, las demás se utilizan para compensar, generando un ciclo de inestabilidad progresiva.

1.4 Ajuste vs corrección estructural

Un ajuste es una modificación temporal de un parámetro operativo.

Una corrección estructural elimina la causa raíz.

Ejemplos comunes de ajuste compensatorio:

Incrementar presión para mejorar cobertura.

Modificar viscosidad para estabilizar tono.

Cambiar rasqueta ante pérdida de definición.

Alterar velocidad para corregir secado.

Estos ajustes pueden resolver el síntoma inmediato, pero si no se identifica la causa estructural, el sistema se vuelve dependiente de intervención constante.

1.5 Síntomas de un proceso inestable

Síntoma observable Posible causa estructural

Variación de tono intermitente Transferencia inconsistente o celda parcialmente obstruida

Necesidad recurrente de subir presión Pérdida de volumen efectivo en anilox

Incremento gradual en consumo de tinta Compensación por transferencia deficiente

Definición irregular en sólidos Sistema de doctorado inestable

Ajustes frecuentes entre turnos Falta de estandarización documentada

La presencia simultánea de dos o más síntomas indica inestabilidad sistémica.

1.6 Variables que realmente determinan la estabilidad

Condición funcional del anilox

No basta con que el anilox esté limpio visualmente.

Debe conservar volumen efectivo y uniformidad de celda.

Transferencia efectiva

La tinta debe transferirse dentro de un rango predecible y repetible.

Sistema de doctorado

La estabilidad del raspado determina uniformidad de película.

Montaje de placa

La compresión excesiva altera transferencia y ganancia de punto.

Limpieza técnica

La obstrucción parcial microscópica es una de las principales causas de pérdida gradual de desempeño.

La estabilidad del proceso no debe evaluarse únicamente mediante percepción visual o experiencia acumulada, sino a través de verificaciones operativas rápidas que permitan distinguir entre desviaciones reales y compensaciones momentáneas.

1.7 Impacto económico de la inestabilidad

Un proceso inestable genera:

Incremento acumulado en consumo de tinta.

Reducción de vida útil de anilox y placas.

Mayor tiempo de ajuste.

Incremento en desperdicio inicial.

Mayor probabilidad de reproceso.

Estos efectos rara vez se registran como una sola causa visible.

Se manifiestan como incremento progresivo de costos operativos.



Modelo cuantitativo simplificado de impacto económico

La variación técnica acumulada no siempre genera un defecto inmediato visible, pero puede impactar de manera significativa el costo operativo anual.

A continuación se presenta un modelo simplificado para ilustrar el efecto de una desviación técnica aparentemente menor.



Supuestos operativos (ejemplo típico en etiquetas)

- Producción anual: 6,000,000 m²
- Costo promedio de tinta por m²: \$0.045 USD
- Consumo base documentado: 100%
- Incremento por pérdida de volumen efectivo del anilox: +3%



Cálculo

Consumo anual base:

$$6,000,000 \text{ m}^2 \times \$0.045 = \textbf{\$270,000 USD}$$

Incremento por 3% adicional:

$$\$270,000 \times 0.03 = \textbf{\$8,100 USD adicionales por año}$$



Interpretación técnica

Un incremento de solo 3% en consumo, derivado de:

- Obstrucción parcial de celda
- Compensación con presión
- Transferencia inestable

Puede representar miles de dólares anuales en una sola variable.

Este cálculo no incluye:

- Incremento de tiempo de arranque
- Desgaste prematuro de placas
- Mayor frecuencia de limpieza profunda
- Retrabajos
- Impacto en trabajos premium

Cuando estos factores se suman, el impacto acumulado puede ser considerable.



Escenario ampliado (planta mediana)

Si la producción anual es de 12,000,000 m² y el consumo incremental es 4%:

Impacto estimado:

$$12,000,000 \times \$0.045 \times 0.04 = \textbf{\$21,600 USD anuales}$$

Una desviación técnica pequeña puede convertirse en erosión estructural del margen.

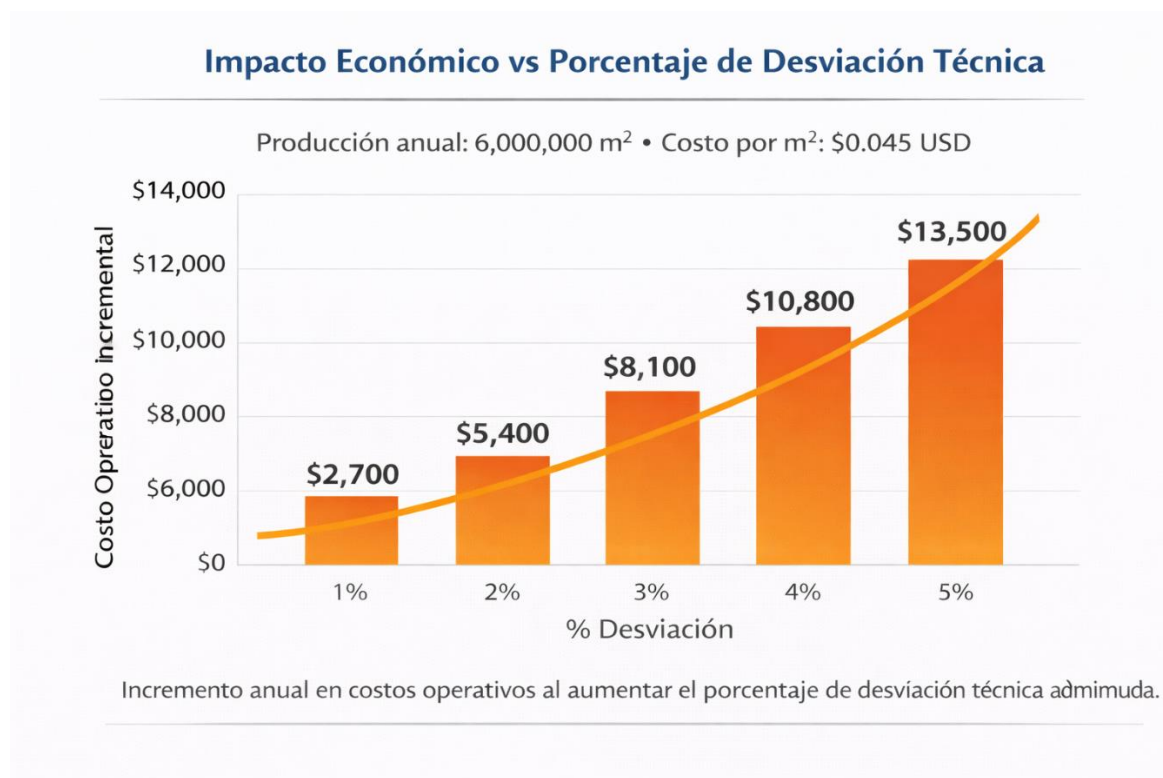


Conclusión

La estabilidad técnica no es solo un objetivo operativo.

Es un factor económico directo.

La variación acumulada, aunque aparentemente menor, puede generar impacto financiero significativo cuando se multiplica por volumen anual.



Impacto económico vs porcentaje de desviación técnica

La gráfica muestra el efecto financiero acumulado de una desviación técnica aparentemente pequeña en el consumo operativo anual.

Supuestos del modelo representado:

- Producción anual: 6,000,000 m²
- Costo promedio de tinta por m²: \$0.045 USD
- Consumo base documentado: 100%

El eje horizontal (X) representa el porcentaje de desviación técnica acumulada en el consumo (1% a 5%).

El eje vertical (Y) representa el incremento anual estimado en costo operativo derivado exclusivamente de esa desviación.

Interpretación técnica

Un incremento de:

- 1% representa aproximadamente \$2,700 USD adicionales por año.
- 3% representa aproximadamente \$8,100 USD adicionales por año.
- 5% representa aproximadamente \$13,500 USD adicionales por año.

Estos valores corresponden únicamente al impacto en consumo de tinta.

No incluyen:

- Incremento en tiempo de arranque.
- Desgaste prematuro de placas.
- Mayor frecuencia de limpieza profunda.
- Retrabajos.
- Reclamos o ajustes por variación tonal.

Cuando se consideran estos factores adicionales, el impacto económico real puede ser significativamente mayor.

Conclusión técnica

La gráfica demuestra que pequeñas desviaciones porcentuales, cuando se multiplican por volumen anual de producción, generan un impacto económico relevante.

La estabilidad operativa no es únicamente un objetivo técnico.

Es un mecanismo directo de protección del margen.

Controlar la variabilidad dentro de rangos documentados no solo mejora repetibilidad, sino que reduce erosión financiera acumulada.

1.8 Diagnóstico operativo inicial (15 minutos)

Antes de realizar ajustes correctivos:

Verificar presión real vs estándar documentado.

Confirmar historial reciente de limpieza.

Revisar estado físico de la rasqueta.

Medir viscosidad real.

Confirmar parámetros de montaje.

Si alguno de estos puntos no está dentro de rango, el ajuste puede ocultar la causa real.

1.9 Principio rector del libro

La estabilidad en flexografía no es el resultado de experiencia aislada ni de ajustes oportunos.

Es el resultado de un sistema documentado, medido y controlado.

Un proceso que depende de intervención constante no es eficiente, aunque produzca resultados aceptables.

Un proceso estable:

Opera dentro de rangos definidos.

Minimiza compensaciones.

Reduce variabilidad acumulada.

Permite repetibilidad entre tirajes.

Protege margen de forma estructural.

En etiquetas autoadheribles, donde la complejidad técnica y la exigencia de repetibilidad son altas, la estabilidad deja de ser deseable y se convierte en indispensable.

La diferencia entre una operación reactiva y una operación controlada no radica en la capacidad de resolver problemas, sino en la capacidad de prevenirlos.

Los capítulos siguientes desarrollan de manera estructurada cómo controlar las variables críticas que determinan el volumen transferido, la uniformidad y la repetibilidad del sistema, comenzando por el componente que define la dosificación real de tinta: el anilox.

La estabilidad operativa es el punto de partida para toda mejora técnica sostenible.