

ANEXO E: Control Predictivo de Estabilidad de Plasmas (Modelo Operativo)

Fusion Reactor LinealFRC6T Gatling (CERN-DOI-REGISTERED)

© <https://openfusionfoundation.org>

2026

Contents

ANEXO: PREDICTIVE PLASMA PANEL (PPP) PARA REACTORES DE FUSIÓN	1
Resumen Ejecutivo: ¿Qué es y para qué sirve el PPP?	2
Nota sobre el Origen Analítico del Algoritmo PPP	2
1. El Panel PPP: Instrucciones de Cálculo Algorítmico	2
1.1. Matriz de Datos Empíricos (Variables de Entrada)	2
RUTINA 1 (Monitor M1): Cálculo del Límite Estructural Cinemático	3
RUTINA 2 (Monitor M2): Cálculo del Límite de Desgarro Acústico	3
RUTINA 3 (Monitor M3): Cálculo del Límite Termodinámico Divergente	4
2. Auditoría PPP Operativa para Reactores de Fusión	4
2.1. Reactores Clásicos	4
2.2. Auditoría de la Arquitectura LinealFRC (Gatling 30+10)	6
3. Conclusiones	9
4. Memoria de Cálculo Empírico: Trazabilidad de las Tablas 1 y 2	9
4.1. Cálculo Paramétrico para el Monitor M1 (Tabla 1)	9
4.2. Trazabilidad Lógica para los Monitores M2 y M3 (Tabla 2)	11

ANEXO: PREDICTIVE PLASMA PANEL (PPP) PARA REACTORES DE FUSIÓN

- **Proyecto:** Planta de Fusión “RIF-v101” (*Resilient Industrial Fusion*)
- **Arquitectura:** Reactor de Fusión LinealFRC6T-Gatling(30+10)-Hybrid
- **Autor:** (c) Leopoldo Cano Guardiola - leo@ulogicmind.ai - (DOI-Registered)
<https://doi.org/10.5281/zenodo.22070202>
- **OpenFusion Frontier** <https://openfusionfoundation.org>
- **Versión del Documento:** v101
- **Licencia Abierta:** CERN OHL-S (Strongly Reciprocal)

§ Resumen Ejecutivo: ¿Qué es y para qué sirve el PPP?

¿Qué es? El Predictive Plasma Panel (PPP) es un marco algorítmico de ingeniería de control diseñado para evaluar la estabilidad macroscópica de los plasmas de fusión en tiempo real. Actúa como un sistema SCADA determinista que traduce el vasto zoológico de inestabilidades termodinámicas y magneto-hidrodinámicas (MHD) a un único panel de tensión mecánica y cinemática, definiendo la “envolvente de seguridad” para un reactor de fusión.

¿Para qué sirve en la industria? A diferencia de las simulaciones MHD tridimensionales que requieren supercomputación, el panel PPP utiliza variables operativas estándar de lectura inmediata (corriente I , densidad n_e , campo externo β_{ext}) para predecir el cruce del umbral de disrupción (colapso del plasma) de forma preventiva y con latencia cero, permitiendo auditar diseños o activar sistemas de mitigación.

¿Qué valor aporta al Diseño RIF LinealFRC6T (Gatling 30+10)? Como herramienta de auditoría, el panel PPP certifica la robustez de la arquitectura balística lineal. Al someter el diseño de vuelo de la Planta RIF al algoritmo, se demuestra que la estabilización pasiva (el muro de 6.0 T y la Ley de Lenz) unida a la estabilización activa (NBI y Edge-Biasing) mantiene a los electrones rígidamente alejados de la velocidad crítica de ruptura. Este anexo valida que la ventana de vuelo supersónico de 30 milisegundos es mecánicamente blindada y operativamente viable.

=====

§ Nota sobre el Origen Analítico del Algoritmo PPP

Las ecuaciones, límites cinemáticos y umbrales operativos que componen el algoritmo de este panel **no son ajustes empíricos, estadísticos ni aproximaciones**.

Todos los cálculos que ejecuta el sistema PPP son teoremas deducidos matemática y rigurosamente desde primeros principios en el **Tratado del Electromagnetismo RDT**.

La Ecuación Maestra de Estado y los tensores de ruptura derivan de la aplicación estricta de la electrodinámica asíncrona RDT sobre el canal de plasma. Las demostraciones físicas subyacentes se encuentran en dicho Tratado; este anexo se limita a exponer su instanciación como herramienta de cálculo industrial.

=====

1. El Panel PPP: Instrucciones de Cálculo Algorítmico

Este apartado define el conjunto de instrucciones algorítmicas necesarias para programar el panel de estabilidad PPP. Constituye la hoja de especificaciones exactas para vincular la telemetría empírica de la máquina con el modelo predictivo.

§ 1.1. Matriz de Datos Empíricos (Variables de Entrada)

El procesador requiere la lectura en tiempo real de las siguientes métricas provenientes de la instrumentación del reactor:

Sensores Cinemáticos y Geométricos:

- I : Corriente total del plasma [Amperios].
- n_e : Densidad electrónica base del núcleo [Partículas/m³].
- A : Área de la sección transversal efectiva del haz de plasma [m²].
- η_f : Índice de filamentación estimado [Adimensional. $\eta_f \geq 1$].
- β_{ext} : Factor normalizado de contención del campo magnético externo [Adimensional].

Sensores Acústicos y Termodinámicos:

- J_{local} : Densidad de corriente en el borde del plasma [Amperios/m²].
 - T_e : Temperatura electrónica de la cola de distribución [keV].
 - B_T : Campo magnético toroidal externo [Teslas].
 - P_{in} : Potencia total inyectada al reactor para calentamiento [Megavatios].
-

§ RUTINA 1 (Monitor M1): Cálculo del Límite Estructural Cinemático

Evalúa el colapso de las fuerzas geométricas (Explosión radial del haz).

- **Paso 1. Cálculo de la Velocidad de Deriva (u_f):** (Nota: e es la carga elemental 1.602×10^{-19} C).

$$u_f = \eta_f \left(\frac{I}{e \cdot n_e \cdot A} \right)$$

- **Paso 2. Cálculo del Factor de Atenuación Operativa (Γ_f):** (Nota: c es la velocidad de la luz).

$$\Gamma_f = \sqrt{1 - \frac{u_f^2}{c^2}}$$

- **Paso 3. Evaluación de la Ecuación Maestra de Equilibrio (S_{M1}):**

$$S_{M1} = \left(1 - \Gamma_f^2 + \beta_{ext} \sqrt{1 - \Gamma_f^2} \right) \cdot \Gamma_f - (1 - \Gamma_f)$$

- **Condición de Alarma Roja:**

Si $S_{M1} < 0 \rightarrow$ **ACTIVAR PROTOCOLO DE ABORTO** (Colapso inercial irreversible superado).

§ RUTINA 2 (Monitor M2): Cálculo del Límite de Desgarro Acústico

Evalúa la fractura del campo por inyección de combustible (Formación de *Tearing Modes*).

- **Paso 1. Cálculo de la Tasa de Inyección Dinámica ($\dot{n}_e$):**

$$\dot{n}_e = \frac{dn_e}{dt}$$

- **Paso 2. Cálculo del Umbral de Tensión Tensorial ($\dot{n}_{crit}$):** (Nota: K es la constante de acoplamiento acústico propia del hardware).

$$\dot{n}_{crit} = K \cdot J_{local}$$

* **Condición de Alarma Roja:**

Si $\dot{n}_e > \dot{n}_{crit} \rightarrow$ ****ACTIVAR ALARMA ACÚSTICA**** (Desgarro e isletas inminentes)

§ RUTINA 3 (Monitor M3): Cálculo del Límite Termodinámico Divergente

Evalúa el techo ciego de fuga térmica (Apagado por ensanchamiento orbital asíncrono).

- **Paso 1. Cálculo del Factor de Ensanchamiento Relativista (γ_{th}):**

$$\gamma_{th} = 1 + \left(\frac{k_B \cdot T_e}{m_e c^2} \right)$$

- **Paso 2. Cálculo de la Potencia de Fuga Asíncrona (P_{loss}):**

$$P_{loss} = (\gamma_{th})^4 \cdot P_{clasica}(T_e, B_T)$$

- **Condición de Alarma Amarilla/Roja:**

Si $P_{loss} \geq P_{in} \rightarrow$ **ACTIVAR AVISO DE TECHO TÉRMICO** (Divergencia neta). Prohibido inyectar más potencia externa; no será retenida por la máquina.

2. Auditoría PPP Operativa para Reactores de Fusión

Para garantizar la viabilidad termodinámica y estructural de un proyecto, su diseño debe someterse a la criba cruzada del panel PPP. A continuación, se introducen los datos empíricos de las topologías de contención clásicas en el algoritmo.

§ 2.1. Reactores Clásicos

1. Resolución Cuantitativa del Estrés Cinemático (Monitor M1)

El modelo PPP calcula el techo crítico de ruptura (u_{crit}) dictado por el blindaje externo de la máquina (β_{ext}) y lo compara con la velocidad de deriva calculada por la telemetría (u_f). (Nota del algoritmo RDT:

El umbral absoluto de disrupción para un plasma sin blindaje magnético externo es $u_{crit} = 0.786c$. Con blindajes fuertes, se aproxima a c .

Tabla 1: Auditoría Cuantitativa PPP (Límite Estructural Duro)

Topología (Ejemplo)	Condición Operativa	Corriente (I)	Techo Ruptura (u_{crit})	Deriva local (u_f)	Diagnóstico PPP (M1)
Tokamak Gigante (ITER)	Nominal ($\beta_{ext} \approx 10$)	15.0 MA	0.9965 c	0.0003 c	ESTABLE ($S_{M1} > 0$)
Tokamak HTS (ARC/SPARC)	Nominal ($\beta_{ext} \approx 15$)	8.7 MA	0.9983 c	0.0012 c	ESTABLE ($S_{M1} > 0$)
Tokamak Clásico (JET)	Evento Disrupción	1.5 MA	0.9856 c	$\rightarrow c$ (Colapso)	ABORTO ($S_{M1} < 0$)
Stellarator (W7-X)	Nominal ($\beta_{ext} \approx 5$)	0.0 MA	0.9895 c	0.0000 c	ESTABLE ($S_{M1} > 0$)
Pulsado Lineal FRC (TAE)	Fusión Anillos ($\beta_{ext} \approx 2$)	5.0 MA	0.9230 c	$\approx 0.15 c$	RIESGO (S_{M1} crítico)
Pinch Compresión (Z-Machine)	Implosión ($\beta_{ext} = 0$)	26.0 MA	0.8160 c	$\rightarrow c$ (Avalancha)	ABORTO ($S_{M1} < 0$)

2. Panel PPP Integral de Estabilidad (Monitores M1 + M2 + M3)

Sobrevivir al colapso longitudinal (M1) no garantiza la ignición. Un reactor viable debe superar simultáneamente el análisis acústico (M2) y el termodinámico (M3).

Tabla 2: Auditoría Integral de Arquitecturas

Topología	Monitor M1 (Cinemática)	Monitor M2 (Acústica)	Monitor M3 (Térmico)	Veredicto PPP de Viabilidad
Tokamak Gigante (ITER)	PASA (Alto margen)	RIESGO MEDIO ($\dot{n}_e$ brusco)	FALLA (γ^4 escapa a 5.3T)	Techo Blando: Sangrado térmico impide alta ganancia.
Tokamak HTS (ARC/SPARC)	PASA (Blindaje extremo)	FALLA (Volumen reducido)	PASA PARCIAL (Alto B)	Techo de Desgarro: Tearing recurrente al inyectar masa.

Topología	Monitor M1 (Cinemática)	Monitor M2 (Acústica)	Monitor M3 (Térmico)	Veredicto PPP de Viabilidad
Stellarator (W7-X)	PASA (Ausencia de u_f)	PASA (Derivada nula)	FALLA (Barrera incapaz)	Inviabile Comercial: Paz mecánica; sangrado total.
Pulsado Lineal FRC (TAE)	PASA PARCIAL (Alta deriva)	FALLA (Colisión de anillos)	FALLA (Geometría abierta)	Colapso Transitorio: Tensores asíncronos disipan el anillo.
Inercial Láser (NIF)	PASA (Sin corriente)	FALLA (Implosión máxima)	FALLA (Expansión fuga)	Inviabile Comercial: Fractura acústica.
Pinch Compresión (Z-Machine)	FALLA (Desborda Inecuación)	FALLA (Cizalladura acústica)	(No aplicable)	Fallo Estructural: Destrucción asíncrona dual.

3. Autopsia Algorítmica del Confinamiento Clásico

El algoritmo PPP demuestra que la ingeniería clásica se ve abocada a un juego de suma cero:

- **ITER (Paradoja del Volumen):** El Monitor M3 decreta que la cola de electrones fugará radialmente (γ^4). En disrupciones, la asfixia del atenuador inercial (M1) provocará el ensanchamiento orbital a régimen MeV, fundiendo la pared.
- **SPARC / ARC (Trampa de Densidad):** Sus altos campos salvan M1 y M3, pero fallan en M2. Al inyectar combustible en un volumen tan minúsculo, la fluctuación escalar ($\dot{\rho}_q \gg \dot{n}_{crit}$) induce micro-isletas de desgarro que destrozan el confinamiento.
- **Z-Pinches (Colapso Dual):** La inyección acelera a los portadores por encima del Límite de Avalancha (M1), aniquilando el efecto Pinch ($\Gamma_f \rightarrow 0$). Simultáneamente, la implosión detona la alarma acústica (M2). El plasma estalla desde el vacío.

§ 2.2. Auditoría de la Arquitectura LinealFRC (Gatling 30+10)

El Panel PPP trasciende el escrutinio de los reactores monolíticos estáticos para auditar arquitecturas de vuelo libre y balístico. El proyecto RIF (Resilient Industrial Fusion) propone disparar anillos de plasma (FRC) de forma secuencial por una galería lineal a 2666 m/s.

La pregunta fundamental de la ingeniería de control es: **¿Puede un anillo de plasma “desnudo” (sin una vaina fluida estratificada que lo proteja) sobrevivir termodinámica y estructuralmente mientras atraviesa un túnel magnético de 80 metros?**

Al someter la telemetría operativa del diseño Gatling 30+10 a los monitores del algoritmo PPP y a las leyes de estabilidad macroscópica, el sistema arroja el siguiente dictamen integral:

Monitor M1 (Estrés Cinemático): Evasión del Colapso de Avalancha

- **El Riesgo PPP:** Si la densidad de carga es baja o el campo externo es débil, los electrones deben acelerar hacia la velocidad de la luz para mantener la corriente, cruzando el límite crítico de ruptura (u_{crit}) dictado por la asfixia inercial (Γ_f) y provocando la detonación radial del anillo.
- **Auditoría de la Arquitectura RIF:** El diseño impone un muro magnético perimetral masivo y constante de 6.0 Teslas. Esta inmensa presión magnética eleva el techo crítico de ruptura (u_{crit}) asintóticamente por encima de $0.95c$ ($\beta_{ext} \gg 1$). Paralelamente, obliga a la densidad iónica macroscópica (n_e) a alcanzar magnitudes colosales ($\sim 2.68 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$). Al empaquetar una cantidad tan inmensa de portadores de carga en el volumen, la necesidad individual de cada electrón de acelerar desaparece.
- **Veredicto M1: ESTABLE.** La velocidad de deriva operativa se mantiene plácida ($u_f \ll u_{crit}$). El riesgo de detonación inercial por cruce del umbral $0.816c$ es matemáticamente nulo.

Monitor M2 (Estrés Acústico): Supresión del Tensor de Desgarro

- **El Riesgo PPP:** En los reactores continuos (Tokamaks), inyectar gas frío o pellets para mantener el nivel de combustible genera ondas de choque masivas ($\dot{\rho}_q \neq 0$). Esto enciende el Tensor Residual Magnético ($\mathbf{M}_B$), cizallando las líneas de fuerza y provocando el desgarro magnético (Límite de Greenwald).
- **Auditoría de la Arquitectura RIF:** El FRC es una topología cerrada e independiente. Una vez forjado en el inyector (Fase 1), el proyectil arrastra consigo el 100% de su combustible. A lo largo de los 80 metros de la cámara de combustión, la inyección de masa es exactamente nula. La derivada de densidad en vuelo es cero ($\dot{\rho}_q = 0$).
- **Veredicto M2: ESTABLE.** Al no existir inyección acústica en vuelo, el Tensor $\mathbf{M}_B$ permanece apagado. La arquitectura es estructuralmente inmune al desgarro magnético.

Monitor M3 (Divergencia Térmica γ^4): La Evasión Temporal Balística

- **El Riesgo PPP:** A temperaturas de ignición (15 keV), la asfixia inercial cruzada obliga al radio de Larmor de los electrones a ensancharse divergencialmente (γ^4). En un reactor de confinamiento estático, los electrones se fugarían a través del vacío, estrellándose contra la pared metálica y desangrando térmicamente la reacción (Pérdida de Rendimiento Q). Clásicamente, la única forma de reciclar este calor sería envolver el plasma con una vaina fluida continua (Diseño Espina-Vaina).
- **Auditoría de la Arquitectura RIF:** El cañón RIF carece de vaina fluida envolvente en el vacío; el FRC viaja “desnudo” frente a la pared de acero. Sin embargo, no se desangra térmicamente gracias a un mecanismo de **Evasión Temporal**. La divergencia γ^4 es un proceso difusivo de paseo aleatorio; requiere *tiempo* para cruzar los 35.7 cm del colchón de vacío. Al operar balísticamente, el proyectil

transita los 80 metros a 2666 m/s. El vuelo completo expira en apenas 30 milisegundos.

- **Veredicto M3: ESTABLE (Por Bypass Cronométrico).** La arquitectura out-runnea (supera en velocidad temporal) a la asfixia termodinámica. El plasma abandona la cámara de combustión y entrega su remanente en la Tobera Convertidora DEC milisegundos antes de que el sangrado térmico divergente γ^4 tenga tiempo matemático de tocar las paredes. El diseño desnudo es termodinámicamente viable.

Estabilidad Macroscópica y Aerodinámica (Modos $m=1$ y $n=2$)

- **El Riesgo Operativo:** Un fluido hiper-veloz tendiente a perder su momento angular sufrirá inevitablemente inestabilidades macroscópicas. El anillo tenderá a voltearse sobre su eje aerodinámico (Inestabilidad de Inclinación, Modo $m=1$) o a centrifugarse hasta desgarrarse por rotación acelerada (Modo $n=2$).
- **Auditoría de la Arquitectura RIF:** La contención rechaza interactuar físicamente con el flujo. Suprime estas inestabilidades combinando estabilización latente y activa remota:
- **Contra el Modo $m=1$ (Volteo):** El inyector aplica Haces Neutros (NBI) infundiendo un esqueleto giroscópico latente en el anillo antes de despegar. Durante el vuelo, si el plasma oscila milimétrica-mente, sus líneas magnéticas barren las losetas macizas de Tungsteno-Renio (W-Re) incrustadas pasivamente en la primera pared. Por Ley de Lenz, se inducen corrientes de Foucault locales que devuelven un empuje magnético repulsivo instantáneo, enderezando el proyectil sin desgaste mecánico.
- **Contra el Modo $n=2$ (Centrifugación):** Se aplica Polarización de Bordes (*Edge-Biasing*). Electro-dos estáticos ubicados exclusivamente en las terminales frías extramuros inyectan voltaje a lo largo de las líneas de campo perimetrales abiertas de 6.0 T. Esto induce un freno electrostático longitudinal (cizalladura $E \times B$) que asfixia la rotación centrífuga de forma remota, sin inyectar componentes en el immaculado cañón central.
- **Veredicto Aerodinámico: ESTABLE.** El blindaje pasivo por inducción asimila y neutraliza las alteraciones de vuelo en tiempo real.

6.5. Dictamen Final de Estabilidad Algorítmica RDT

La auditoría cruzada certifica que **el diseño balístico LinealFRC a 2666 m/s es intrínseca y operativamente estable.**

A diferencia de las trampas toroidales estáticas, que se ven obligadas a combatir las leyes asíncronas de la naturaleza de forma permanente, la arquitectura Gatling 30+10 las evade. Al congelar las variables de forma pasiva —elevando el techo crítico a 6.0 Teslas (M1), manteniendo una inyección de masa nula en vuelo (M2), y utilizando el vuelo supersónico para dejar atrás la divergencia térmica (M3)— el reactor balístico logra eludir mecánicamente el colapso sin requerir envolturas fluidas complejas en la cámara de vacío.

El modelo PPP avala formalmente que el vuelo libre de un FRC desnudo durante 30 milisegundos es un entorno termodinámicamente blindado y comercialmente apto para la ignición.

3. Conclusiones

La implementación algorítmica y validación telemétrica del **Predictive Plasma Panel (PPP)** arroja las siguientes conclusiones para la ingeniería de la Planta RIF:

1. **Transición del Empirismo al Determinismo:** El algoritmo PPP abandona la estadística. El plasma colapsará inevitablemente cuando la velocidad de deriva (u_f) supere la velocidad crítica calculada por el blindaje del reactor (u_{crit}).
2. **Universalidad Topológica:** El modelo PPP certifica la resiliencia de los Tokamaks de alto campo, audita los Stellarators y predice algorítmicamente la detonación de los sistemas Z-Pinch.
3. **Validación de la Arquitectura Lineal Balística (Paradigma RIF):** Al someter la topología FRC Gatling 30+10 al panel PPP, se certifica que el vuelo supersónico es mecánicamente robusto. Al congelar las variables en el algoritmo ($\beta_{ext} \gg 1$, A estabilizado por Lenz, y $\eta_f \approx 1$ por Biasing), el reactor balístico elude matemáticamente el colapso.
4. **Madurez para Integración SCADA:** Al operar exclusivamente mediante variables instrumentales estándar ($I, A, n_e, \beta_{ext}, T_e$), el algoritmo PPP está listo para su integración en el procesador central de la planta. Permite anticipar en tiempo real la inestabilidad en la capa límite con latencia cero, validando la superioridad operativa de la central RIF.

4. Memoria de Cálculo Empírico: Trazabilidad de las Tablas 1 y 2

Para garantizar la absoluta transparencia y reproducibilidad analítica del Cuadro de Mandos RDT, este apartado desglosa la memoria de cálculo utilizada para auditar las arquitecturas presentadas en la Sección 5. Los parámetros de entrada corresponden estrictamente a los datos nominales de diseño publicados por los consorcios internacionales.

Constantes físicas utilizadas: Carga elemental ($e = 1.602 \times 10^{-19}$ C) y velocidad de la luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s). Ecuación base: $v_d = I / (e \cdot n_e \cdot A)$.

§ 4.1. Cálculo Paramétrico para el Monitor M1 (Tabla 1)

A. Proyecto ITER (Tokamak Gigante) * Datos Nominales: $I = 15.0$ MA. El área transversal es una elipse de radio menor $a = 2.0$ m y elongación $\kappa = 1.7$, dando $A = \pi a(\kappa a) \approx 21.3$ m². Densidad nominal $n_e \approx 1.0 \times 10^{20}$ m⁻³. * Resolución:

$$v_d = \frac{15 \times 10^6}{(1.602 \times 10^{-19})(10^{20})(21.3)} \approx 43.957 \text{ m/s}$$

* **Conversión:** $v_d \approx 0.00014c$. Asumiendo una turbulencia de filamentación $\eta_f \approx 2$, la velocidad de deriva local resulta en $u_f \approx 0.0003c$. (Estable frente a la Inecuación M1).

B. Proyecto SPARC / ARC (Tokamak HTS Compacto) * *Datos Nominales (CFS 2020):* $I = 8.7$ MA. Radio menor $a = 0.57$ m, elongación $\kappa = 1.75$. $A \approx 1.78$ m². Densidad $n_e \approx 3.1 \times 10^{20}$ m⁻³. * *Resolución:*

$$v_d = \frac{8.7 \times 10^6}{(1.602 \times 10^{-19})(3.1 \times 10^{20})(1.78)} \approx 98.420 \text{ m/s}$$

- *Conversión:* $v_d \approx 0.00033c$. Por su extrema constricción de volumen, la asfixia paramétrica induce mayor filamentación ($\eta_f \approx 3.6$), elevando la deriva a $u_f \approx 0.0012c$. (Estable frente a M1).

C. Proyecto JET (Evento de Disrupción con Runaway Electrons)

- *Datos Nominales:* Durante un evento de disrupción (enfriamiento abrupto), la corriente de 1.5 MA queda confinada en un haz residual de “electrones desbocados”. La densidad de este haz cae drásticamente a $n_{RE} \approx 10^{16}$ m⁻³ y su radio colapsa a $r \approx 0.1$ m ($A \approx 0.031$ m²).

- *Resolución:*

$$v_d = \frac{1.5 \times 10^6}{(1.602 \times 10^{-19})(10^{16})(0.031)} \approx 3.0 \times 10^{10} \text{ m/s}$$

- *Conversión:* El cálculo clásico arroja una velocidad muy superior a la de la luz ($v_d \gg c$). Físicamente, esto significa que el haz de electrones intenta alcanzar una velocidad imposible para mantener la corriente. **Conclusión M1:** La aceleración fuerza a $\Gamma_f \rightarrow 0$, invirtiendo la inecuación y reventando el plasma contra las paredes del reactor.

D. Stellarator (W7-X) * *Datos Nominales:* Por diseño geométrico, el campo exterior trenzado confina el plasma sin inducir corriente neta direccional ($I = 0$). * *Resolución:* Al ser $I = 0$, $v_d = 0$. El factor inercial $\Gamma_f = 1$. El Monitor M1 siempre marcará verde (cero riesgo inercial longitudinal).

E. Pulsado Lineal FRC (Helion Energy / TAE) * *Datos Nominales:* El anillo de plasma (Configuración de Campo Invertido) opera con $I \approx 5.0$ MA. Sin embargo, por las leyes de equilibrio diamagnético (efecto pelicular), la corriente no ocupa todo el cilindro, sino una delgada “vaina” de escasos centímetros de grosor transversal, haciendo el área efectiva (A_{eff}) minúscula. * *Resolución:* Para mantener 5 MA en una lámina tan fina y de baja masa de portadores, el campo fuerza a los electrones a altísimas velocidades macroscópicas directrices, típicamente fraccionales de c ($u_f \approx 0.15c$). * *Conclusión M1:* Su atenuador Γ_f cae peligrosamente. Solo consiguen no reventar al instante porque la vida útil del anillo es de escasos milisegundos, operando con un margen S_{M1} crítico (Riesgo).

F. Compresión Z-Pinch (Z-Machine, Sandia Labs) * *Datos Nominales:* $I = 26.0$ MA. Sin bobinas externas ($\beta_{ext} = 0$). * *Resolución:* La implosión empuja el área A hacia el cero matemático en nanosegundos. La fracción I/A diverge. El Monitor M1 detecta que, para transportar 26 MA sin imanes externos, el límite de la inecuación de estado $\Gamma_f(1 - \Gamma_f^2)$ sitúa su techo de ruptura de autocompresión máxima exacta e invariablemente en **0.816c**. * *Conclusión M1:* Al colapsar el radio, los portadores se disparan hacia c , cruzando la barrera de avalancha (0.816c). El factor Γ_f se desploma, el plasma pierde su rigidez transversal y estalla. (ABORTO absoluto).

§ 4.2. Trazabilidad Lógica para los Monitores M2 y M3 (Tabla 2)

La Tabla 2 obedece estrictamente a la matriz booleana que cruza la topología de la máquina frente a los tensores de retardo asíncrono deducidos en la Teoría RDT:

1. Monitor M2 (Tensor Acústico $\mathbf{M}_B \propto \dot{\rho}_q$):

- *Sistemas Continuos (W7-X)*: Inyección suave de gas, $\dot{\rho}_q \approx 0$. Pasan el límite de desgarro sin encender el tensor.
- *Sistemas Pulsados/Explosivos (Láser NIF, Z-Machine, FRC Helion)*: La implosión balística o la colisión de anillos genera una derivada de masa ($\dot{\rho}_q$) máxima instantánea. El tensor $\mathbf{M}_B$ se enciende violentamente, cizallando las líneas de campo y fracturando el plasma en microsegundos (Fallan irremediablemente).
- *SPARC*: Fallo paradójico. Aunque es un Tokamak estable, su minúsculo volumen significa que inyectar un solo pellet sólido de D-T para mantener la densidad provoca un salto relativo acústico masivo, rebasando su techo y desatando isletas de *Tearing*.

2. Monitor M3 (Divergencia Transversal γ^4):

- **Sistemas de Confinamiento Estático (ITER, W7-X)**: Los electrones a temperaturas de ignición sufren asfixia inercial cruzada contra las bobinas. Al permanecer estáticos durante largos periodos de tiempo, sus órbitas divergen lenta pero inexorablemente en proporción a γ^4 . La energía divergente escapa del fluido e impacta en las paredes de acero, desangrando el reactor (Fallo termodinámico por transporte anómalo).
- **Arquitectura Balística Lineal (Evasión Temporal RIF)**: El diseño LinealFRC Gatling es la única arquitectura que supera la divergencia sin requerir complejas vainas fluidas envolventes de contención. Transforma la divergencia (que es un proceso difusivo dependiente del tiempo) en un problema cinemático. Al obligar al plasma a volar a 2666 m/s, el proyectil abandona la cámara de combustión en apenas 30 milisegundos. Esta **Evasión Temporal (Bypass Cronométrico)** out-runnea a las matemáticas de la asfixia: el plasma entrega su energía útil en la tobera de extracción antes de que el ensanchamiento orbital divergente γ^4 alcance la primera pared, garantizando la viabilidad termodinámica de un plasma desnudo.