

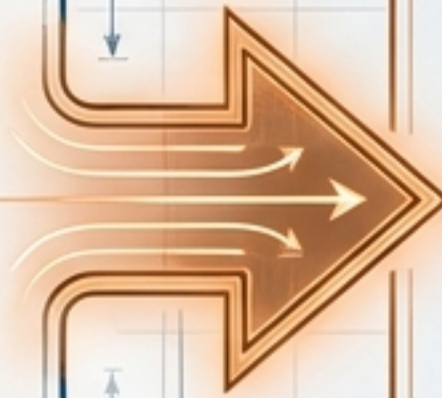
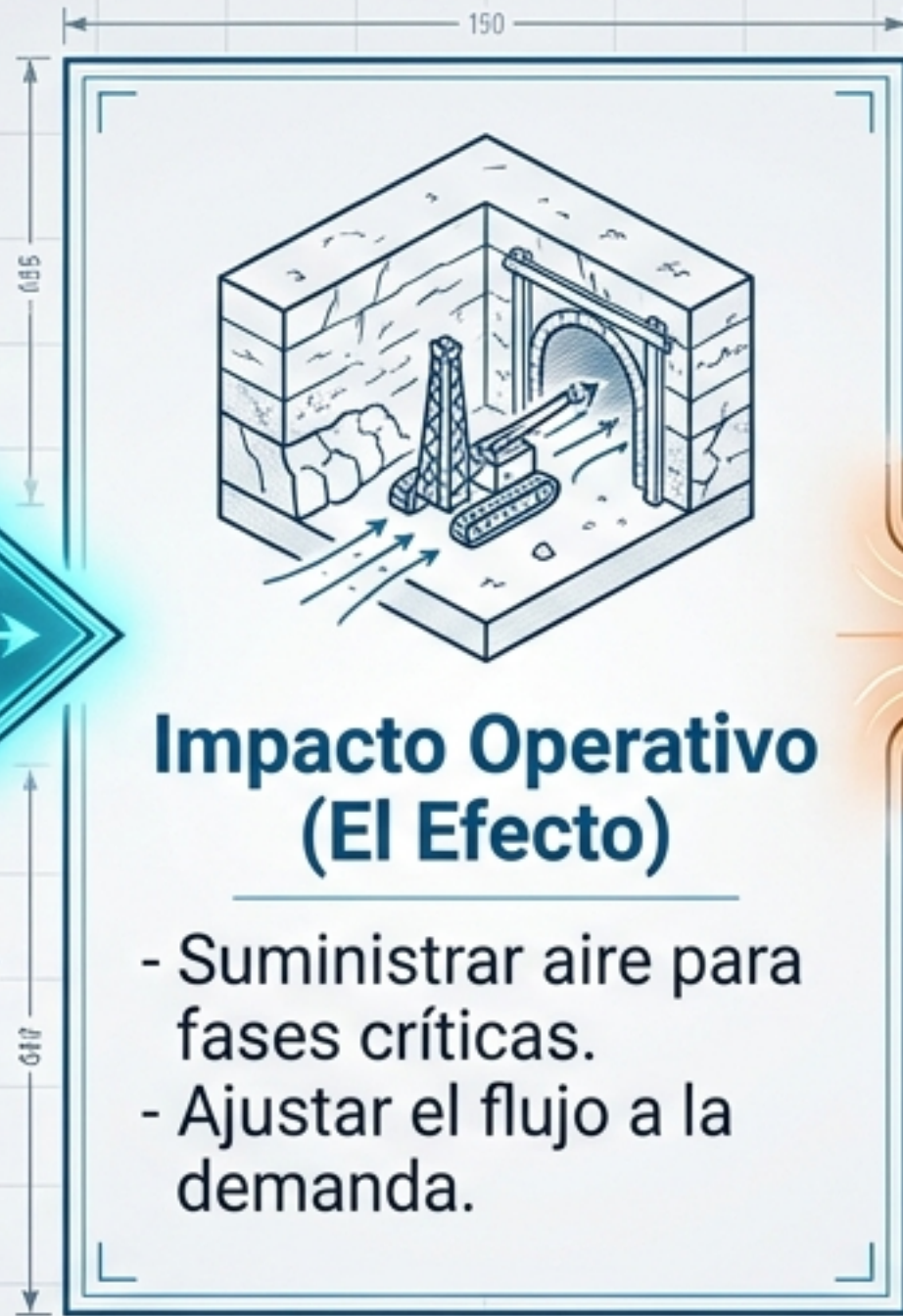
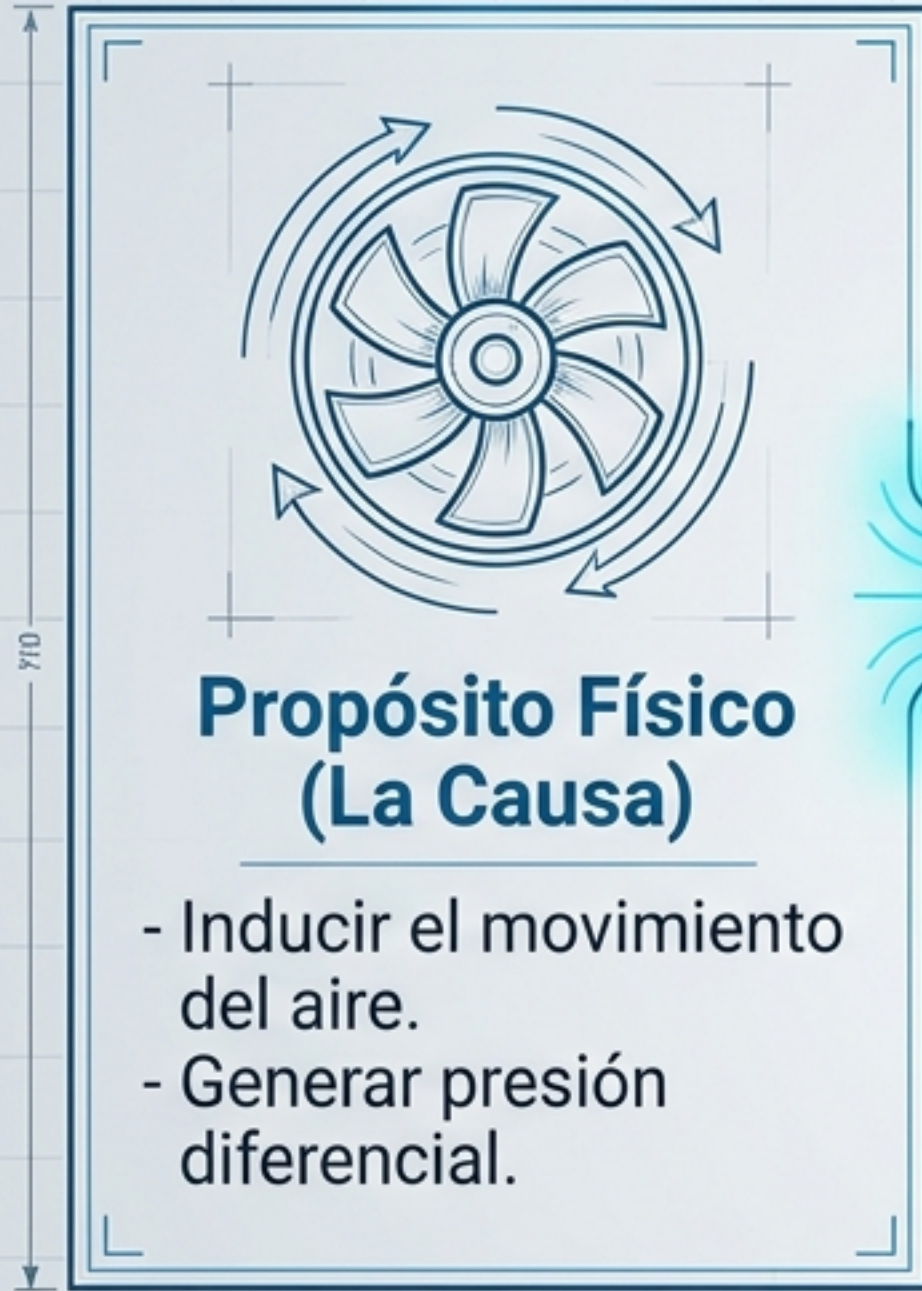
[Explainer Deck]

Ventiladores para Minería Subterránea

Diseño, Selección y Aplicaciones

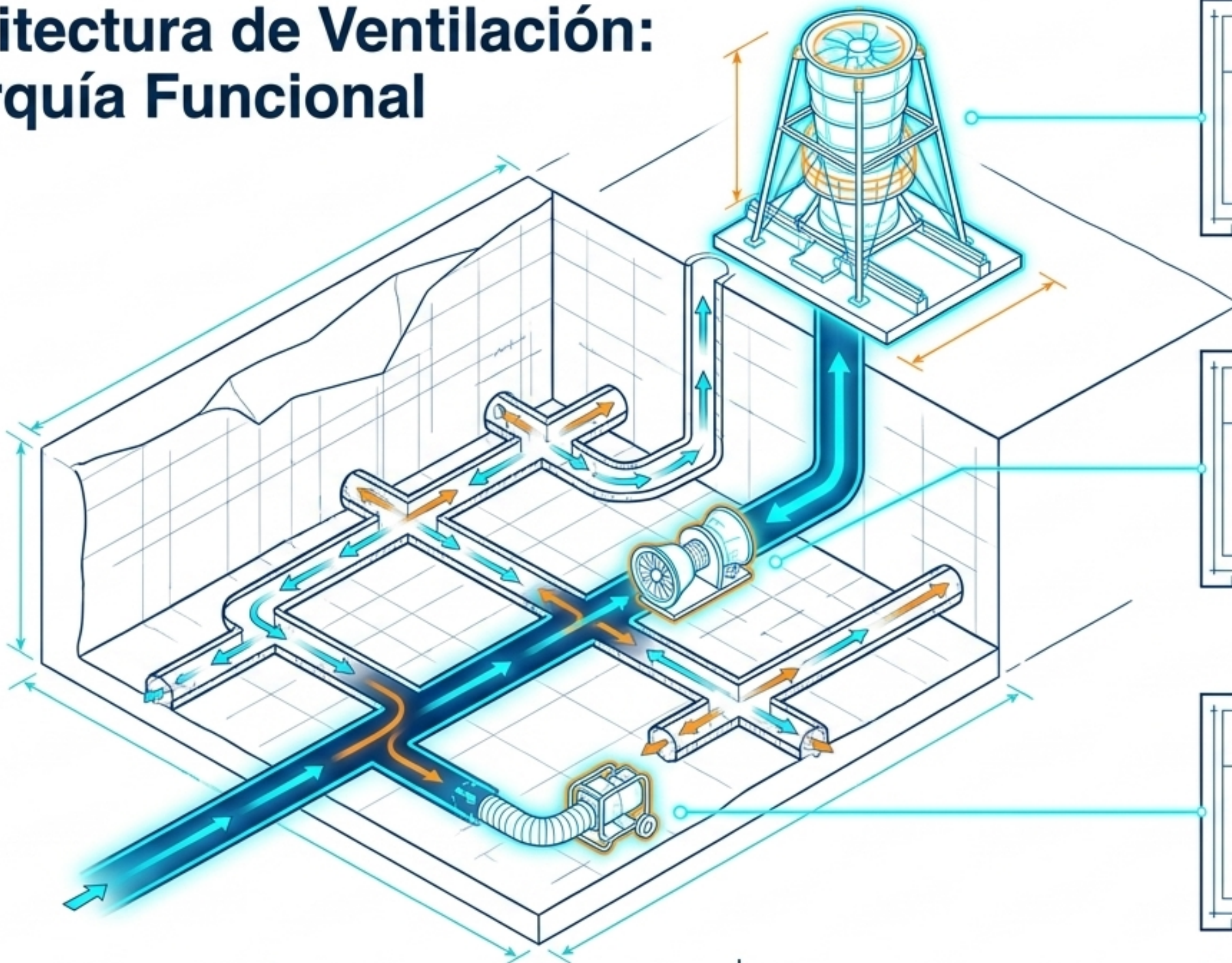
Juan Herrera Herbert | Mining Technology Lab
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)





UN VENTILADOR MAL DIMENSIONADO GENERA ZONAS MUERTAS, ACUMULACIÓN DE GASES Y DERROCHE ENERGÉTICO.

Arquitectura de Ventilación: Jerarquía Funcional



1. Principales

Superficie. Mueven el aire en todo el ecosistema de forma continua y masiva.

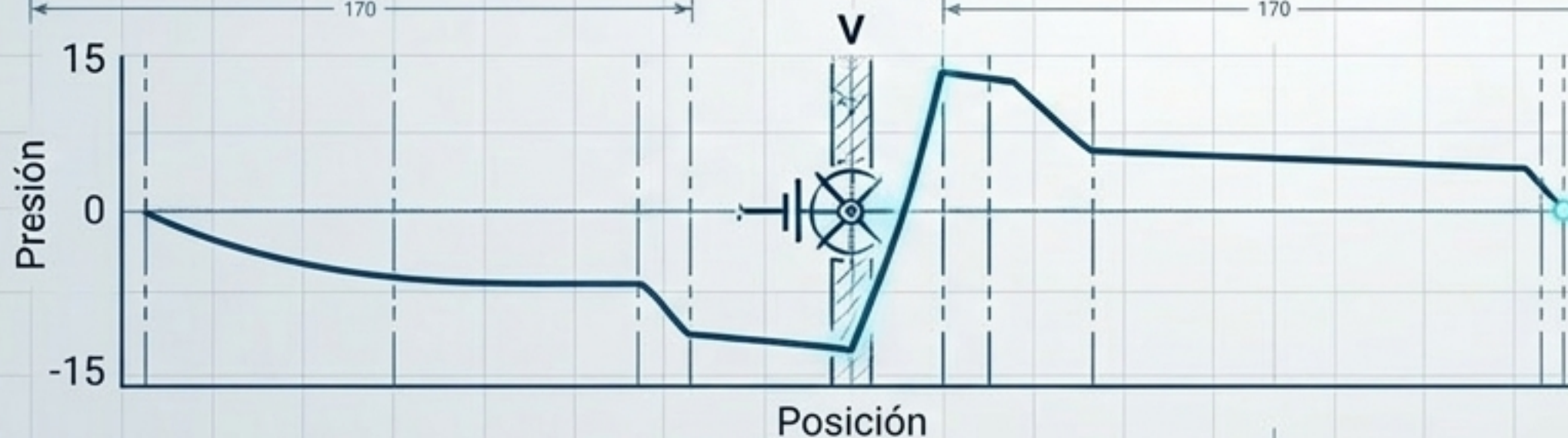
2. Secundarios (Boosters)

Galerías intermedias. Operan en serie con los principales; refuerzan el flujo.

3. Auxiliares

Frentes ciegos. Equipos compactos conectados a ductos flexibles.

La Física del Flujo: Transformación de Energía



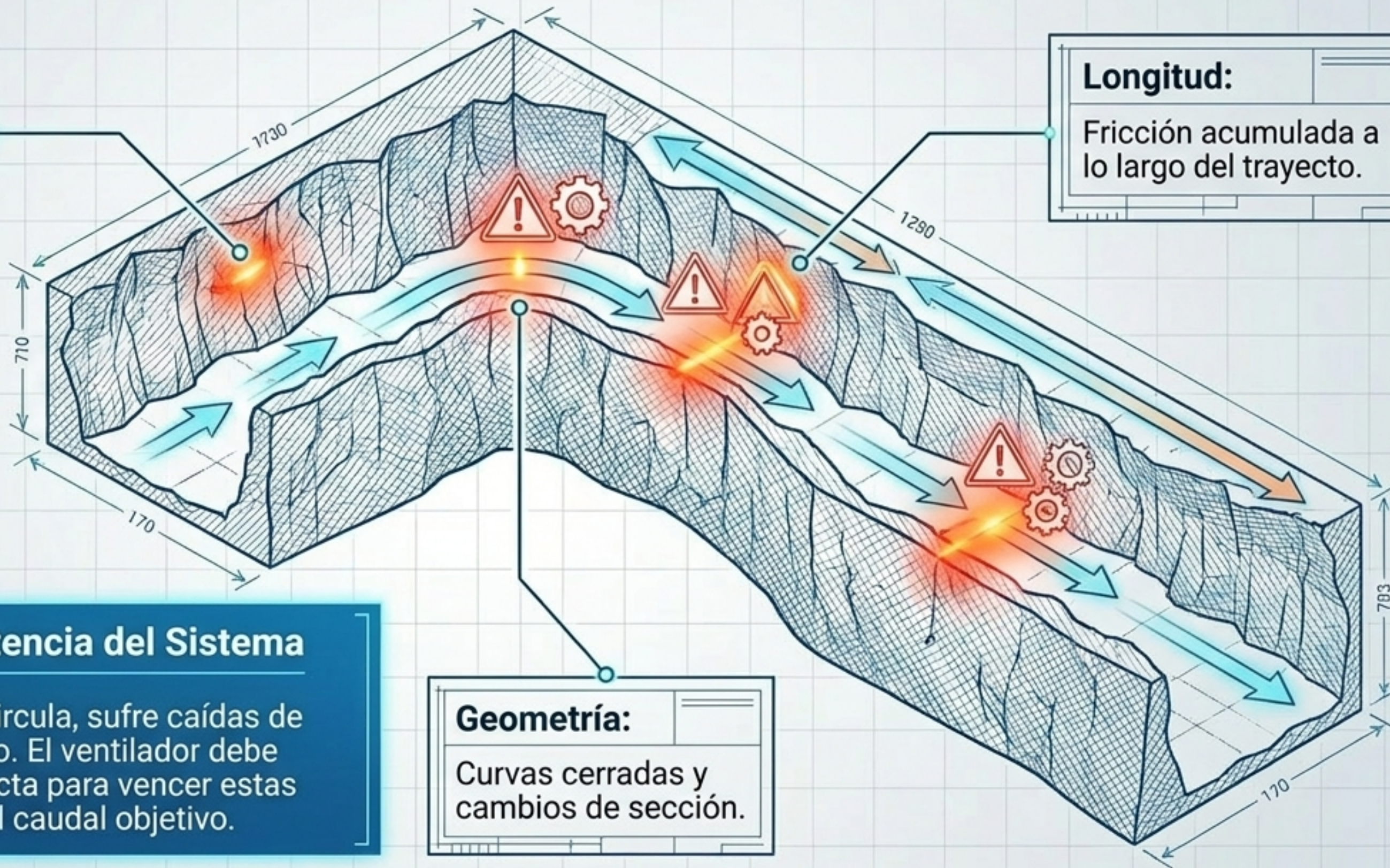
Insight

El aire responde a la dinámica de fluidos compresibles; el ventilador fuerza su movimiento desde zonas de mayor presión hacia zonas de menor presión.

El Desafío Aerodinámico: Resistencia y Rozamiento

Paredes:
Rugosidad de la roca excavada.

Longitud:
Fricción acumulada a lo largo del trayecto.



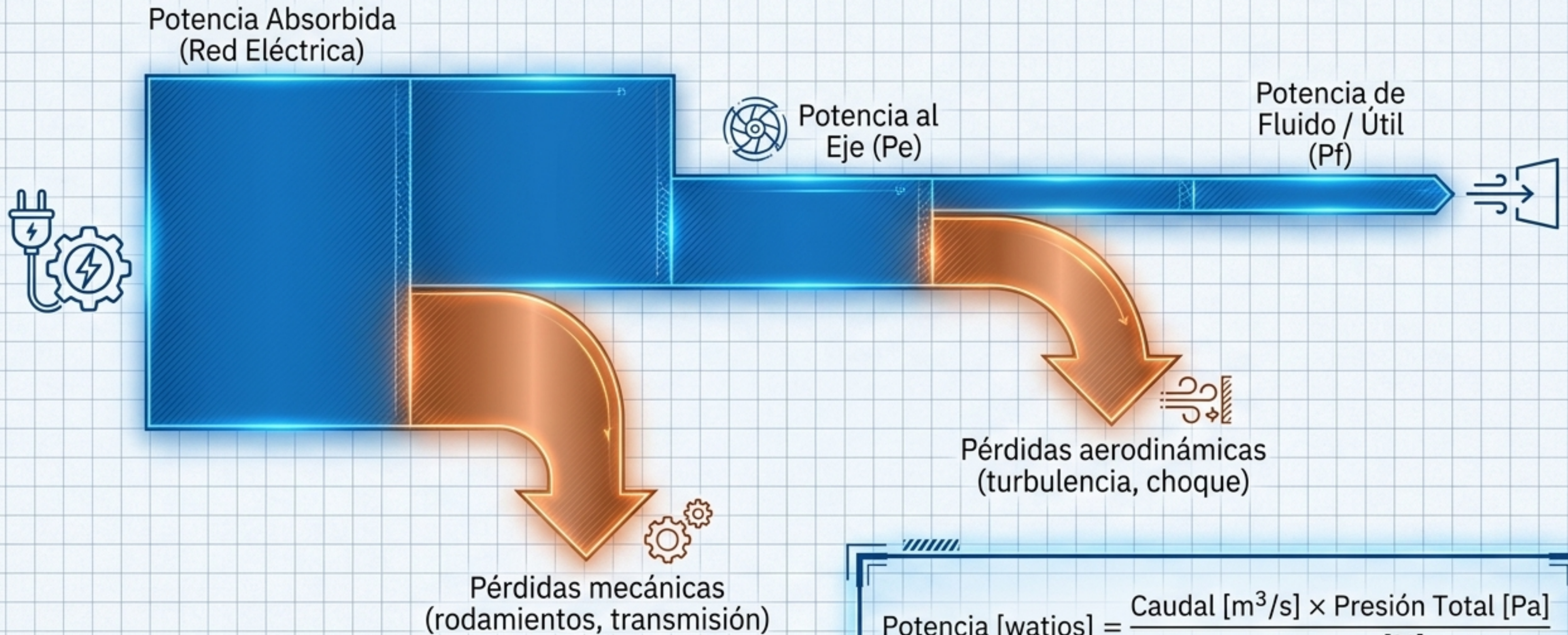
CONCEPT

La Curva de Resistencia del Sistema

A medida que el aire circula, sufre caídas de presión por rozamiento. El ventilador debe generar la energía exacta para vencer estas pérdidas y mantener el caudal objetivo.

Geometría:
Curvas cerradas y cambios de sección.

Cascada de Potencia (Flujo de Energía)



$$\text{Potencia [vatios]} = \frac{\text{Caudal [m}^3\text{/s]} \times \text{Presión Total [Pa]}}{\eta_{\text{ventilador}} [\%]}$$

Matriz de Rendimientos (η)



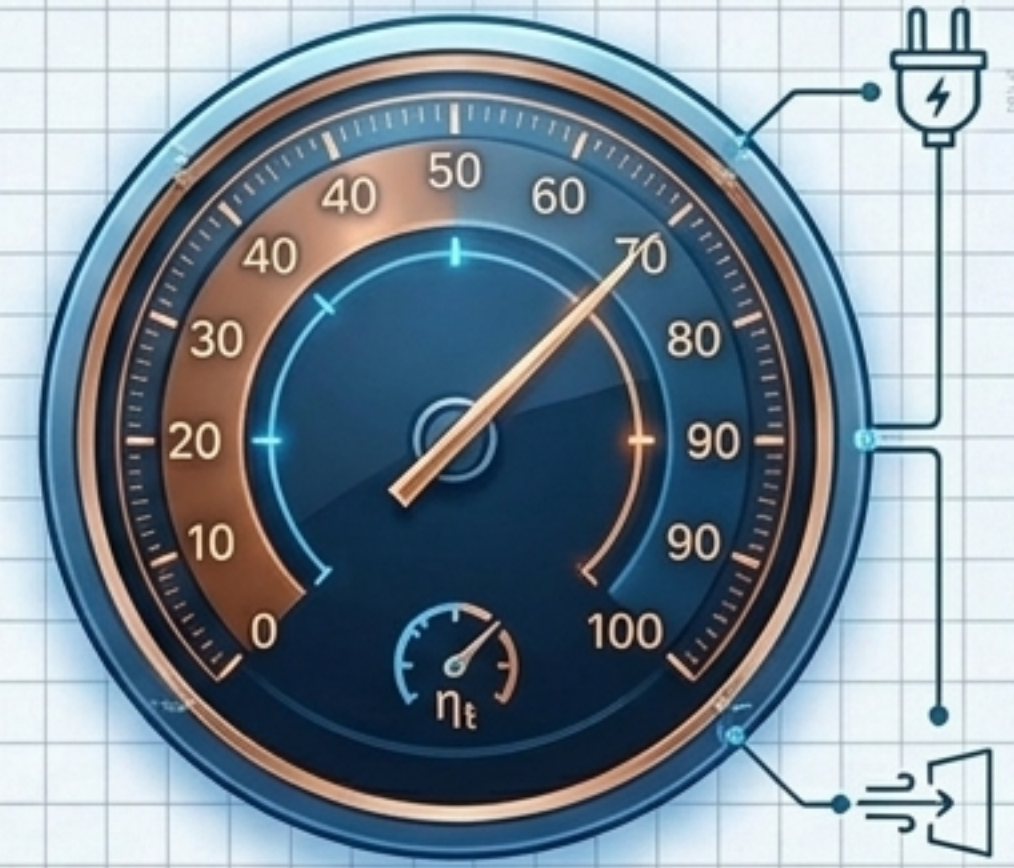
Rendimiento Mecánico (η_m)

Relación entre la potencia al eje y la energía absorbida por el motor. Evalúa la eficiencia física.



Rendimiento Manométrico (η_{man})

Mide la eficiencia con la que el diseño aerodinámico genera presión útil.



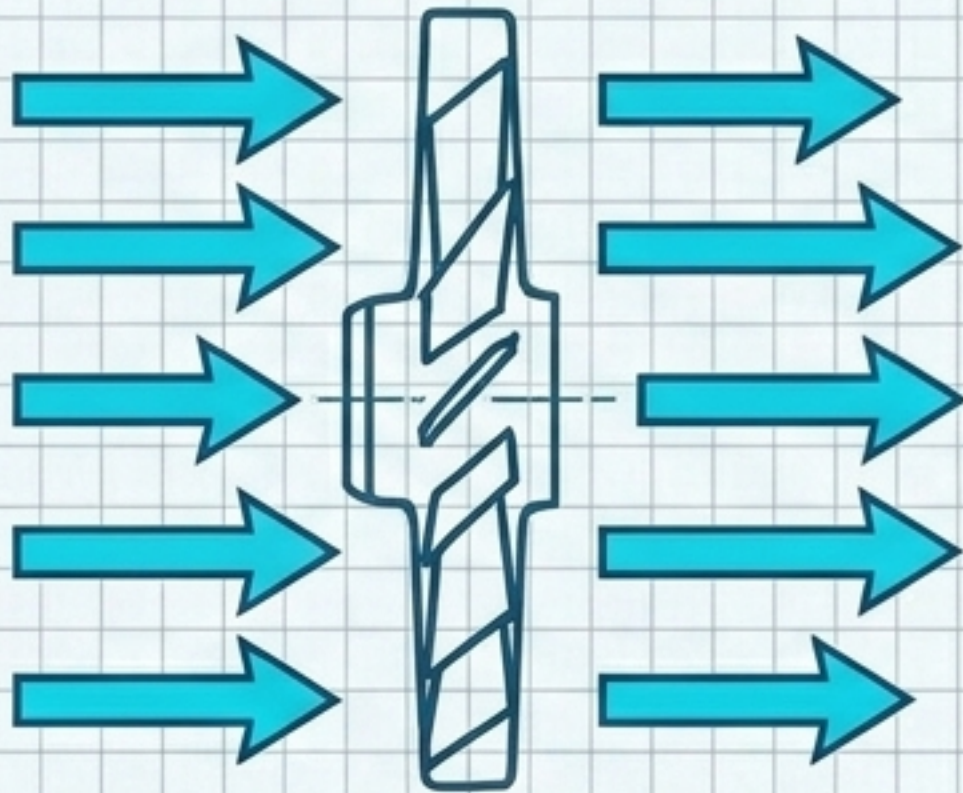
Rendimiento Total (η_t)

Relación neta entre la potencia útil y la potencia eléctrica total.

Rendimiento Global = El producto de todos los rendimientos parciales. Optimizar un componente aislado no garantiza la eficiencia del sistema.

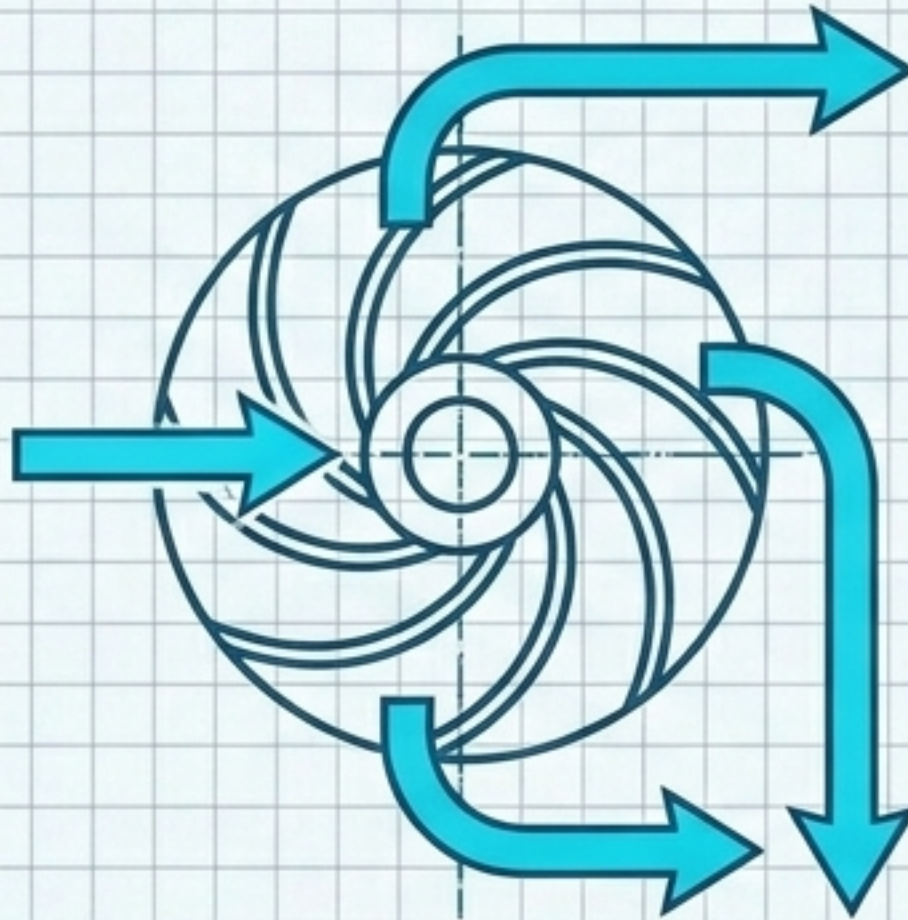
El Paradigma del Flujo: Clasificación Aerodinámica

Flujo Axial



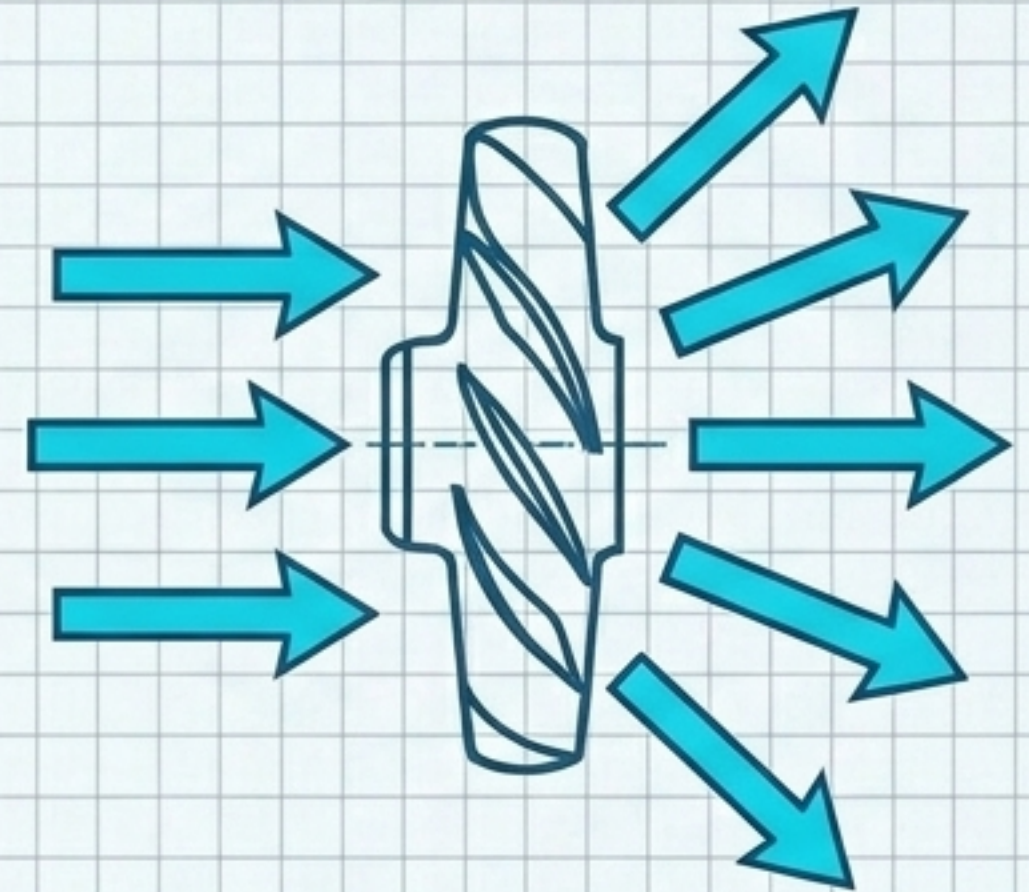
El aire entra y sale en línea recta, paralelo al eje.
Diseñado para mover grandes caudales con presión moderada.

Flujo Radial (Centrífugo)



El rotor acelera el aire y lo expulsa a 90° . Óptimo para vencer altas resistencias del circuito.

Flujo Mixto



Trayectoria cónica o diagonal. Equilibrio versátil entre caudal volumétrico y presión.

Taxonomía Multidimensional del Ventilador



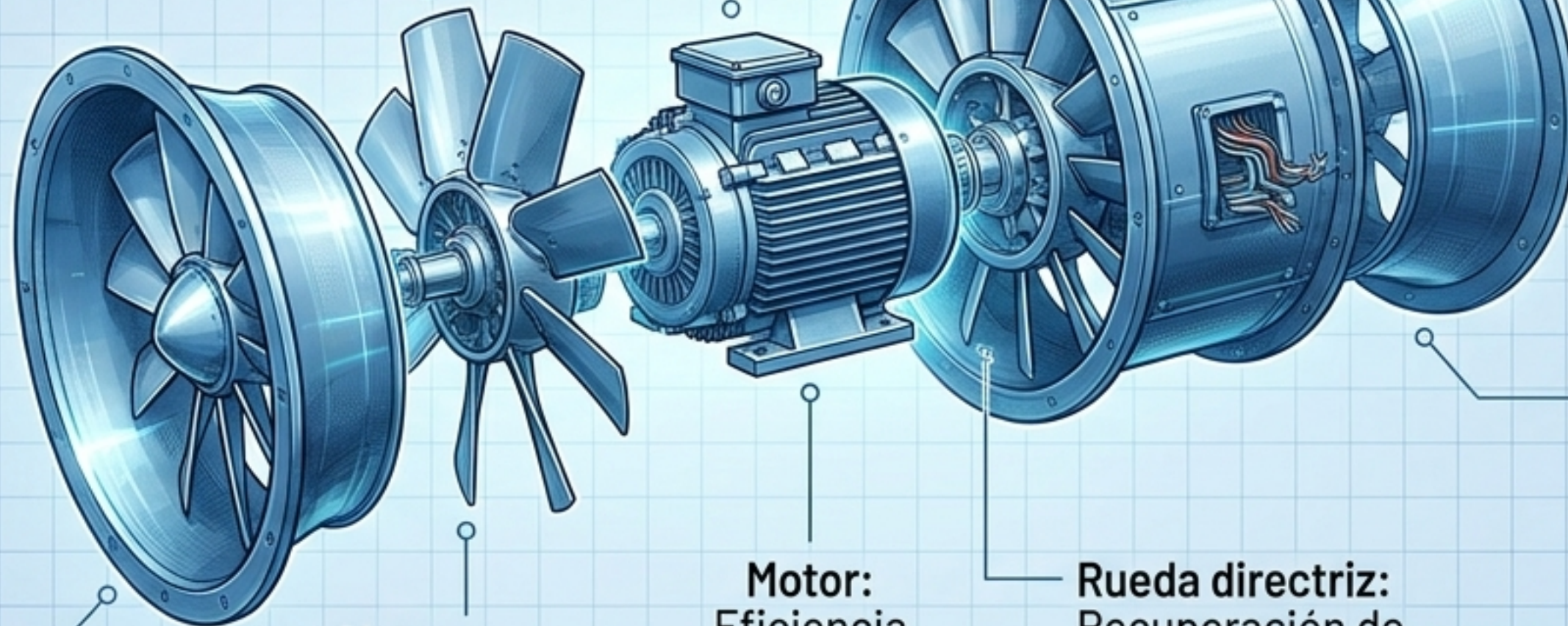
Dimensión de Clasificación	Opciones de Ingeniería
Orientación Constructiva	<input type="radio"/> Horizontal (Estándar) <input checked="" type="radio"/> Vertical (Reduce pérdidas)
Accionamiento	<input type="radio"/> Directo (Motor en eje) <input type="radio"/> Cardan (Atmósferas extremas) <input checked="" type="radio"/> Correas (En desuso)
Escalones de Presión	<input type="radio"/> Único (Estándar) <input checked="" type="radio"/> Doble Escalón (>5000 Pa)
Función Operativa	<input type="radio"/> Extracción (Sucio/Blindado) <input checked="" type="radio"/> Impulsión (Limpio)
Movilidad	<input type="radio"/> Fijo (Permanente) <input checked="" type="radio"/> Portátil (Auxiliar)

Radiografía Técnica: El Ventilador Axial

Campana aerodinámica:
Perfil elíptico para succión,
mejora eficiencia.

Motor:
Eficiencia
premium.

Carcasa: Placa de
acero reforzado
de alta durabilidad.



Cono difusor:
Recuperación de
energía estática a
la salida.

**Campana
aerodinámica:**
Perfil elíptico para
succión eficiencia.

Aletas:
Aleación de
aluminio con
tratamiento térmico.

Motor:
Eficiencia
premium.

Rueda directriz:
Recuperación de
presión estática.

Radiografía Técnica: El Ventilador Centrífugo

1

1. **Succión:**

El aire entra axialmente por el ojo del rodete.

2

2. **Aceleración:**

La fuerza centrífuga arroja el aire radialmente.

3

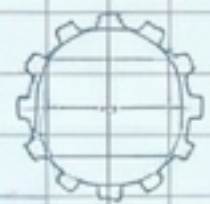
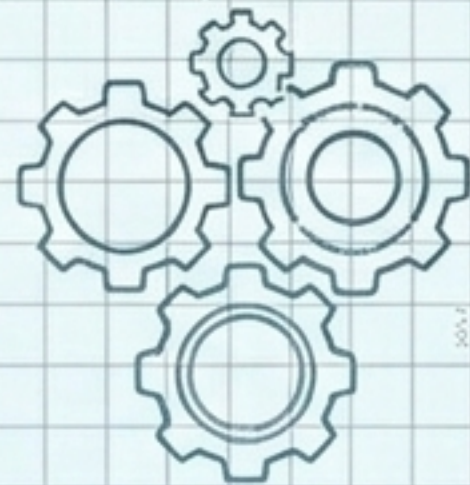
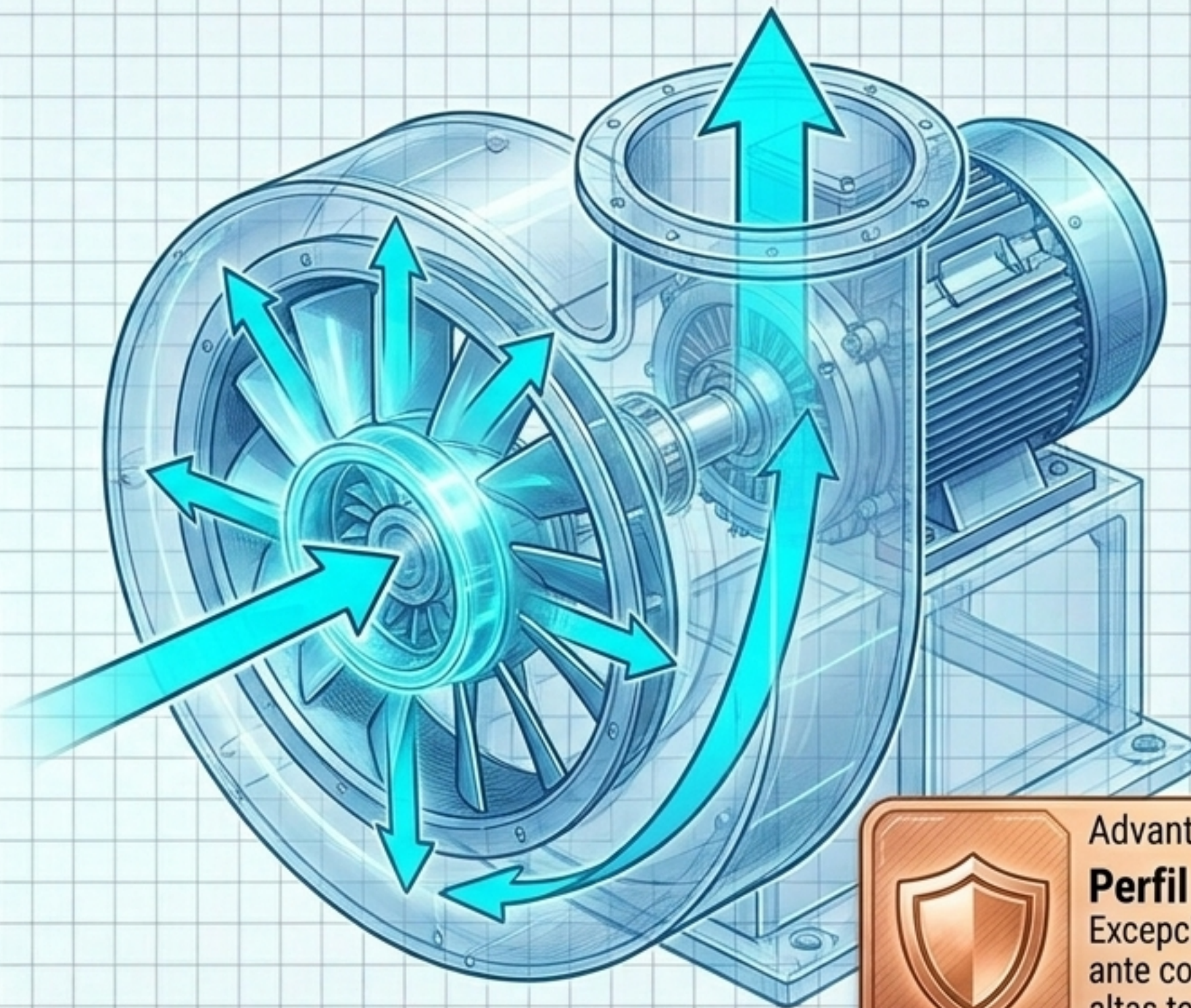
3. **Conversión:**

La carcasa espiral transforma velocidad en alta presión.

4

4. **Descarga:**

Expulsión en ángulo recto (90°) respecto al eje.

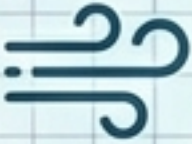
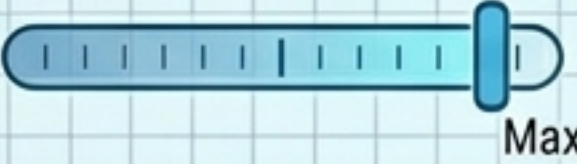
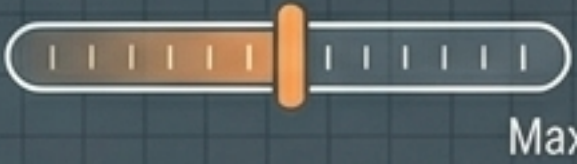


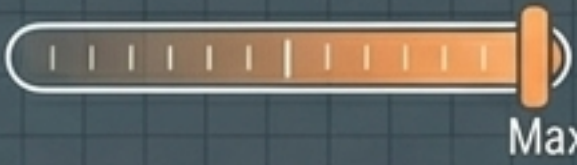








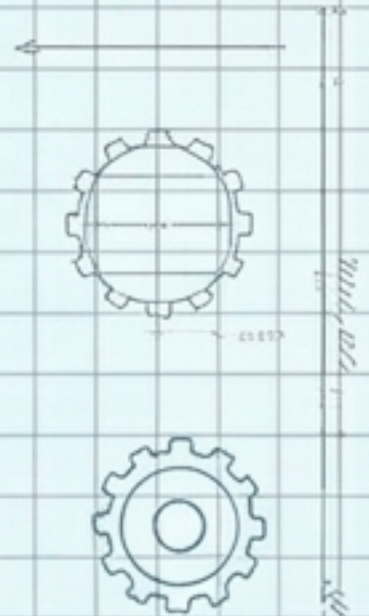
Advantage Card

Perfil de Alta Dureza
Excepcionalmente robusto ante contaminantes, polvo y altas temperaturas.
Vence resistencias extremas.

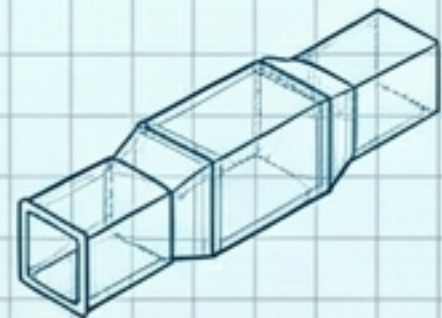
Matriz de Selección: Axial vs. Centrífugo



	Axial	Centrífugo
 Caudal Volumétrico	 Excelente (Gana)	 Moderado
 Generación de Presión	 Limitada	 Alta (Gana)
 Volumen Físico	Compacto y lineal 	Voluminoso, requiere obra civil 
 Resistencia a Contaminantes	Sensible al desgaste de aspas 	 Altamente robusto



Aplicación Típica:
Flujos principales/secundarios en circuitos abiertos.

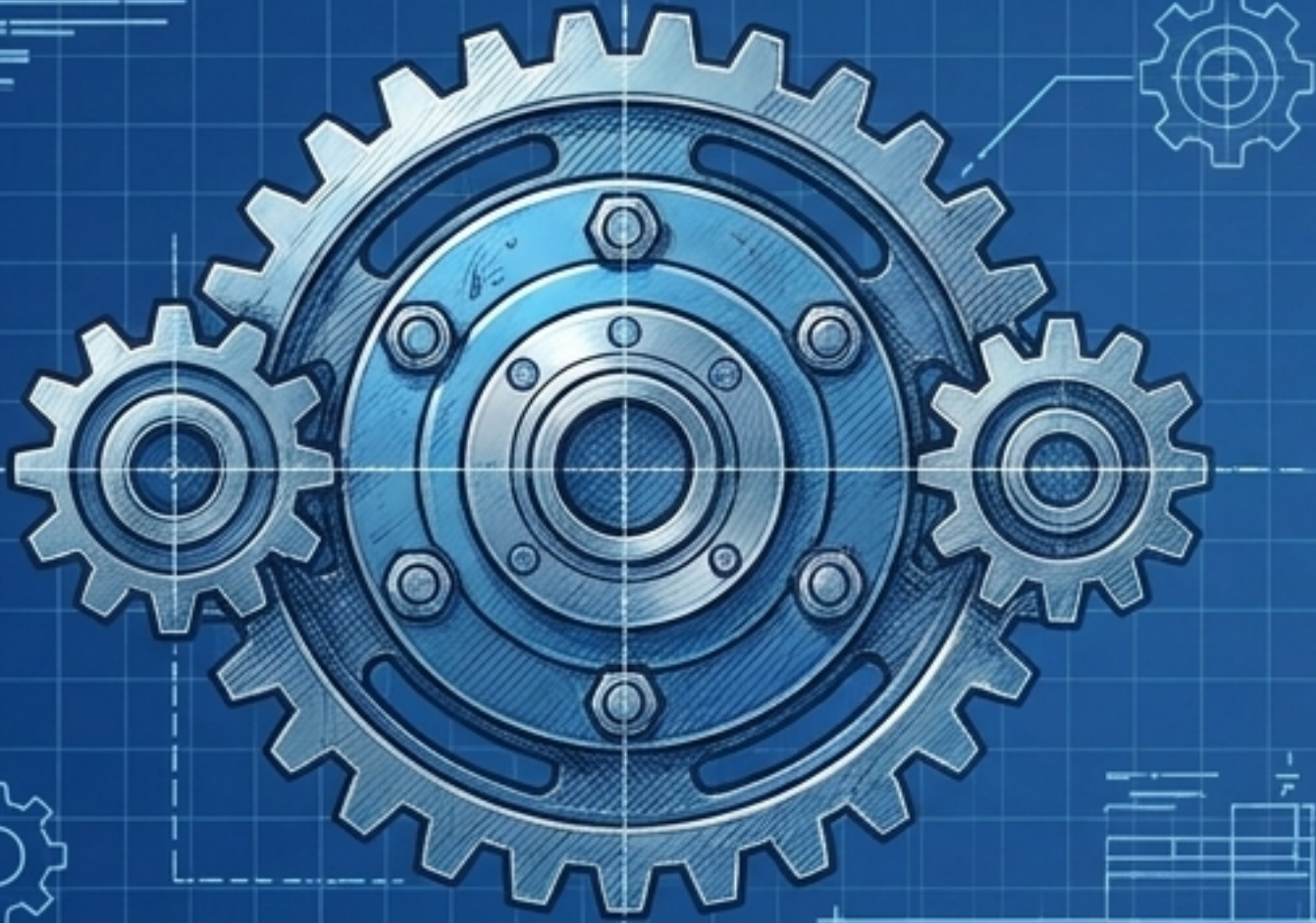


Aplicación Típica:
Redes profundas con extremas pérdidas de carga.



Estrategias de Operación y Regulación

Régimen Fijo (Tradicional)



- Opera a velocidad constante.
- Arquitectura simple y menor costo inicial.
- Altamente ineficiente frente a fluctuaciones; requiere regulación mecánica complicada.

Velocidad Variable / VSD (Moderno)



- Integración de variadores de frecuencia (VSD).
- Ajusta las RPM a la demanda exacta en tiempo real.
- Maximiza el ahorro energético y otorga control granular.

El Ecosistema Optimizado



Selección Tipológica Correcta
(Axial o Centrífugo)

+



Dimensionamiento Preciso
(Equilibrio con la curva de sistema)

+



Regulación Inteligente
(Accionamientos variables)

=



Seguridad Operativa y Eficiencia Máxima