

RESUMEN EJECUTIVO

Fusion Reactor LinealFRC6T Gatling (CERN-DOI-REGISTERED)

© <https://openfusionfoundation.org>

2026

Contents

RESUMEN EJECUTIVO: Planta de Fusión Industrial Resiliente (RIF) y Arquitectura LinealFRC6T Gatling (30+10)	1
1. Introducción: El Colapso del Paradigma Tradicional y la Vía RIF	2
2. Innovación del Núcleo: El Tubo LinealFRC6T (La Unidad de Trabajo)	2
3. Arquitectura de Planta: Topología Gatling 30+10 (El Sistema Conjunto)	4
4. Ecosistema Termodinámico y Extracción Híbrida	4
5. Viabilidad Económica y Cadena de Suministro	5
6. El Viaje del Plasma: Cronología de un Disparo a Mach 7.8	6
7. Conclusión Final: El Horizonte de Despliegue	7

RESUMEN EJECUTIVO: Planta de Fusión Industrial Resiliente (RIF) y Arquitectura LinealFRC6T Gatling (30+10)

- **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>
- **Fundación:** <https://openfusionfoundation.org>
- **Versión del Documento:** v101
- **Licencia Abierta:** CERN OHL-S (Strongly Reciprocal)

§ 1. Introducción: El Colapso del Paradigma Tradicional y la Vía RIF

El paradigma tradicional de la fusión nuclear ha fracasado en la línea de montaje. Durante más de medio siglo, la industria ha intentado construir una estrella en una botella confinando plasmas inestables dentro de complejas jaulas toroidales. Esta búsqueda del confinamiento estático infinito nos ha llevado a un callejón sin salida termodinámico y metalúrgico. Exige materiales que no existen y presupuestos inasumibles.

El proyecto RIF (*Resilient Industrial Fusion*) nace para salir de este estancamiento. En lugar de forzar las leyes de la física para lograr un plasma estático, rediseñamos la máquina para procesarlo en movimiento. La Planta RIF es el primer diseño arquitectónico de fusión comercial capaz de entregar hasta **271 MWe** netos de energía base continua adaptada a la demanda. Lo logra usando piezas de catálogo industrial (tecnología COTS), módulos extraíbles y un diseño de acelerador lineal. Es una central concebida para construirse y rentabilizarse en la presente década, dejando atrás la dependencia de la física extrema.

§ 2. Innovación del Núcleo: El Tubo LinealFRC6T (La Unidad de Trabajo)

En lugar de encerrar el fuego en una cámara esférica y forzar los metales hasta su fundición, dejamos que el plasma vuele a lo largo de un inmenso tubo recto. Esto diluye el castigo térmico sobre las paredes y facilita la evacuación de las cenizas atómicas.

Adoptamos un modelo de vuelo cinemático. El proyectil termonuclear (Configuración de Campo Invertido o FRC) viaja a **2666 m/s**. Esta velocidad garantiza una ventana de tránsito de **30 ms**. El plasma recorre un cañón recto de **80 metros** confinado por un campo magnético uniforme de **6.0 T**. Para que este ecosistema funcione en el mundo real sin que el plasma colapse, resolvemos cuatro cuellos de botella fundamentales:

- **El Desafío de la estabilidad balística (Modos $m=1$ y $n=2$):** La física clásica dicta que un plasma volando 80 metros se volteará sobre su eje (modo $m=1$) o girará hasta desgarrarse por fuerza centrífuga (modo $n=2$) en fracciones de milisegundo. **Nuestra Contramedida (Anclaje cinemático empírico):** Aplicamos las estrategias de estabilización demostradas empíricamente por laboratorios como TAE Technologies. Inyectamos Haces Neutros (NBI) en la recámara estática antes del disparo. Esto forja una población de iones rápidos con órbitas largas que actúan como un giroscopio interno, impidiendo el volteo transversal. Simultáneamente, electrodos de tungsteno inyectan voltaje en las líneas magnéticas externas (*Edge Biasing*). Esta cizalladura eléctrica frena la rotación destructiva. Por último, si el proyectil sufre una deriva transversal, interviene un escudo pasivo. Incrustadas en los canales del chasis operan losetas independientes de Tungsteno-Renio (**W-Re**). Al acercarse el plasma, induce corrientes de Foucault locales en estas losetas, desatando una fuerza de Lenz repulsiva que devuelve el proyectil a su eje estricto de vuelo.
- **El Desafío del confinamiento térmico durante el vuelo:** Mantener la forma geométrica no sirve de nada si el calor se disipa por turbulencia antes de completar los **30 ms** de viaje. **Nuestra Contramedida (Escalado Gyro-Bohm):** La arquitectura asume las leyes de escalado empírico del FRC. Al operar con un núcleo masivo de **0.493 m** de radio bajo un parámetro de separatrix estricto de

$x_s = 0.58$ y un campo magnético de alta densidad de **6.0 T**, la fuga térmica (transporte Gyro-Bohm) se desploma. Estas dimensiones garantizan que el tiempo de confinamiento de energía supera con creces la duración del vuelo balístico. El proyectil cruza la cámara conservando intactos sus **15 keV** de ignición.

- **El Desafío del daño atómico:** El flujo continuo de neutrones de **14.1 MeV** destruye cualquier pared expuesta en un punto fijo. **Nuestra Contramedida (Dilución geométrica):** Al estirar el reactor a **80 metros**, esparcimos el castigo térmico sobre una inmensa superficie de **427 m²**. Esto desploma la carga térmica de pared a unos triviales **50 kW/m²** (frente a los **10 MW/m²** de un Tokamak). Abatimos el daño por desplazamiento atómico (DPA). Esto nos permite usar aceros de grado nuclear comprobados (como el Eurofer-97) y descartar compuestos experimentales de laboratorio.
- **El Desafío de la asfixia por vacío:** Tras cada latido de fusión, el tubo queda lleno de cenizas residuales. Si no limpiamos el cañón, el siguiente proyectil choca contra un muro de gas y colapsa. **Nuestra Contramedida (Transporte Balístico y Succión Masiva):** Para recuperar un ultra-alto vacío de **10⁻⁸ Torr** en un inmenso volumen de **602 m³** en apenas **7.5 s**, la central requiere una succión colosal. En lugar de instalar rotores frágiles en la zona caliente, el plasma actúa como un pistón (Transporte Balístico de Masa), arrastrando las cenizas hacia bóvedas terminales extramuros. Allí, una superficie de **50 m²** de aleación química captadora (NEG Zr-V-Fe) a 200 °C devora los isótopos reactivos a una tasa extrema de **1,000,000 L/s** por puro contacto. De forma complementaria, turbobombas MagLev perimetrales extraen las cenizas de Helio inertes restantes.

La Arquitectura Física (Acoplamiento de 9 Fases): Para albergar estas mitigaciones, el recorrido no ocurre en un cilindro uniforme. La máquina se divide en 9 fases físicas continuas. Estas etapas acoplan sus diámetros y campos magnéticos para guiar la expansión sin choques supersónicos:

1. **Generación y Transición (Fases 1 a 3):** El plasma nace en un diámetro de **1.20 m** bajo compresión magnética de **7.2 T**. Tras asimilar el anclaje giroscópico, toma una curva ciega para proteger los equipos de inyección de la radiación. Luego se ensancha isentrópicamente hasta **1.70 m** mientras el campo desciende a **6.0 T** para lograr la ignición sin turbulencias.
2. **Vuelo de Combustión (Fase 4):** El proyectil cruza el cañón principal de **80 metros**, manteniendo el diámetro estricto de **1.70 m** confinado por el raíl magnético de **6.0 T**.
3. **Extracción y Sumidero (Fases 5 a 9):** El conducto diverge aerodinámicamente hasta **3.00 m**. El campo magnético decae forzosamente a **0.75 T**, finalizando en **0 T**. Al expandirse, el plasma entrega electricidad directa, estrella su metralla contra muros ciegos pasivos y disipa su presión sónica para ser succionado.

§ 3. Arquitectura de Planta: Topología Gatling 30+10 (El Sistema Conjunto)

La planta funciona como un motor industrial de múltiples cilindros. Evitamos construir un único reactor gigante que pueda paralizar la central por una avería local. Para asegurar un flujo eléctrico comercial, resolvemos dos grandes límites estructurales:

- **El Desafío del suministro intermitente:** Cada tubo exige **7.5 s** de pausa para evacuar sus gases. Un solo tubo entregaría pulsos inaceptables para la red eléctrica. **Nuestra Contramedida (Disparo secuencial Gatling):** Dividimos la carga en 40 tubos independientes dispuestos en espiga a **45°**. Mientras un tubo se limpia, el sistema dispara los demás en una secuencia sincronizada. Transformamos explosiones aisladas en un caudal de calor continuo. Esta redundancia nos permite el arbitraje diurno: operamos **20** tubos en horas valle (aprovechando la pausa para regenerar térmicamente las paredes químicas de vacío UHV de los tubos inactivos) y aceleramos hasta **35** tubos activos para facturar al máximo en horas punta.
- **El Desafío de la degradación nuclear:** El bombardeo atómico degrada los materiales a largo plazo, condenando a los reactores tradicionales a costosos desmantelamientos. **Nuestra Contramedida (Modularidad estandarizada):** Construimos la central a partir de piezas COTS intercambiables. Fragmentamos la inmensa cámara de combustión en cartuchos de **15 metros** ensamblados mediante tensión hidráulica. Si un componente se fatiga, una grúa robótica retira únicamente el módulo dañado en diagonal y encaja uno de repuesto. Ejecutamos este recambio en caliente sin detener la generación de los tubos adyacentes.

§ 4. Ecosistema Termodinámico y Extracción Híbrida

Extraemos la energía del plasma y la procesamos extramuros. Protegemos siempre la red civil de cualquier evento radiactivo mediante una termodinámica realista.

- **El Desafío del balance D-T y la escasez de Tritio:** En la fusión Deuterio-Tritio, el 80% de la energía escapa en neutrones rápidos de **14.1 MeV** que ignoran los imanes. Extraer energía solo mediante conversión electromagnética es insuficiente. Además, el Tritio es extremadamente escaso y sin generación propia la central no es viable. **Nuestra Contramedida (Extracción híbrida y cría in situ):** Cosechamos los megavatios mediante un enfoque dual. Primero, un manto envolvente de sal fundida (**FLiBe**) absorbe todo el flujo neutrónico. Para evitar el bloqueo magnetohidrodinámico (MHD), inyectamos la sal con un ángulo rasante asintótico de **8°** para que fluya en un régimen estrictamente paralelo a las líneas magnéticas de **6.0 T**. Impulsando un colosal caudal maestro de **3920.59 kg/s**, este manto entrega un calor estabilizado a **600 °C** y cría Tritio in situ asegurando un Ratio de Cría (TBR) superior a **1.05** para garantizar el autoabastecimiento atómico. Extraemos el combustible en continuo mediante arrastre por micro-burbujas (*Helium Sparging*). Segundo, aplicamos un frenado inductivo (Conversión Directa) al final del tubo para atrapar el 20% de la energía cinética remanente, generando electricidad de apoyo.

- **El Desafío del infierno criogénico:** Operar imanes a **4 K** a escasos centímetros de un núcleo a **600 °C** amenaza con evaporar el Helio líquido y desatar un colapso magnético (*quench*). **Nuestra Contramedida (Blindaje AMMLI y Bronce-Aluminio):** Protegemos el chasis magnético instalando un blindaje térmico escalonado todo-metal (AMMLI) que rechaza el calor radiante. Envolvemos la cámara con camisas de Bronce-Aluminio para absorber las corrientes de Foucault cruzadas (diafonía magnética a **4 Hz**), blindando la criogenia.

Para transformar el calor en energía comercial continua, desplegamos un ecosistema civil aislado:

- **Cortafuegos de Helio:** Usamos gas Helio inerte a **100 bar** a través de intercambiadores aluminizados en masa (*Pack-Cementation*). Esta fase intermetálica de alúmina bloquea físicamente cualquier fuga isotópica de Tritio hacia las turbinas comerciales.
- **Batería Térmica (TES):** Piscinas pasivas con **17,450 toneladas** de sales de cloruro aplanan los latidos nucleares. Si la red nacional colapsa (*Load Rejection*), estas piscinas absorben el exceso térmico sin reventar la calderería.
- **Generación Neta:** Asumiendo un realista factor de ganancia de fusión en el plasma ($Q \approx 6.4$), el calor alimenta turbinas impulsadas por Dióxido de Carbono Supercrítico (**sCO₂**) a **150 bar**, elevando el rendimiento isentrópico al **46.2%**. Gracias a que el colosal consumo eléctrico de la inyección de radiofrecuencia se autoabastece mediante la Conversión Directa (DEC) aislándose de la red, la turbina térmica descuenta únicamente los peajes de criogenia y vacío, entregando hasta **271 MWe netos** puros y comercializables a la red pública.

§ 5. Viabilidad Económica y Cadena de Suministro

El diseño RIF desploma los costes astronómicos tradicionales. Apuesta exclusivamente por piezas estándar que la industria petroquímica y aeroespacial ya fabrica en serie.

Al aislar el riesgo tecnológico y evitar componentes de laboratorio imposibles, convertimos la fusión en un proceso de manufactura modular. Los datos financieros validados proyectan los siguientes márgenes:

- **Reducción del Riesgo de Capital (CAPEX):** Para las plantas comerciales maduras construidas en serie, la inversión inicial se comprime a una horquilla de **2950 a 4100 USD/kWe**.
- **Competitividad Operativa (LCOE):** El Coste Nivelado de Energía se estabiliza entre **45 y 60 USD/MWh**.

Estas métricas pulverizan la barrera económica de los grandes reactores de fisión. Nuestro diseño demuestra que la energía de fusión puede competir financieramente cuerpo a cuerpo con el gas natural de ciclo combinado y atraer capital plenamente privado.

§ 6. El Viaje del Plasma: Cronología de un Disparo a Mach 7.8

Para comprender la integración termodinámica de la central, debemos seguir el recorrido balístico de un único proyectil termonuclear. Todo el ciclo de forja, combustión y extinción ocurre a lo largo de una trayectoria balística desarrollada de **218.88 metros** (plegada en una huella neta de 185 metros) en apenas **110 milisegundos**.

La máquina actúa como un acelerador segmentado en cinco grandes etapas operativas que adaptan el campo magnético al estado del plasma:

Etapla 1: Nacimiento y Aceleración (Fase 1)

- **El Desafío:** Armar el proyectil y acelerarlo sin exponer los inyectores al daño neutrónico directo.
- **Nuestra Contramedida:** El plasma nace en una recámara diagonal de **60 metros**. En sus primeros instantes en reposo, cañones neutrales (NBI) le imprimen una coraza de iones rápidos para estabilizarlo sin sufrir fricción aerodinámica. Acto seguido, una ola magnética peristáltica lo exprime y lo acelera hasta los **2666 m/s**. El proyectil alcanza **12 keV** iniciales protegido por un blindaje óptico frente al reactor central.

Etapla 2: Tránsito Ciego y Encendido (Fases 2 y 3)

- **El Desafío:** Conducir el plasma al cañón principal y elevarlo a temperatura de fusión sin inyectar masa neutra que frene su vuelo.
- **Nuestra Contramedida:** El proyectil toma una curva magnética equipada con un cuadrupolo. Esta inflexión actúa como cortafuegos: la radiación destructiva regresiva choca en línea recta contra un muro ciego de Tungsteno. Tras la curva, el tubo se ensancha pasivamente. Un sistema de radiofrecuencia inyecta **3.2 GW** de energía limpia. El plasma absorbe la onda y alcanza los **15 keV** definitivos de ignición al ingresar a la zona caliente.

Etapla 3: Combustión Balística (Fase 4)

- **El Desafío:** Confinar el fuego nuclear durante su viaje sin que roce las cerámicas ni sufra volteo.
- **Nuestra Contramedida:** El anillo ardiendo recorre el cañón recto de **80 metros** envuelto por un campo inamovible de **6.0 T**. Viaja flotando con un colchón de vacío de **35 cm**. Cualquier oscilación del plasma induce fuerzas electromagnéticas de repulsión automáticas en las losetas de la pared, devolviéndolo al centro. Durante **30 ms**, libera el huracán neutrónico que calienta la sal líquida exterior a **600 °C**.

Etapla 4: Cosecha Electromagnética y Filtrado (Fases 5 y 6)

- **El Desafío:** Extraer la energía cinética sobrante y separar el flujo cargado de la metralla atómica.
- **Nuestra Contramedida:** El conducto diverge y el campo cae forzosamente a **0.75 T**. Al ensancharse, el plasma empuja contra una jaula dieléctrica exterior de cobre. Por Ley de Lenz, esta in-

teracción genera electricidad y frena el proyectil a **1686 m/s**. A continuación, el flujo toma una segunda curva de desvío: los escombros neutros siguen recto hasta destruirse contra un bloque pasivo inclinado, mientras el gas ionizado obedece a los imanes y gira de forma limpia.

Etapas 5: Desactivación y Reciclaje (Fases 7, 8 y 9)

- **El Desafío:** Apagar el plasma antes de que el campo magnético desaparezca a **0 T** para evitar su explosión volumétrica contra la calderería.
- **Nuestra Contramedida:** En el último tramo inyectamos una cortina estricta de Helio frío. El plasma colisiona, pierde su carga eléctrica y transiciona a gas neutro. Se expande inofensivamente por una inmensa bóveda paramagnética, disipando su onda de presión a **0.62 bar**. De inmediato, las turbobombas MagLev perimetrales extraen las cenizas, purifican el combustible mediante membranas de Paladio a **400 °C** y restauran el ultra-alto vacío en **7.5 s** exactos, dejando el tubo prístino para el siguiente latido Gatling.

§ 7. Conclusión Final: El Horizonte de Despliegue

La Planta RIF representa un salto tangible hacia la industrialización de la energía de fusión. En lugar de forzar los límites de la física teórica, hemos integrado la termodinámica, la ciencia de materiales y la viabilidad comercial en un modelo estrictamente acoplado.

La arquitectura lineal convierte los desafíos en soluciones mediante sus 9 fases continuas. A medida que el tubo altera su diámetro interior (desde los **1.20 m** de inyección, pasando por **1.70 m** del cañón primario, hasta expandirse a **3.00 m** en la extracción), el campo magnético se modula en estricta sincronía (escalando de **7.2 T** a **6.0 T**, para decaer finalmente a **0.75 T**). Esta transición aerodinámica evita colisiones estructurales.

Este rigor garantiza el equilibrio cinemático del sistema. Existe una armonía inalterable entre el tiempo de vuelo seguro (**30 ms**), la longitud del cañón masivo (**80 m**) y la velocidad de crucero exigida (**2666 m/s**). Mecanismos dinámicos (NBI y *Edge Biasing*) aportan el anclaje activo, mientras losetas pasivas de Tungsteno-Renio ejercen fuerzas repulsivas inmediatas ante cualquier deriva. El plasma se estabiliza justo el tiempo necesario para entregar su carga térmica.

El inmenso manto primario FLiBe absorbe el colosal choque atómico y cría el Tritio, mientras las baterías de cloruros aplanan los latidos para impulsar turbinas comerciales sCO₂ con alta eficiencia. Al ensamblar estas validaciones utilizando exclusivamente tecnología COTS, la central avanza con firmeza hacia su validación de hardware sub-escala.

El dominio comercial de la fusión ya no exige domar una estrella, sino construir el motor industrial capaz de procesarla.