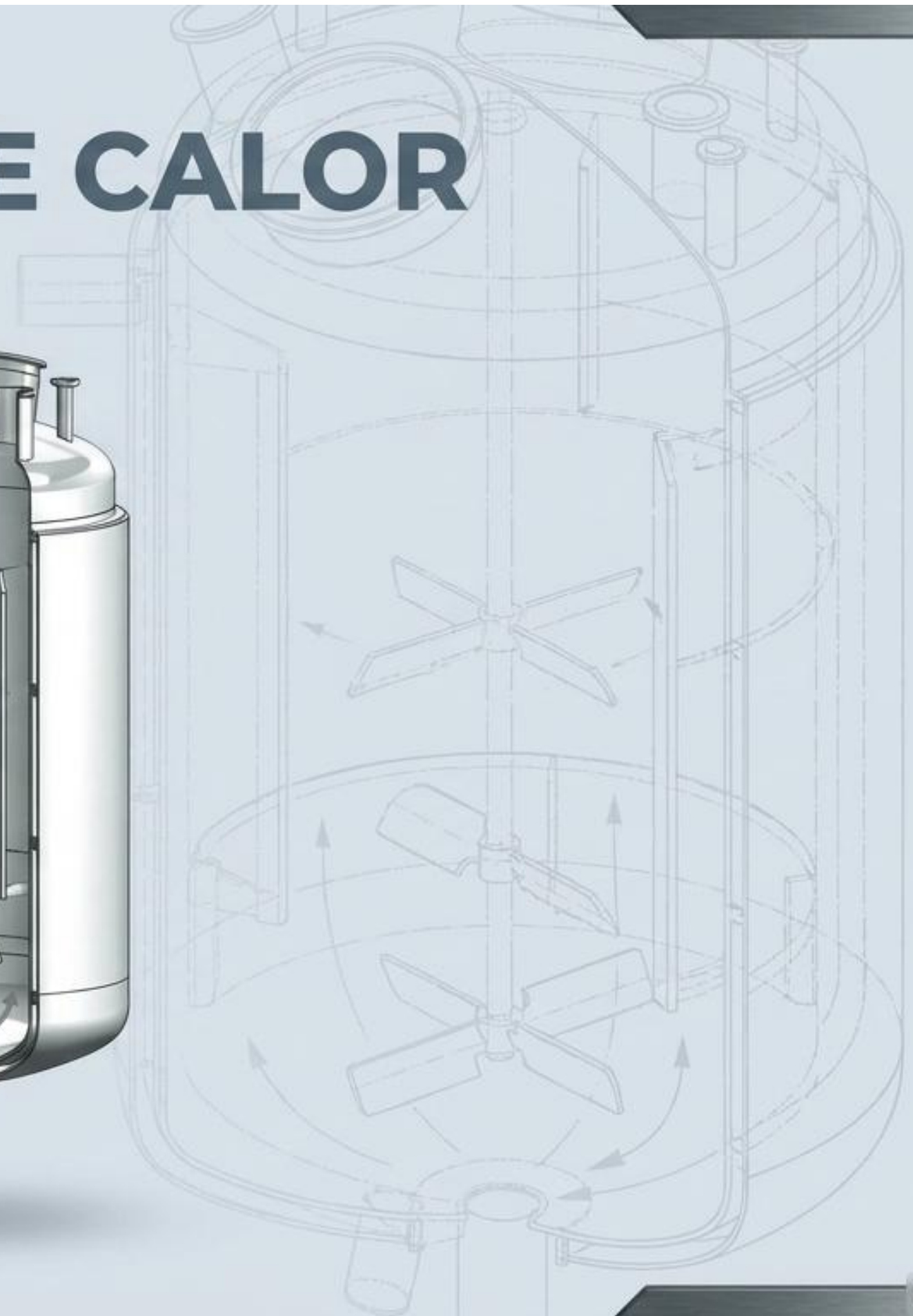
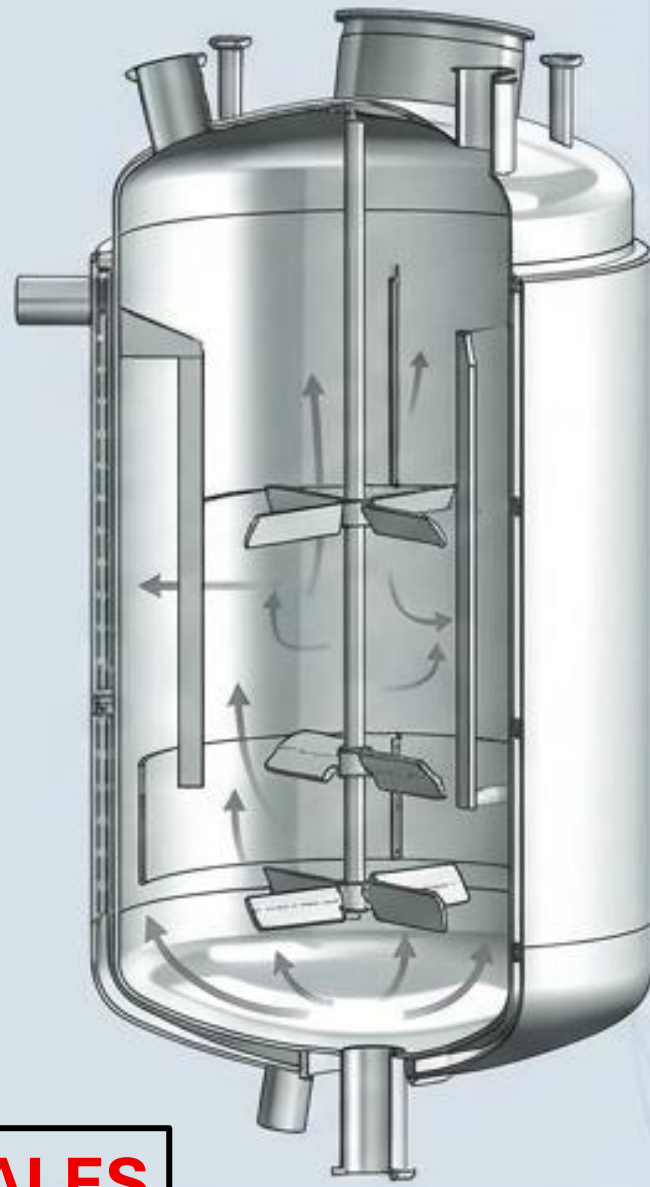


TRANSFERENCIA DE CALOR EN TANQUES

Guía Definitiva de Diseño:
Dinámica de Fluidos y
Superficies de Contacto



**EQUIPOS E INSTALACIONES INDUSTRIALES
UNCUYO
Profesor: Jorge Nozica**

El Sistema Dual: Térmico vs. Mecánico

Diseño Térmico

Maximizando la transferencia de energía.

$$\text{Carga térmica: } Q = U \times A \times \Delta T$$

Variables clave

Coefficientes peliculares (h_{i0} , h_o)



Coefficiente global (U)



Diferencia de temperatura efectiva (ΔT_{lm})



Desafíos: Resistencias adicionales (Fouling factors) y condiciones del fluido.



Diseño Mecánico

Contención de presión y supervivencia estructural.

Estructura base:
Espesores de carcasa, Baffles, Placa porta tubos.

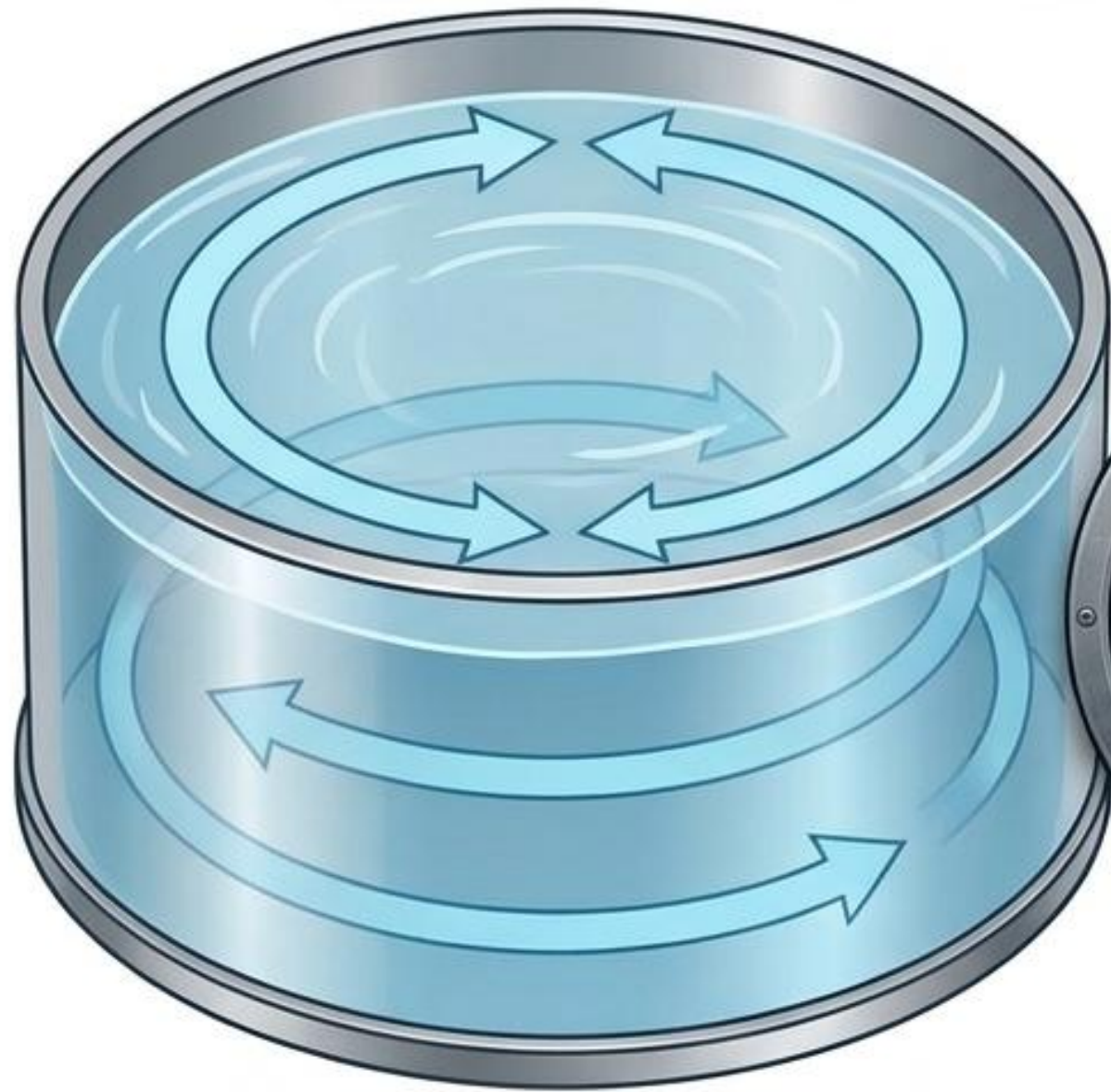
Componentes de unión:
Bridas, Pernos.

Aislación térmica.



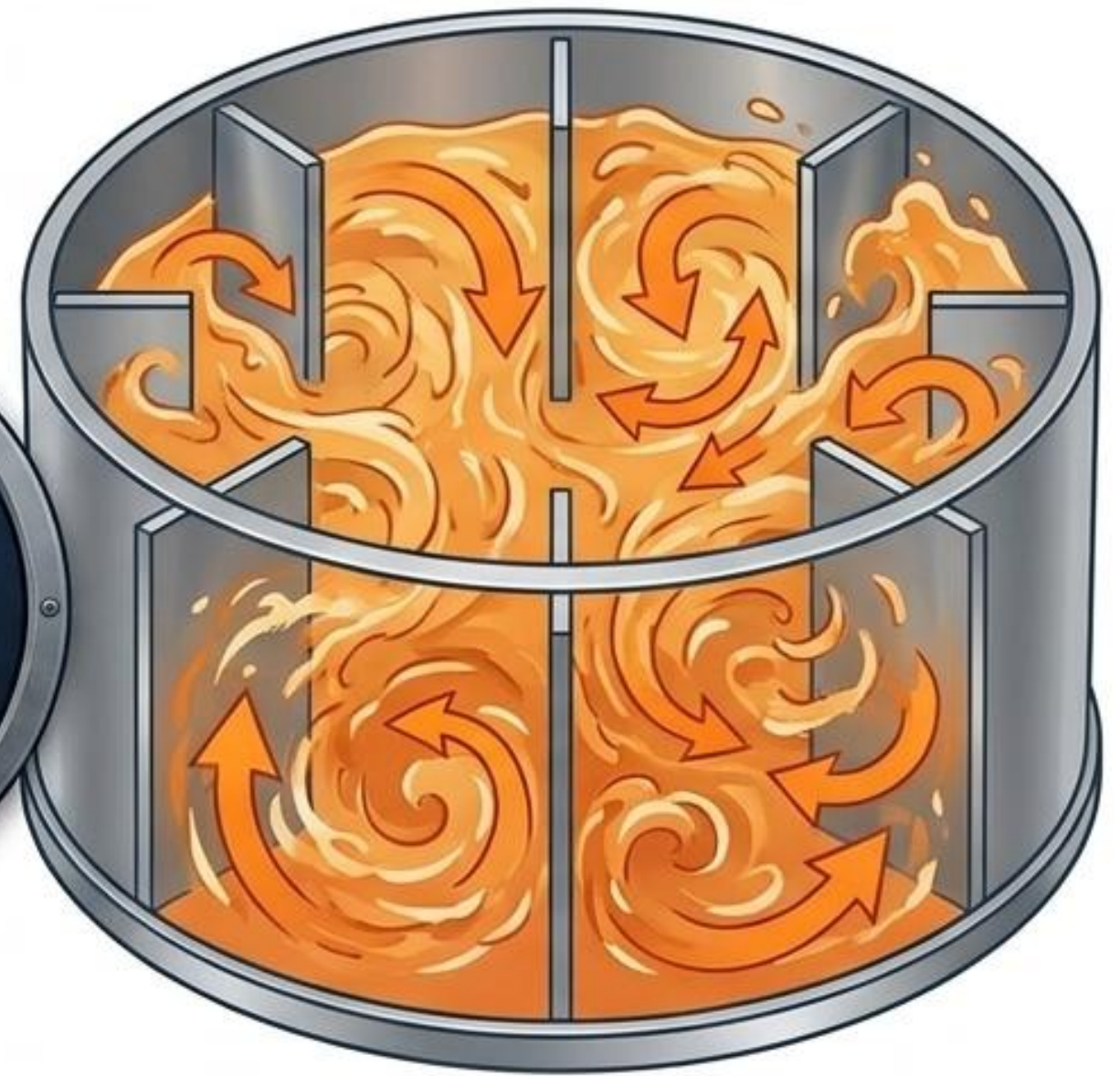
El diseño óptimo requiere co-ingeniería: la configuración térmica dicta las presiones, y la estructura mecánica limita la transferencia.

El Núcleo del Tanque: Convección vs. Agitación



Convección Natural (Ineficiente)

+35%
Transferencia
de Calor



Agitación con Deflectores

La transferencia de calor sin agitación depende de la convección natural. La inclusión de baffles (deflectores) modifica los patrones de flujo, incrementando drásticamente la turbulencia.

La Física de la Turbulencia

Re_a : **Número de Reynolds de Agitación**
(Mide el nivel de turbulencia).

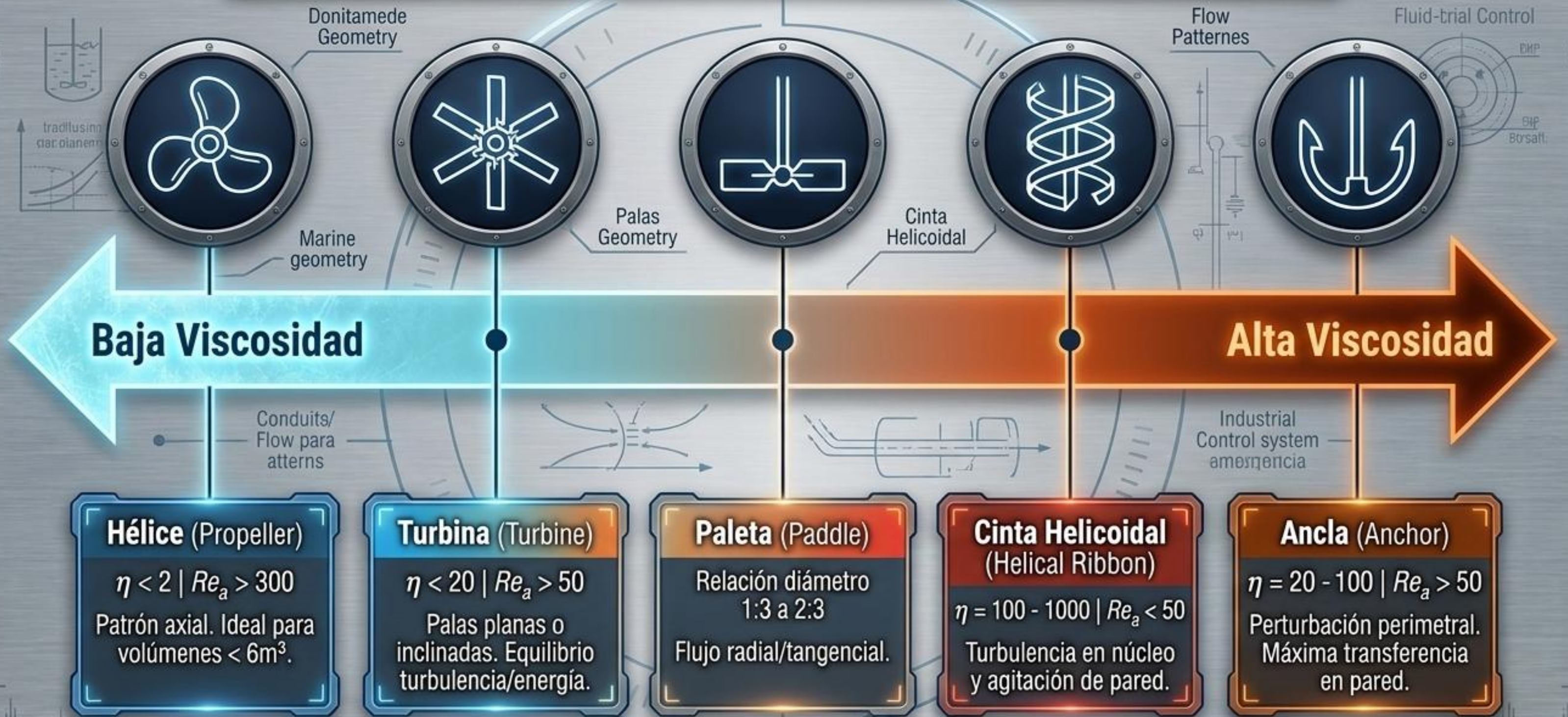
N : **Velocidad de rotación del impulsor** (Aumenta la transferencia, pero eleva el costo energético).

$$Re_a = \frac{N \cdot D_i^2}{\nu}$$

D_i^2 : **Diámetro del impulsor**
(Relación exponencial: pequeños aumentos de tamaño generan saltos masivos en turbulencia).

ν : **Viscosidad cinemática**
(La resistencia interna del fluido).

El Espectro de Viscosidad



Matriz Diagnóstica de Agitación

Tipo de Impulsor	Patrón de Flujo	Límite Viscosidad (η)	Reynolds de Agitación (Re_a)	Caso de Uso Principal
Ancla	Tangencial / Perimetral	20 a 100 kg/(m·s)	> 50	Alta transferencia de calor en pared, todos los líquidos.
Cinta Helicoidal	Axial / Perimetral	100 a 1000 kg/(m·s)	< 50	Líquidos altamente viscosos (no newtonianos).
Hélice	Axial	< 2 kg/(m·s)	> 300	Mezcla rápida en tanques < 6m ³ , no apto para dispersión de gases.
Turbina (Plana)	Radial	< 20 kg/(m·s)	> 50	Dispersión líquido-líquido cerca del fondo.
Turbina (Inclinada)	Axial / Radial	< 10 kg/(m·s)	> 100	Operaciones líquido-sólido y fase simple.

Límite Interior: Serpentes o Anillos Internos

Alta Eficiencia

Las correlaciones de transferencia se basan en tuberías rectas, pero el movimiento circular del fluido a través del serpentín mejora drásticamente el coeficiente h .

Inmersión Total

El fluido calefactor transfiere calor directamente desde el núcleo del lote (batch). Ideal para calentamiento transitorio inestable.

La Desventaja Operativa

El área efectiva de transferencia es altísima, pero genera zonas de difícil acceso para la limpieza y mantenimiento preventivo del tanque.



Límite Exterior: Arquitectura de Camisas



**Camisa Plana
(Plain Jacket)**

Adecuada para vapor y capacidades pequeñas. Presión interna del tanque debe ser $>2x$ la presión de la camisa. Admite baffles espirales internos para turbulencia.



**Camisa de Hoyuelos
(Dimple Jacket)**

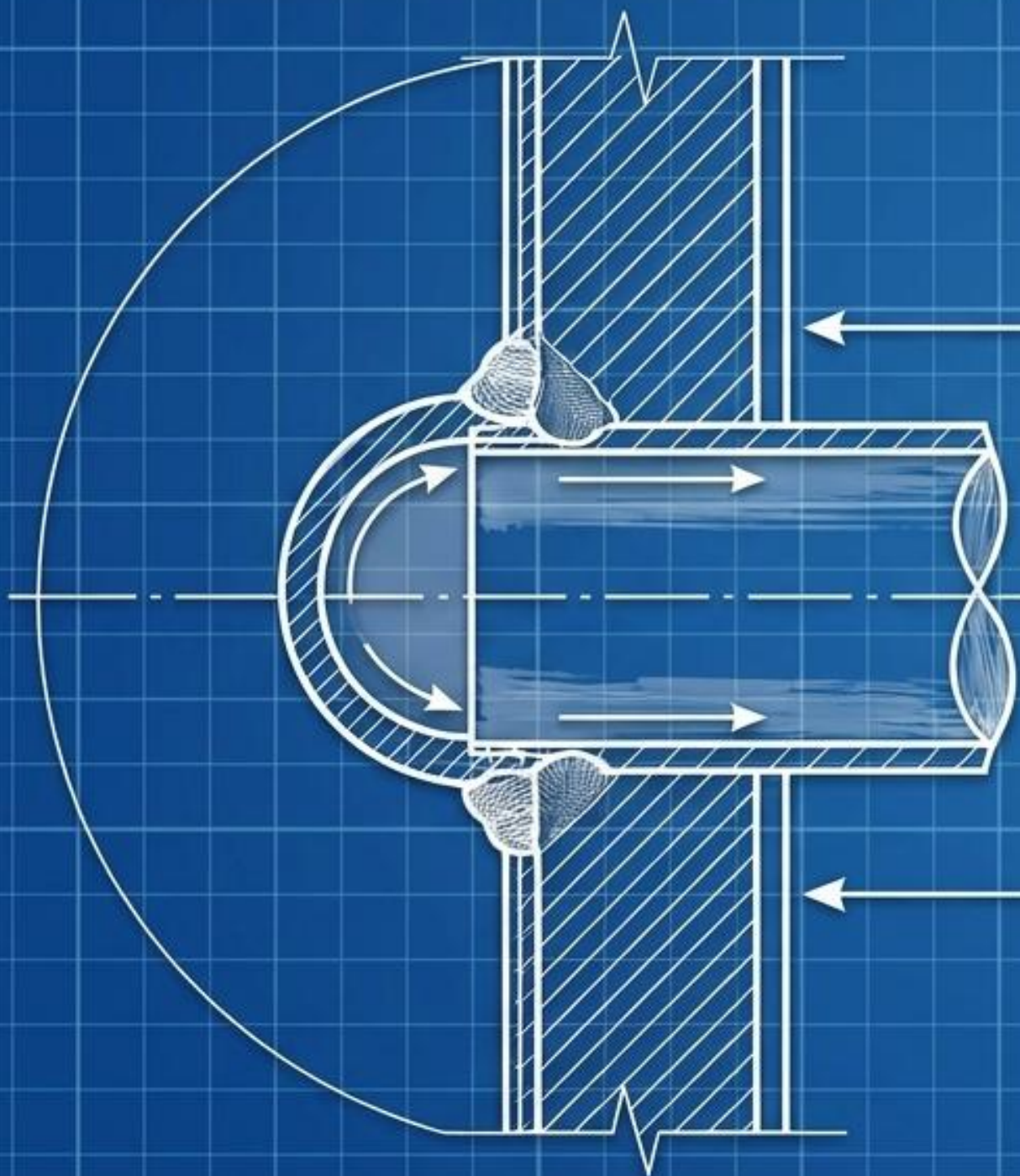
Fabricada con láminas delgadas. Induce alta turbulencia incluso a muy baja velocidad de flujo. Útil para vapor y aceite caliente a alta presión.



**Hemiserpentín
(Half-pipe Coil)**

Tubo seccionado y soldado directamente a la pared. Alta velocidad, altísima turbulencia. Zonificable para máxima flexibilidad operativa.

El Beneficio Estructural del Hemiserpentín



Doble Función

La soldadura de la bobina de medio tubo no solo crea un canal de fluido, sino que actúa como una "costilla" estructural para el tanque.

Reducción de Costos

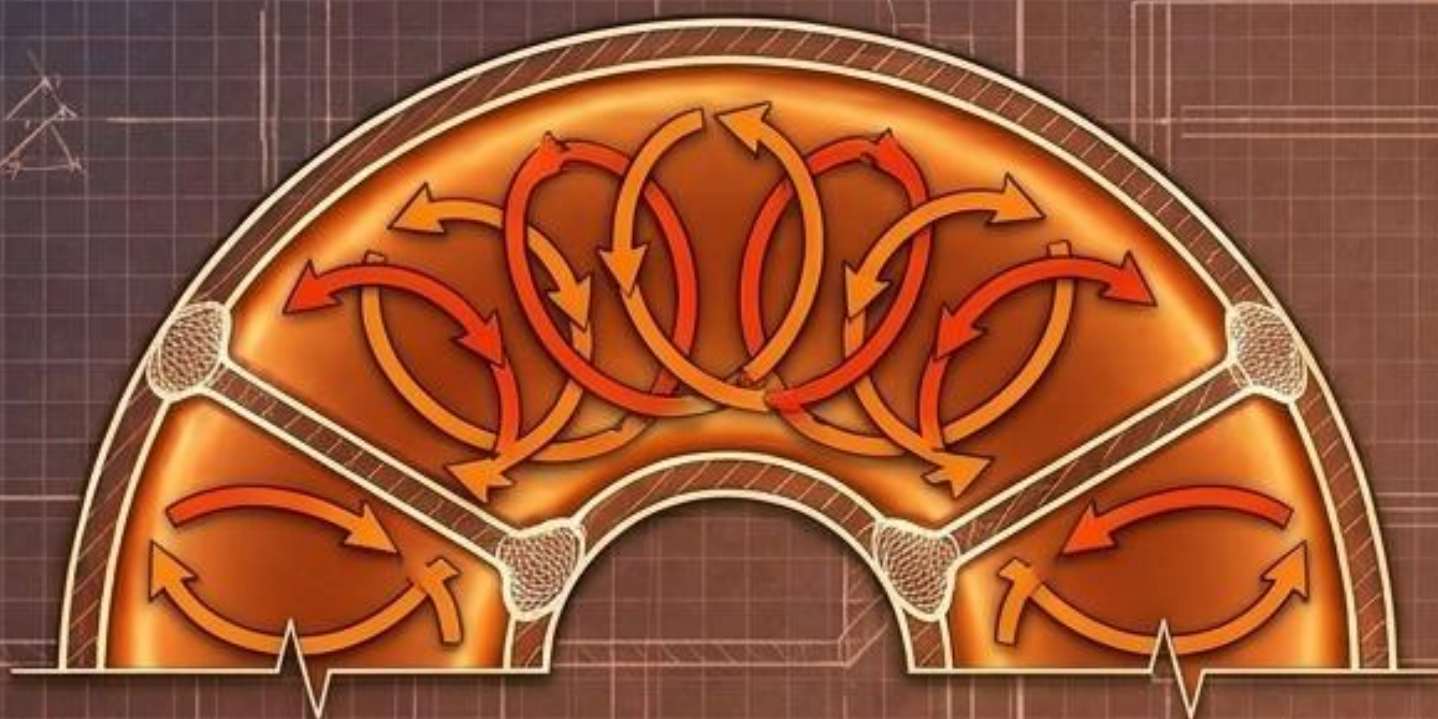
Al proporcionar rigidez estructural intrínseca, permite reducir significativamente el espesor requerido de la pared principal del recipiente.

Alta Temperatura

Esta rigidez añadida es una ventaja mecánica crítica para operaciones a alta temperatura y alta presión (aceros al carbono, inoxidable, Inconel).

Geometría del Hemiserpentín: 120° vs. 180°

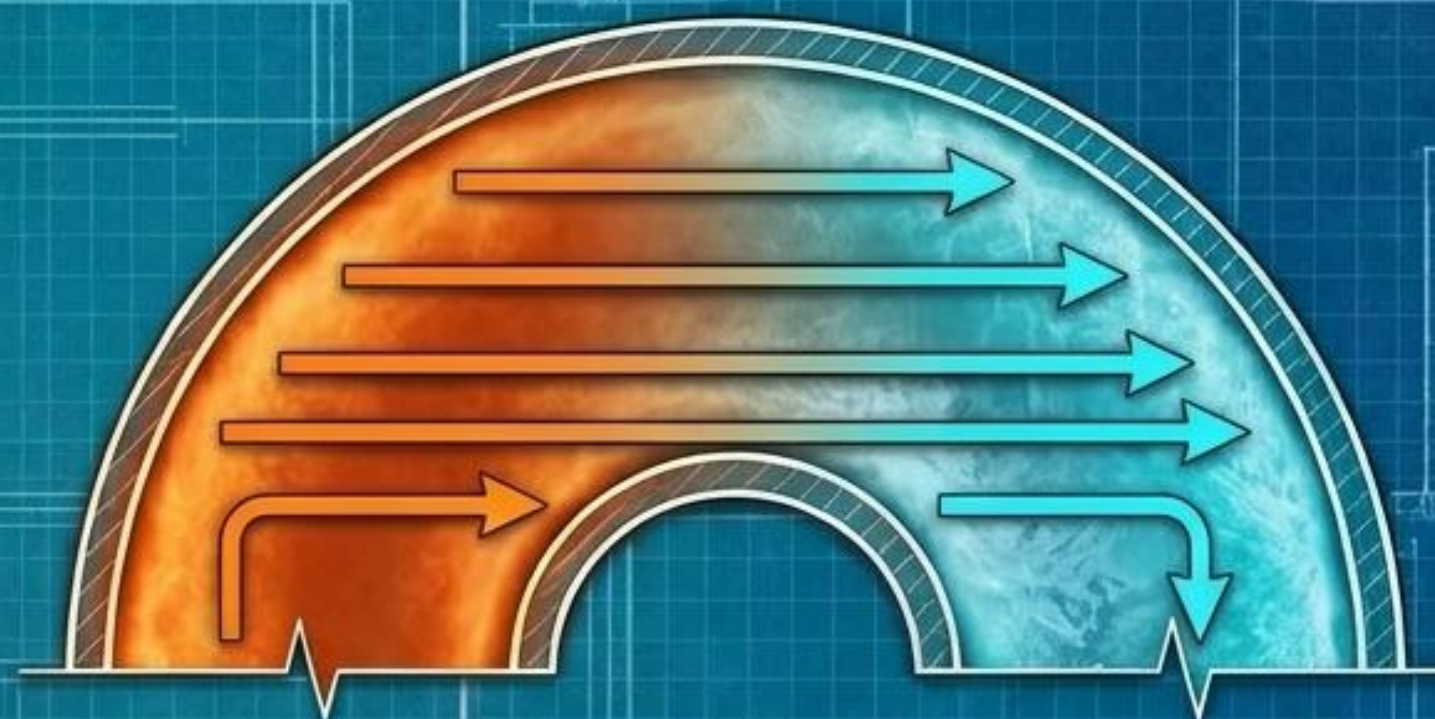
Geometría 120°



Pros: Mayor área de superficie de contacto por sección. Patrón de flujo cerrado que promueve una mezcla altamente homogénea. Sin puntos fríos.

Contras: Mayor pérdida de carga (caída de presión) debido a la fuerte interferencia del flujo.

Geometría 180°



Pros: Menor pérdida de carga por interferencia reducida; flujo fluido y más libre.

Contras: Flujo lineal menos turbulento, fuertemente propenso a la estratificación de temperaturas (zonas frías) sin agitación secundaria.

Criterios de Selección: Un Sistema Dinámico

Fase 1: Calentamiento



Se inyecta vapor en la camisa para alcanzar la temperatura. Viscosidad inicial baja -> Agitador tipo Turbina altamente eficiente.

Fase 2: Reacción Exotérmica



La reacción química genera calor propio. El fluido cambia de estado y su viscosidad aumenta drásticamente.

Fase 3: Control y Enfriamiento



La turbina falla por alta viscosidad. Se requiere refrigeración urgente (sistema dual) y un Agitador tipo Ancla para raspar la pared térmica.

La ingeniería térmica no es estática. El sistema de intercambio y el sistema de agitación deben co-diseñarse para el peor escenario de viscosidad del lote.

Matriz Maestra de Rendimiento Térmico

Diseño del Tanque	Calentamiento (W/m^2K)	Enfriamiento (W/m^2K)
Camisa Plana (Acero)	400-900	150-600
Camisa Plana (Vidriada)	200-700	100-350
Hemiserpentín (Limpet coil)	600-1100	200-700
Serpentín Interno	600-1500	250-800

El serpentín interno ofrece los coeficientes más altos de transferencia, pero el hemiserpentín (Limpet coil) proporciona el mejor balance empírico entre alto rendimiento ($>1100 W/m^2K$), integridad mecánica y viabilidad de mantenimiento.