

EQUIPOS E INSTALACIONES INDUSTRIALES
UNCUYO
Profesor: Jorge Nozica

Ingeniería de Intercambiadores de Calor de Placas (PHE)

Optimización avanzada de fluidodinámica, termodinámica y selección de materiales para aplicaciones industriales.

El diseño del intercambiador está estrictamente delimitado por seis parámetros de entrada

Antes de definir la geometría interna, el dimensionamiento exige establecer las fronteras operativas del sistema:

Temperatura Máxima
Límite operativo térmico del sistema.



Presión Máxima
Límite operativo mecánico del sistema.



Carga Térmica (Q)
La cantidad total de calor a transferir.



Temperaturas (Tin / Tout)
Perfiles de entrada y salida (primario y secundario).



Caída de Presión (ΔP)
Pérdida de carga máxima permitida.



Caudales
Tasa de flujo de calor (volumétrico/másico).



La anatomía de la placa distribuye el flujo antes de ingresar a la zona de transferencia

El diseño de cada placa cumple funciones mecánicas y de distribución de fluidos antes de iniciar el intercambio térmico.

Puertos de Paso y Entrada/Salida

Permiten la distribución alternada de los fluidos primario y secundario hacia canales independientes.

Zona de Distribución

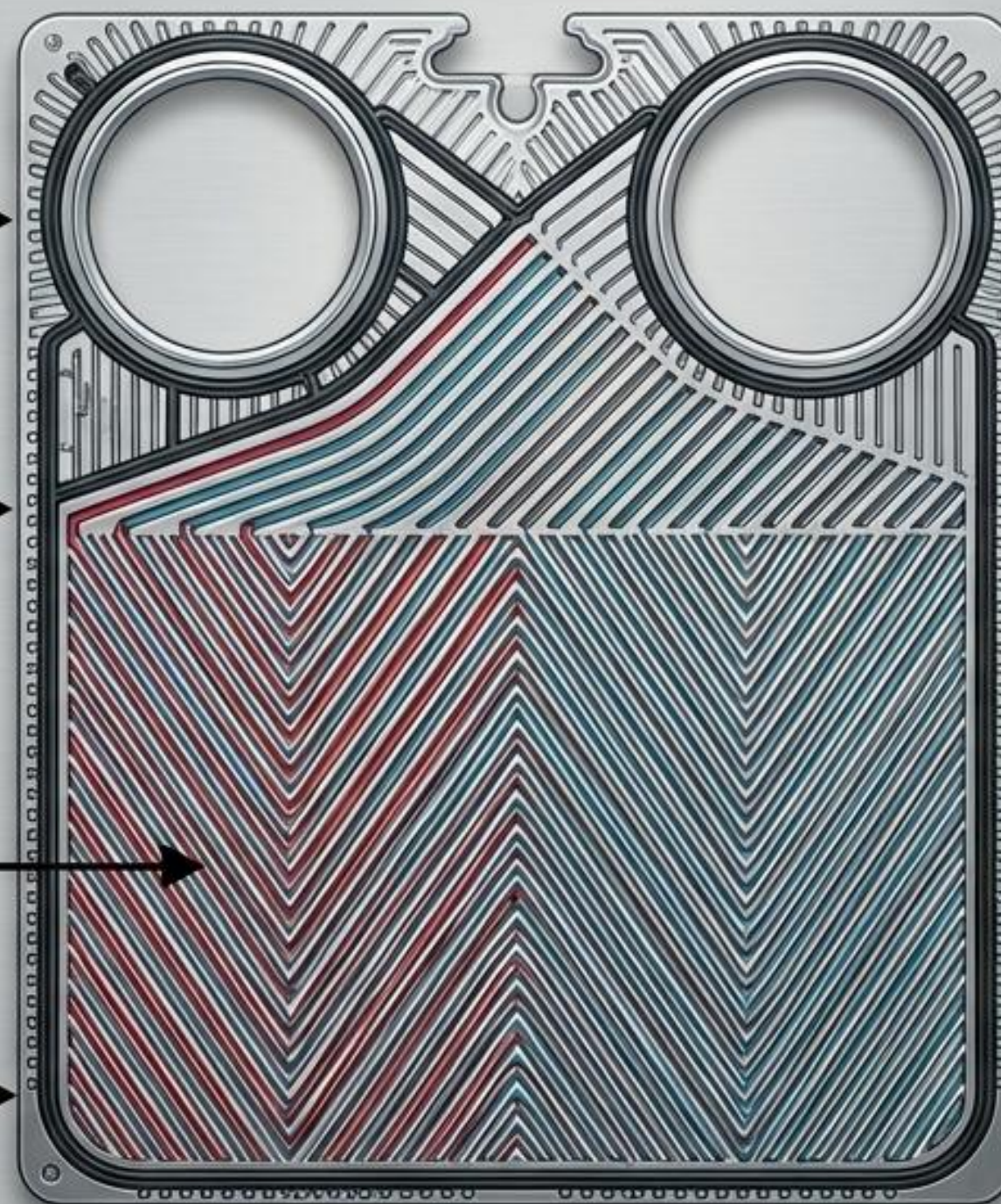
Diseñada para igualar la presión y garantizar que el fluido ocupe todo el ancho de la placa, evitando zonas muertas.

Área de Transferencia

La matriz corrugada donde ocurre el intercambio de calor efectivo.

Sellos y Juntas (Elastómeros)

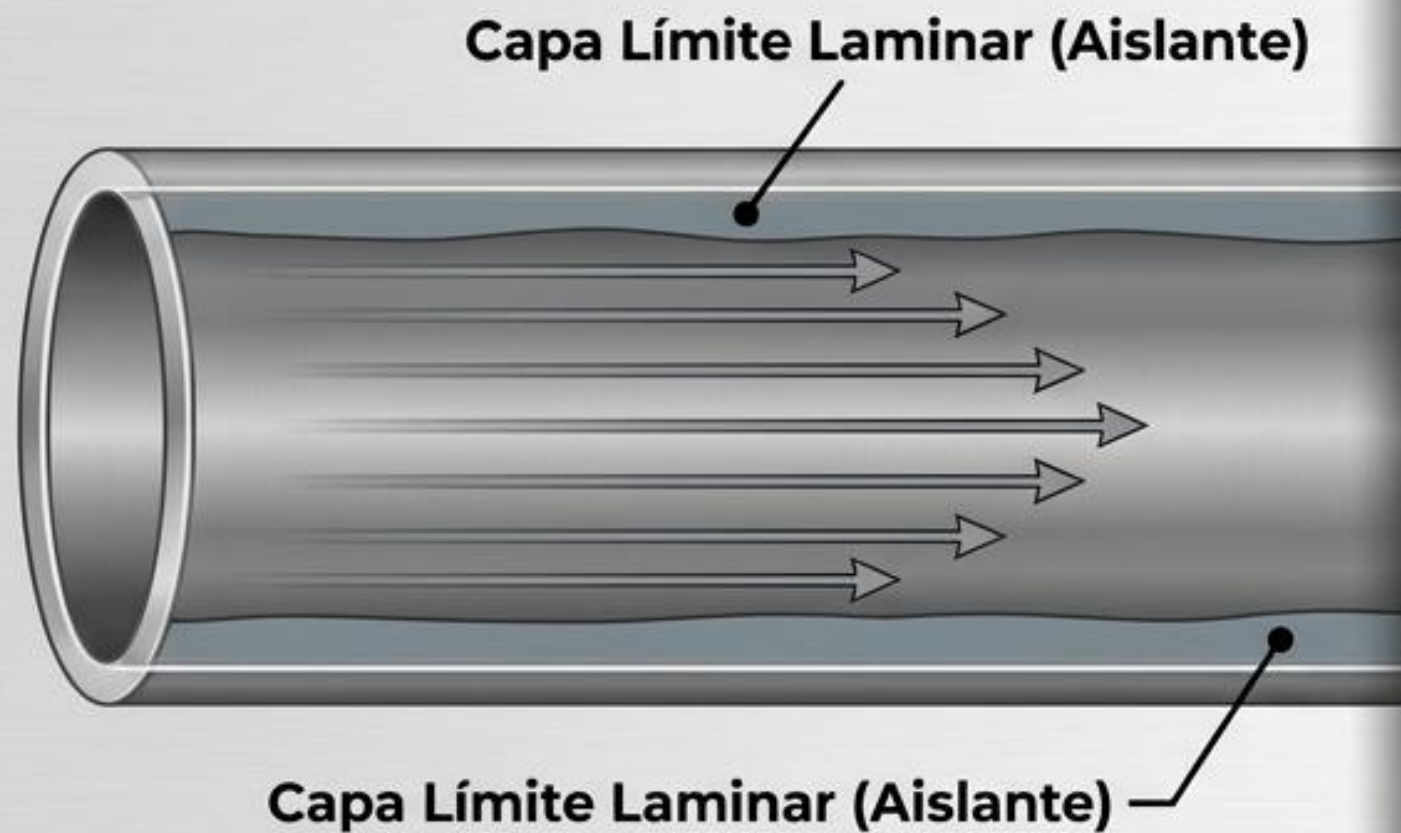
Aíslan los circuitos y contienen la presión operativa.



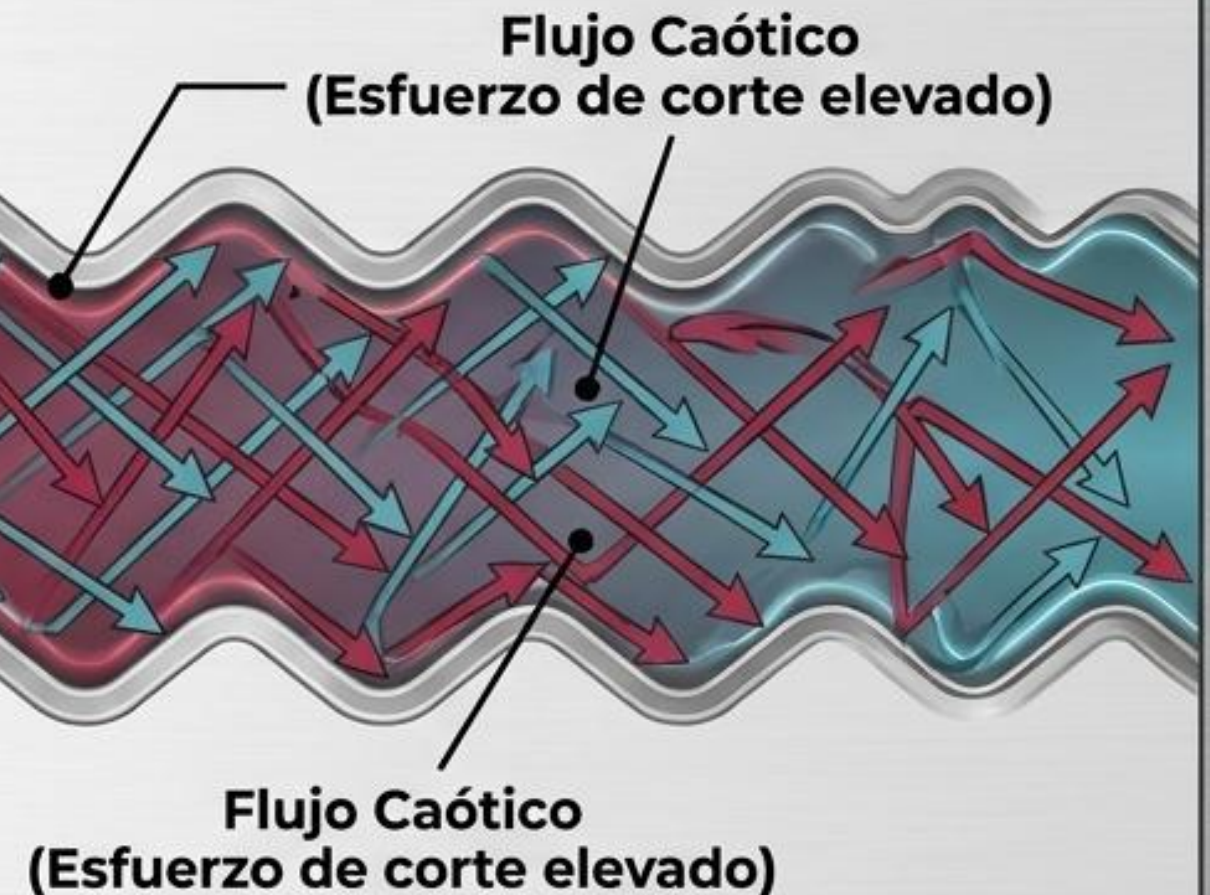
La corrugación tridimensional rompe la capa límite y fuerza un régimen de turbulencia extrema

En un intercambiador tradicional, el flujo desarrolla una capa límite laminar que aísla térmicamente. En un PHE, el patrón de "espina de pescado" obliga al fluido a cambiar de dirección constantemente, destruyendo esa resistencia térmica.

Tecnología Tradicional: Carcasa y Tubos



Tecnología PHE: Placas Corrugadas



La turbulencia inducida triplica el coeficiente global de transferencia térmica (h)

Esta eficiencia fluidodinámica se traduce directamente en una reducción drástica del área de transferencia requerida para el mismo deber térmico.

Tecnología Tradicional
(Carcasa y Tubos)

350 - 440 btu/ft² h °F

Intercambiador de Placas (PHE)

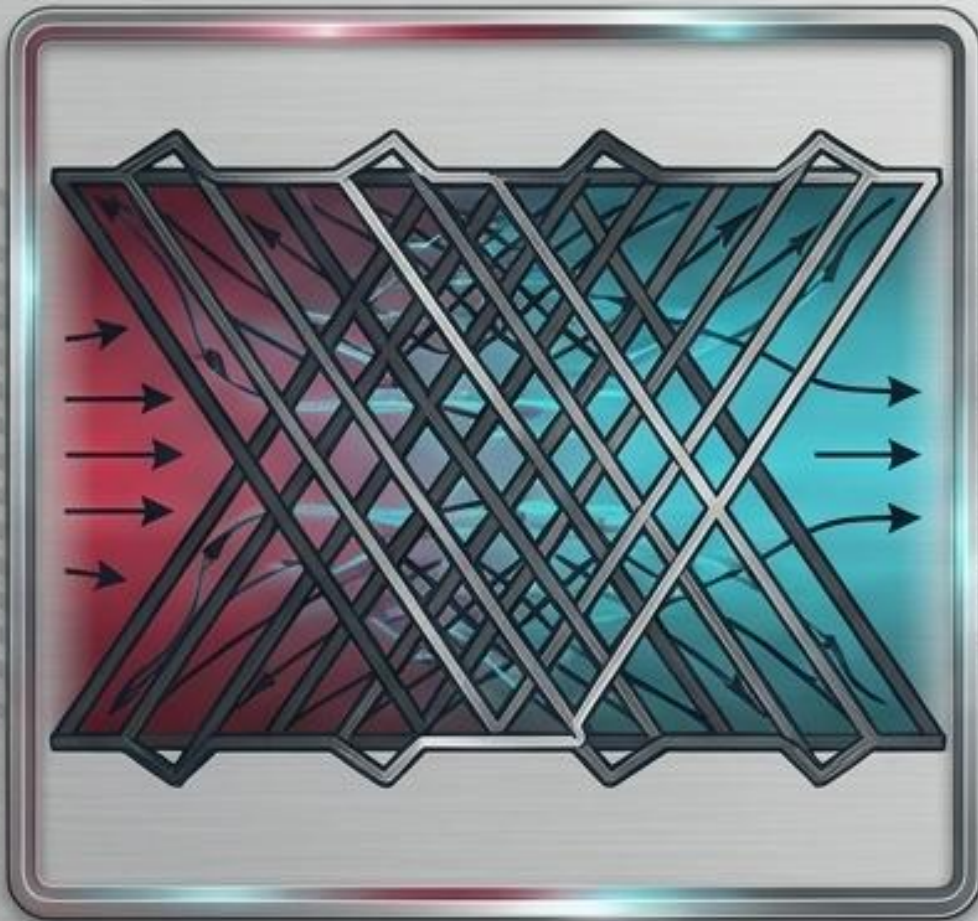
1050 - 1300
btu/ft² h °F

[Nota: Para transferencias sin cambio de fase, el coeficiente global puede llegar a rozar los 1400 btu/ft² h °F.]

El ingeniero controla la turbulencia seleccionando el ángulo de ensamble de las placas

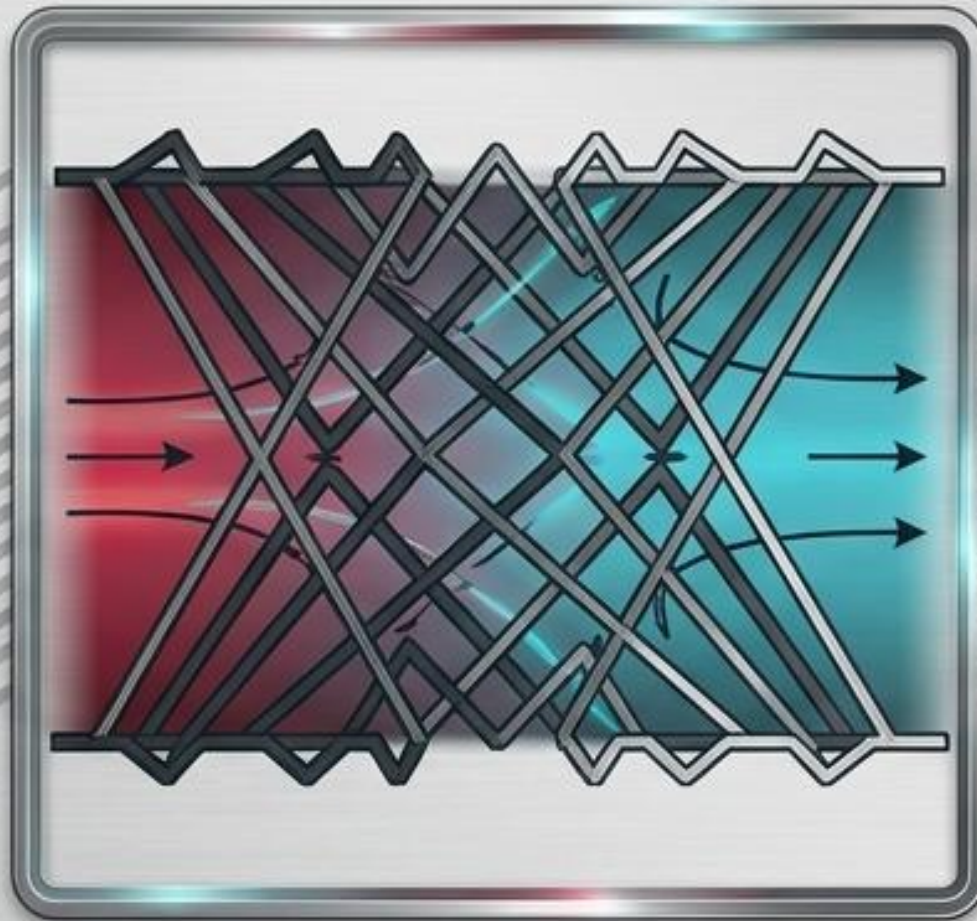
El canal de circulación no está definido por una sola placa, sino por la superposición de dos corrugaciones adyacentes.

Canal High Theta (H+H)



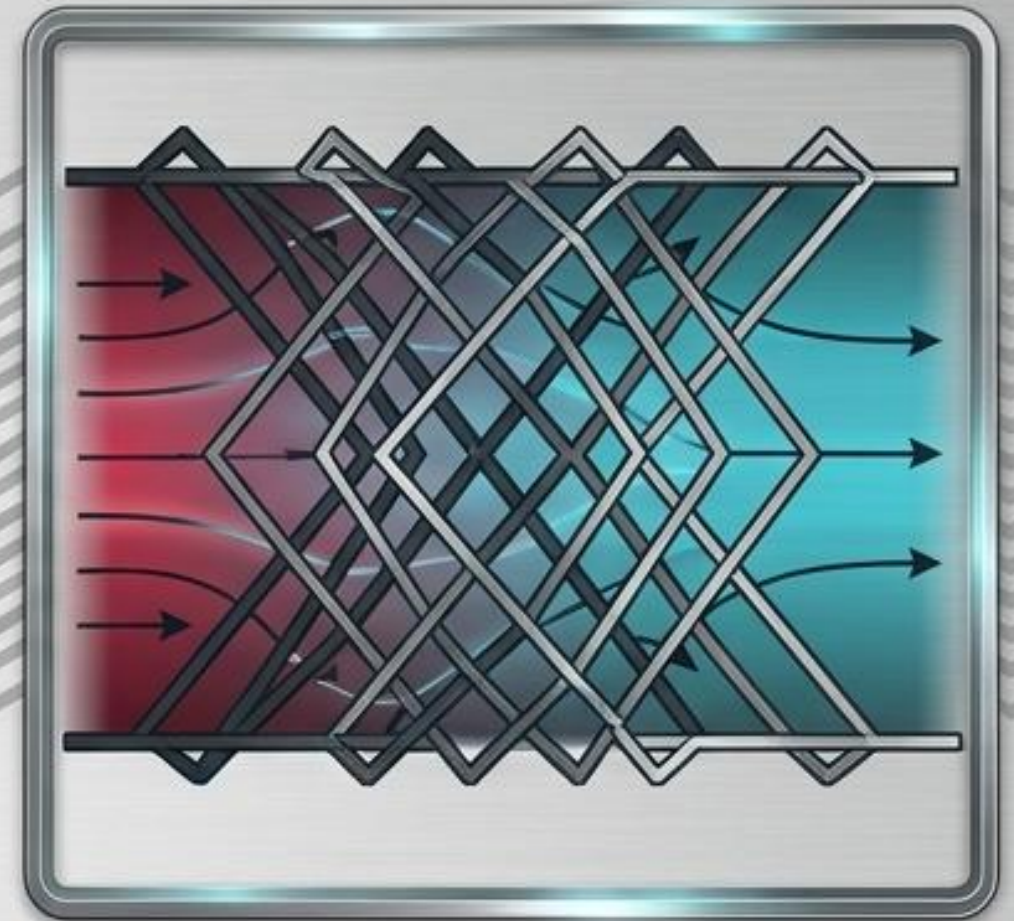
Ángulos obtusos superpuestos.
Genera alta resistencia al flujo.

Canal Mixed Theta (H+L)



Combinación asimétrica.
Un punto intermedio de control
térmico e hidráulico.

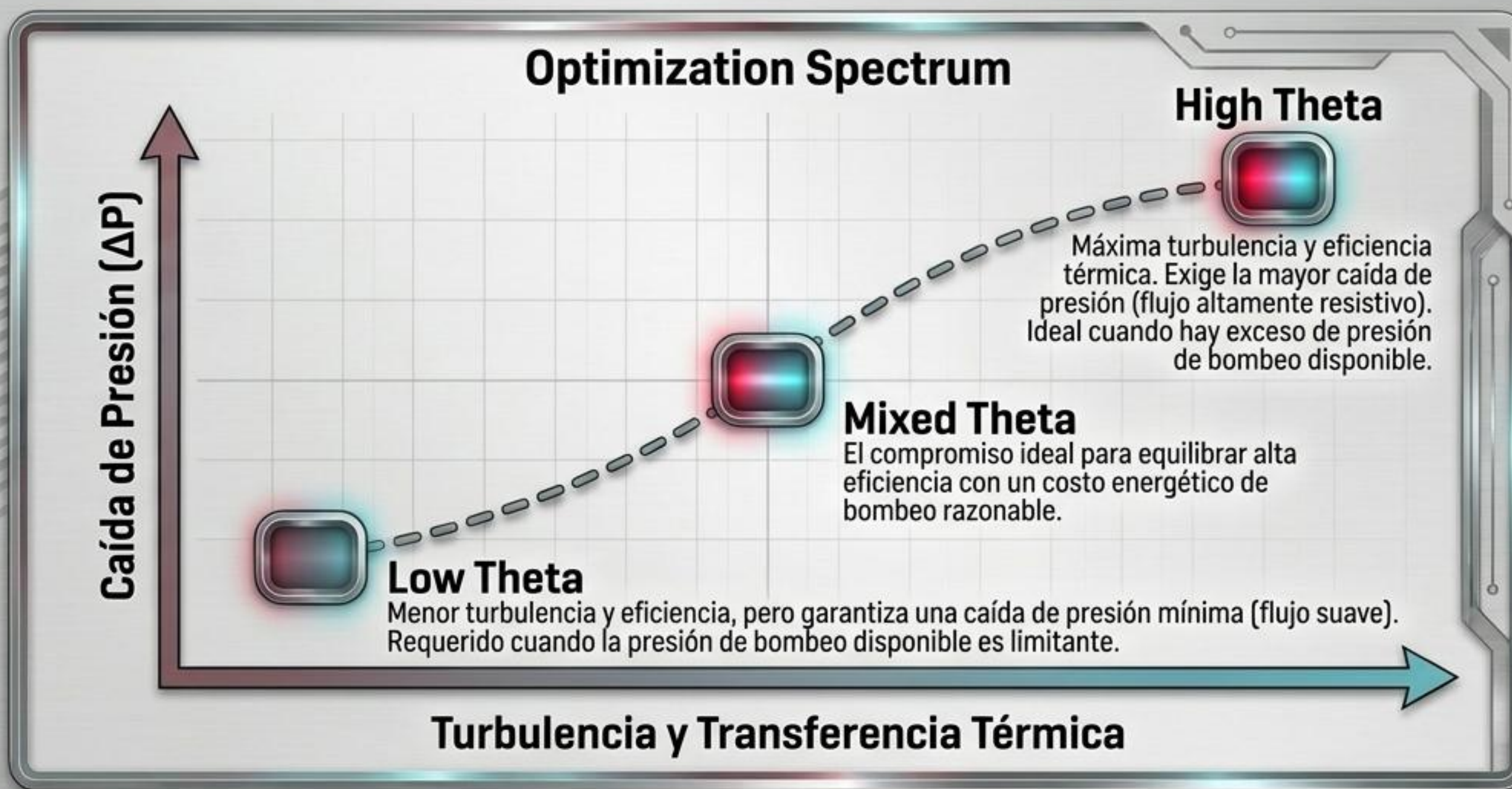
Canal Low Theta (L+L)



Ángulos agudos superpuestos.
Genera menor resistencia al
avance del fluido.

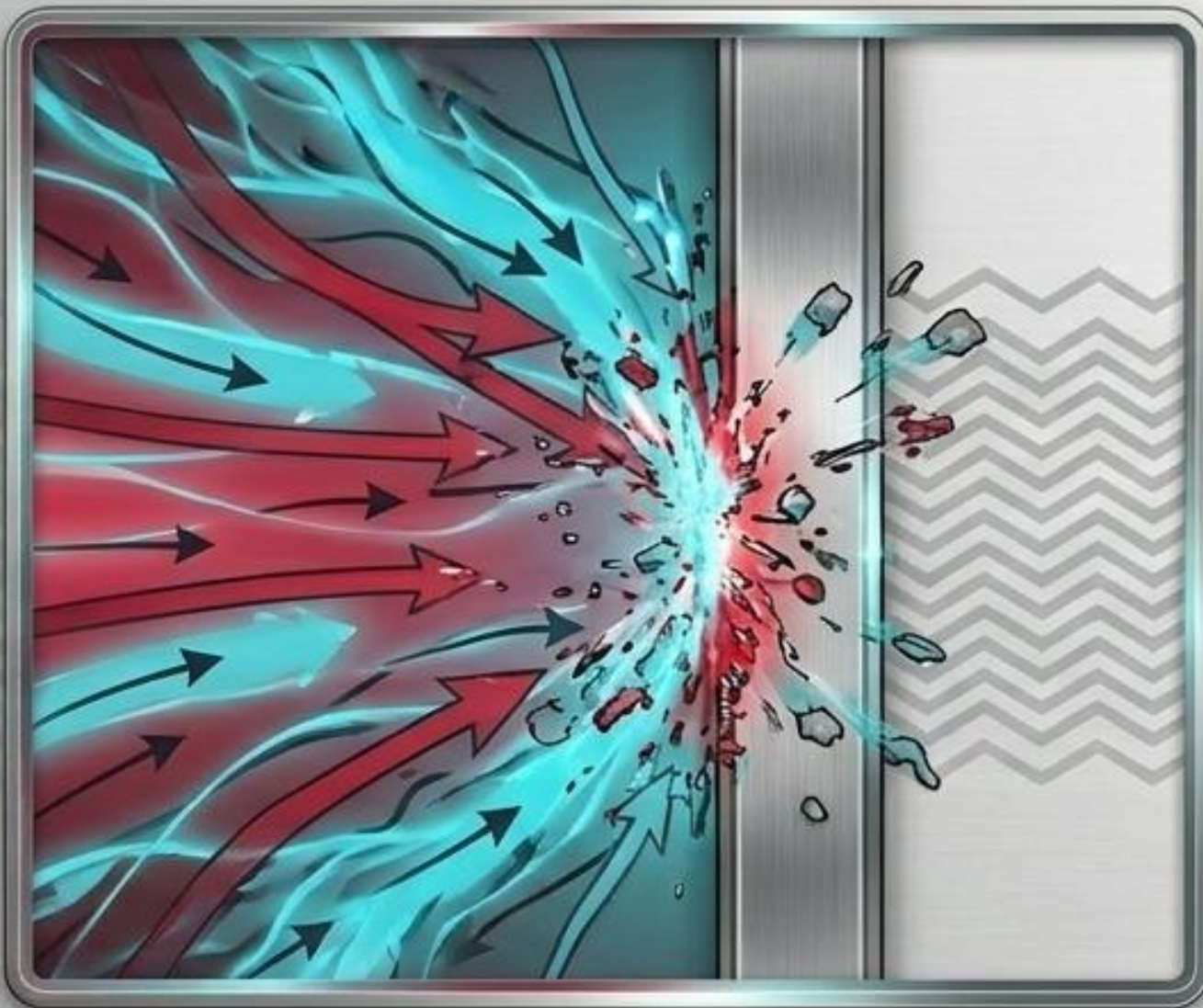
La selección del patrón Theta es un ejercicio de compromiso entre transferencia y caída de presión

El parámetro de pérdida de carga máxima permitida (ΔP) dicta qué canal podemos costear en nuestro diseño.



La alta tensión de corte autolimpia las placas, permitiendo factores de ensuciamiento microscópicos

El margen de pérdida de capacidad térmica se expresa matemáticamente como el Factor de Ensuciamiento (Rf).



Autolimpieza por **Esfuerzo de Corte**

Carcasa y Tubos

El bajo esfuerzo de corte fomenta la deposición y ensuciamiento.

5.68
ft² h °F/btu

Placas (PHE)

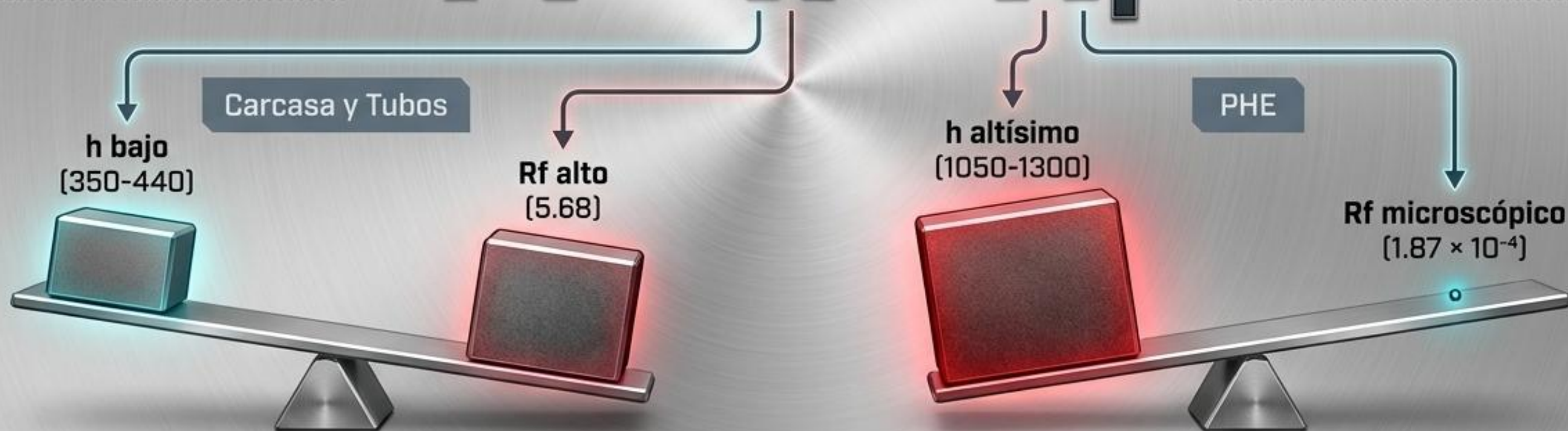
La turbulencia extrema impide la fijación de partículas.

1.87×10^{-4}
ft² h °F/btu

Para mantener un Margen de Seguridad (M) estándar, la matemática del diseño se invierte

El margen de sobredimensionamiento térmico se rige por la relación fundamental:

$$M = h \times R_f$$



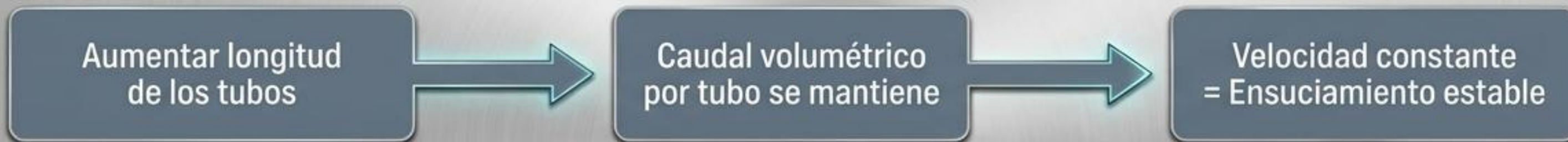
Equilibrio para $M = 20-25\%$

Para no exceder el mismo margen del 20-25%, el factor R_f requerido debe encogerse exponencialmente.

Añadir margen de seguridad tradicional en un PHE genera un efecto paradójico que acelera el ensuciamiento

Existe una diferencia fundamental en cómo se añade capacidad física de margen térmico:

Paradigma de Carcasa y Tubos



La Paradoja del PHE



Regla de Ingeniería:

Para servicio agua/agua en PHE, un margen ajustado del 0-15% es suficiente. Sobredimensionar destruye la eficiencia fluidodinámica.

La especificación metalúrgica está gobernada por la corrosión por cloruros y la economía del proyecto

Environment/Material Triage Matrix

Análisis del Fluido de Proceso

Aplicación agua/agua estándar

Acero Inoxidable
AISI 316

El estándar de alta calidad.
Obligatorio si el proceso de manufactura incluye soldadura por fusión.

CERO Cloruros
(Sin ciclos de hipoclorito)

Acero Inoxidable
AISI 304

Alternativa de reducción de costos.
Estrictamente limitado a sistemas sin amenaza química.

Agua salada, salobre o fluidos corrosivos

Titanio

Aleación de rendimiento extremo.
Obligatorio para resistir medios altamente agresivos.

El verdadero cuello de botella térmico y de presión radica en los elastómeros, no en los metales

Las limitaciones mecánicas y de falla crítica tienen una correlación directa con la junta flexible.



Economía del Diseño:

Menores umbrales de temperatura y presión máxima equivalen a un menor costo de capital. La compatibilidad química y térmica del elastómero define la frontera operativa real del PHE, no el colapso mecánico de la placa.

El dimensionamiento de un PHE es un ecosistema interconectado de variables de ingeniería

El diseño exige abandonar la lógica lineal. Los parámetros dictan la geometría, la geometría domina la termodinámica, y los márgenes deben respetar los límites químicos.

