

El Sistema Q

Clasificación de Macizos Rocosos y Diseño de Sostenimiento

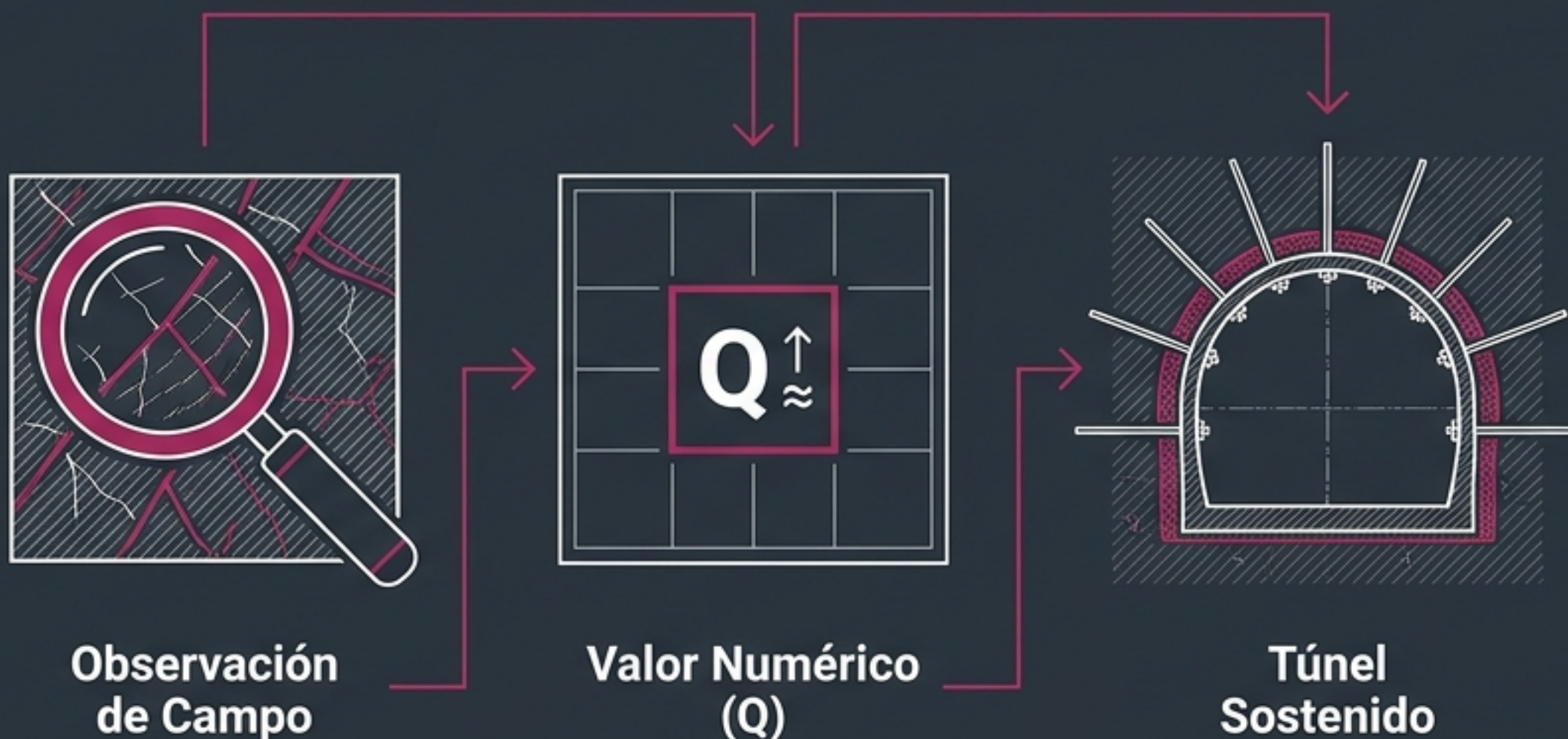
Una síntesis visual basada en el Manual Oficial de NGI (Actualización 2025).



El Lenguaje de la Roca

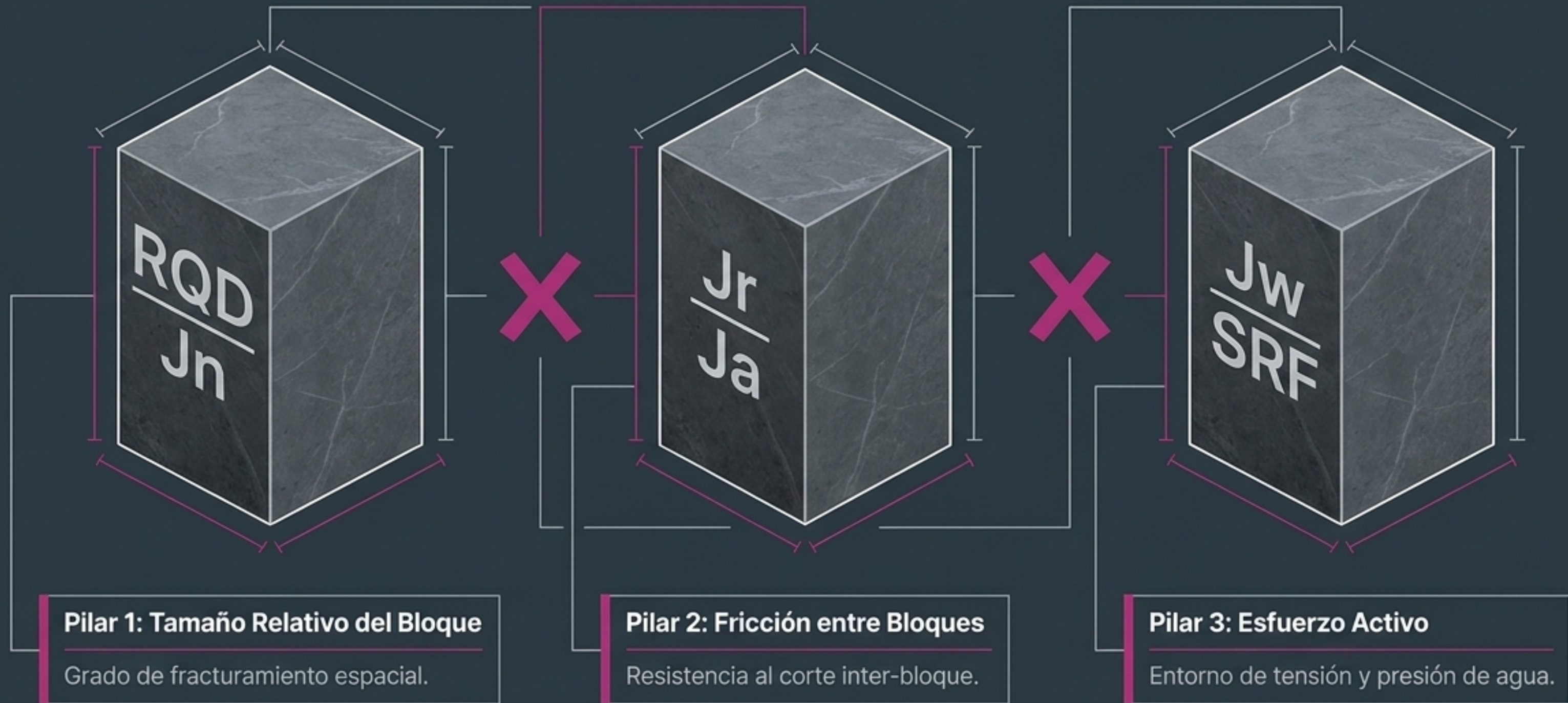


Desarrollado por el Instituto Geotécnico Noruego (NGI), el Sistema Q es un método empírico que cuantifica la calidad del macizo rocoso basándose en observaciones geológicas.



Transforma observaciones subjetivas en un valor estandarizado. Este valor guía el diseño de soporte permanente (hormigón proyectado y pernos), asegurando la estabilidad de excavaciones subterráneas.

Los 6 parámetros actúan en pares. Juntos, describen los **tres factores físicos fundamentales** que dictan la estabilidad subterránea.



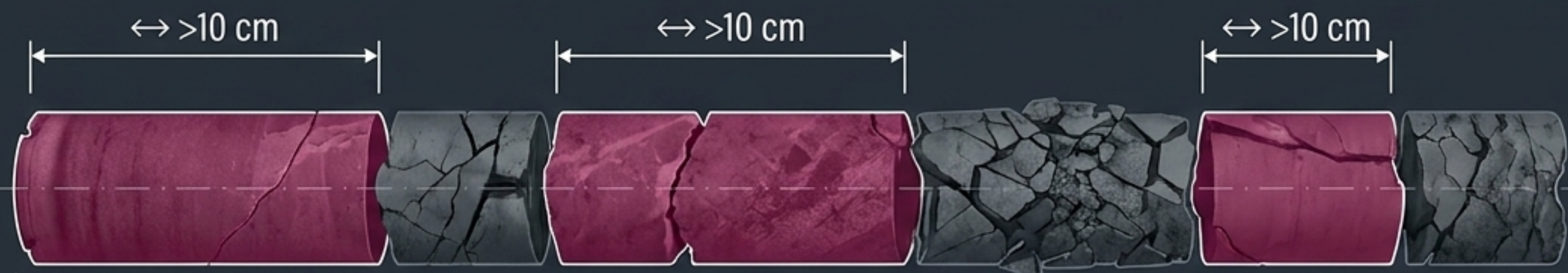
Pilar 1: Tamaño de Bloque

RQD / Jn



La estabilidad estructural del macizo disminuye drásticamente a medida que se reduce el espaciamiento entre fracturas y aumenta el número de familias de diaclasas que cortan la roca.

RQD: Designación de la Calidad de la Roca



$$\text{RQD} = \frac{\sum \text{longitud de piezas} > 10 \text{ cm}}{\text{expresado como \% de la longitud total}}$$

10

(Roca muy pobre / Tierra)

100

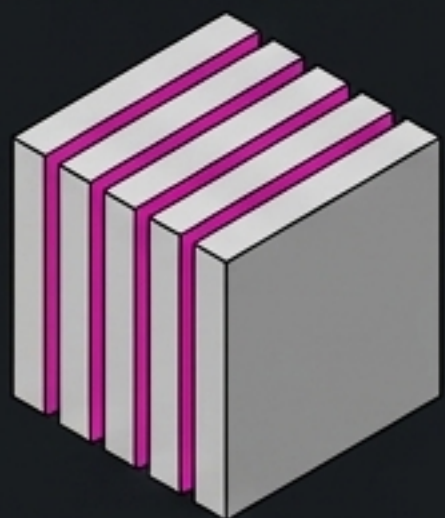
(Roca masiva / Excelente)

Nota Técnica

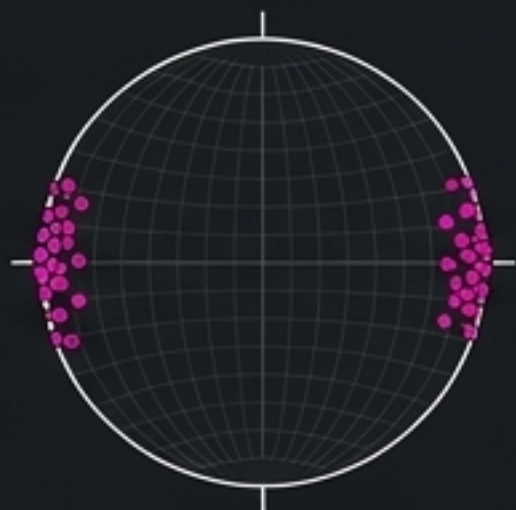
Regla práctica empírica: Solo se consideran fisuras naturales en el núcleo. Se ignoran las fracturas inducidas por perforación o voladuras.

Jn: Geometría y Familias de Diaclasas

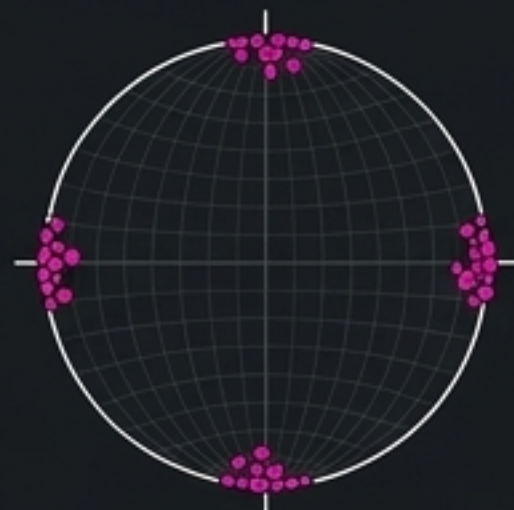
Un alto número de direcciones de fractura facilita la liberación y caída de bloques.



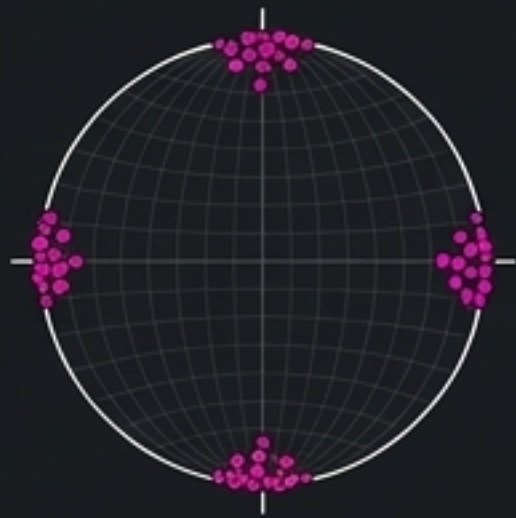
1 Familia (Masivo)



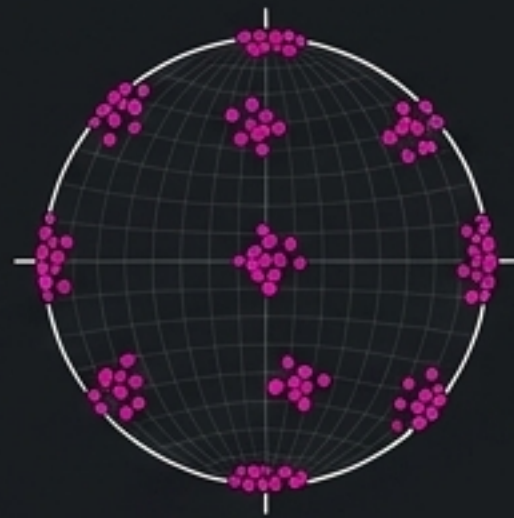
2 Familias



2 Familias



>3 Familias (Cubo de azúcar)



Valores Típicos

0.5 - 1 : Roca masiva

2 : Una familia

4 : Dos familias

9 : Tres familias

15 - 20 : Roca triturada tipo tierra

Advertencia de Diseño: Penalizaciones de intersección. En intersecciones de túneles, multiplique $J_n \times 3$. En portales, multiplique $J_n \times 2$.

Pilar 2: Fricción entre Bloques

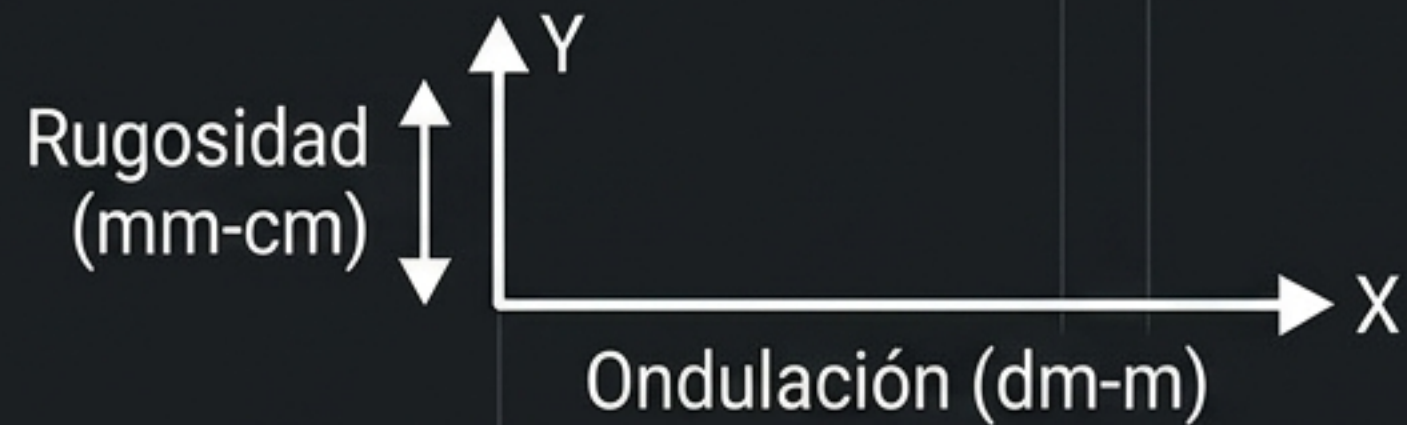
J_r / J_a



En rocas duras, la deformación no ocurre rompiendo la roca intacta, sino mediante el deslizamiento por cizalladura a lo largo de las diaclasas. La estabilidad depende de si las superficies se traban o se deslizan.

Jr: La Textura de la Resistencia

Se evalúa la rugosidad en la dirección más probable de deslizamiento. Las superficies rugosas previenen el movimiento.



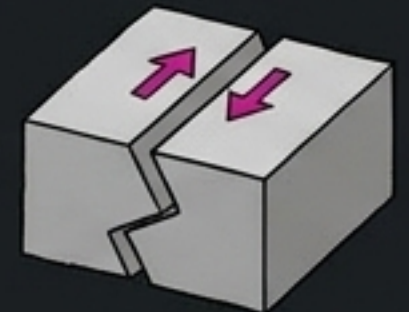
Beneficio Alto (Jr = 4)

Rugoso y escalonado.
Fuerte traba mecánica que impide el movimiento.



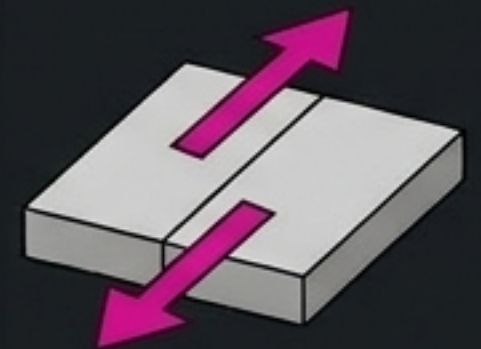
Beneficio Medio (Jr = 1.5)

Rugoso pero plano, o liso pero ondulado.
Resistencia intermedia.

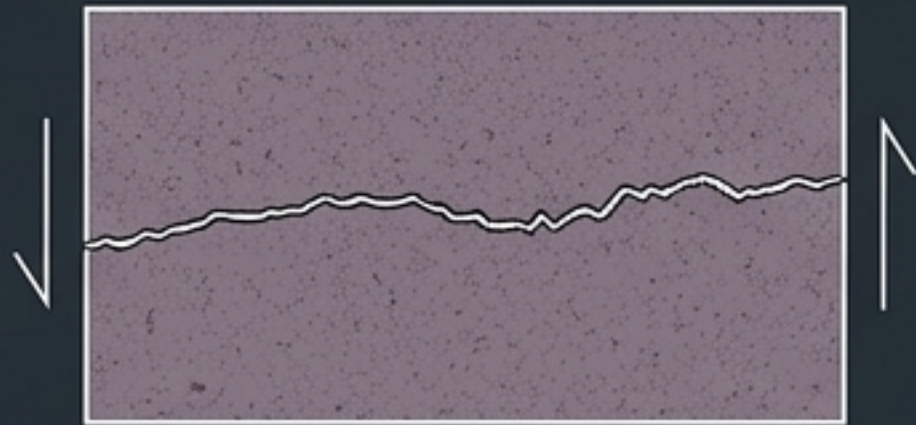


Peligro Crítico (Jr = 0.5)

Planos de falla pulidos (slickensided).
Máxima propensión al deslizamiento sin fricción.



Ja: El Peligro Oculto del Relleno



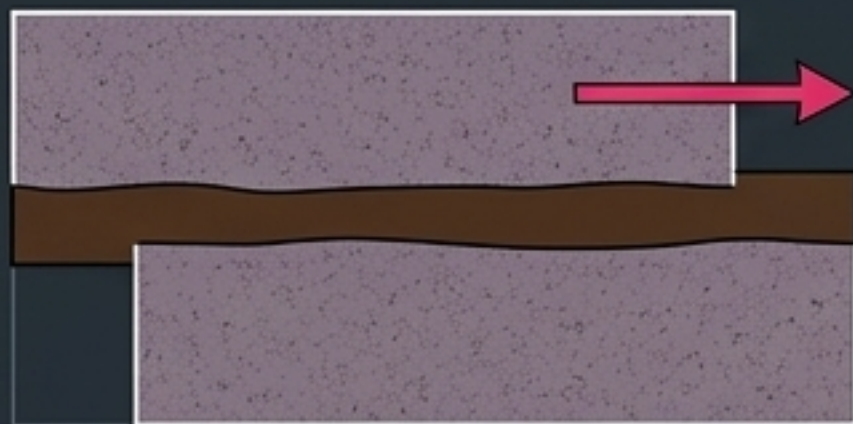
Fase A: Contacto directo de roca (Ja bajo).

Juntas sanas o con recubrimiento duro de minerales. Fricción máxima al cizallamiento.



Fase B: Contacto antes de 10 cm de cizalladura (Ja medio).

Finas capas de arcilla. El bloque se desplaza ligeramente antes de trabar mecánicamente con la roca subyacente.



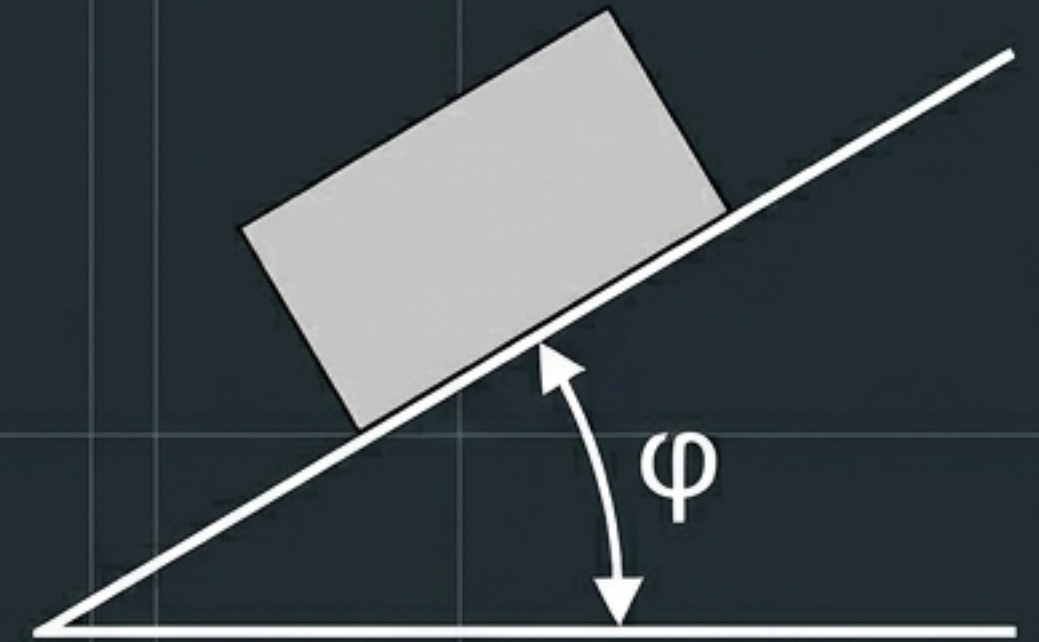
Fase C: Sin contacto de roca (Ja alto).

Gruesas bandas de arcilla expansiva. La rugosidad (J_r) se vuelve irrelevante; la arcilla controla toda la fricción.

La Dinámica de la Fricción

La relación matemática simula el ángulo de fricción real de la junta.

$$\tan^{-1} \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \approx \varphi_{\text{efectivo}} \quad (\text{Ángulo de Fricción Efectiva})$$

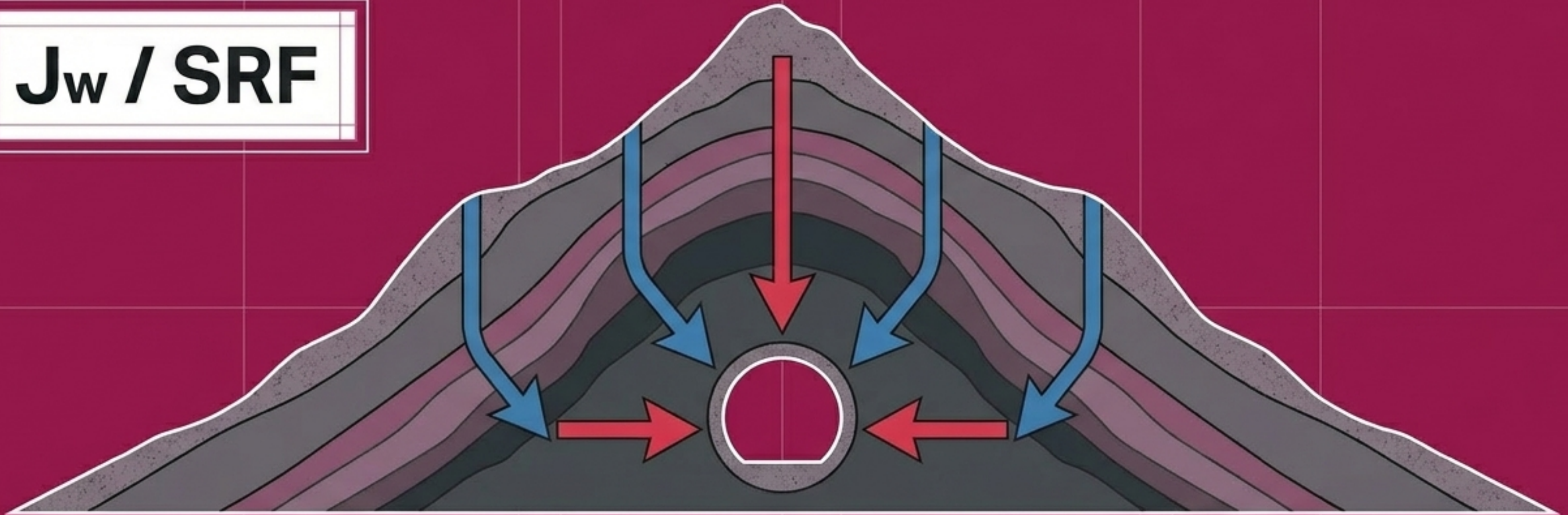


Este modelo matemático revela **por qué un relleno grueso anula la rugosidad**: si la capa de arcilla impide el contacto entre las paredes de roca, la fricción del sistema **colapsa** al valor residual de la propia arcilla.

(Nota: Esta ecuación conceptual solo es válida cuando existe contacto físico entre las paredes de roca).

Pilar 3: El Esfuerzo Activo

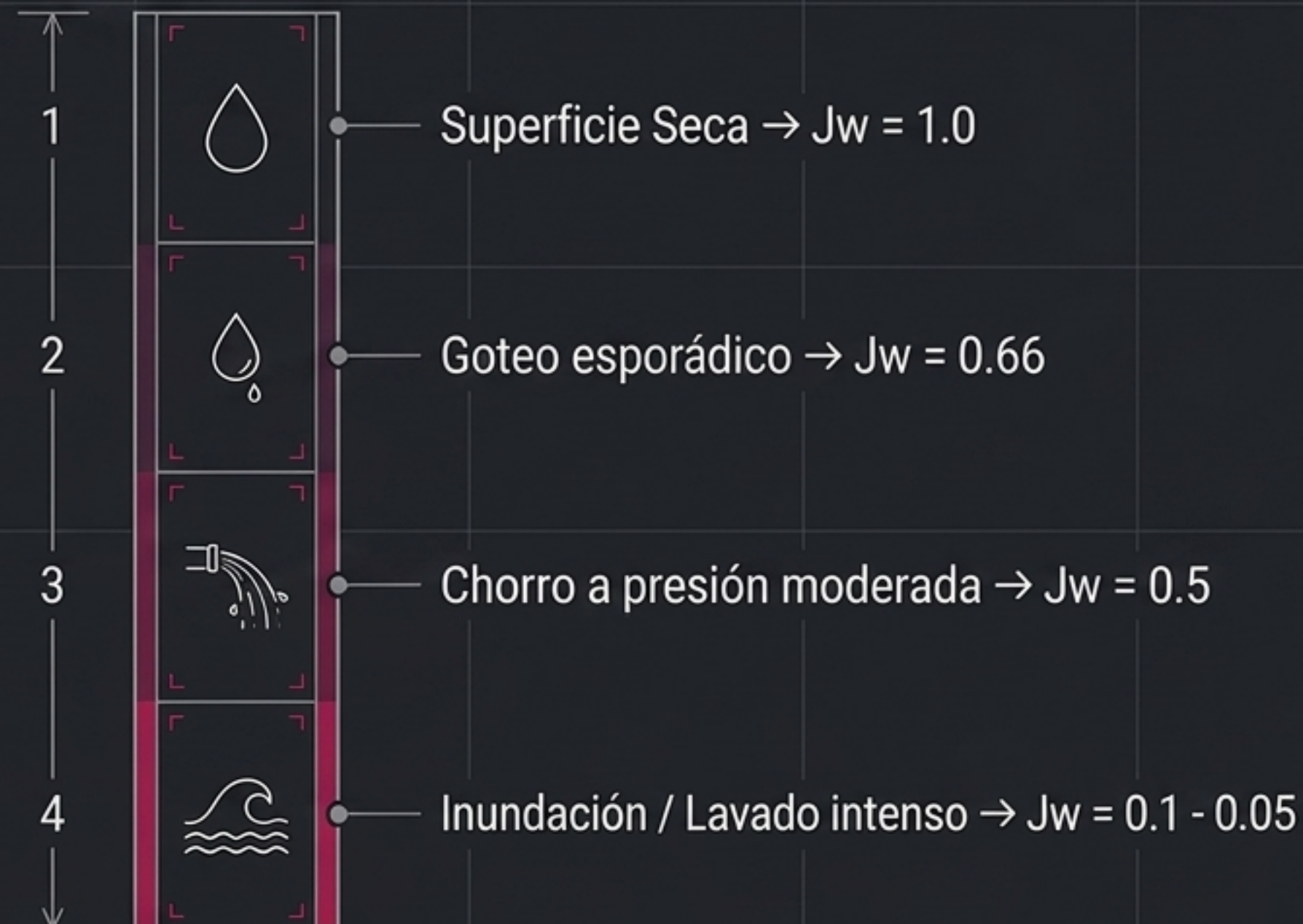
J_w / SRF



El macizo rocoso no existe en un vacío. El agua lubrica y lava las fallas, mientras que el peso topográfico suprayacente y la tectónica regional inyectan presiones masivas sobre la excavación.

Jw: La Influencia del Agua

FAVORABLE / SEGURO



CRÍTICO / PELIGRO

Mecanismo de Sabotaje Dual

El agua a presión reduce el esfuerzo normal que mantiene cerradas las diaclasas, y simultáneamente lava los rellenos minerales protectores, provocando un colapso en la fricción interna.

Excepción Crítica

Las arcillas expansivas (como la montmorillonita) son tan químicamente reactivas que reciben una severa penalización en el parámetro de alteración (J_a) independientemente del flujo visual actual de agua.

SRF: El Entorno Tensional

El Factor de Reducción evalúa la relación entre la resistencia de la roca intacta (σ_c) y el estrés principal (σ_1).

⚠ Falta de Confinamiento

Túnel superficial.
La gravedad gana,
los bloques caen.
SRF: 2.5 - 5.0.

⚠ Confinamiento

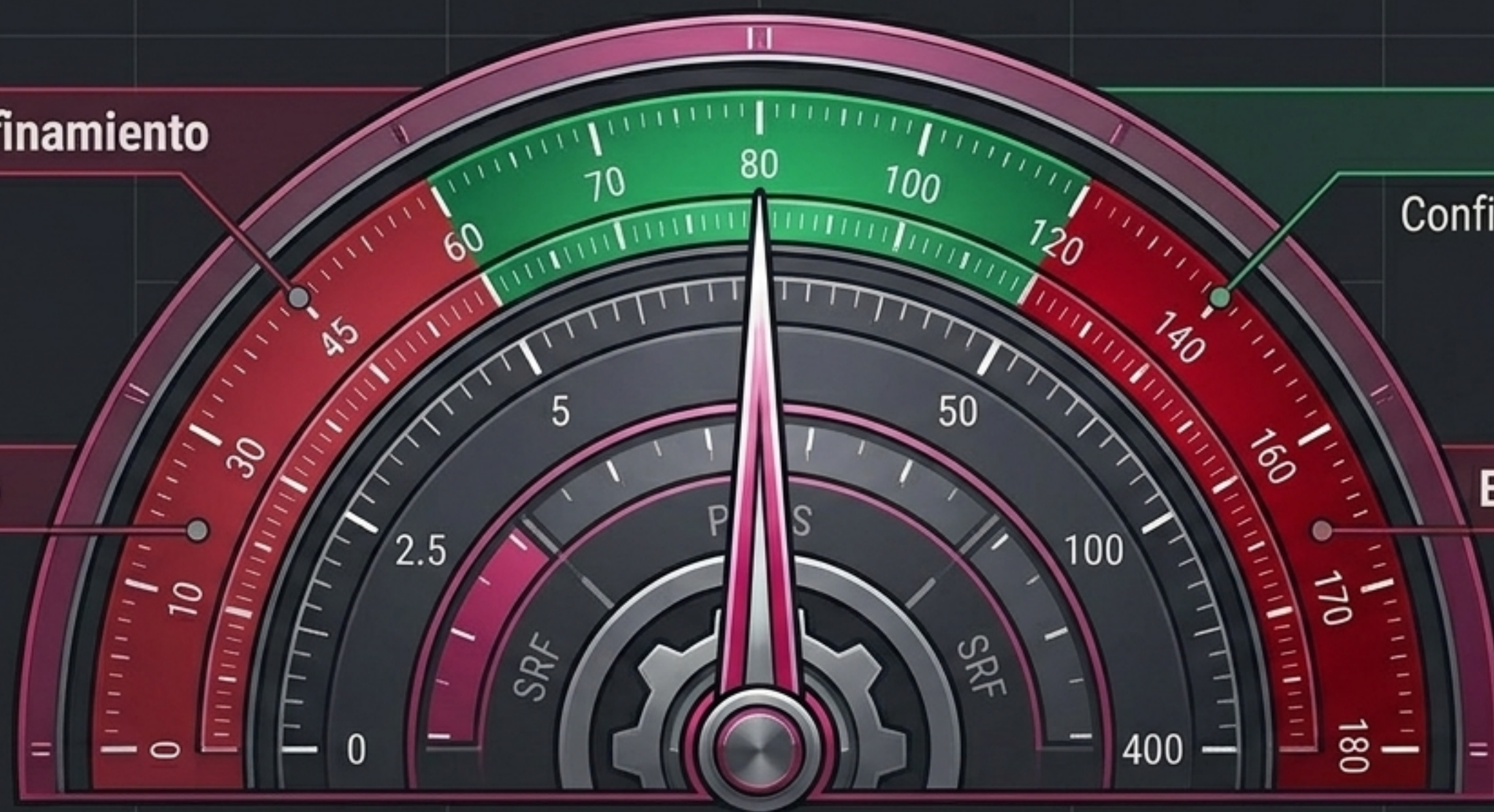
Túnel superficial.
La gravedad gana,
los bloques caen.
SRF: 2.5 - 5.0.

Óptimo ✓

Confinamiento Favorable.
La compresión sella
sella el macizo.
SRF: 0.5 - 2.0.

Exceso de Esfuerzo

Gran profundidad.
Estallido de roca o
deformación plástica
(Squeezing).
SRF: 5 - 400.



Un poco de presión lateral sella el macizo manteniéndolo estable; demasiada presión lo hace estallar.

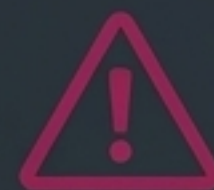
¿Qué es Q' (Qbase)?

$$Q' = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

Versión simplificada utilizada para el mapeo temprano de afloramientos superficiales y logueo de núcleos, donde el agua y el estrés profundo aún se desconocen.

¡ADVERTENCIA! Nunca use el valor Q' para calcular o recomendar el diseño final de sostenimiento.

Límites del Modelo Empírico



Como modelo empírico, sus recomendaciones conservadoras fallan en la "periferia" geológica.

Rocas débiles o muy masivas sin fracturas.



Requieren análisis numéricos avanzados para simular falla intacta o comportamiento no discontinuo.

Condiciones extremas de deformación plástica profunda (*Squeezing*).



Modelado numérico necesario para predecir magnitudes de deformación y comportamiento dependiente del tiempo.

Entornos con mineralogía altamente expansiva (*Swelling*).



Requieren análisis de laboratorio y modelado acoplado hidro-mecánico.

Síntesis: Matriz de Diagnóstico del Sistema Q

Parámetro	Diagnóstico Físico	Posición	Regla de Estabilidad
RQD	Grado de fracturamiento espacial	$\frac{\sigma_n}{f}$ Numerador	Valor alto AUMENTA la estabilidad (Q↑)
Jn	Número de familias de diaclasas	$\frac{J_r}{J_n}$ Denominador	Valor alto PENALIZA la estabilidad (Q↓)
Jr	Textura microscópica (Rugosidad)	$\frac{\sigma_{ir}}{f}$ Numerador	Valor alto AUMENTA la estabilidad (Q↑)
Ja	Alteración y relleno de arcilla	$\frac{J_a}{J_a}$ Denominador	Valor alto PENALIZA la estabilidad (Q↓)
Jw	Presión y lavado por agua	$\frac{\sigma_w}{f}$ Numerador	Valor alto AUMENTA la estabilidad (Q↑)
SRF	Entorno tensional y esfuerzo	$\frac{\sigma_w}{J_w}$ Denominador	Valor alto PENALIZA la estabilidad (Q↓)

El valor final Q (escala logarítmica de 0.001 a 1000) se cruza con las dimensiones geométricas del túnel en los ábacos empíricos para determinar el hormigón y los pernos exactos requeridos.