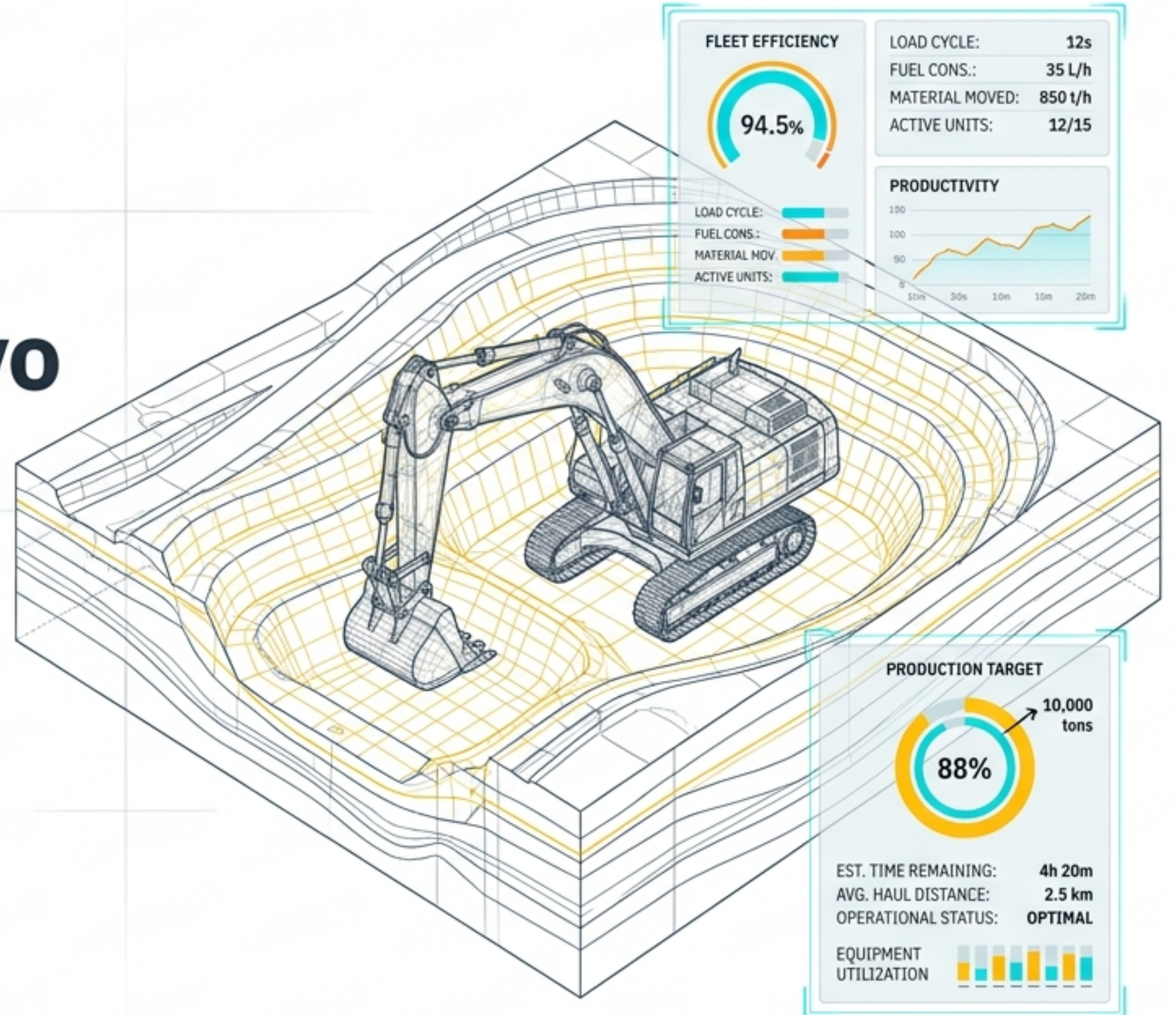
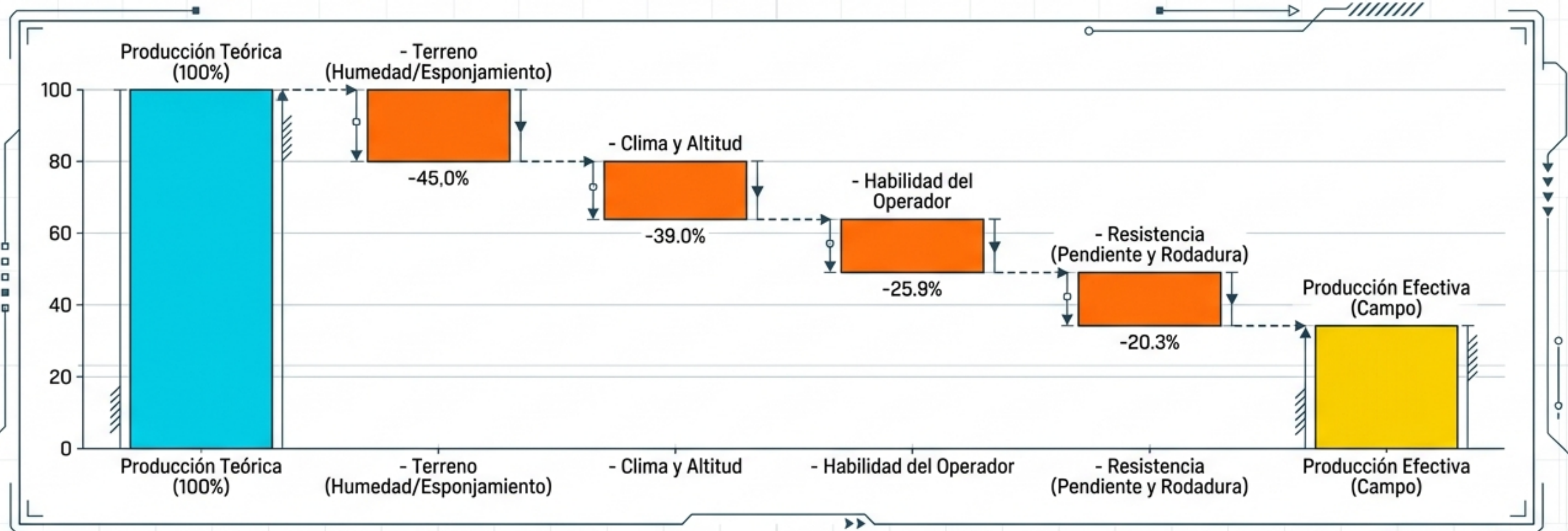


De la Teoría a la Realidad: Optimización y Rendimiento Efectivo en Maquinaria de Movimiento de Tierras

Estrategias operativas, cálculo de producción y control digital para flotas de alto rendimiento.



El Paradigma de la Producción: La Brecha Crítica



El Mito Teórico



Los manuales asumen 100% de eficiencia, material perfectamente fragmentado y condiciones planas.

La Realidad de Campo



Ecuación de la ONU:
 $\text{Producción} = \text{Operación} + \text{Mantenimiento}$

El Objetivo

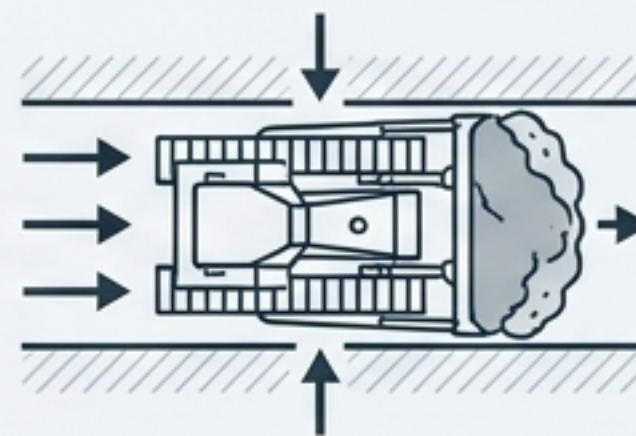


Calcular con precisión los factores de corrección [E] para proyectar el rendimiento real [Q].

Tractores Topadores: Límites Económicos y Física del Suelo



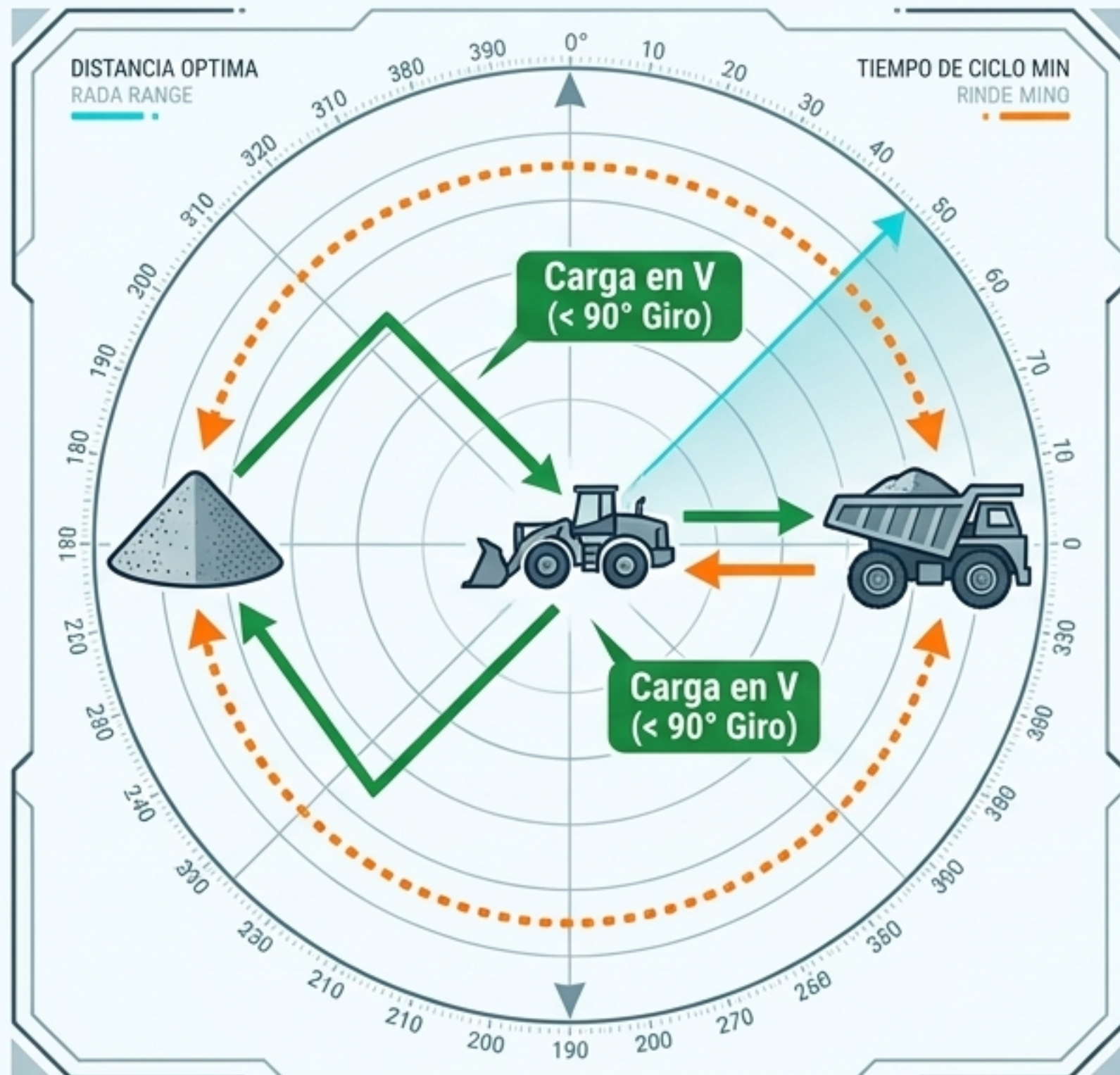
Granulometría y Humedad:
Determinan el nivel de dificultad y la pérdida directa de material (Factor de Hoja).



Técnica Operativa: Uso de acarreo en zanja (Slot Dozing) para maximizar la retención frente a derrames laterales.

Cargadores Frontales: Geometría de Carga y Regla de Seguridad SAE

Eficiencia de Trayectoria



Restricción Innegociable (Norma SAE)



SAE J1234

Límite en Neumáticos:
Máximo 50% de la carga
límite de equilibrio estático.

NORMA ISO 14396



50%



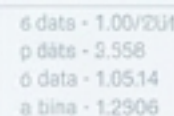
NORMA ISO 14396

Límite en Orugas:
Máximo 35% de la carga
límite de equilibrio estático.

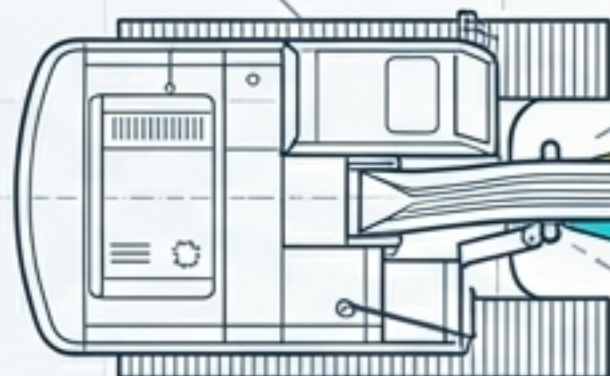
SAE J1234



35%



Ángulo de Giro Óptimo:
15° a cada lado del centro.



Velocidad de oselta
experrizimia

Velocidad
excrutona limit

 $\pm 15^\circ$ $\pm 15^\circ$

a.0003 - 508.04
 a.0006 - 1.595
 a.0045 - 18.676



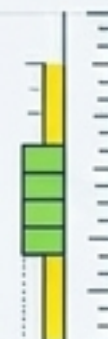
a data = 5.80V/m
p data = 0.0%
a rms = 1.9000



α_{glirs} = 205,01
α_{o0x} = 1,690
α₇₉₈ = 13,215

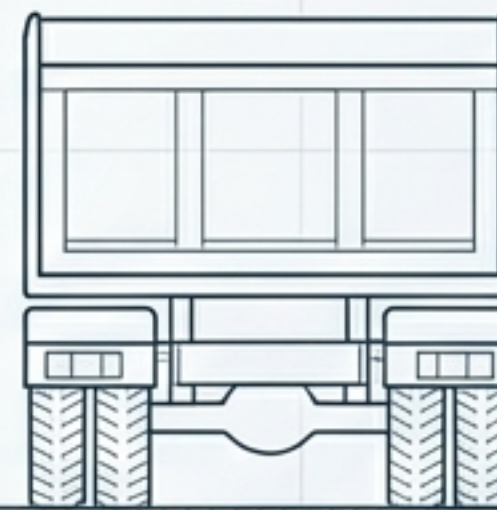


```
a data - 4.06.901
a data - 5.856
e data - 1.05.14
a inita - 1.2536
```



Posicionamiento:
Pared de caja bajo el
pasador de pluma.

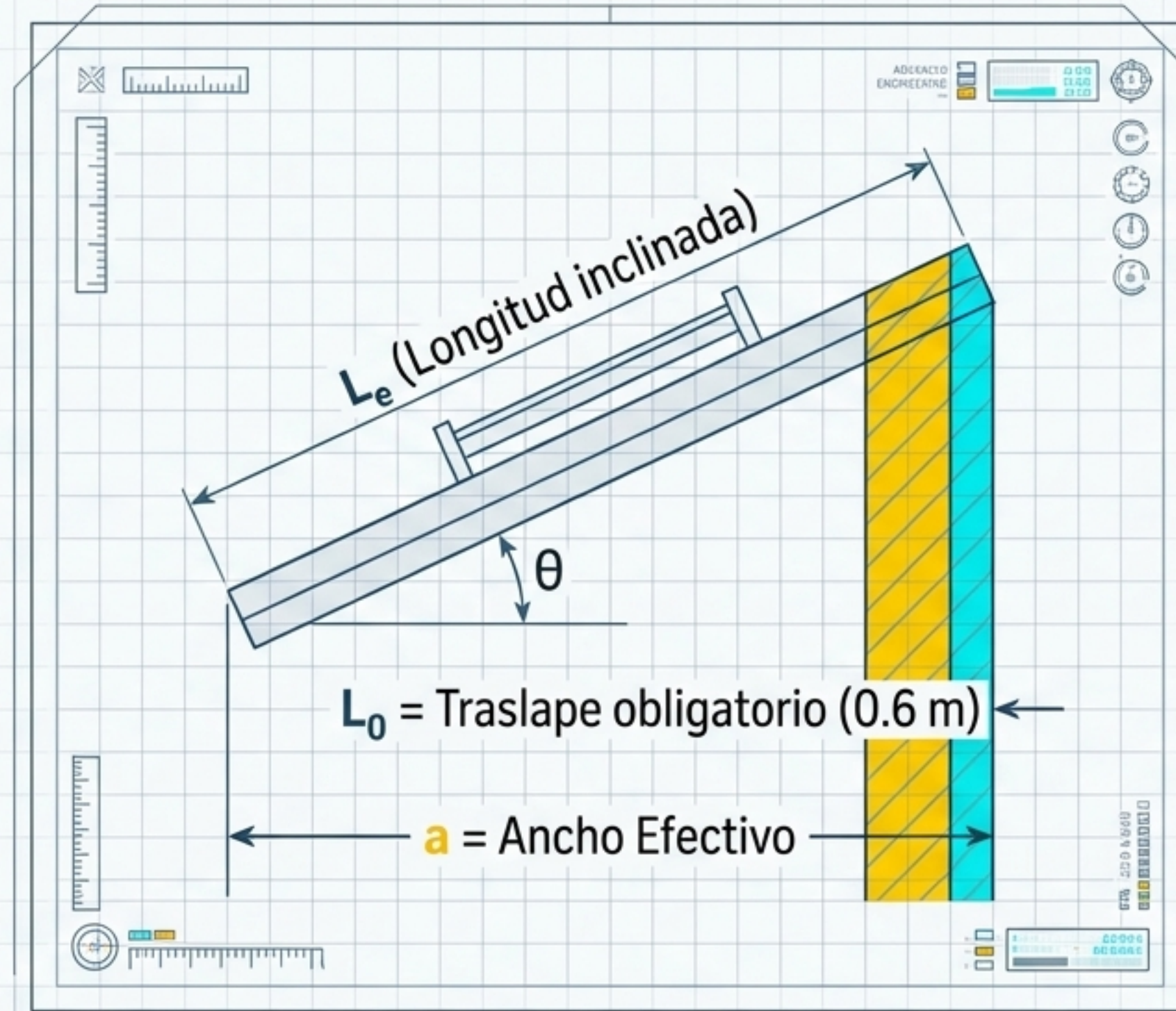
Cinemática: Iniciar elevación al 75% del plegado del cucharón.



Motoniveladoras: Trigonometría del Ancho Efectivo

El ancho de trabajo real (**a**) siempre es menor a la longitud física de la hoja debido al ángulo de operación.

Ecuación: $a = L_e - L_0$

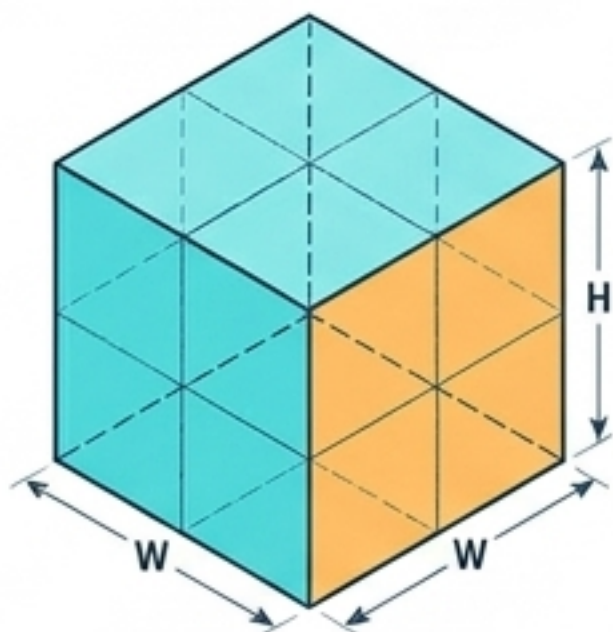


Regla del Traslape (**0.6m**): Estrictamente necesario para mantener los neumáticos fuera de los camellones de retorno.

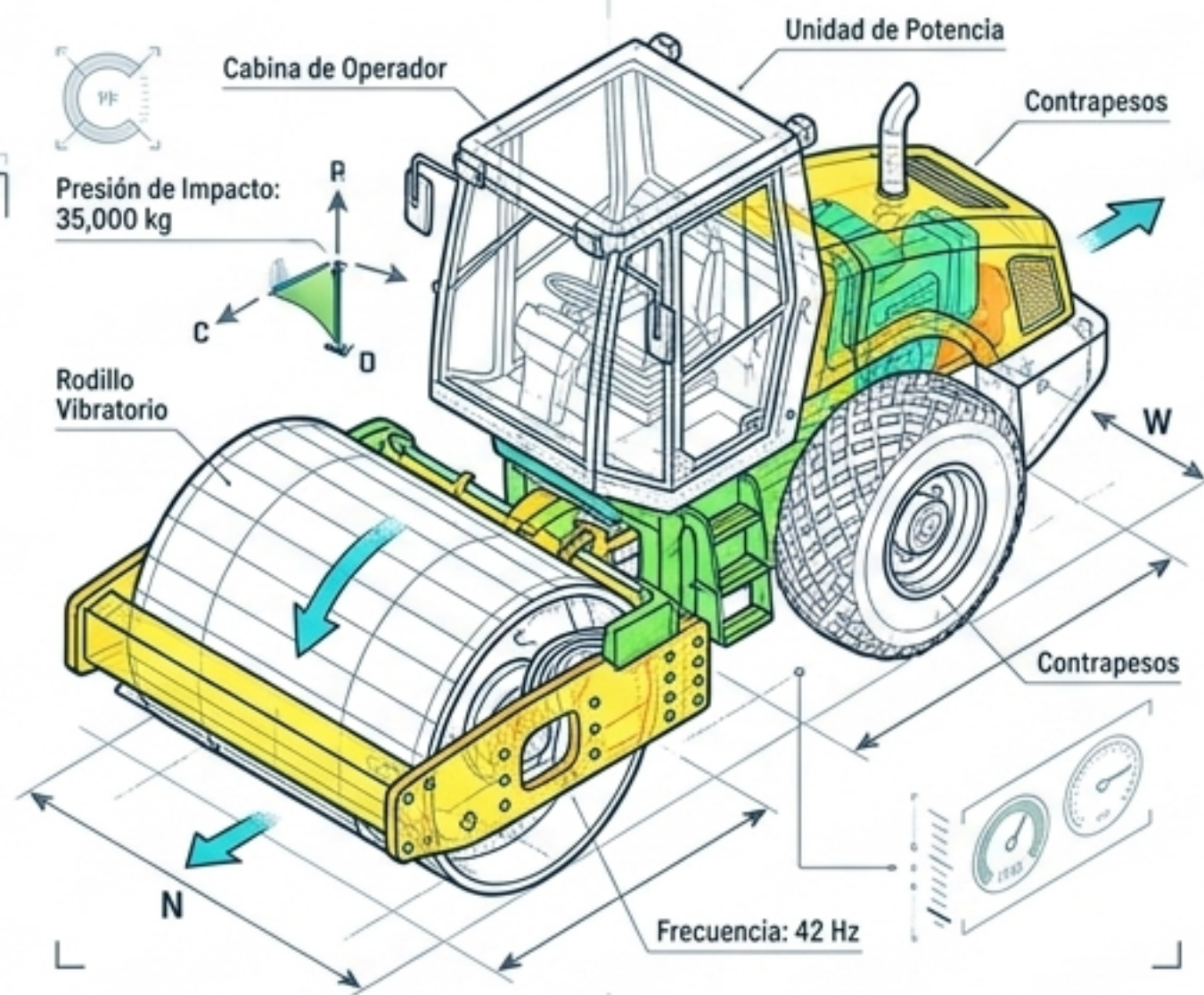
Cálculo de Pasadas: $N = f \times n$ (Área dicta franjas, franjas dictan pasadas).

Compactadoras: Métricas de Volumen vs. Área

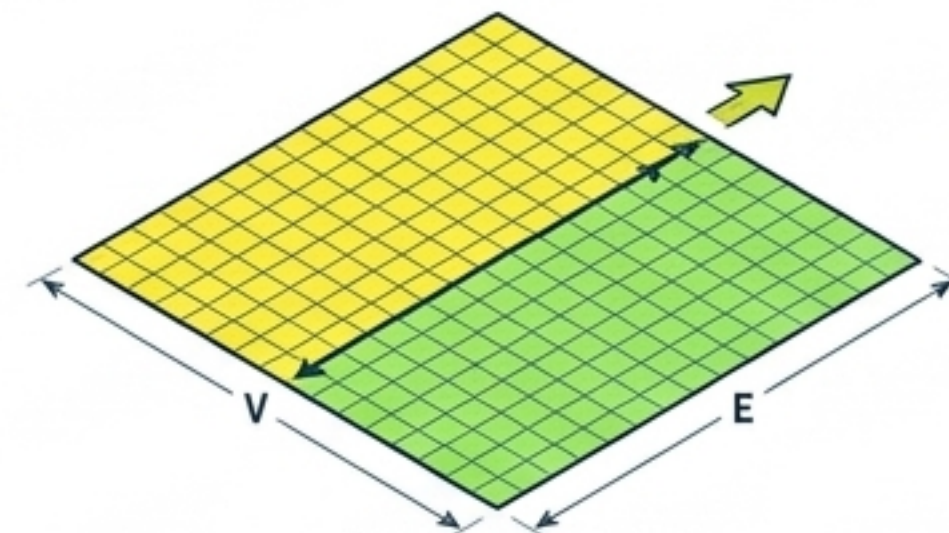
Producción por Volumen [m³/h]



$$Q = \frac{V \times W \times H \times E}{N}$$



Producción por Área [m²/h]

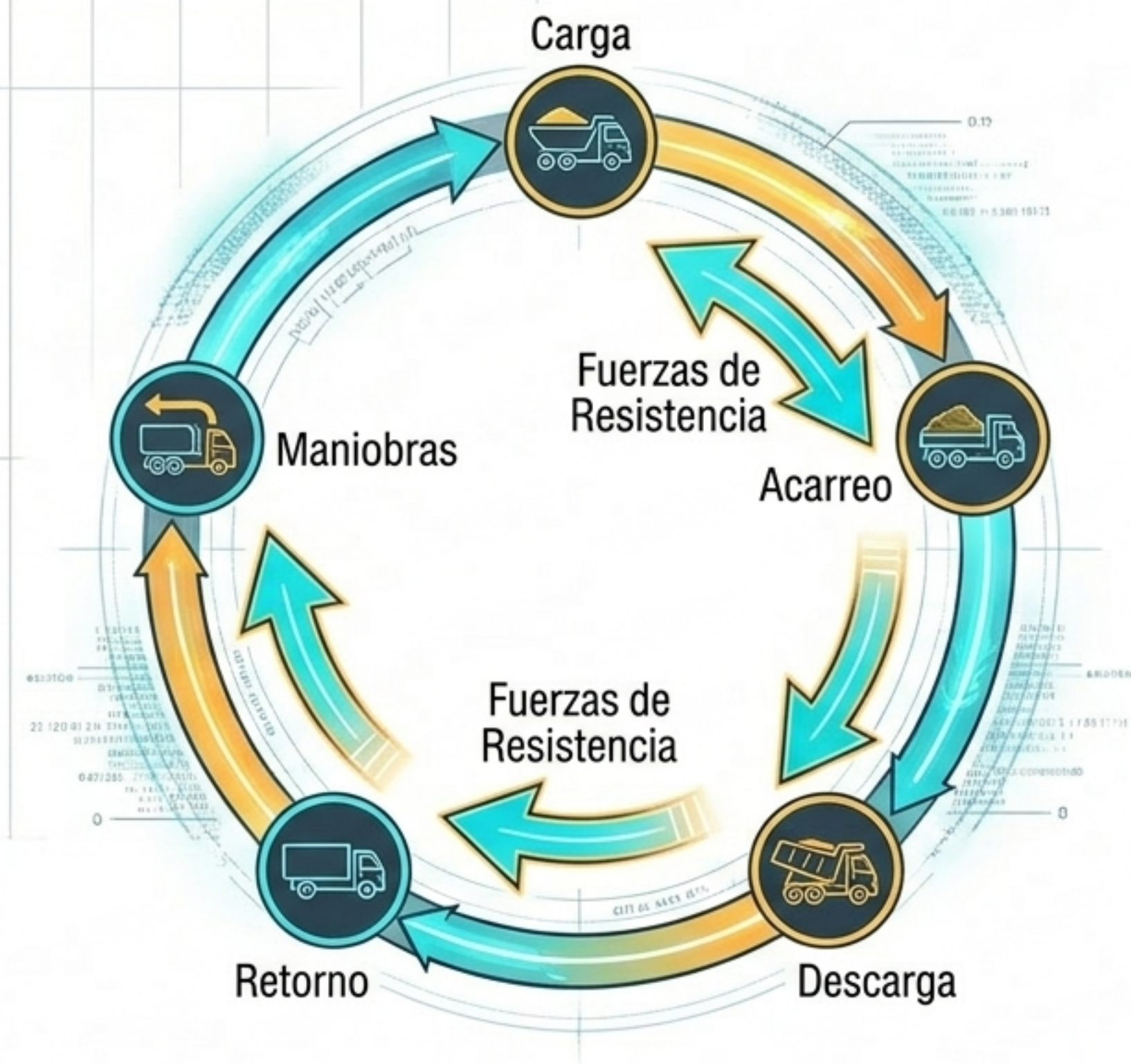


$$Q_A = \frac{V \times W \times E}{N}$$

Parámetros Críticos Innegociables:

- (H) Espesor estricto de la capa.
- (V) Velocidad operativa (varía dramáticamente por tipo de rodillo).
- (W) Ancho efectivo descontando traslapes.
- (N) Número de pasadas requeridas para densidad objetivo.

Camiones de Acarreo: El Ciclo Físico y Fuerzas de Resistencia



La Ecuación del Tiempo

El rendimiento es inversamente proporcional al tiempo de ciclo. A mayor tiempo, desplome total de la producción.



Resistencia Total = Rodadura + Pendiente



- Resistencia a la Rodadura: Impacto de la deformación del suelo.

0.6 m
10.6 m < 0.86



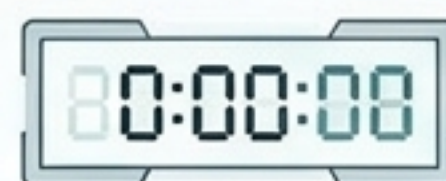
- Resistencia a la Pendiente: La fuerza gravitacional actuando contra la carga.

0 %
23 % < 40 %

Impacto Operativo



La suma de estas resistencias dicta la velocidad efectiva, obliga a limitar las marchas del motor e infla directamente el tiempo de ciclo.



Teoría de Restricciones: El Balance Perfecto de Flota

Capacidad Operativa:
OPTIMIZADA



Equipo de Carga



Capacidad de Flota:
SINCRONIZADA



Unidad de Transporte



La Regla de Oro

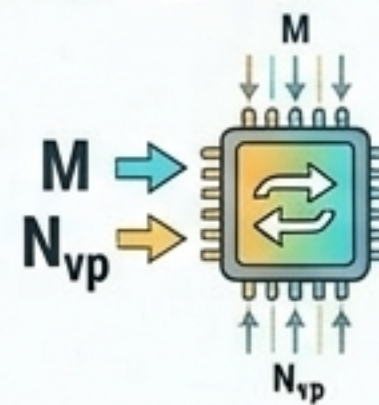
La máxima rentabilidad solo ocurre cuando la Capacidad de Operación del Cargador es matemáticamente idéntica a la Capacidad de la Flota de Camiones.



Ecuación de Sincronización

$$M = N_{vp}$$

M = Número de camiones en la flota.
 N_{vp} = Volquetadas necesarias.



Cuellos de Botella



• Si $M > N_{vp}$: Camiones ociosos haciendo fila (pérdida de capital).



• Si $M < N_{vp}$: Cargador inactivo esperando (colapso total de producción).



Matriz Maestra de Restricciones Operativas

Equipo	Distancia / Ángulo	Seguridad / Traslape	Enfoque Clave
 Bulldozer	Óptimo 7-25 m	Límite Absoluto 90-100 m	Control de hoja / Slot dozing
 Cargador Frontal	Giro máximo < 90° (Carga en V)	SAE: 50% Llantas / 35% Orugas	Equilibrio estático crítico
 Excavadora	Giro óptimo 15°	Camión bajo pasador pluma	Levantar al 75% del plegado
 Motoniveladora	Ángulo θ de vertedera	Traslape 0.6 m	Neumáticos fuera del camellón

Telemetría y Control Digital: El Bucle de Retroalimentación

El Principio: No se puede optimizar lo que no se mide diariamente.

Cloud Dashboard /
Centro de Datos Central

Komtrax (Komatsu):
Monitoreo satelital de ubicación,
tiempos muertos y consumo
de combustible.



Excavadora



JDLink (John Deere):
Visualización del espectro
de carga de trabajo
(alta/media/baja) en
tiempo real.



Camión Tolva

Cummins INSITE:
Comunicación con el ECM
para diagnóstico profundo
del motor y frenos.



Bulldozer

Conclusiones Estratégicas para Flotas de Alto Rendimiento

1. Asumir la Realidad

Los manuales son una base, no una promesa.
Aplicar siempre los factores de corrección (E) por terreno, operador y máquina para evitar el fracaso financiero.



2. Respetar la Geometría y Física

La producción se pierde en distancias y ángulos.
Aplicar límites empíricos estrictos (límites SAE, 15° de giro, 0.6m de traslape) para colapsar los tiempos de ciclo.



3. Digitalizar la Medición

Cerrar el bucle confiando en la telemetría como la única fuente de verdad.
Ajustar dinámicamente para asegurar que $M = N_{vp}$ todos los días.



$$M = \sum_{i=1}^n w_p^2$$