

ΣMP — Protocolo de Métricas para TMRCU (Acople, Sincronización y Desincronización)

Base métrica unificada compatible con paradigmas clásicos y extendida al lenguaje de coherencia Σ

0) Principios

1) Compatibilidad: métricas adimensionales o con unidades estándar, comparables con Q, PSD, potencia, latencia. 2) Cierre matemático: definiciones con fórmulas y estimadores; ventanas, discretización y confianza. 3) Multi-escala: mismas nociones en dispositivo (SYNCTRON), compuertas (CΣA/CΣS/CΣD), matrices Σ, sistema (SAC). 4) Falsabilidad: cada métrica posee criterios de aceptación con umbrales explícitos.

1) Variables observables básicas

• Fase $\theta_k(t)$, amplitud $A_k(t)$, espectro $S_\phi(\omega)$, ancho de línea Δf . • Orden global (Kuramoto): $R(t) = (1/N) \sum e^{i\theta_k(t)} \mid \in [0,1]$. • Coherencia operativa (calibrada): $\Sigma = 1/(1+\Delta f/\Delta f_0)$ ó $\Sigma = 1 - (\Delta f/\Delta f_{\max})$.

2) Métricas núcleo

2.1 Coherencia / Descoherencia • Σ media en ventana W : $\Sigma_{\blacksquare} W = (1/|W|) \int_W \Sigma(t) dt$. • Índice de desincronización: $D_\Sigma = 1 - \Sigma_{\blacksquare} W$. • Entropía de coherencia: $H_\Sigma = - \int p(\Sigma) \log p(\Sigma) d\Sigma$.

2.2 Acoplamiento y locking • $K_{\text{eff}} \approx \Delta\omega_{\text{lock}} / |z_{\text{in}}|$ (pequeña señal). • Índice de locking: $LI = \mid \blacksquare e^{i(\theta_{\text{out}} - \theta_{\text{in}})} \blacksquare_W \mid$. • Área de lengua de Arnold (ATA): área en $(\omega_{\text{in}}, |z_{\text{in}}|)$ con $LI > \text{umbral}$.

2.3 Fidelidad de compuertas Σ • $F_{\{C\S A\}} = 1 - \text{NRMSE}(\Sigma_{\text{out}}, \Sigma_1 \cdot \Sigma_2)$; análogo para CΣS/CΣD.

2.4 Ganancia, latencia y energía • Ganancia $G_{\text{sync}} = (\partial R / \partial K_{\text{eff}})_{\{K^*\}}$; Latencia τ_ϵ : tiempo mínimo a $|\Sigma - \Sigma_{\text{tgt}}| \leq \epsilon$. • Coherencia por energía (CPW) = $(\Sigma_{\blacksquare} \text{out} - \Sigma_{\blacksquare} \text{in}) / E_{\text{op}}$.

2.5 Robustez y seguridad • Sensibilidad a ruido $S_{\text{noise}} = (\partial \Sigma_{\blacksquare} \text{out} / \partial \eta)_{\{\eta^*\}}$. • Margen de estabilidad: $\lambda_{\min}(J) < 0$ en el fijo de trabajo. • Cumplimiento CBF: $\rho_{\text{CBF}} = (1/T) \int I[h(x(t)) \geq 0] dt$.

3) Métricas por nivel

3.1 Dispositivo (ΣFET): $Q_\Sigma = f_0/\Delta f$; umbral de Hopf $u_{g^{\text{th}}}$; LI; K_{eff} ; $\text{RMSE}_{\text{SL}} < 0.1$. 3.2 Compuerta (CΣA/CΣS/CΣD): Fidelidad F , τ_ϵ , CPW, S_{noise} , ρ_{CBF} , mapa de validez. 3.3 Circuito (matriz Σ): Orden R , $\text{MVC} = (T_{\text{gpu}}/T_\sigma)(E_{\text{gpu}}/E_\sigma)$, slip-rate. 3.4 Sistema (SAC/CSL-H): retorno a envolvente $[L,U]$, ΔR_n , ΔI , robustez inter-sesión ρ_{rep} .

4) Protocolo de medición

Ventanas y muestreo: ventana deslizante W con solape $\geq 50\%$; $f_s \geq 5 \times BW$. Pre-procesado: detrending, notch de red, whitening; $\theta_k(t)$ por Hilbert/PLL. Estimadores: $R(t)$, Σ (desde Δf), LI; $\Delta\omega_{\text{lock}}$ por barrido; NRMSE por rejilla de puntos. Significancia: $\text{SNR} \geq 5$ para picos PSD; p-valor global corregido; IC por bootstrap. Controles: nulos, off-resonance, ciegos.

5) Criterios de aceptación (tiers)

Bronce: $RMSE_{SL} < 0.20$; $LI > 0.6$; $F \geq 0.80$; $MVC > 10$; ΔR_n significativo ($p < 0.05$). Plata: $RMSE_{SL} < 0.10$; $LI > 0.75$; $F \geq 0.90$; $MVC > 50$; ΔR_n & ΔI sig. en ≥ 2 cohortes. Oro: $RMSE_{SL} < 0.07$; $LI > 0.85$; $F \geq 0.95$; $\tau_{0.05} < 50$ ms; $p_{CBF} > 0.99$; $MVC > 100$; replicación multi-sitio.

6) Esquema de reporte (YAML)

```
sigmameetrics: version: 1.0 device: Q_sigma: 1234 hopf_threshold_ug_mA: 12.8
RMSE_SL: 0.085 locking: LI: 0.81 Delta_omega_lock: 2.3e5 K_eff: 1.1e6 gates: CΣA:
fidelity: 0.93 tau_eps_ms: 74 CPW: 2.1e3 S_noise: 0.12 CΣD: fidelity: 0.91 D_sigma:
0.44 circuit: MVC: 128 R_final: 0.97 slip_rate: 0.002 system: delta_Rn: +0.07
(p=0.01) delta_I: -0.12 (p=0.03) rho_CBF: 0.995 provenance: window_s: 5.0 fs_Hz:
2000 CI_method: bootstrap
```

Sincronón (σ) — Ficha Técnica v1

Proyecto TMRCU / MSL — Hoja de ruta experimental y de hardware

1) Definición y rol en la TMRCU

El Sincronón (σ) es el cuanto del campo de Sincronización Lógica Σ ; bosón escalar (spin 0) que media el acople de coherencia entre nodos del CGA. Al acoplarse con el sustrato χ (Materia Espacial Inerte) atenúa la aperiodicidad (ruido) y favorece estados de fase bloqueados; base para el enfriamiento por coherencia y los dispositivos SYNCTRON/ Σ FET.

2) Lagrangiano mínimo y ruptura espontánea

Forma (texto plano):

$$\mathcal{L}_{\text{TMRCU}} = \frac{1}{2}(\partial \Sigma)^2 + \frac{1}{2}(\partial \chi)^2 - \left[-\frac{1}{2}\mu^2 \Sigma^2 + \frac{1}{4}\lambda \Sigma^4 + \frac{1}{2}m_\chi^2 \chi^2 + \frac{g}{2}\Sigma^2 \chi^2 \right]$$

Vacío: $\langle \Sigma \rangle = \langle \chi \rangle = \pm \sqrt{\mu^2/\lambda}$.

3) Espectro y vértices alrededor del vacío

Masa del Sincronón: $m_\sigma = \sqrt{2}\mu$.

Vértice	Factor de acoplo
σ^3	$3 \lambda \Sigma$
$\sigma \chi^2$	6λ
$\sigma \chi^2$	$g \Sigma$
$\sigma^2 \chi^2$	g

4) Dinámica efectiva de coherencia (Stuart–Landau)

Ecuación (texto plano):

$$\dot{z} = (\mu_{\text{eff}} + i \omega) z - (1 + i c) |z|^2 z + K z_{\text{in}}$$

Predicciones: umbral de Hopf, injection locking (lengua de Arnold), estrechamiento de línea ($\Delta f \downarrow$ con $|z| \uparrow$).

5) Producción y detección (canales preferentes)

A) Mesa de laboratorio: (i) SYNCTRON/ Σ FET magnónico (SHNO/STNO): curva $\Sigma(u_g)$, umbral reproducible, locking y reducción de ruido; (ii) Cavidades fotónicas/Josephson paramétricas: conversión $\sigma \leftrightarrow \text{fotón/fase}$; (iii) Espectroscopía de ruido de fase $S_\phi(\omega)$. B) Colisionadores (opcional): resonancia escalar si se implementa portal a SM.

6) Escalas y dominios de parámetros (guías)

Escala libre a fijar por experimento: $m_\sigma \sim \text{MHz–GHz}$ (modo cuasi-colectivo de dispositivo) o eV–GeV (portal). $g \in [10^{-4}, 1]$ (dispositivo) con $\lambda > 0$ para estabilidad. Ancho Γ_σ gobernado por disipación en χ .

7) Métricas de validación (falsabilidad)

- Curva $\Sigma(u_g)$: ajuste a Stuart–Landau con RMSE < 0.1 y umbral estable ($F1 \rightarrow F2$).

- Injection locking: ancho de captura $\Delta\omega \propto |z_{in}|$; reproducible por dispositivo.
- Estrechamiento de línea: caída significativa de Δf al activar control $Q_{control}$.
- Repetibilidad: $\geq 3\text{--}5$ celdas por wafer con dispersión $\leq 10\text{--}15\%$.

8) Integración Σ -hardware (SYNCTRON/ Σ FET)

Gate u_g ajusta μ_{eff} (ganancia) y el bus Σ implementa K (acople). Celdas Σ : C Σ A (acople \approx producto), C Σ S (sincronización \approx máximo), C Σ D (desincronización \approx diferencia absoluta).
 Re-phase periódico para $P(x \in \blacksquare) \geq 0.99$.

9) Parámetros principales

Parámetro	Significado	Unidad	Impacto
μ	Escala de ruptura en V_Σ	masa	Fija $m_\sigma = \sqrt{2} \mu$
λ	Autoacople de Σ	—	Estabilidad y no linealidad
g	Acople $\Sigma\text{--}\chi$	—	Transducción/damping; controla K
m_χ	Masa/susceptibilidad de χ	masa	Respuesta del sustrato
$\Sigma\blacksquare$	VEV de Σ	—	Aparece en vértices trilineales
μ_{eff}, K	Ganancia y acople efectivos	—	Controlados por gate/bus

Checklist Técnico Integral — Sincronón → Sincronograma (TMRCU)

Versión: v1.0 • Proyecto TMRCU / MSL
Fecha: 2025-08-15

Documento de control operativo para laboratorio y desarrollo: checklists y KPIs por fase, alineados al contrato Stuart–Landau/ Σ y al objetivo de alcanzar el nivel necesario en el Sincronograma humano.

Fase 1a — Física y Metrología Cuántica (Pre-fabricación)

Instrumentación mínima (lab RF/cuántica)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Fuente DC mA	0–50 mA, resolución $\leq 10\ \mu\text{A}$, bajo ruido, protección térmica	■
Generador RF	1–20 GHz, salida +10 dBm, FM/AM/PM opcional	■
Analizador espectro/VNA	>20 GHz, RBW $\leq 1\ \text{kHz}$ para linewidth (Δf)	■
Lock-in / Fase	Sensibilidad $\geq 10\ \text{nV}$, referencia externa	■
Estación de sondas RF	Líneas coplanares 50 Ω , calibración SOLT	■
Control térmico	Criostato 77–350 K o hotplate estable	■
Blindaje/EMI	Cables coaxiales, caja Faraday, ferritas	■

Protocolos cuánticos (observables falsables)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Bifurcación de Hopf	Trazo $\Sigma(u_g)$ y aparición de oscilación auto-sostenida	■
Injection locking	Lenguas de Arnold; medir $\Delta\omega$ vs $ RF_{in} $ (1f y 2f)	■
Linewidth Δf	Estrechamiento de línea con $ z \uparrow$ (ganancia μ)	■
PSD de fase $S_{\phi}(\omega)$	Caída del ruido de fase al activar control	■
Histéresis	Barridos ascendentes/descendentes u_g ; reproducibilidad	■

Análisis de datos (Stuart–Landau)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Ajuste $\Sigma(u_g)$	Fitting SL \rightarrow RMSE < 0.10	■
Extracción μ , K	IC95 %; estabilidad ante ruido	■
Validación cruzada	Seeds múltiples; χ^2 de bondad de ajuste	■
Reporte estándar	CSV: u_g , potencia, Δf , fase; figura $\Sigma(u_g)$	■

Fase 1b — Plataforma de Materialización (Materiales y Nanofabricación)

Pilas y materiales (ejemplos; adaptar a fab)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Stack magnónico	W/CoFeB/MgO/Ta (u otros), rugosidad <0.3 nm RMS	■
Espesores	W: 3–5 nm; CoFeB: 1.2–1.8 nm; MgO: 1–2 nm (ejemplo)	■
Deposición	Sputter DC/RF con base <5e-7 Torr; uniformidad <±5 %	■
Anneal	250–350 °C, 30–60 min, N2; validar anisotropía	■
Caracterización	VSM/MOKE para Ms/Hk; TEM/AFM para estructura	■

Litografía y etching

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Definición nanogap	EBL o DUV; ancho 50–200 nm (variantes A/B/C)	■
Grabado/ion milling	Control de sidewall y subgrabar MgO si aplica	■
Metalización contactos	Au/Cu con barrera; baja Rc; passivation	■
Wafer map	≥20–50 celdas por diseño para selección por curva	■

Bring-up de wafer

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Prueba eléctrica DC	IV de continuidad y Rc por celda	■
RF S-params	S11/S21 en banda; matching a 50 Ω	■
Uniformidad intra-wafer	≤10–15 % en Δf, potencia, umbral Hopf	■
Selección por curva	Elegir ≥3 celdas por diseño para Fase 1c	■

Fase 1c — Validación Σ FET (P0)

PCB/Fixturas y red RF

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Líneas CPW 50 Ω	Longitud mínima; transiciones SMA bien definidas	■
Aislamiento térmico	Sensor T en zócalo; registro continuo	■
Referencias	Marcadores de fase para lock-in y sincronización	■

Medición principal (contrato SL)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Barrido u_g	Pasos de 50–100 μ A; registro Δf /potencia/fase	■
Ajuste SL	RMSE < 0.10; curva $\Sigma(u_g)$ con umbral reproducible	■
Injection locking	Barrido de f_{in} ; medir $\Delta\omega$ y estabilidad	■
Histéresis	Barrido inverso; documentar región y ancho	■
Mini-arrays	2x2: sincronía mutua y divisores de fase básicos	■

Gate F1→F2 (aceptación)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
RMSE < 0.10	Contrato SL verificado	■
Hopf estable	Umbral consistente dentro ± 10 %	■
Locking reproducible	$\Delta\omega$ medible en ≥ 2 modos ($1f/2f$)	■
Repetibilidad	≥ 3 celdas/wafer dentro ± 10 %	■

Fase 2 — Lógica Σ y Procesador 32x32

Celdas Σ (caracterización)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
CΣA (Acople)	$y \approx x_1 \cdot x_2$; error RMSE_lógica < 0.10	■
CΣS (Sincronización)	$y \approx \max(x_1, x_2)$; RMSE_lógica < 0.10	■
CΣD (Desincronización)	$y \approx x_1 - x_2 $; RMSE_lógica < 0.10	■
Σ-Latch	Retención estable; jitter de fase bajo reloj	■

Integración 32x32

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Topología	‘Small-world’: acople local + atajos	■
Ruteo RF	Impedancias controladas; simetría de fase	■
Autocalibración	μ, K por Σ-IR en startup	■
Telemetría	Monitores Δf , locking, R_{global}	■

Benchmark Kuramoto-1024

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Dataset	ω_k (Lorentz), A_{kj} (small-world), θ_0 uniformes	■
R_{global}	Objetivo ≥ 0.95	■
MVC	≥ 100 vs GPU: medir T_{σ}/E_{σ} y T_{gpu}/E_{gpu}	■
Error lógico	$< 1e-3$ en 10^5 ciclos	■

Fase 3 — CSL-H y SAC

CSL-H (piloto ‘órgano’)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Sensores	EEG/ECG/PPG/IMU/Temp; sampling constante	■
Modelo	R_n, R_s, I con filtros de estado en Σ	■
KPIs clínicos	AUC ≥ 0.85 ; lead $\geq 5-7$ días (endpoint)	■
Validación	Pre-registro y protocolo ciego donde aplique	■

Σ -OS y Compilador (3b)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Planificador	Determinista con presupuesto de coherencia	■
Memoria Σ	Gestión de estados/fases con jitter acotado	■
Compilador Synk $\rightarrow\Sigma$ -IR	Optimiza μ, K ; verificación runtime	■
CBFs	Barreras de control activas (seguridad)	■

CSL-H completo + SAC (3c)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Sincronograma	Huella Σ multiescala ($\Sigma_g, \Sigma_c, \Sigma_s, \Sigma_n$)	■
Intervenciones	Políticas bayesianas; límites CBF activos	■
KPIs	$\Delta R_n \uparrow, \Delta I \downarrow$ con $p < 0.05$; SLAs Σ -OS	■
Privacidad	Cifrado y gobernanza (consentimiento granular)	■

Fase 4.0 — Biobanco de Coherencia y Ética

Estudio longitudinal

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Cohortes	$\geq 5\,000$ sujetos; ≥ 12 meses	■
Retención	$\geq 85\%$; incentivos éticos	■
Esquema de datos	Σ -IR del Sincronograma + metadata	■
Gobernanza	Acceso federado, auditoría, consentimiento	■

Fase 4 — SAC-EMERG (Despliegue Social)

Pipeline AEL/PGI

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Detección aguda	Tiempo < 1 s (edge)	■
Riesgo PGI	Calibración por Sincronograma	■
Notificación	$t_{\text{notif}} < 30$ s a 911/112 y contactos	■
KPIs	$\kappa > 0.6$; FP/FN bajo umbrales clínicos	■

Módulos TCA y CNH

Ítem	Especificación / Descripción	Status
TCA	UWB/mmWave/EIT para mapa 3D; decisión por Σ	■
CNH	Registro 10–15 s del Sincronograma; hash/firmas	■
Seguridad	TLS, almacenamiento endurecido	■
Legal	Política de acceso forense y caducidad	■

Apéndice A — Ecuaciones y Definiciones

Ecuación de Stuart–Landau (modo coherente):

$$\dot{z} = (\mu_{\text{eff}} + i\omega)z - (1 + ic)|z|^2 z + K z_{\text{in}}$$

Contrato $\Sigma(u_g)$ y criterios:

- Ajuste SL con RMSE < 0.10
- Umbral de Hopf reproducible
- Locking con $\Delta\omega(|z_{\text{in}}|)$ medible
- $\Delta f \downarrow$ con $|z| \uparrow$

Apéndice B — Plantillas de Datos (CSV)

Archivos mínimos

Ítem	Especificación / Descripción	Status
F1c_Sigma_vs_ug.csv	u_g, potencia, Δf, fase, Σ	■
F2_Kuramoto_inputs.zip	ω_k.csv, A_kj.csv, θ_0.csv	■
F3_SAC_metrics.csv	timestamp, R_n, R_s, I, acción, resultado	■

Apéndice C — Materiales y BOM (ejemplo)

BOM resumido

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Sustratos/wafer	Si/SiO2 ■100–200 mm	■
Metales	W, Ta, CoFeB, Au/Cu (contactos)	■
Dieléctricos	MgO, SiN/SiO2 (passivation)	■
Conectividad RF	SMA/SMK, CPW 50 Ω, cables semi-rígidos	■

Apéndice D — Riesgos y Mitigaciones

Riesgos técnicos

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Deriva térmica	Control T, duty-cycle, blindaje	■
Crosstalk RF	Separación, apantallado, filtros	■
Variabilidad fab	DOE, SPC, selección por curva	■
Seguridad clínica	CBFs, auditoría, telemetría Σ	■