

Objetivo: Transición del Isomorfismo al Isodinamismo mediante el Σ K-rate (κ_Σ)

Definición mínima

Dos sistemas A, B son *isodinámitcos* si existe una transformación de escala \mathcal{T} tal que sus ecuaciones de coherencia y sus flujos de potencia de coherencia son equivalentes:

$$\dot{\Sigma}_A = f_A(\Sigma_A, \dots), \quad \dot{\Sigma}_B = f_B(\Sigma_B, \dots), \quad \mathcal{T}\{f_A\} \equiv f_B, \quad \mathcal{T}\{P_\Sigma^A\} \equiv P_\Sigma^B$$

donde P_Σ es la potencia asociada a la tasa de cambio coherente.

Σ K-rate actualizado (κ_Σ)

El κ_Σ mide cuánta *coherencia útil por unidad de tiempo* genera o conserva un sistema bajo control.

Parámetros fundamentales:

- Parámetro de orden: $R(t) \in [0, 1]$ (tipo Kuramoto/PLV).
- Error de fase: $\varepsilon_\phi(t) = \phi_{\text{ref}}(t) - \phi(t)$.
- Ruido de fase: $S_\phi(f)$ (densidad espectral de potencia).
- Energía/ganancia de control: $Q_{\text{ctrl}}(t)$.

Definición compuesta:

$$\kappa_\Sigma(t) = \underbrace{\frac{dR}{dt}}_{\text{ganancia de orden}} - \lambda_\phi \underbrace{\frac{d}{dt}(\text{Var}[\varepsilon_\phi])}_{\text{estabilidad de fase}} - \lambda_n \underbrace{\int_B S_\phi(f, t) df}_{\text{ruido integrado}} \quad (1)$$

con la *potencia coherente*:

$$P_\Sigma = \eta_\Sigma \kappa_\Sigma Q_{\text{ctrl}} \quad (2)$$

donde η_Σ es la eficiencia de conversión ($0 \leq \eta_\Sigma \leq 1$). κ_Σ aumenta con el orden y disminuye con el ruido o la varianza de fase.

Unidades y normalización

- **1 Σ -Joule (J):** energía mínima de control para elevar $R : 0,5 \rightarrow 0,9$ en un FET patrón en 1 s.
- **1 Σ -Watt (W):** 1 J/s.
- **Tiempo de coherencia t_Σ :** tiempo necesario para alcanzar $R = 0,9$ desde un estado base.

Criterio de Isodinamismo con κ_Σ

A y B son isodinámicos si existen escalares positivos α, β, γ tales que:

$$\kappa_\Sigma^B(t) = \alpha \kappa_\Sigma^A(\beta t), \quad P_\Sigma^B(t) = \gamma P_\Sigma^A(\beta t)$$

y muestran *fase palíndroma* en un evento de locking t_* :

$$R(t_* - \Delta t) \approx R(t_* + \Delta t), \quad \varepsilon_\phi(t_* - \Delta t) \approx \varepsilon_\phi(t_* + \Delta t)$$

Protocolo N→I: de Isomorfismo a Isodinamismo

1. **Isomorfismo formal:** Verificar que ambos sistemas comparten la misma familia de ecuaciones de movimiento y métricas ($R, \varepsilon_\phi, S_\phi$).
2. **Isomorfismo metrológico:** Fijar las unidades base (J, W) utilizando un FET patrón como referencia universal.
3. **Acople cruzado:** Usar la señal de control Q_{ctrl}^A para pilotar el sistema B (modo *hardware-in-the-loop*).
4. **Isodinamismo:** Demostrar la equivalencia escalada de $\kappa_\Sigma(t)$ y $P_\Sigma(t)$ con una histéresis acotada y la presencia de fase palíndroma.

Criterios de éxito preregistrados

- $LI \geq 0,9$, $R \geq 0,95$.
- Δf_{lock} debe ser una función monotónicamente creciente de A_c .
- $\eta_\Sigma \geq \eta_{\min}$ (eficiencia mínima predefinida por dominio).
- Distancia palíndroma $L_2 \leq \epsilon$ (simetría temporal acotada).
- Reproducibilidad $\geq 95\%$.

Autocrítica y trazabilidad

- **Coherencia con la física vigente:** El modelo solo utiliza control de coherencia y filtrado de fase, sin postular nuevas fuerzas.
- **Riesgo:** Ajuste excesivo de los pesos λ_ϕ, λ_n . Se mitiga con preregistro y validación cruzada.
- **Verificación:** Si en el FET no se observan $\Delta f(A_c)$ monótono, $\kappa_\Sigma > 0$ sostenido o palindromía, no se debe extrapolar a otros dominios.

Conclusión. Con κ_Σ definido como la tasa de coherencia efectiva y su potencia asociada P_Σ , la TCDS dispone de una ruta concreta para pasar del *isomorfismo* (misma forma) al *isodinamismo* (misma dinámica escalada) sin violar la metodología científica: unidades universales, control óptimo, palindromía como invariante y criterios duros de replicación.