

# **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 Metroología 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 ( $\Delta f$ )	■
Lock-in / Fase	Sensibilidad $\geq 10 \text{ nV}$ , referencia externa	■
Estación de sondas RF	Líneas coplanares $50 \Omega$ , 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 $\Delta f$	Estrechamiento de línea con $ z ^\uparrow$ (ganancia $\mu$ )	■
PSD de fase $S\varphi(\omega)$	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 $\mu, K$	IC95 %; estabilidad ante ruido	■
Validación cruzada	Seeds múltiples; $\chi^2$ de bondad de ajuste	■
Reporte estándar	CSV: $u_g$ , potencia, $\Delta f$ , 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 $\Sigma$ 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 μA; registro Δf/potencia/fase	■
Ajuste SL	RMSE < 0.10; curva $\Sigma(u_g)$ con umbral reproducible	■
Injection locking	Barrido de f_in; medir Δω 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	Δω medible en ≥2 modos (1f/2f)	■
Repetibilidad	≥3 celdas/wafer dentro ±10 %	■

## Fase 2 — Lógica $\Sigma$ y Procesador 32x32

### Celdas $\Sigma$ (caracterización)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
C $\Sigma$ A (Acople)	$y \approx x_1 \cdot x_2$ ; error RMSE_lógica < 0.10	■
C $\Sigma$ S (Sincronización)	$y \approx \max(x_1, x_2)$ ; RMSE_lógica < 0.10	■
C $\Sigma$ D (Desincronización)	$y \approx  x_1 - x_2 $ ; RMSE_lógica < 0.10	■
$\Sigma$ -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	$\mu, K$ por $\Sigma$ -IR en startup	■
Telemetría	Monitores $\Delta f$ , locking, R_global	■

### Benchmark Kuramoto-1024

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Dataset	$\omega_k$ (Lorentz), $A_{kj}$ (small-world), $\theta_0$ uniformes	■
R_global	Objetivo $\geq 0.95$	■
MVC	$\geq 100$ vs GPU: medir $T_{\sigma}/E_{\sigma}$ 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 $\Sigma$	■
KPIs clínicos	AUC $\geq 0.85$ ; lead $\geq 5-7$ días (endpoint)	■
Validación	Pre-registro y protocolo ciego donde aplique	■

### $\Sigma$ -OS y Compilador (3b)

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

### CSL-H completo + SAC (3c)

Ítem	Especificación / Descripción	Status
Sincronograma	Huella $\Sigma$ 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 $\Sigma$ -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; $\geq 12$ meses	■
Retención	$\geq 85\%$ ; incentivos éticos	■
Esquema de datos	$\Sigma$ -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	$t_{notif} < 30$ 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 $\Sigma$	■
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):

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

## Contrato $\Sigma(u_g)$ y criterios:

- Ajuste SL con RMSE < 0.10
- Umbral de Hopf reproducible
- Locking con  $\Delta\omega(|z_{in}|)$  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, $\Delta f$ , fase, $\Sigma$	■
F2_Kuramoto_inputs.zip	$\omega_k.csv$ , $A_{kj}.csv$ , $\theta_0.csv$	■
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/SiO <sub>2</sub> ■ 100–200 mm	■
Metales	W, Ta, CoFeB, Au/Cu (contactos)	■
Dieléctricos	MgO, SiN/SiO <sub>2</sub> (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 $\Sigma$	■