

mine equipment
performance analysis
engineering services
short courses



Tim, Laura y JPI: soluciones únicas de ingeniería
para operaciones mineras en todo el mundo

jpicanada.com





**Tim, Laura y JPI: soluciones únicas de ingeniería
para operaciones mineras en todo el mundo**

jpicanada.com



'10 principios fundamentales' para ingenieros mineros en planificación operacional



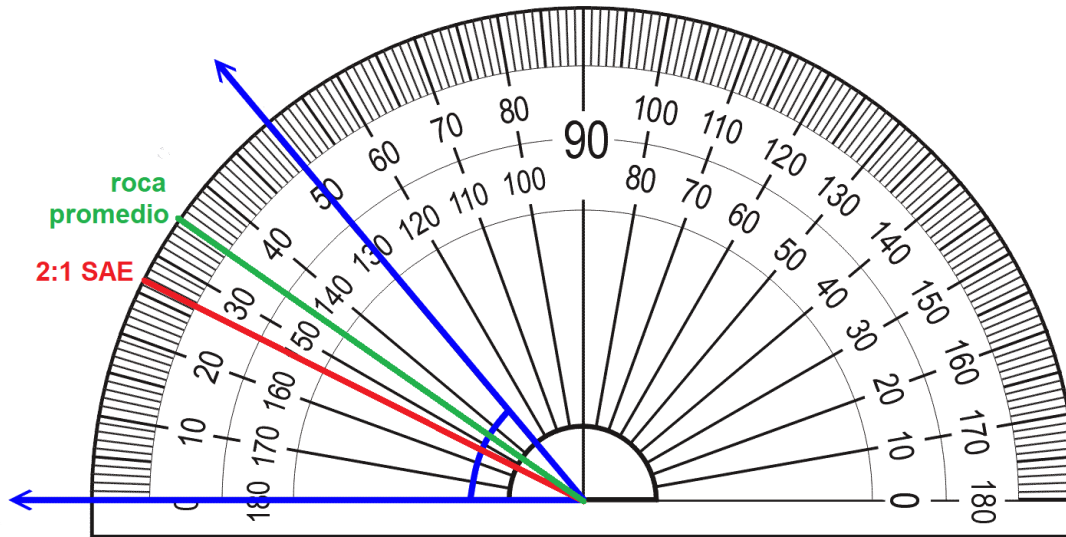
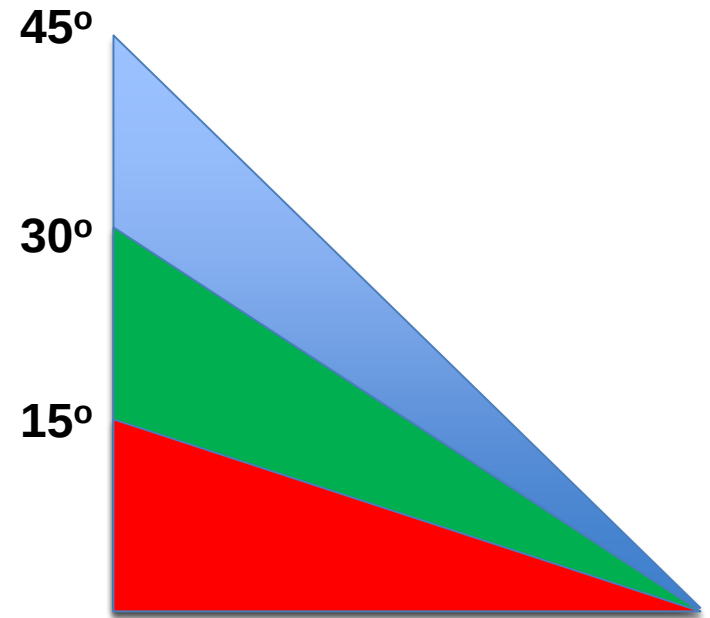
mine equipment
performance analysis
engineering services
short courses



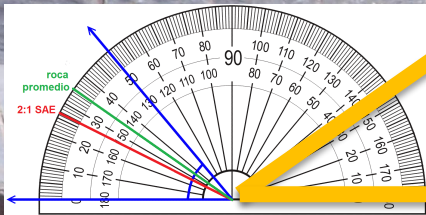
Dr. Tim Joseph, P.Eng., FCIM
Principal engineer, JPI, jpicanada.com



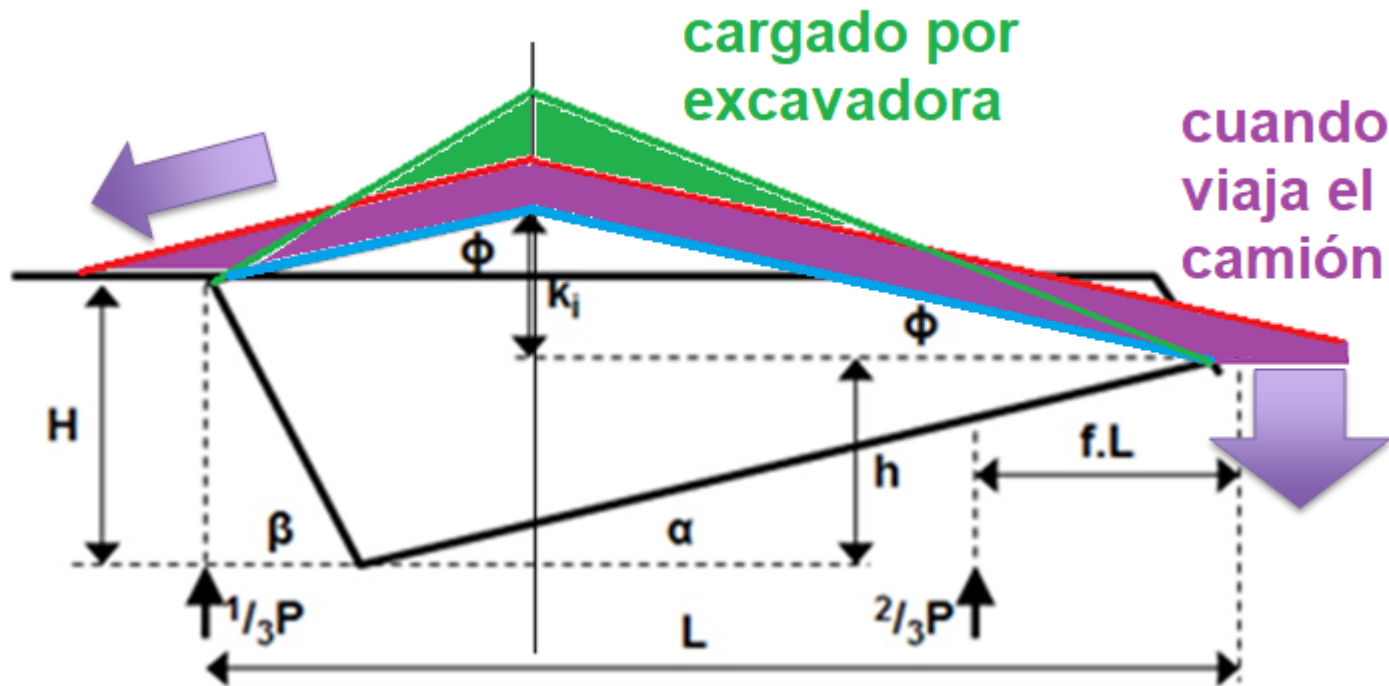
1. La capacidad de volumen del camión
es una función del ángulo de reposo



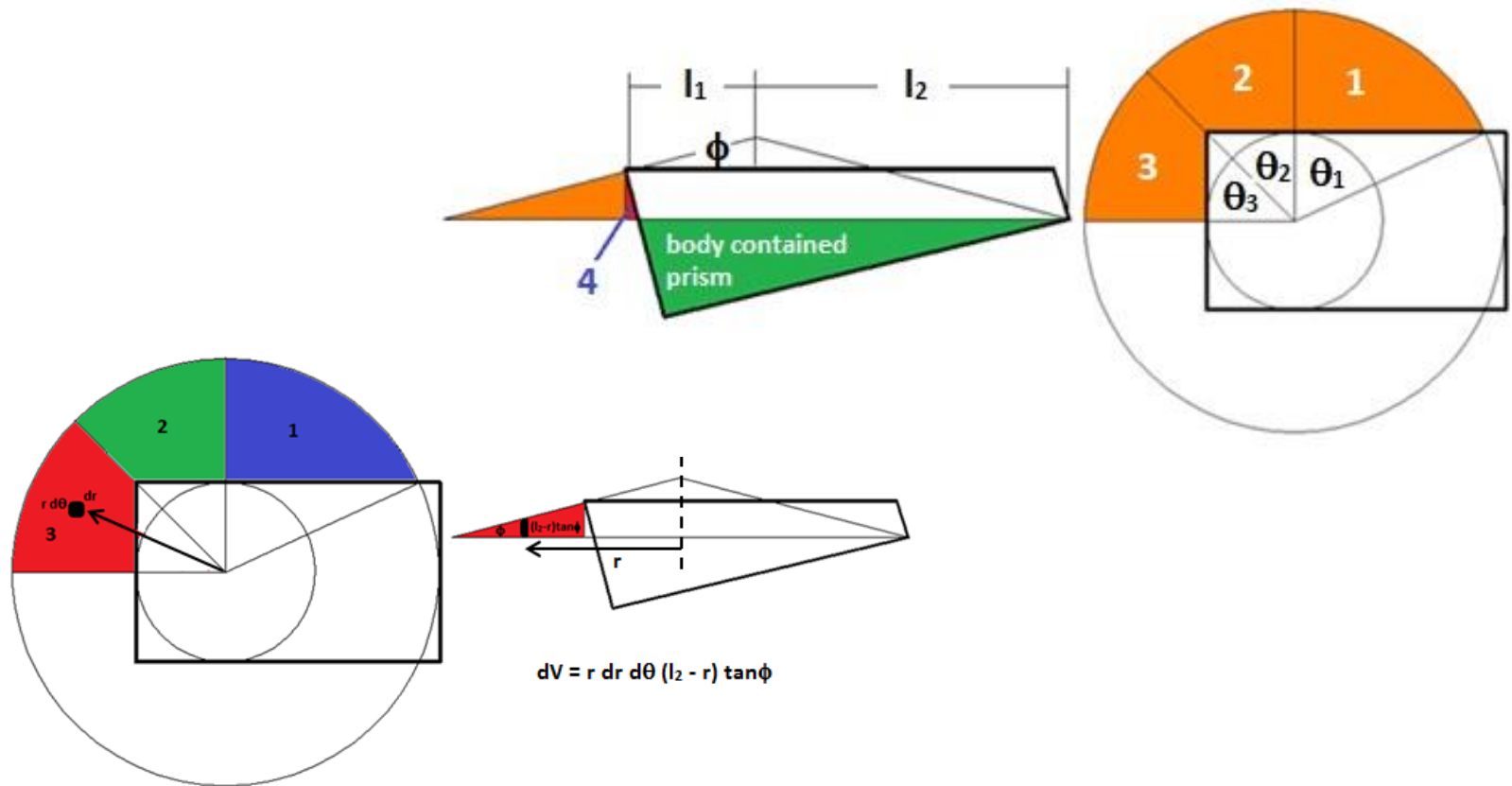
35°



Un ángulo cambiante de reposo pierde carga y compromete la seguridad



La capacidad del cuerpo es una pila cónica cortada por el cuerpo del camión

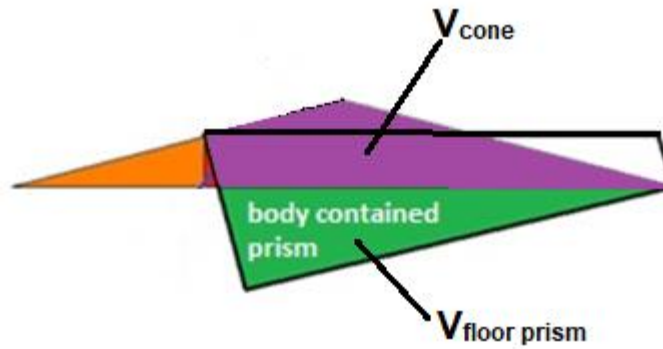


Publicado en CIM Journal, febrero de 2020

Pronto llegará un nuevo estándar ISO / SAE

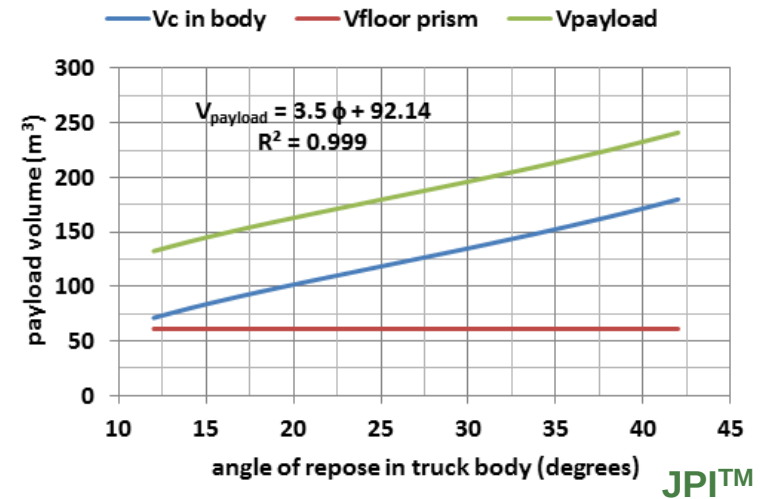
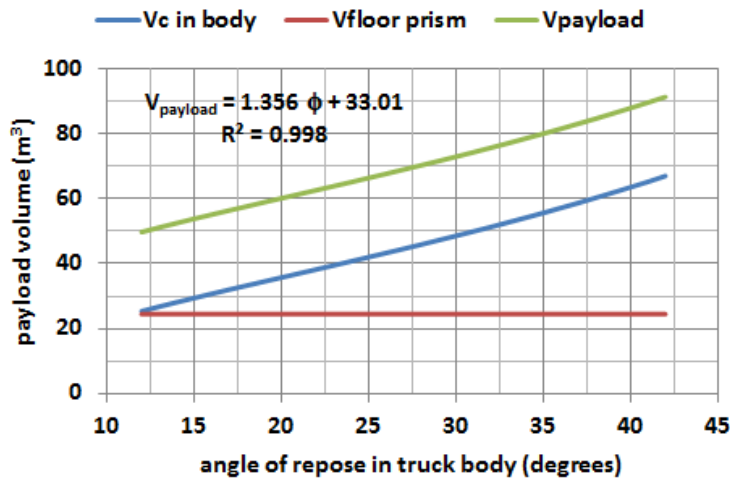
jpicanada.com





136 t (150 ton)

363 t (400 ton)



$$V_{\text{carga útil}} = (0.01 \phi + 0.25) \times \text{carga útil (metric t)}$$

$$V_{carga\ útil} = (0.01 \varphi + 0.25) \times carga\ útil\ (metric\ t)$$

$$V_{carga\ útil} = (0.01 \times 35 + 0.25) \times 136 = 81.6\ m^3, 1.7\ t/m^3$$



20% mayor capacidad
que el diseño OEM

136 t
clasificadas
camión

$$V_{2:1\ diseno\ OEM} = (0.01 \times 25 + 0.25) \times 136 = 68\ m^3, 2.0\ t/m^3$$

¿Cómo se calcula la densidad de roca fragmentada?

- asuma un factor de expansión de roca, luego
- divida la densidad de la roca intacta por el factor de expansión



$$\rho_{\text{intact}} = 2.5 \text{ t/m}^3$$

$$\rho_{\text{loose}} = 2.5/1.3 = 1.9 \text{ t/m}^3$$

$$V_{carga\ útil} = (0.01 \varphi + 0.25) \times carga\ útil\ (metric\ t)$$

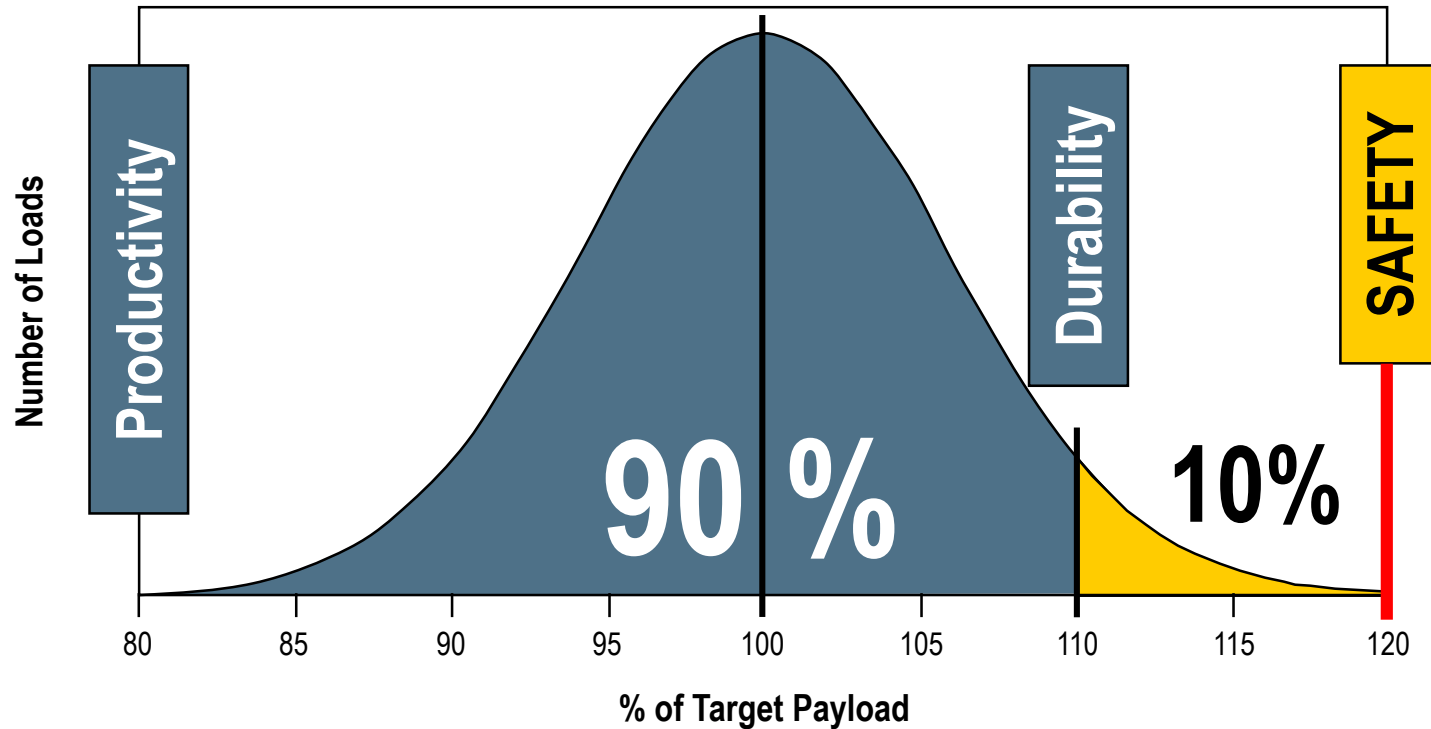
$$\rho_{loose} = \frac{1}{(0.01\varphi+0.25)} = \frac{1}{(0.01 \times 35 + 0.25)} = 1.67\ t/m^3$$

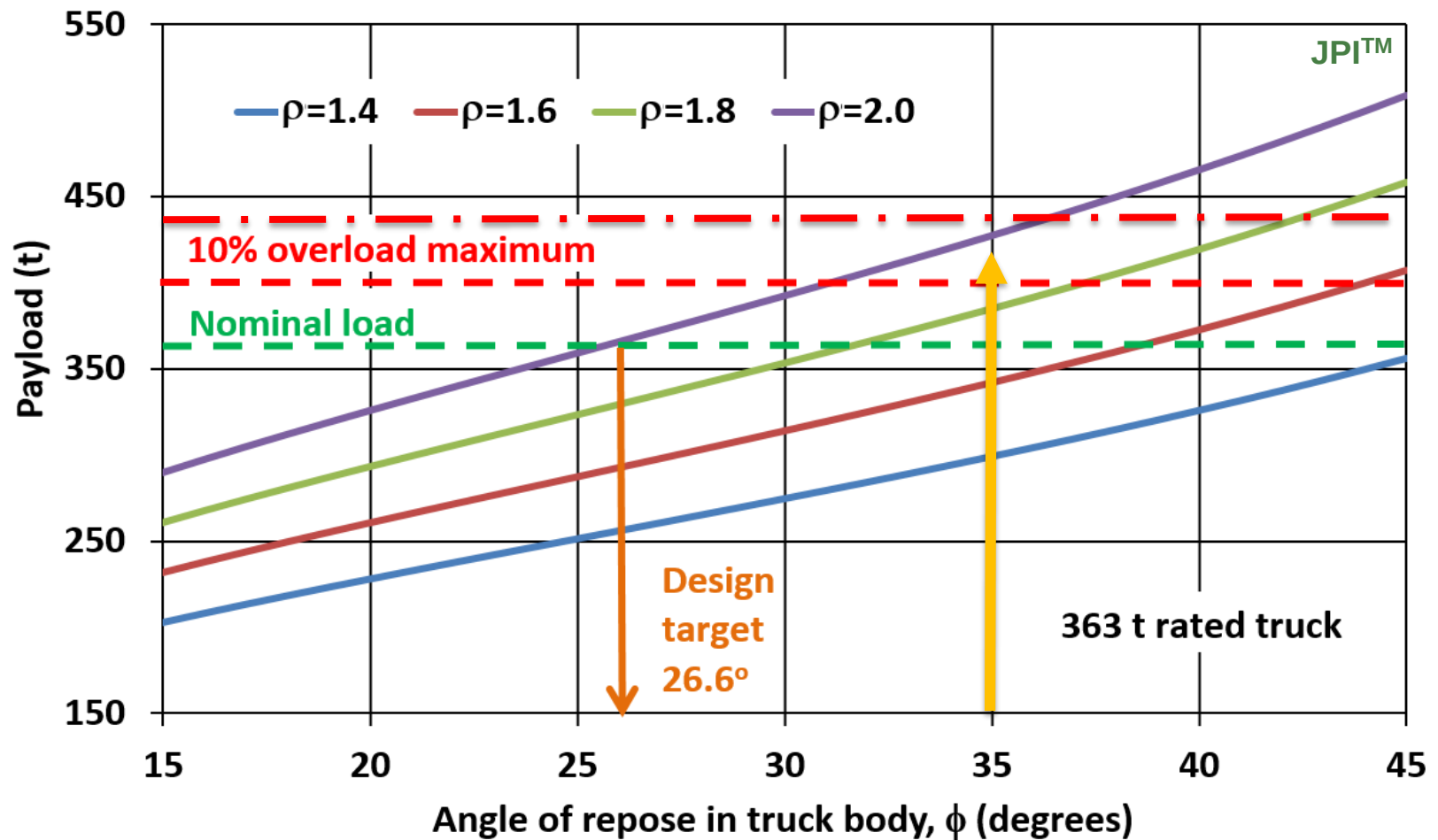
$$SF = \frac{\rho_{intact}}{\rho_{loose}} = \frac{2.5}{1.67} = 1.5$$

2. La densidad de la roca fragmentada y el factor de expansión de la roca son funciones del ángulo de reposo.



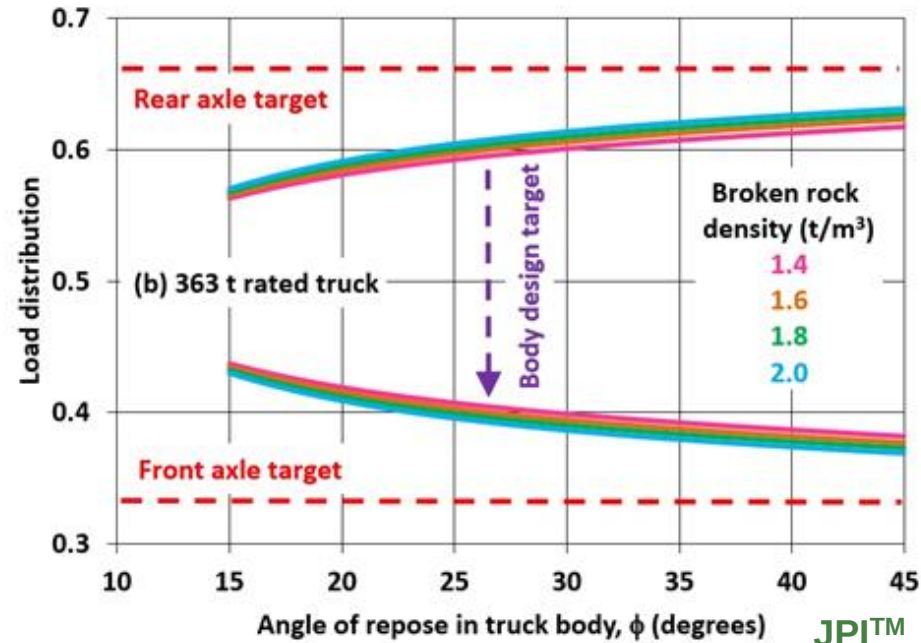
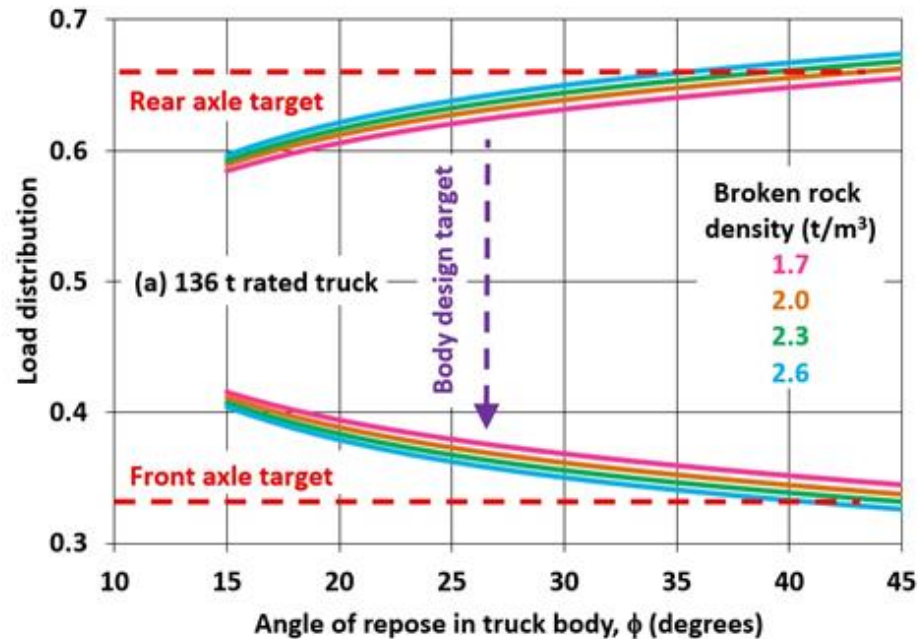
¿La densidad y el factor de expansión de la roca fragmentada, como funciones del ángulo de reposo, afectan el equilibrio de la carga útil?





3. Cuanto mayor sea el ángulo de reposo y densidad, mayor es el peligro de exceder la carga útil + 10%

¿Cómo afecta el ángulo de reposo y la densidad de roca fragmentada a la distribución de la carga útil en los ejes delantero y trasero?



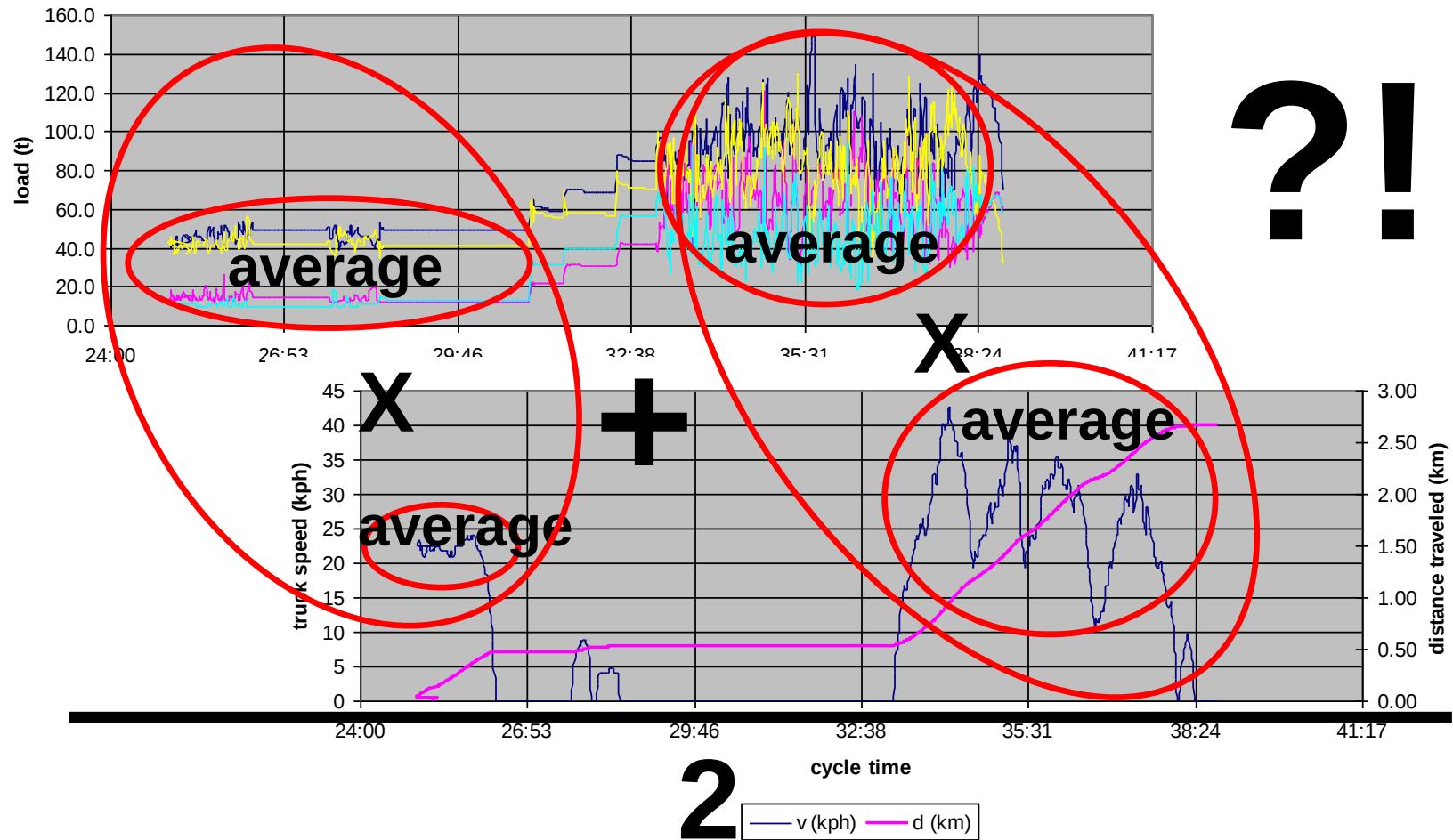
4. Cuanto menor es la densidad de la roca rota, más difícil es equilibrar el camión; y proporcionalmente más sobrecargados estarán los neumáticos delanteros

¿Cómo obtienen los proveedores de neumáticos el número tkph recomendado?

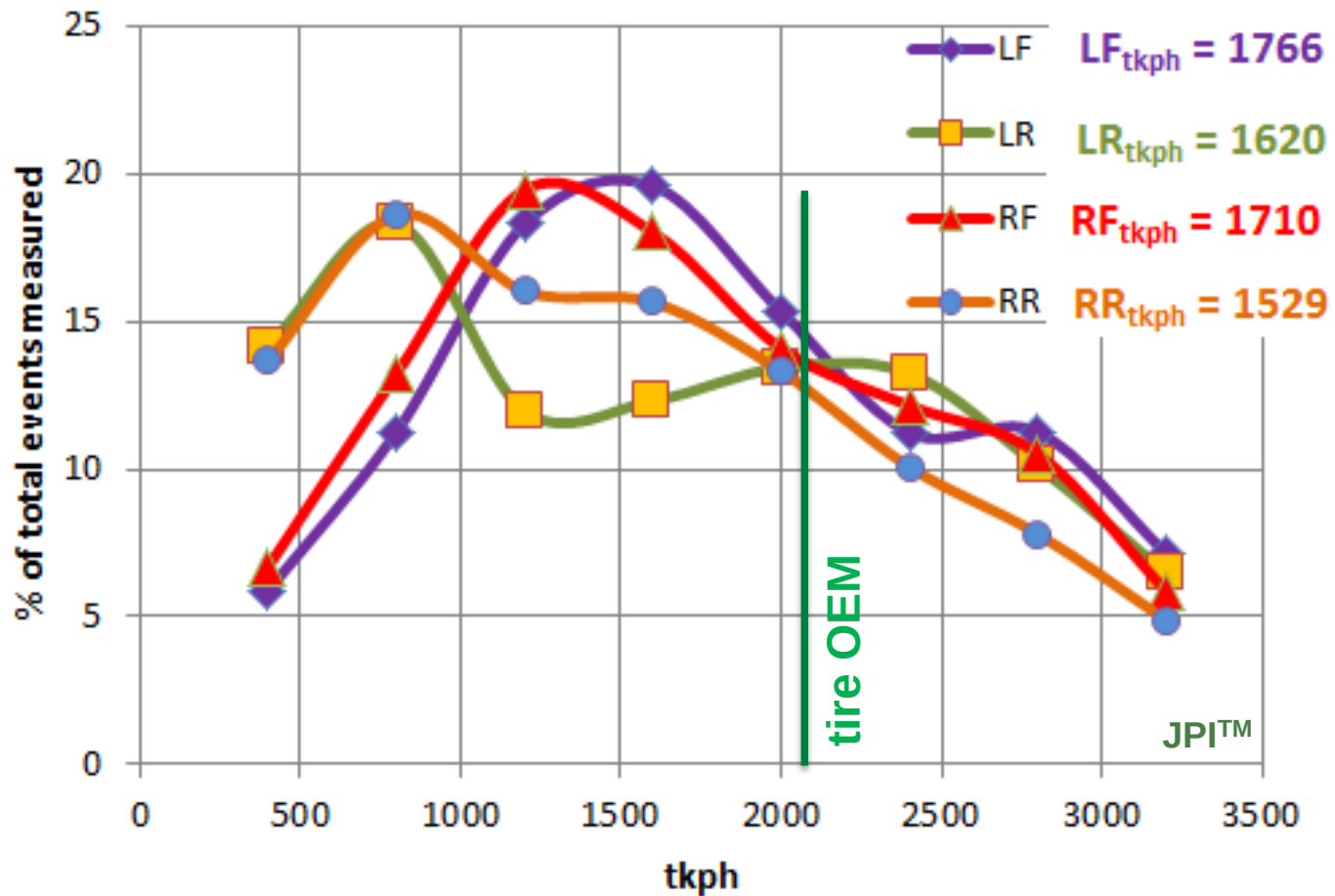
- **Payload = $363 \times 1.1 = 400$ t (+10% max. load)**
- **Tare weight = $624 - 363 = 261$ t**
- **GVW at + 10% max. load = $400 + 261 = 661$ t**
- **Tare weight: 48%F : 52%R = **62.6** t F/tire : **33.9** t R/tire**
- **GVW is $\frac{1}{6}^{\text{th}}$ load/tire = $661/6 = \mathbf{110.2}$ t**
- **OEM states should not exceed **28** km travelled in 1 hour**
- ***Front tire OEM tkph = $\frac{1}{2} \times (62.6 + 110.2) \times 28 = 2,419$ tkph***
- ***Rear tire OEM tkph = $\frac{1}{2} \times (33.9 + 110.2) \times 28 = 2,017$ tkph***
- **OEM tkph book value = $\frac{1}{2} \times (2,419 + 2,017) = 2,218$ tkph**

59/80 R63 E4R tires**

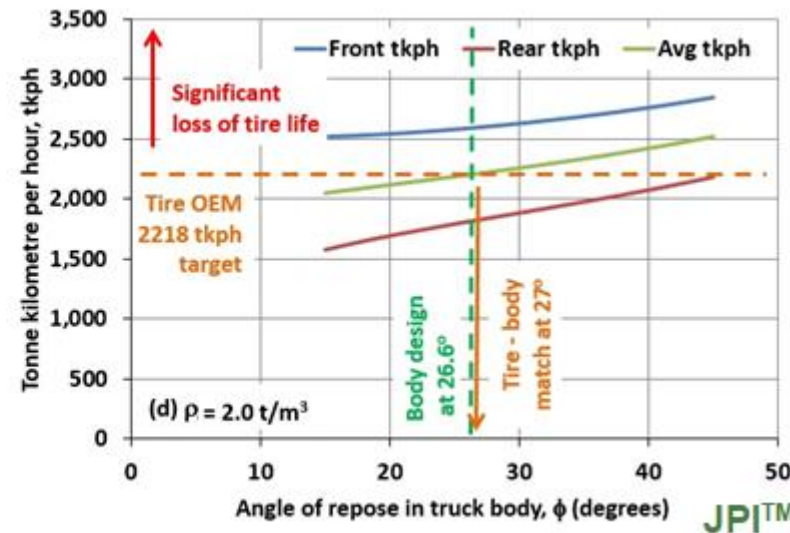
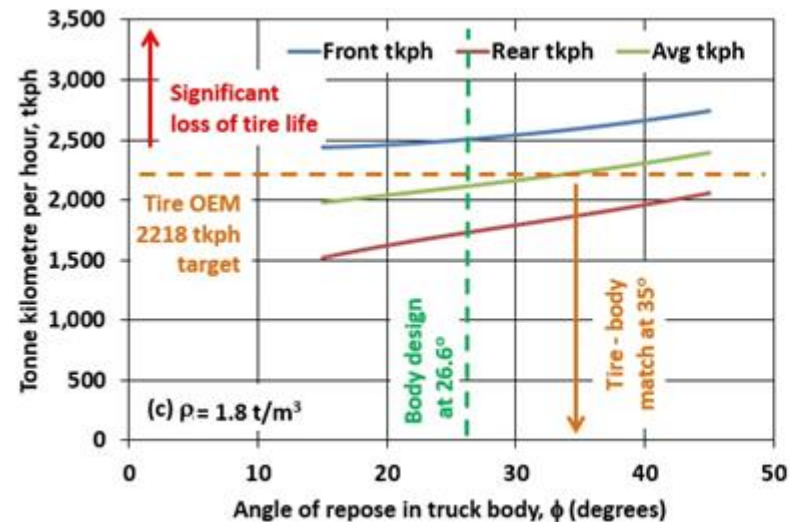
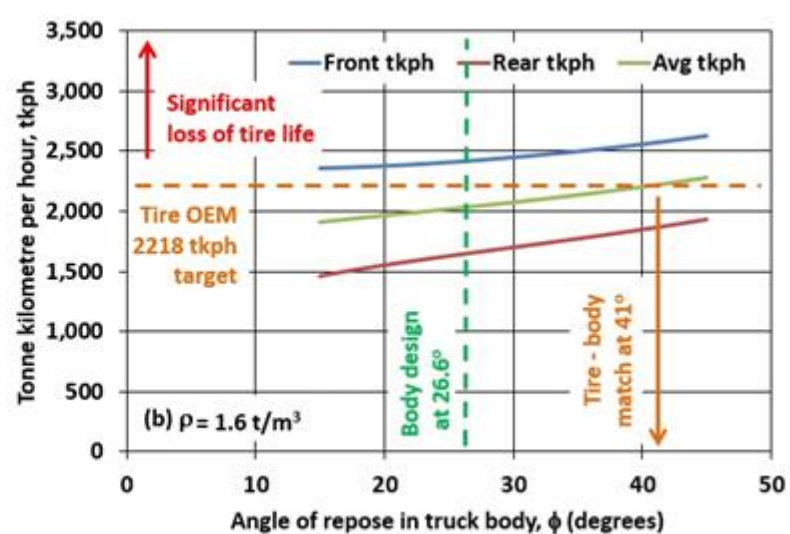
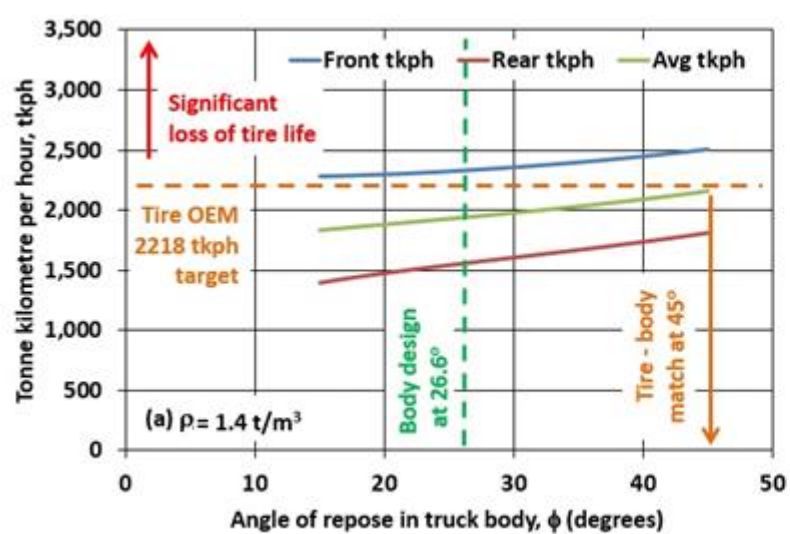




Pero, el valor tkph del OEM del neumático no es representativo de los neumáticos en una mina



5. Podemos determinar tkph en tiempo real para neumáticos de mina a partir del monitoreo de suspensión



Independientemente del ángulo de reposo, los neumáticos delanteros siempre tienen el mayor tkph

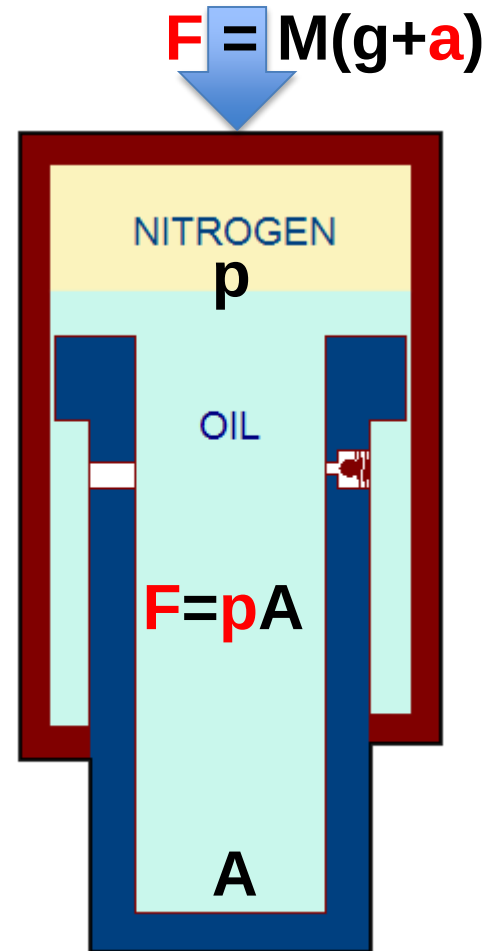


- De los datos de presión de suspensión sin procesar:

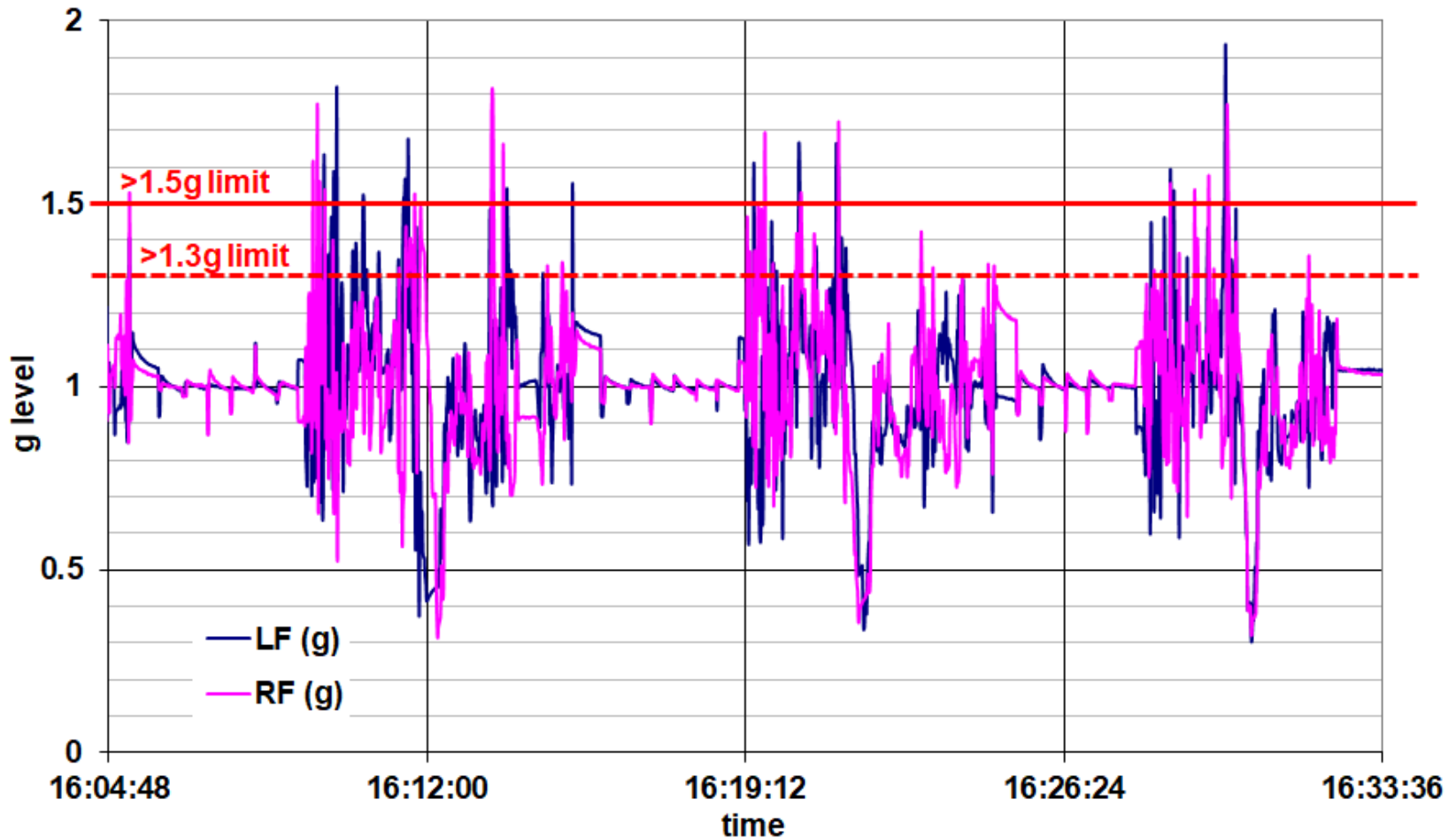
$$g - \text{level}_{\text{at any time}} = \frac{p_{\text{moving at any second}}}{p_{\text{moving average}}}$$

- Cualquier nivel de $g > 1.3g$ es un problema que refleja un equilibrio de carga deficiente, malas condiciones de la carretera y daños por torsión estructural ('rack'):
- > 750,000 1.3g rack events = fatigue
- > 400,000 1.5g rack events = fatigue

6. La presión de suspensión es una valiosa herramienta de monitoreo de KPI por fatiga estructural



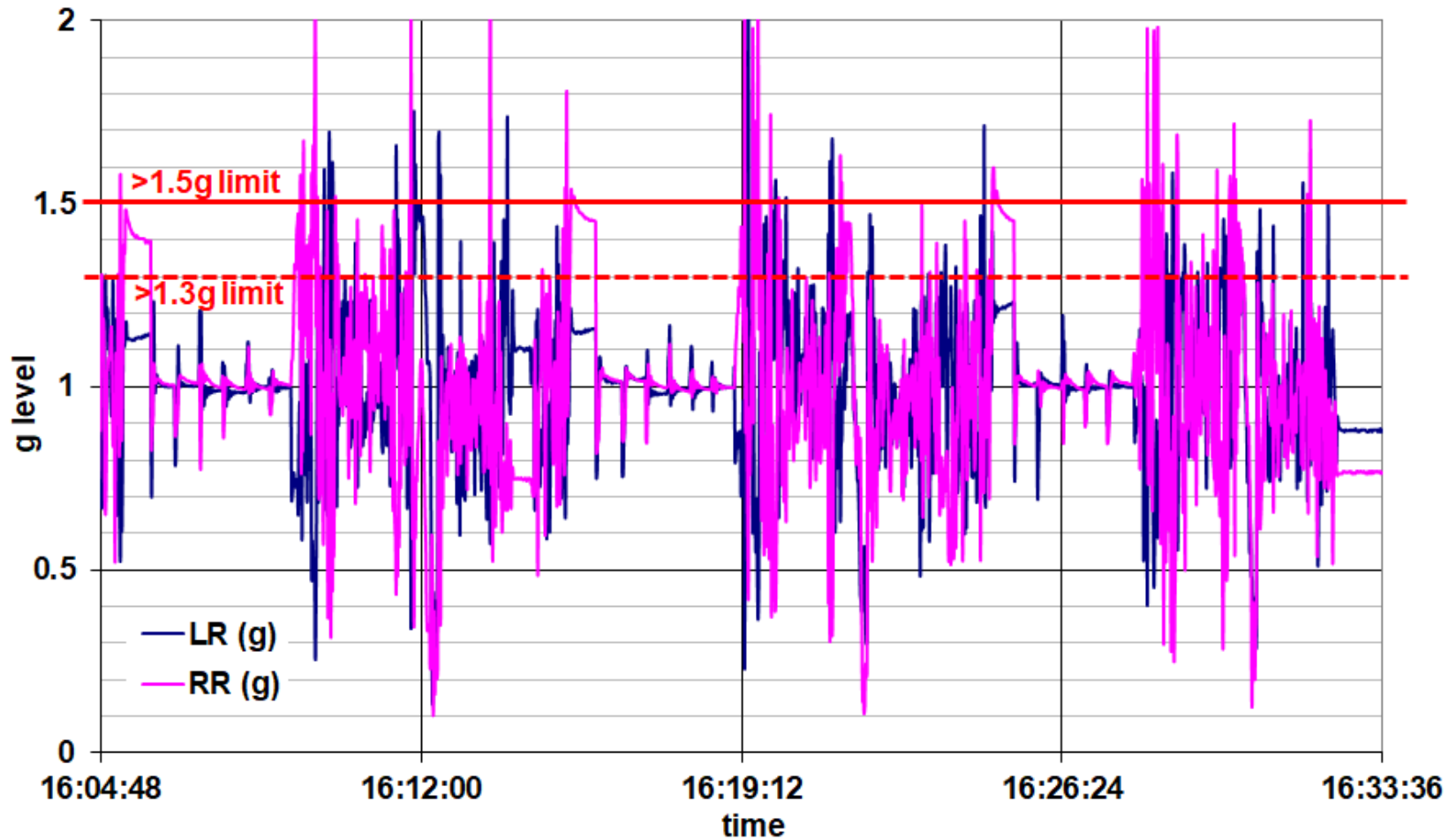
Suspensión delantera multi-ciclo g niveles



LF suspension, 13 events > 1.5g in 28.8 minutes

RF suspension, 12 events > 1.5g in 28.8 minutes

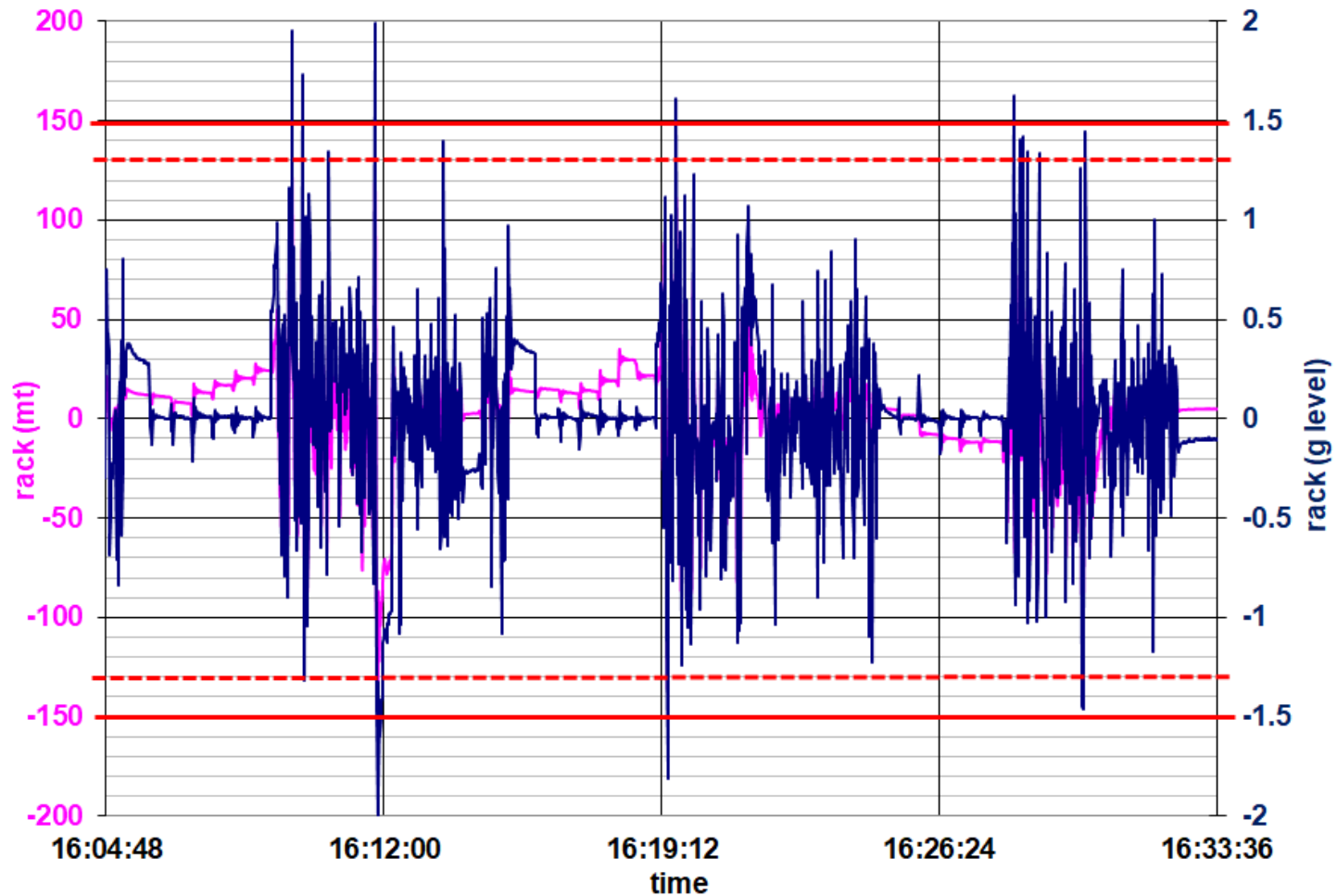
Suspensión trasera multi-ciclo g niveles



LR suspension, 12 events > 1.5g in 28.8 minutes

RR suspension, 19 events > 1.5g in 28.8 minutes

Rack (movimiento de torsión estructural) = (LF + RR) – (RF + LR)



7 events > |1.5g| in 28.8 minutes
14 events > |1.3g| in 28.8 minutes

Podemos predecir un mantenimiento estructural significativo
a partir de los datos de suspensión de camiones



- 14 Rack events > |1.3g| in 28 mins ~ 0.47 hrs
- Se puede suponer,

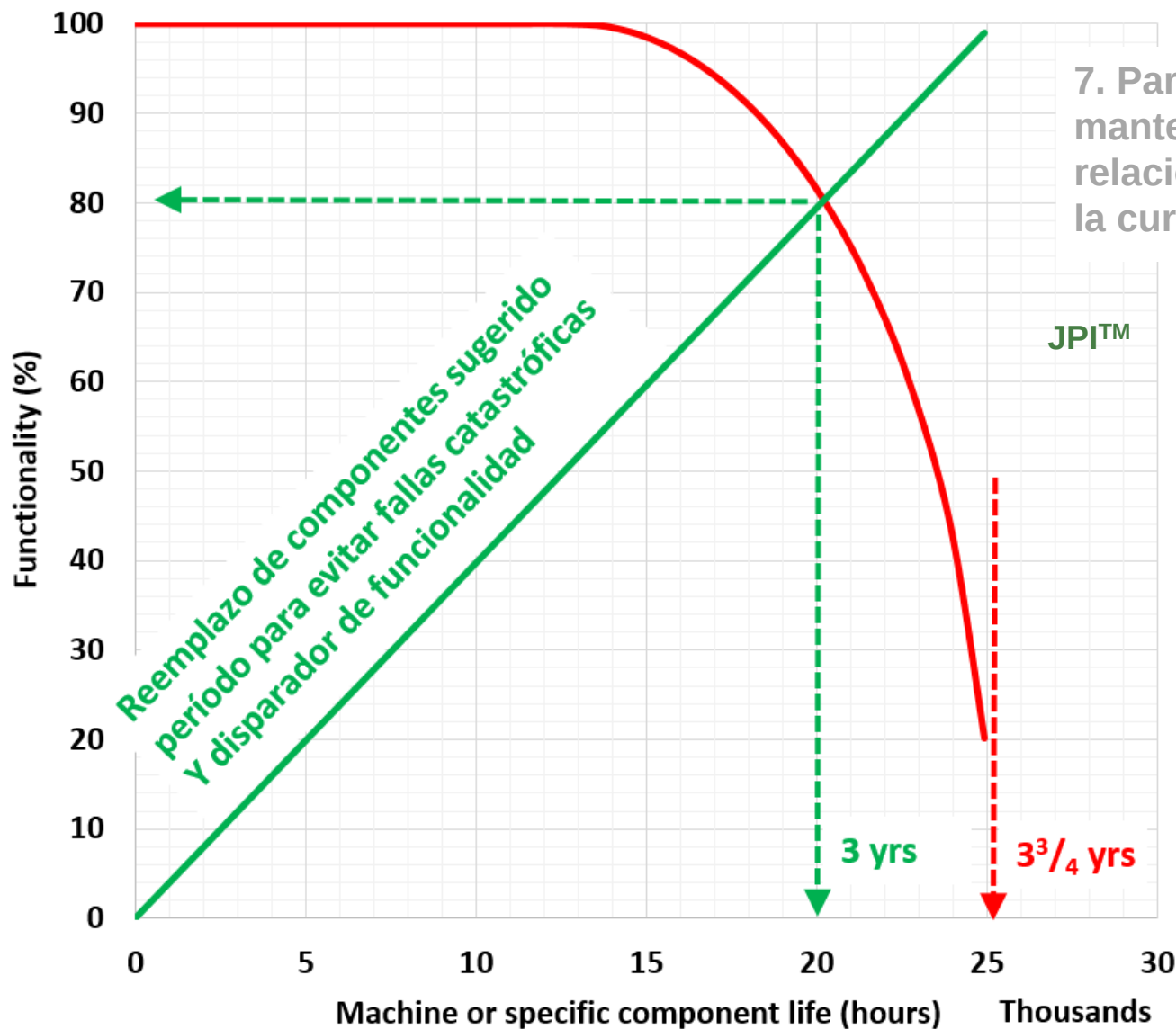
disponibilidad de camiones ~ 90% y utilización ~ 85%

- Ciclos estimados para fallar por fatiga estructural

$$\sim \frac{14 \times 8760 \times 0.9 \times 0.85}{0.47} = 199,616$$

- Años estimados para la falla de fatiga estructural

$$= 750,000 / 199,616 = 3\frac{3}{4} \text{ yrs} = 25,175 \text{ hrs}$$

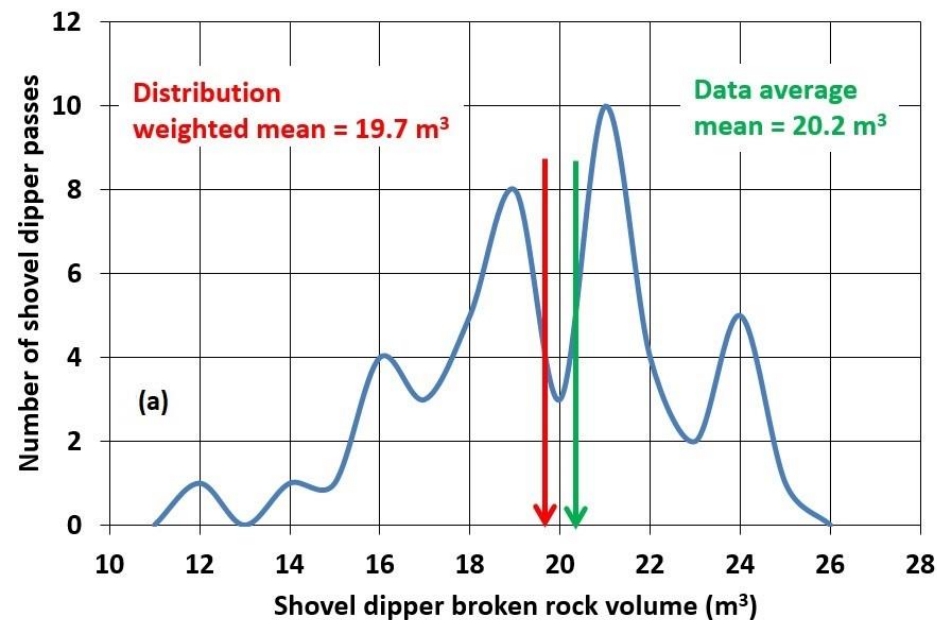


7. Para la planificación del mantenimiento, podemos relacionar el resultado con la curva de fatiga estructural

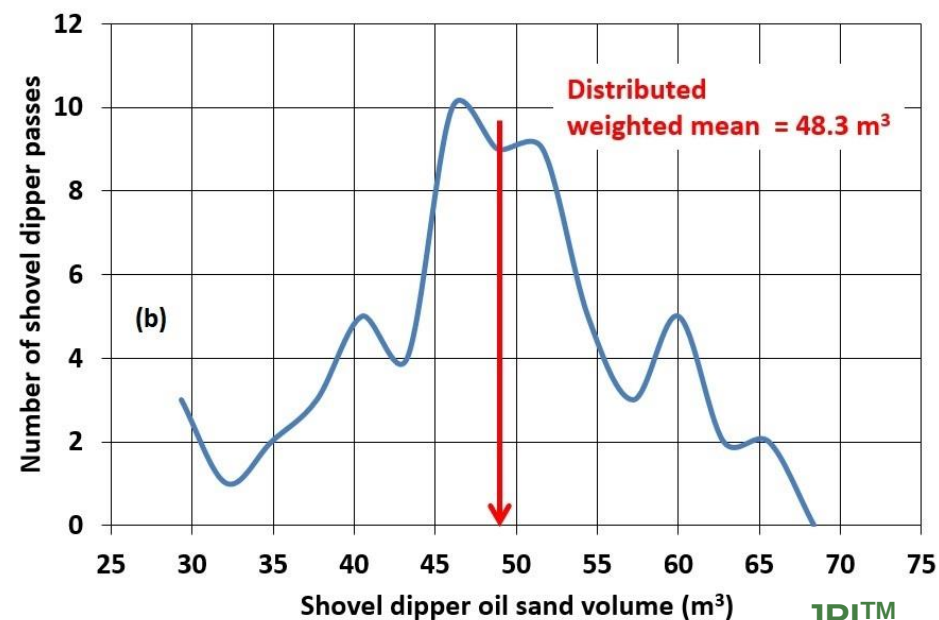


El factor de llenado solo se ve afectado por la restricción geométrica del balde para llenar

Vea cómo se desarrolla el espacio vacío en la esquina superior izquierda



$$FF_{\text{bucket}} = \frac{19.7}{22.0} \sim 89.5\%$$



$$FF_{\text{bucket}} = \frac{48.3}{46.0} \sim 105\%$$

$$FF_{\text{bucket}} = \frac{V_{\text{actual per pass}}}{V_{\text{struck}}}$$

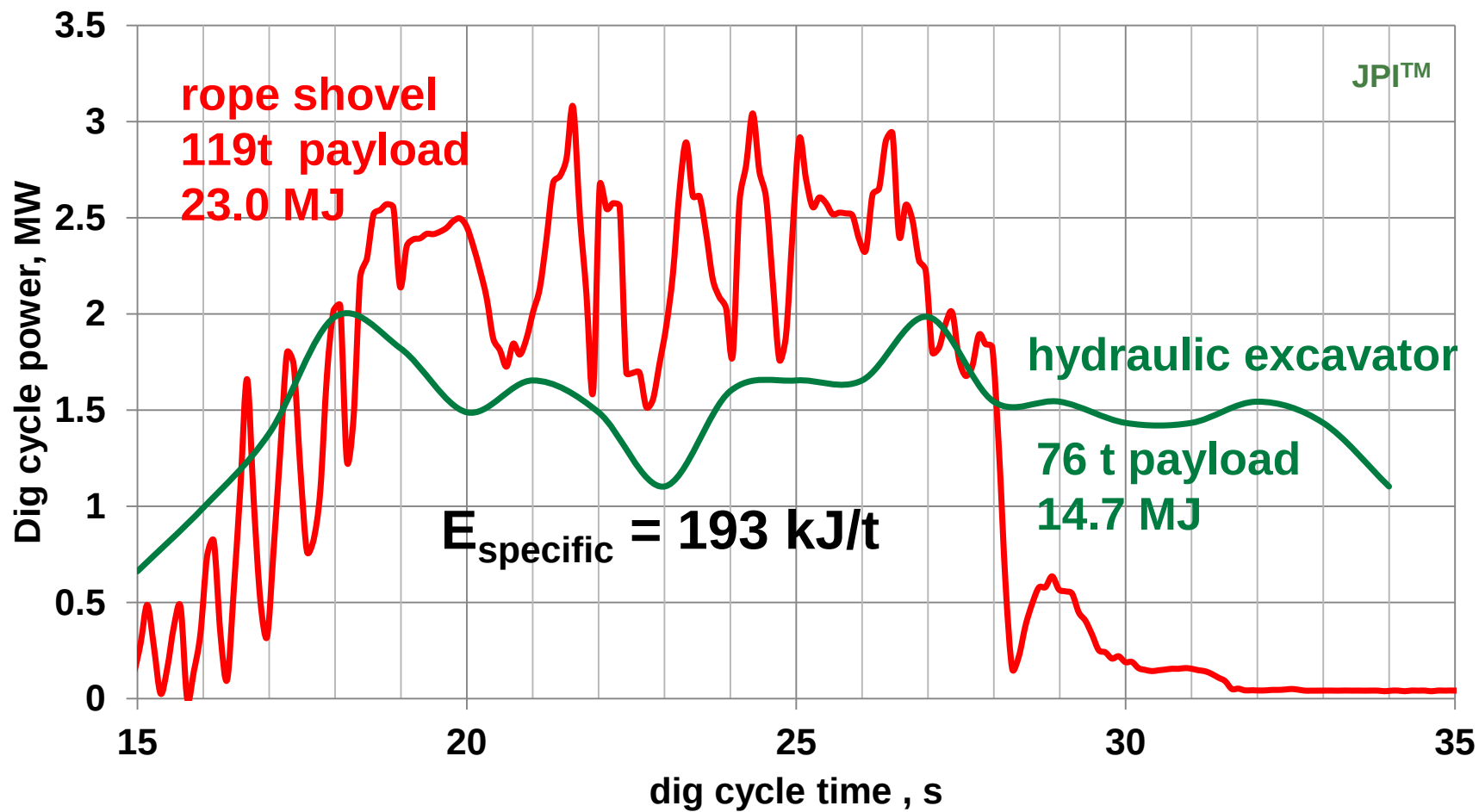
8. El mito del factor de llenado del cucharón
expuesto por la capacidad del camión

El cucharón de la excavadora que JPI diseñó para P&H tiene una geometría que no crea un espacio vacío, por lo que se llena más del 100% en cada pasada



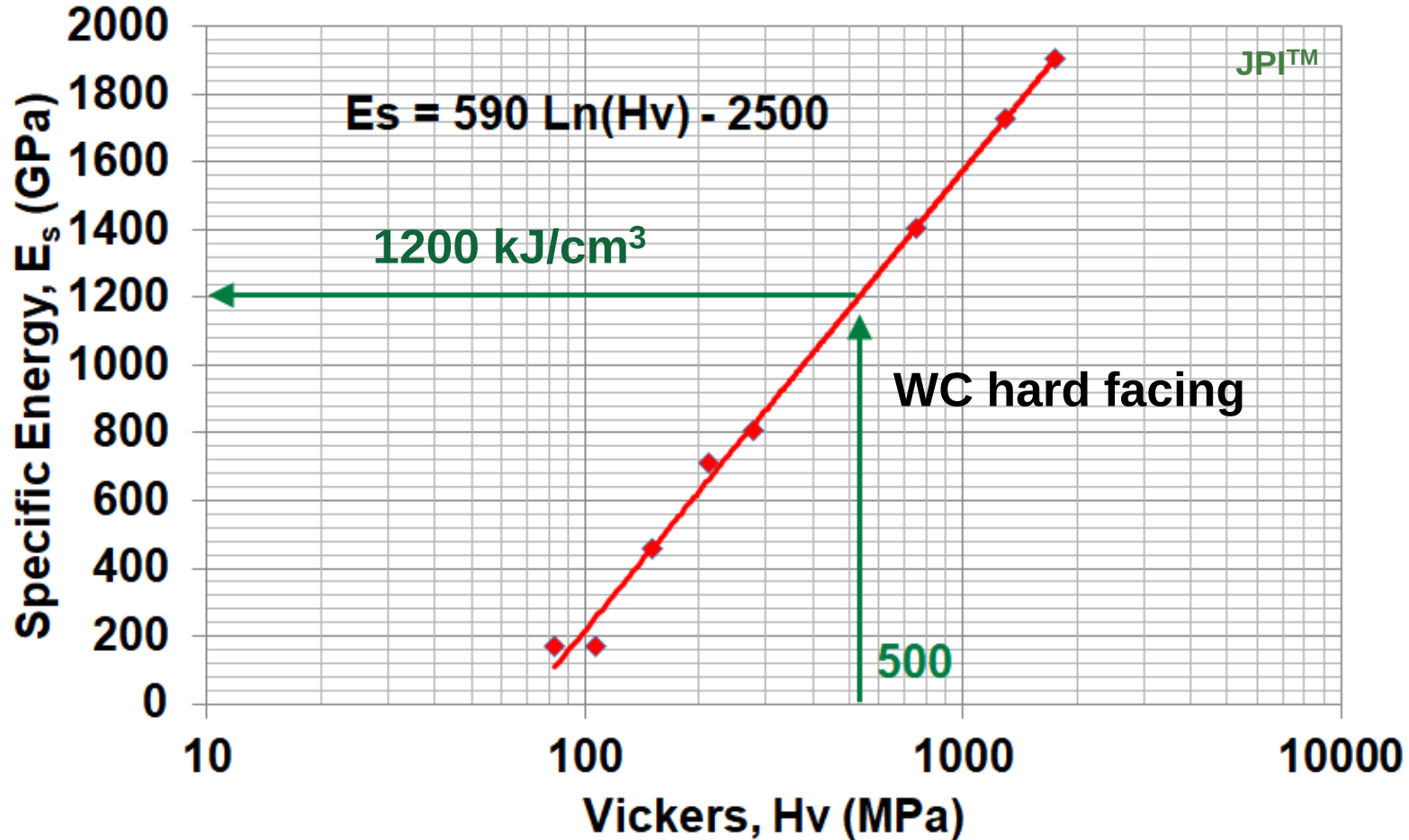
9. La clave para predecir el desgaste de la herramienta de contacto con el suelo (GET) es comprender la imagen general de la tasa de desgaste entre roca y metal





La resistencia a la excavación es una Energía Específica, que se puede medir a partir de los motores eléctricos o las bombas hidráulicas de la excavadora

La Energía Específica está relacionada con la dureza Vickers, Hv

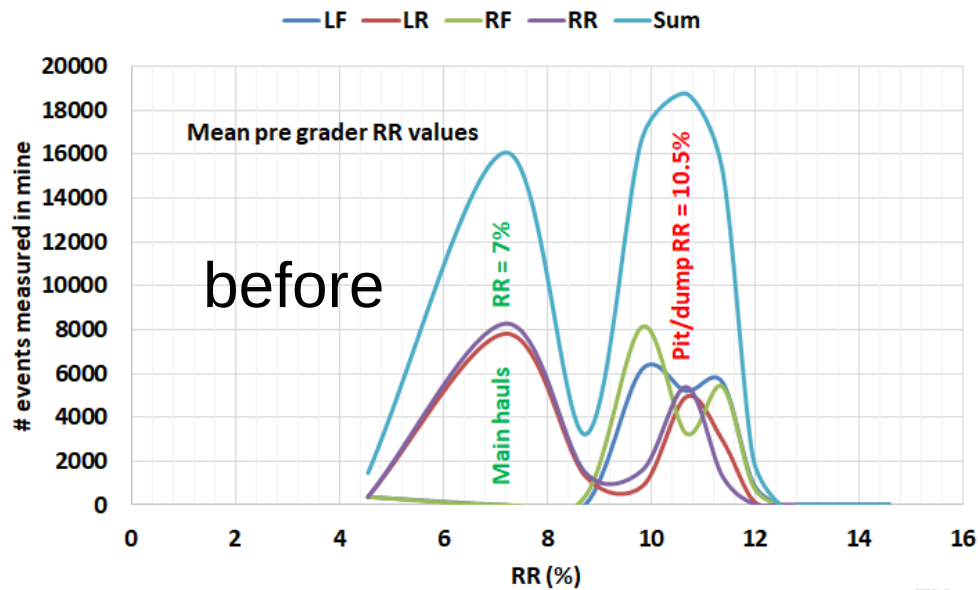


$$\text{GPa} = \text{GJ/m}^3 = \text{kJ/cm}^3$$

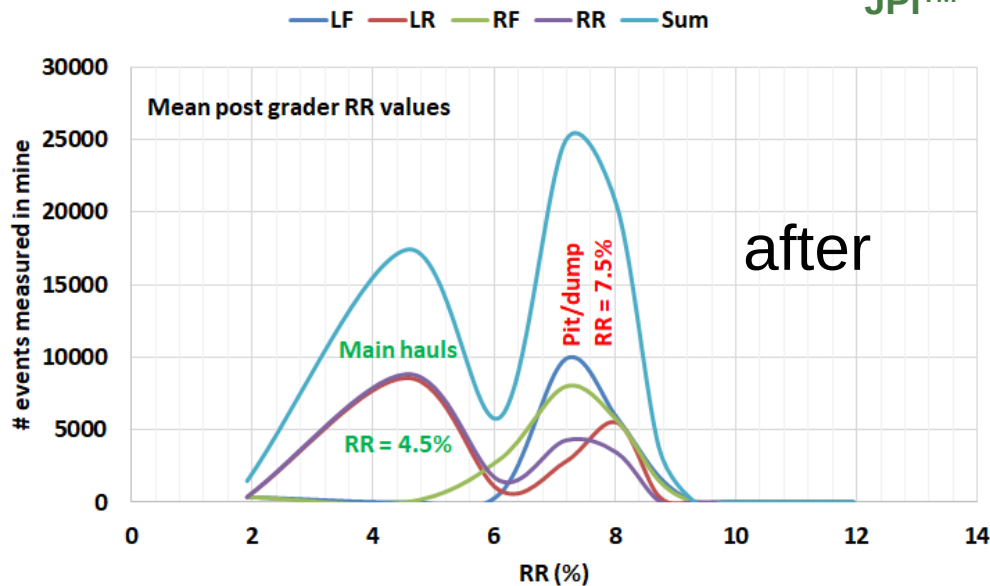
Un ejemplo: predecir el desgaste GET

- Los dientes de una excavadora están cubiertos con $1,720 \text{ cm}^3$ WC por punta
- Si WC Hv es de 500 MPa, entonces la energía específica es de $1,200 \text{ kJ} / \text{cm}^3$, por lo que la energía que causa el desgaste = $1,200 \times 1,720 = 2,064,000 \text{ kJ}$
- Si la energía de excavación medida por ciclo es de 4,200 kJ, actuando sobre 7 GET; esto es lo mismo que $600 \text{ kJ} / \text{GET} / \text{ciclo}$;
- Y así, el número de ciclos de excavación para cambiar las puntas = $2,064,000 / 600 = 3,440$
- Para ciclos de trabajo de 40 s, 90% de disponibilidad y 85% de utilización, los cambios GET deben planificarse cada $(3,440 \times 40) / (0.9 \times 0.85 \times 3,600) = 50$ horas



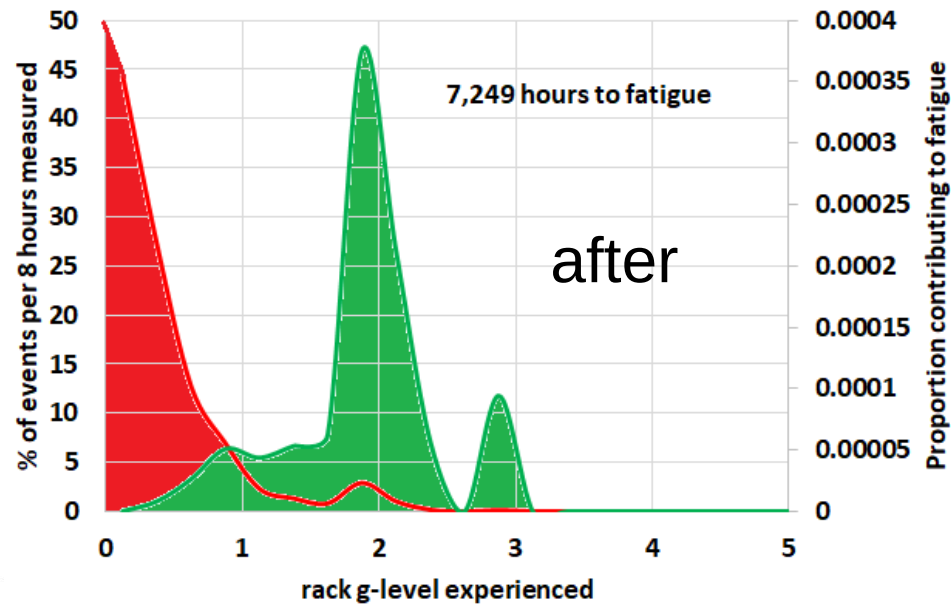
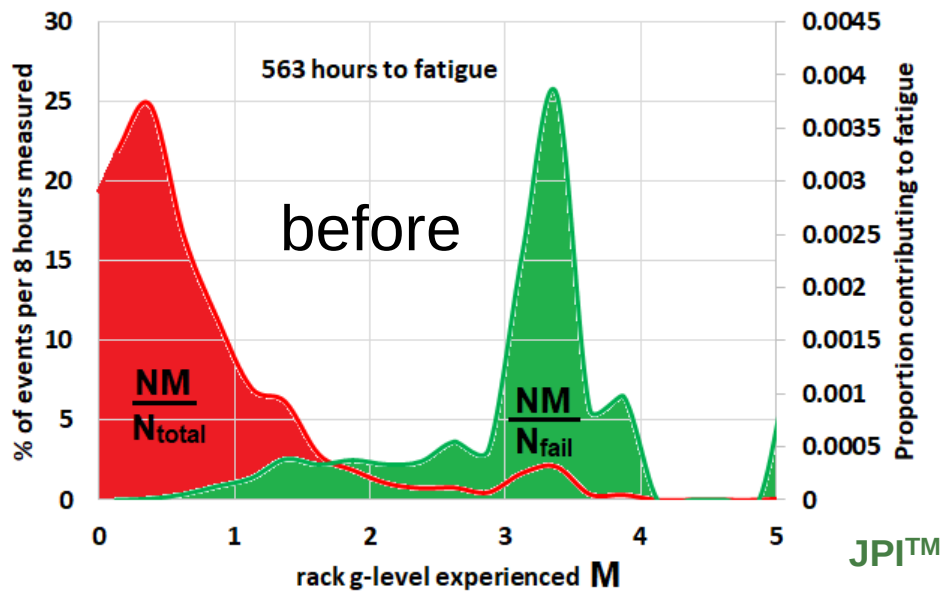


JPI™

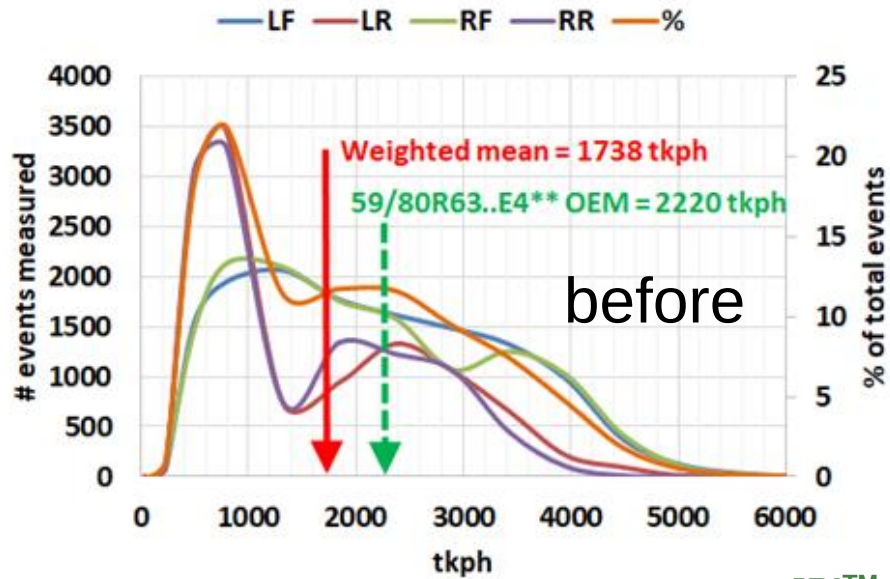


10. Las motoniveladoras de carretera no cuestan nada y reducen la resistencia a la rodadura,

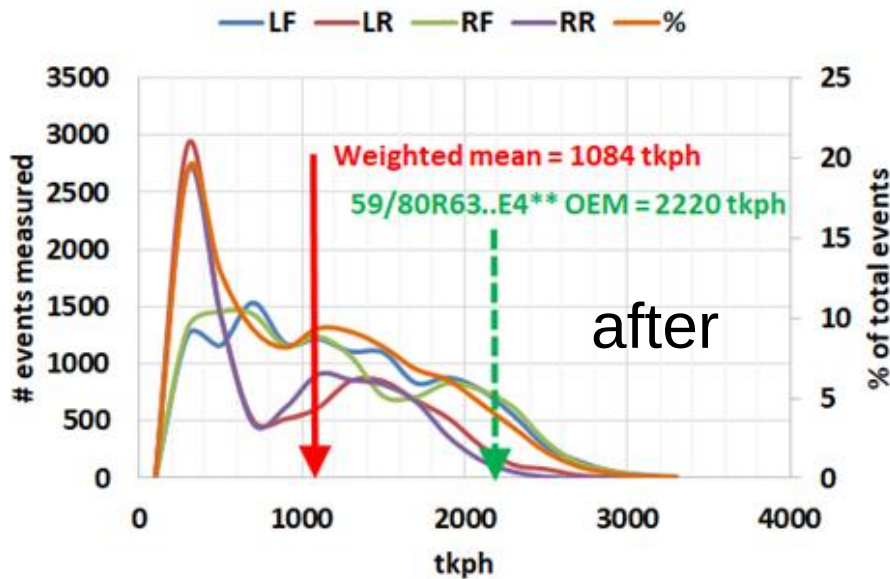
Y el costo del combustible, las emisiones de escape, la fatiga estructural del camión y aumentan la vida útil de los neumáticos.



Prueba de que el uso
de motoniveladoras
reduce la fatiga
estructural del camión



JPI™



Prueba de que el uso de motoniveladoras de carretera reduce las tkph y aumenta la vida útil de los neumáticos

Si podemos ahorrar combustible, neumáticos y costos de mantenimiento de camiones, no podemos permitirnos no usar motoniveladoras de carretera

mine equipment
performance analysis
engineering services
short courses



- **Gracias por su atención.**
- **Hemos cubierto rápidamente los "10 principios" para la planificación de operaciones de minas de superficie.**
- **Si quiere saber más, Laura y yo volveremos a Lima en enero y febrero de 2020; para dictar cursos para profesionales de ingeniería minas.**
- **Todos nuestros cursos están listados en jpicanada.com**



Tim, Laura y JPI: soluciones únicas de ingeniería
para operaciones mineras en todo el mundo

jpicanada.com

