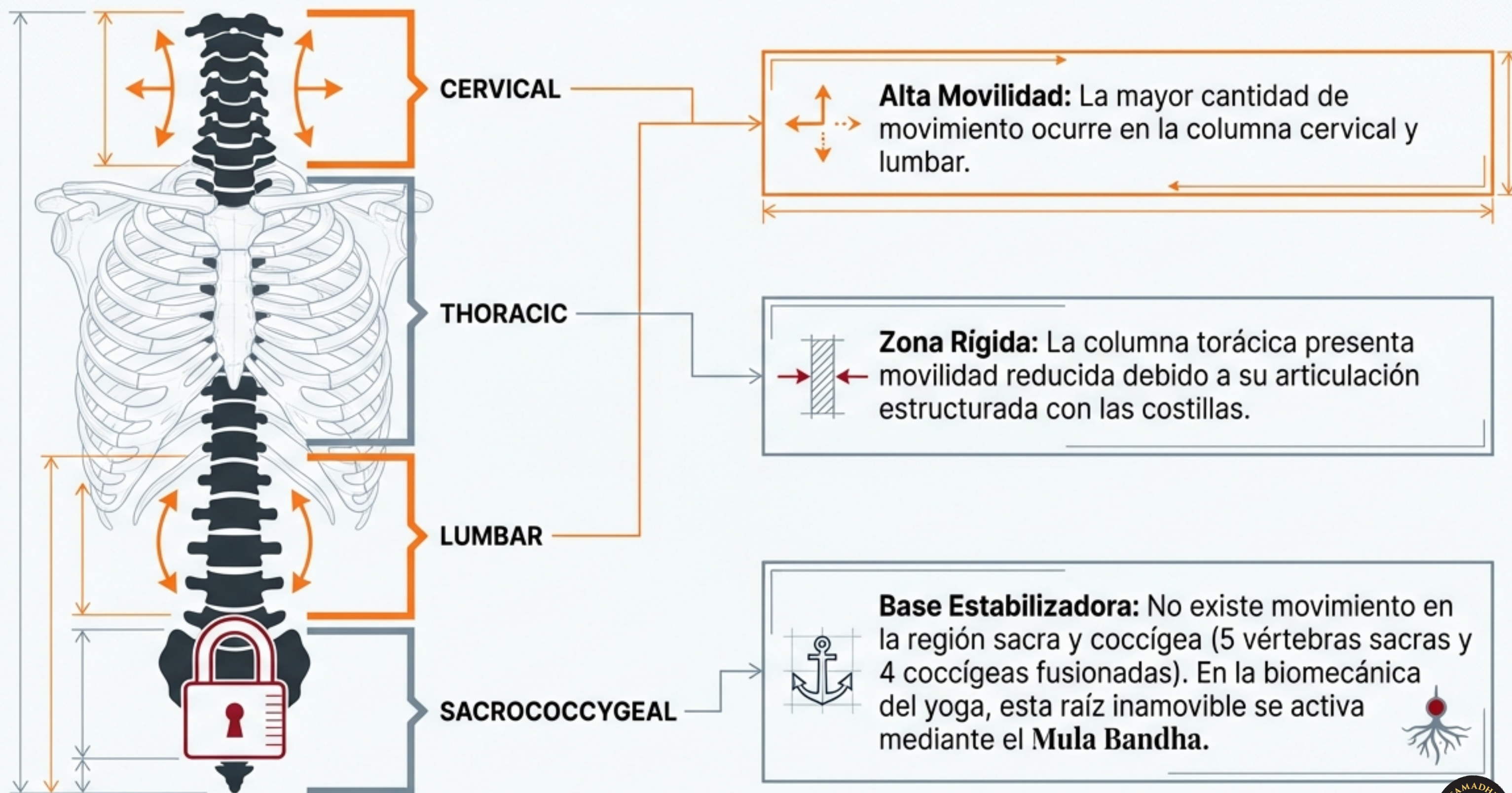


# Biomecánica de la Columna Vertebral

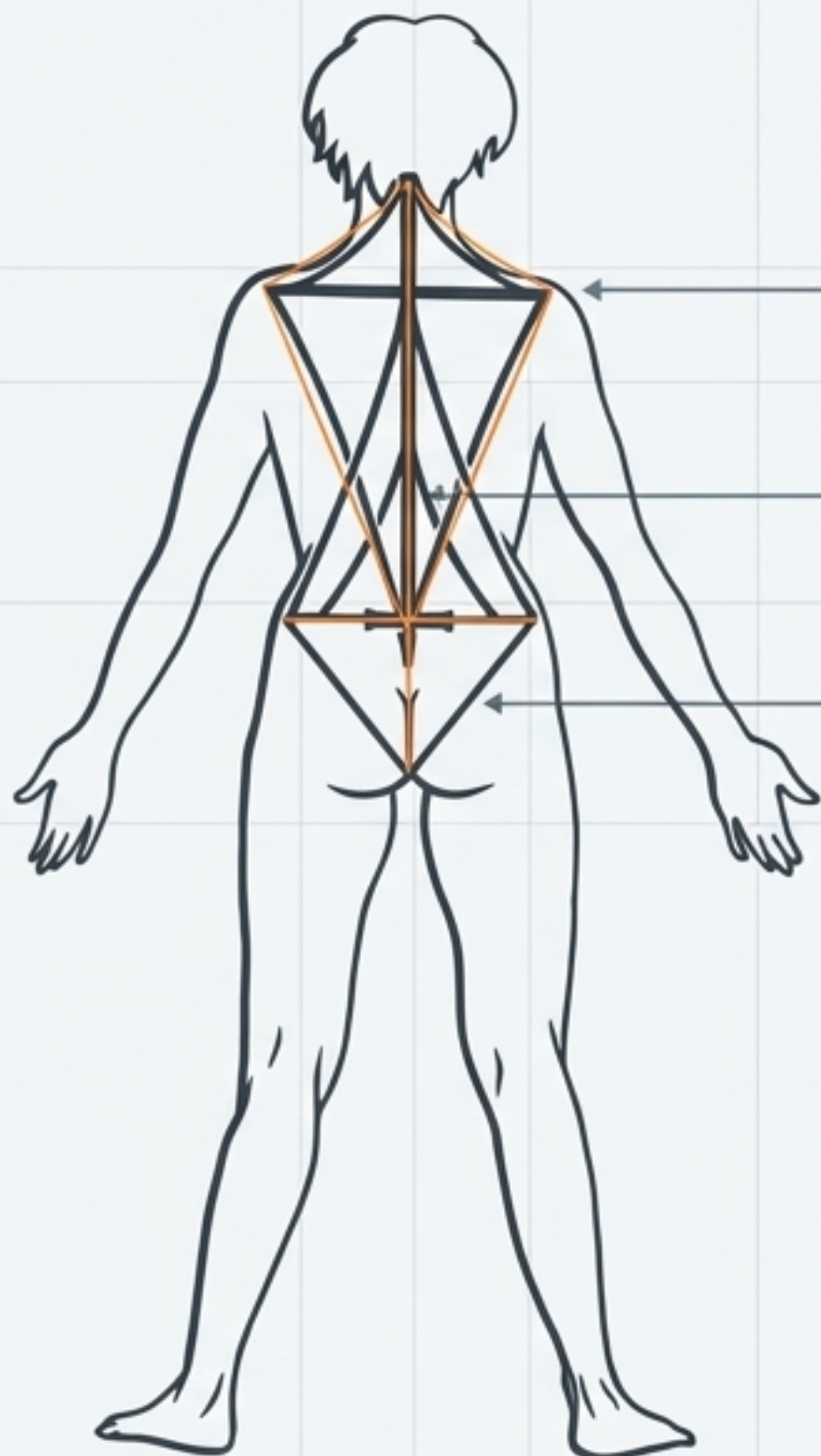
El Eje de la Vida (Merudanda):  
Arquitectura, Resistencia y  
Movimiento.



# Distribución del Movimiento Raquídeo



# El Mástil y la Pelvis (Simetría)



## Imperativo Biomecánico:

La columna concilia dos fuerzas absolutas: ser inherentemente rígida mientras mantiene una flexibilidad extrema.

## Estructura Central:

Lo consigue mediante un mástil apoyado sobre la pelvis (considerada el *Kanda* o bulbo central). Tensores ligamentarios y musculares unen el mástil con la pelvis y la cintura escapular.

## Estado de Equilibrio:

En posición simétrica (*Tadasana* o Postura de la Montaña), las tensiones se equilibran perfectamente en ambos lados; el mástil permanece vertical y rectilíneo.

# Columna en Carga Unilateral

**Mecanismo de Activación:** El peso recae sobre un solo miembro inferior (“Vrksasana”). La pelvis bascula inmediatamente hacia el lado opuesto.



**Reacción Sinuosa:** El raquis abandona su rectitud y sigue un trayecto de compensación.



**1. Zona Lumbar:** Convexa hacia el lado del miembro en descarga.

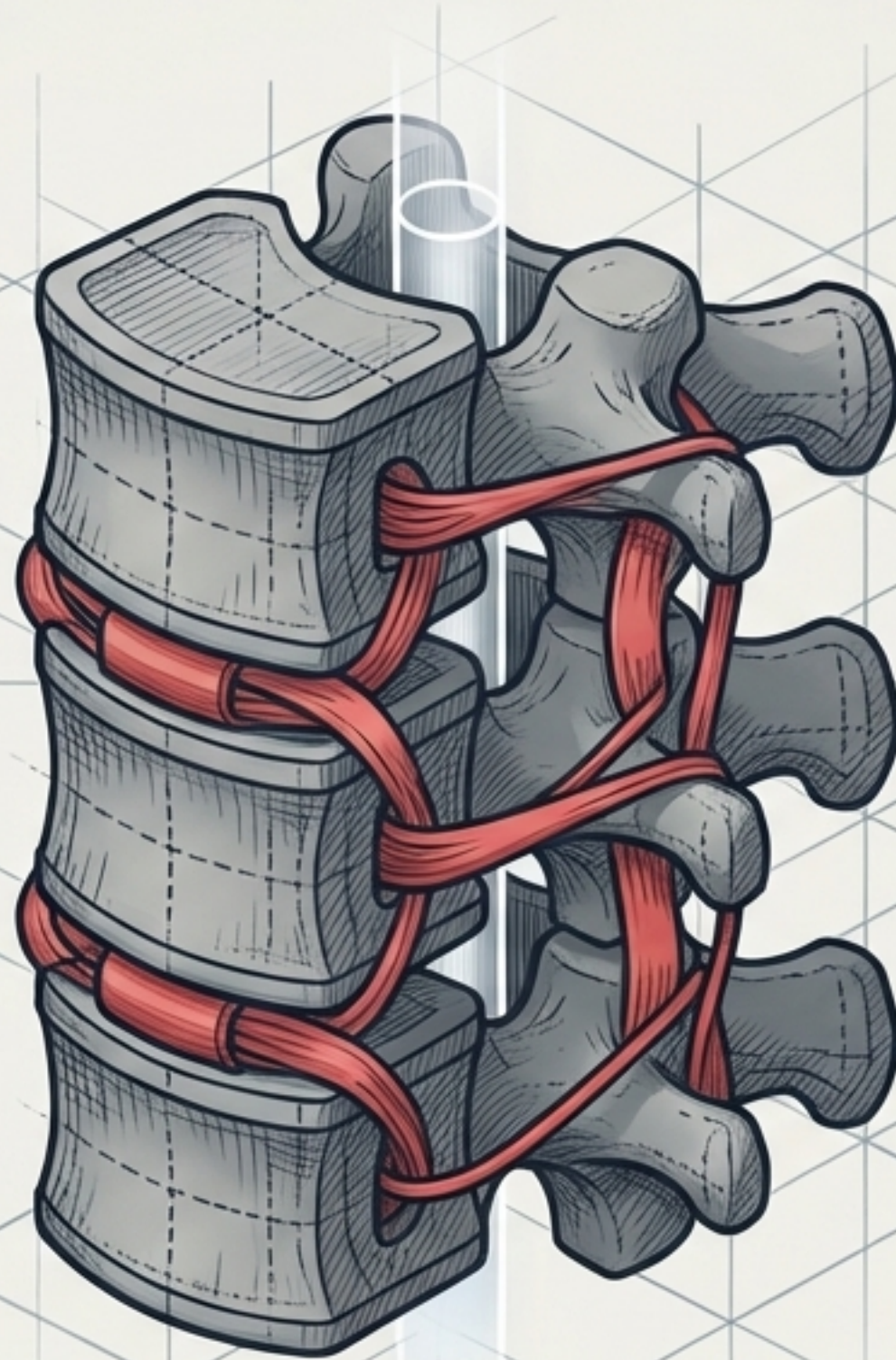
**2. Zona Dorsal:** Adopta una curva cóncava compensatoria.

**3. Zona Cervical:** Retorna a convexa para mantener el plano visual nivelado.



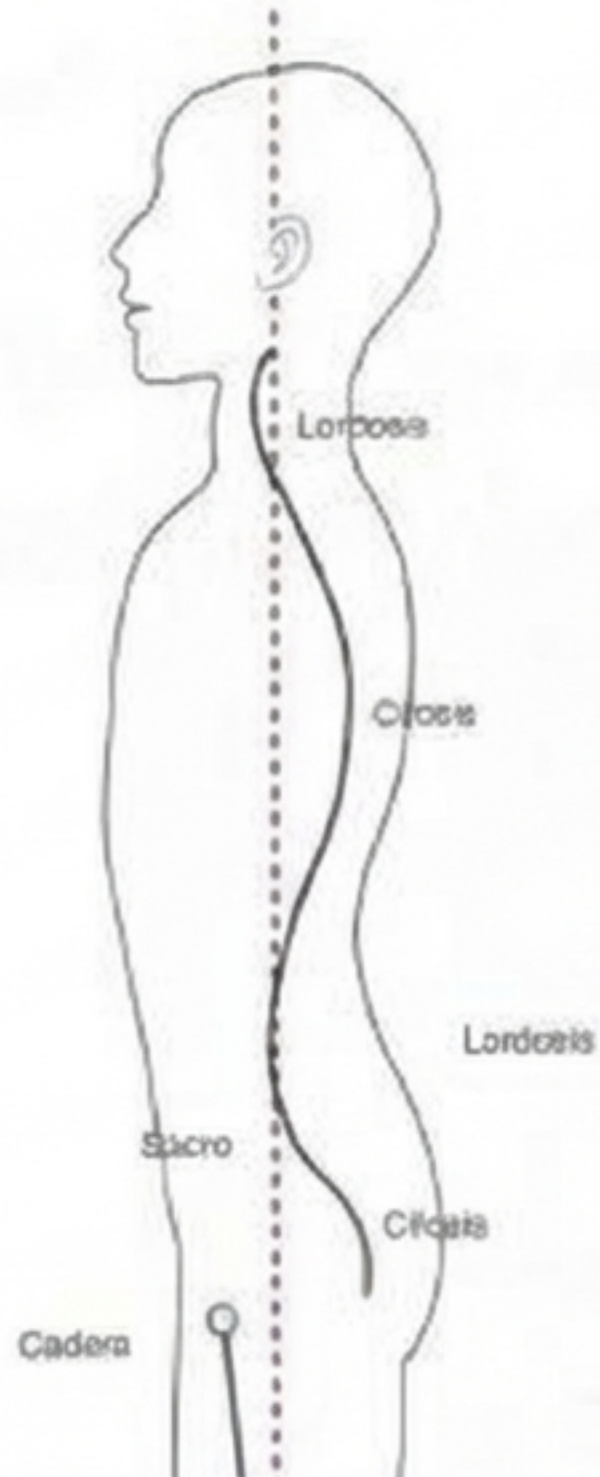
# Flexibilidad del Eje Raquídeo

Realidad Estructural: La extraordinaria flexibilidad de la columna no reside en la deformación de sus huesos, sino en su configuración geométrica de múltiples piezas superpuestas, unidas intrincadamente por elementos ligamentosos y musculares dinámicos.



La Paradoja Biomecánica: Esta estructura puede deformarse masivamente para permitir el movimiento, aun permaneciendo estructuralmente rígida bajo la tensión muscular. Esta rigidez asegura la integridad de la médula espinal (el canal central o *Sushumna Nadi*).

# Las Curvas de la Columna



**Contexto:** Pueden presentarse curvas transversales no patológicas, siempre que permanezcan en estrechos límites funcionales. En el plano sagital estandarizado se definen cuatro arcos:



**Lordosis Cervical:** Concavidad posterior.



**Cifosis Dorsal:** Convexidad posterior.

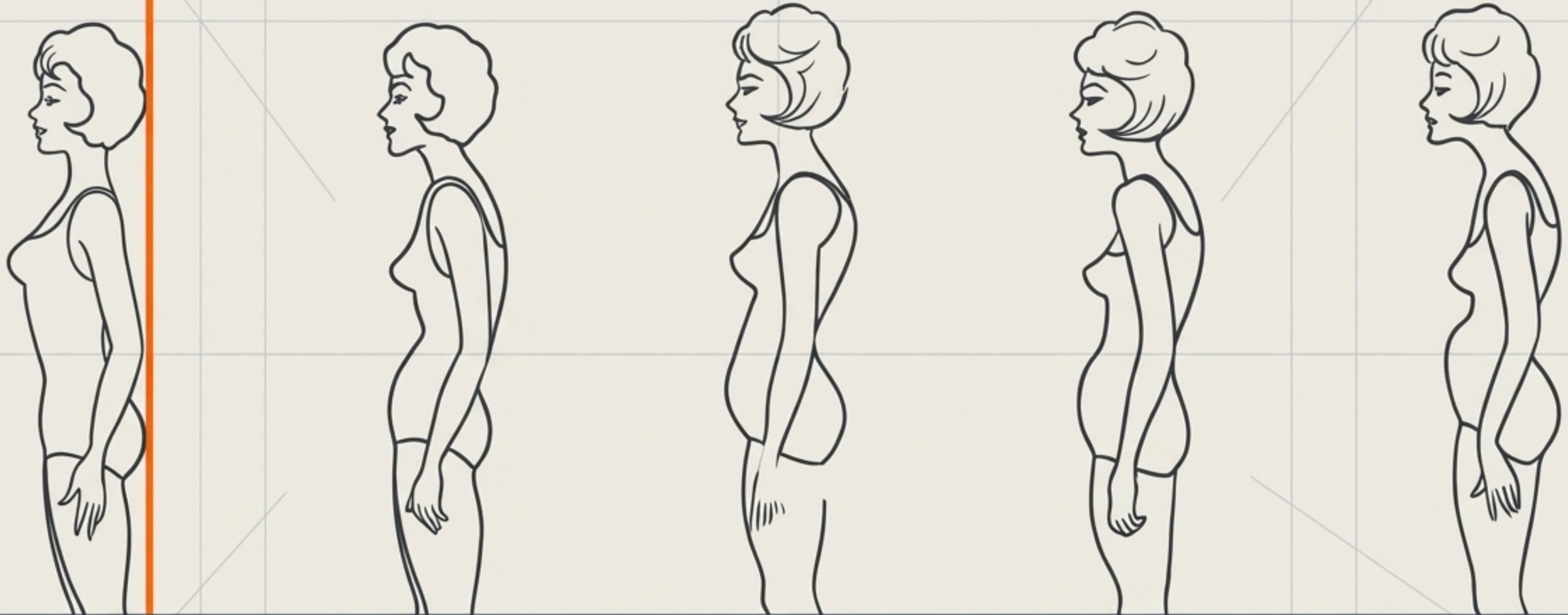


**Lordosis Lumbar:** Concavidad posterior.



**Curva Sacra:** Concavidad anterior.

# Curvas en Equilibrio



**Alineación Óptima (*Samasthiti*):** La regla de la tangencia dicta que cuando un sujeto se encuentra en equilibrio postural normal, la arquitectura biomecánica requiere que la parte posterior del cráneo, la zona media de la espalda (cifosis dorsal) y los glúteos sean perfectamente tangentes a un plano plano vertical.

# Curvas de la Columna y Fuerzas Compresivas

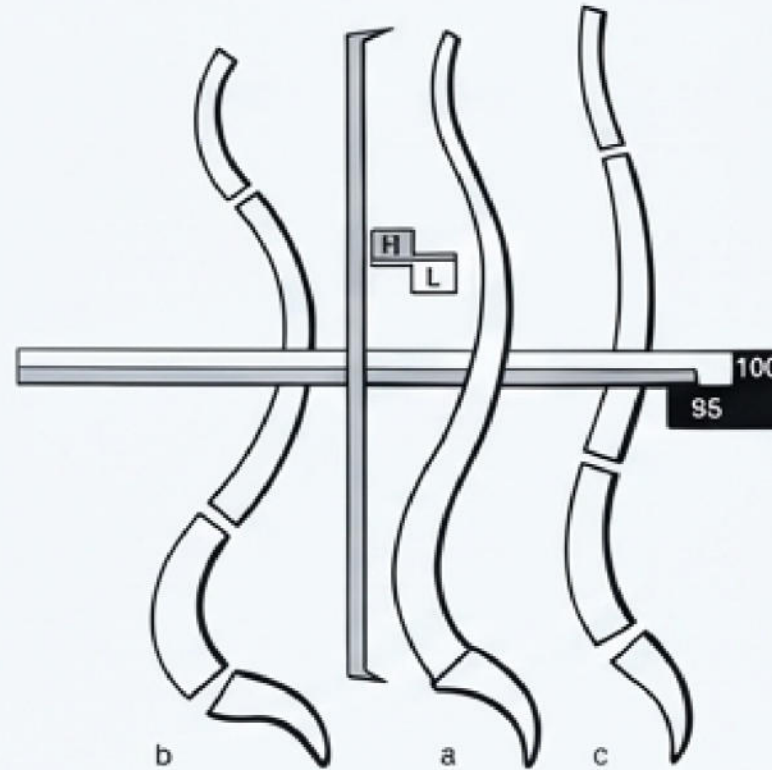


$$R = N^2 + 1$$

Ventaja Mecánica: La evolución biológica desarrolló curvas raquídeas para aumentar exponencialmente la resistencia a las inmensas fuerzas de compresión axial. (R = Resistencia total, N = Número de curvas móviles).

**El Multiplicador de Fuerza:**  
Aplicando la fórmula, una columna con tres curvas móviles ( $3^2 + 1 = 10$ ) posee una resistencia mecánica diez veces mayor que la de un eje raquídeo completamente rectilíneo.

# El índice Raquídeo de Delmas



**Fórmula Base:** Relación entre longitud y altura:  $H$  (altura) x 100 /  $L$  (longitud alcanzada)

## Raquis Dinámico

- **Índice:** Menor de 94%.
- **Geometría:** Curvas muy pronunciadas (más largo que alto).
- **Funcionalidad:** Optimizado para el movimiento dinámico y absorción de impactos (ej. práctica activa de Asana).

## Raquis Estático

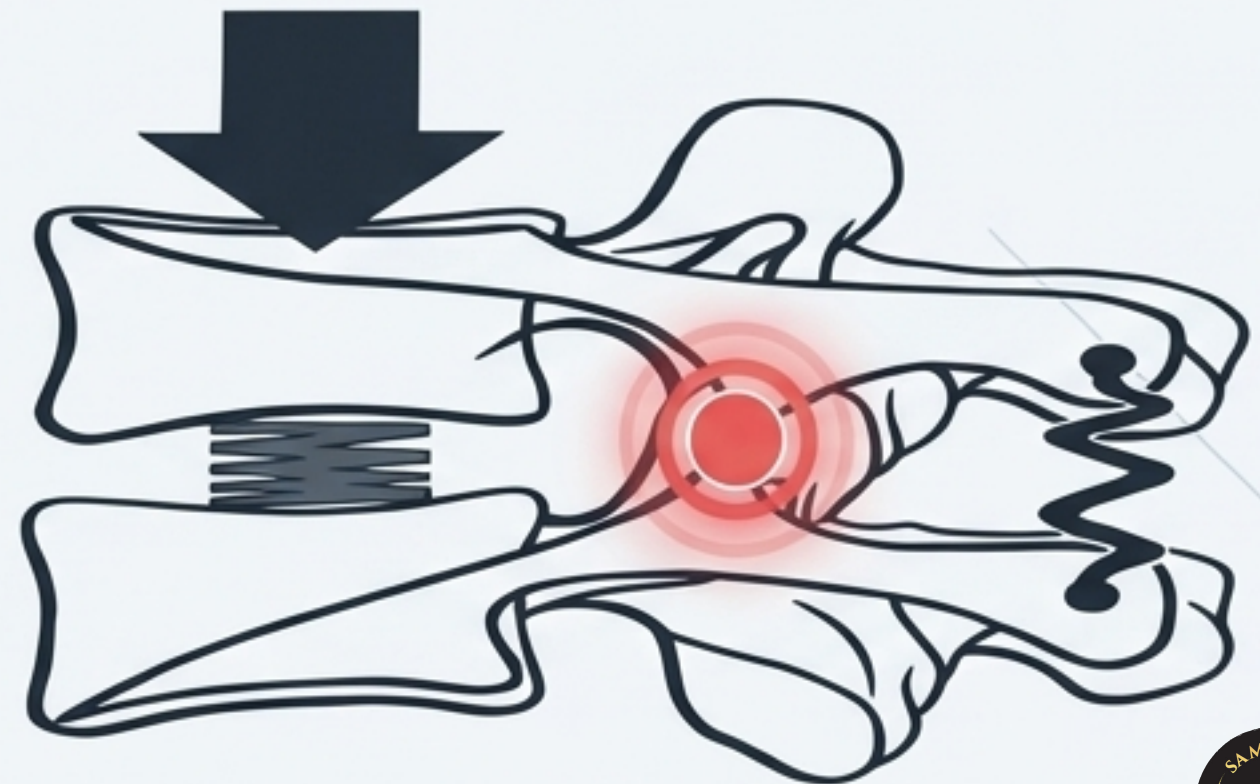
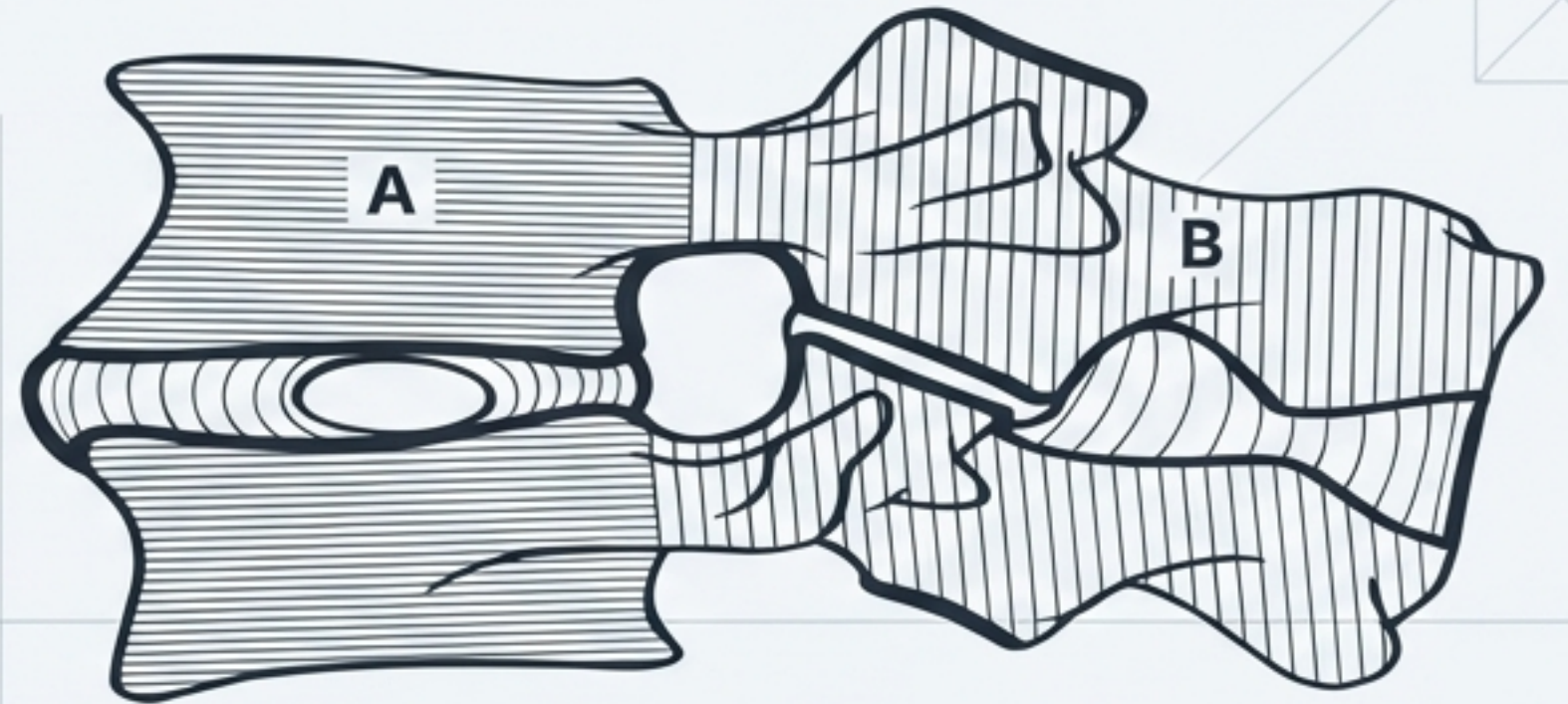
- **Índice:** Superior a 96%.
- **Geometría:** Curvas poco pronunciadas (casi rectilíneo).
- **Funcionalidad:** Optimizado para el soporte estático prolongado (ej. postura sentada para *Dhyana* o meditación).

# Divisiones Funcionales del Raquis

**Pilar Anterior (Soporte Estático):** Ubicado por delante. Su función principal es el soporte de carga masiva y amortiguar las fuerzas de compresión axial.

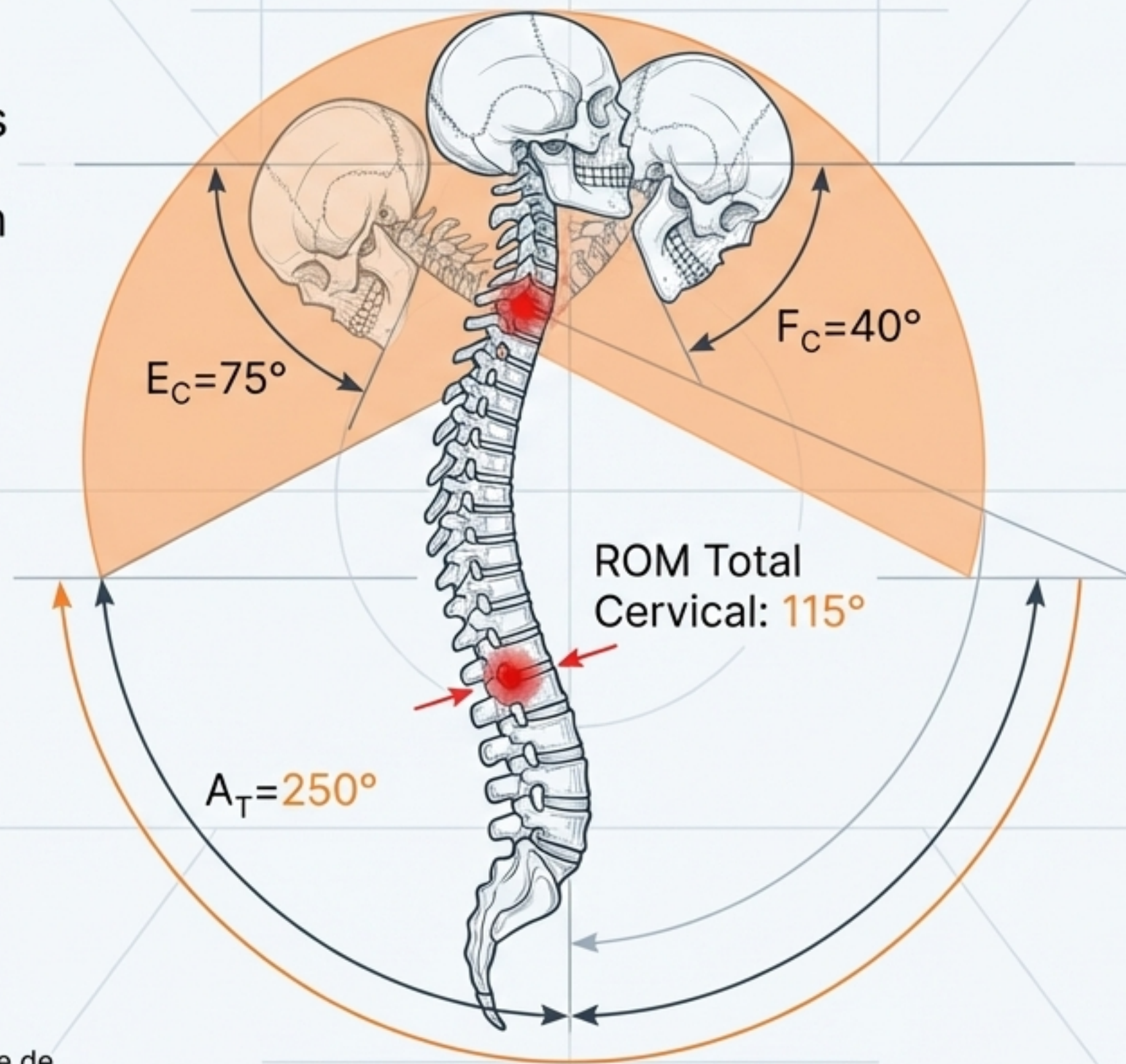
**Pilar Posterior (Función Dinámica):** Ubicado por detrás. Contiene las columnas articulares sujetas por el arco posterior, dirigiendo el movimiento.

**Sistema de Palanca:** Relación funcional asegurada por los pedículos vertebrales. Forman una palanca de primer grado, donde la articulación interapofisiaria actúa como el punto de apoyo central.



# Amplitud de la Flexo-Extensión (Global y Cervical)

**Amplitud Total (At):** El arco máximo entre las dos posiciones extremas alcanza los 250 grados en el plano sagital.



**Rango Cervical (Alta Movilidad):**

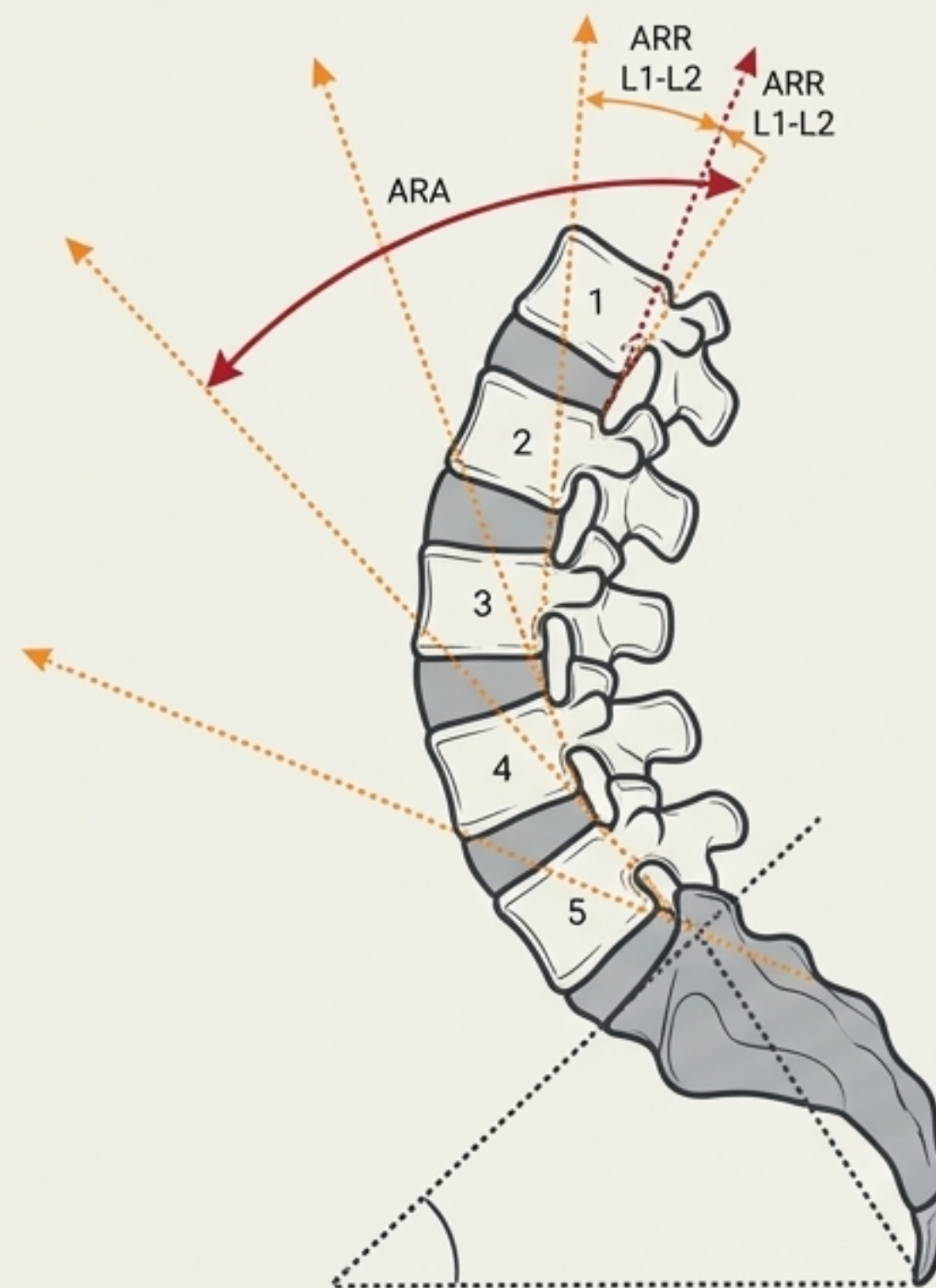
- Flexión (FC):  $40^\circ$  ("Paschimottanasana")
- Extensión (EC):  $75^\circ$  ("Purvottanasana")
- ROM Total Cervical:  $115^\circ$ .

Referencia Espacial: A nivel del cráneo, el eje de medición estricto es el plano masticatorio.

# Amplitud de la Flexo-Extensión (Dorsolumbar)

Mecánica del Tronco Inferior	
1	<b>Rango Lumbar Aislado:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Flexión Lumbar (FL): 60°</li><li>• Extensión Lumbar (EL): 35°</li></ul>
2	<b>Conjunto Dorsolumbar Integrado:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Flexión Dorso-lumbar (FDL): 105°</li><li>• Extensión Dorso-lumbar (EDL): 60°</li></ul>

**Implicación Biomecánica:** La arquitectura de la zona lumbar aporta la inmensa mayoría de la flexibilidad al tronco inferior, siendo el motor principal en asanas de flexión profunda (como Uttanasana).



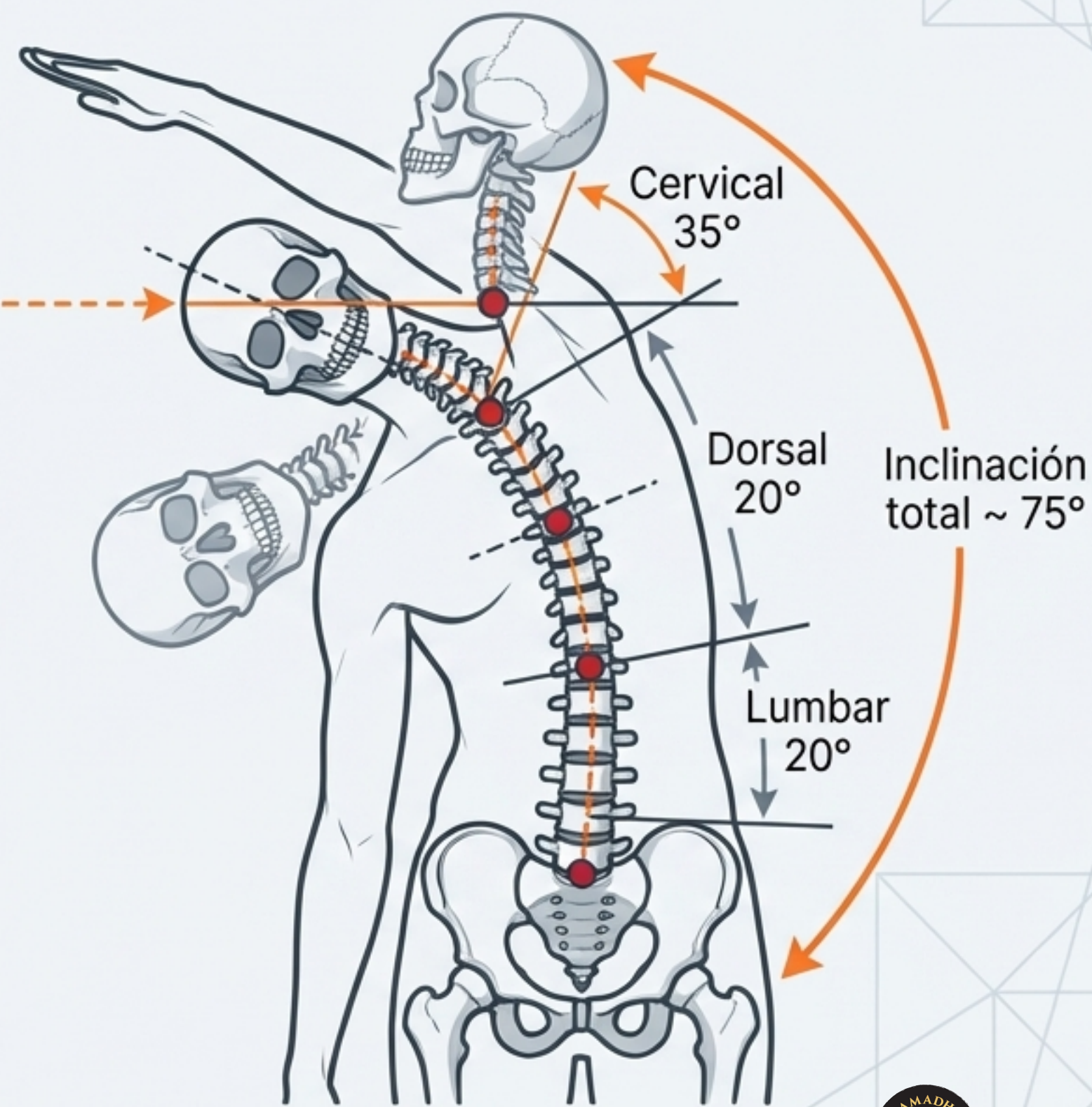
# Amplitud de la Inflexión Lateral

**Referencia Espacial:** Movimiento realizado estrictamente en el plano frontal. En el cráneo, se toma como punto de referencia central la línea bimastoidea. ----->

## Distribución del Rango de Movimiento:

- Raquis Lumbar: 20°
- Raquis Dorsal: 20°
- Raquis Cervical: 35° a 45°
- Inflexión Total del Raquis: 75° – 85°

**Aplicación Práctica:** Esta inflexión lateral combinada es la base anatómica de posturas geométricas como **Parsvakonasana** (Postura del ángulo lateral extendido).



# Rotación Axial del Raquis

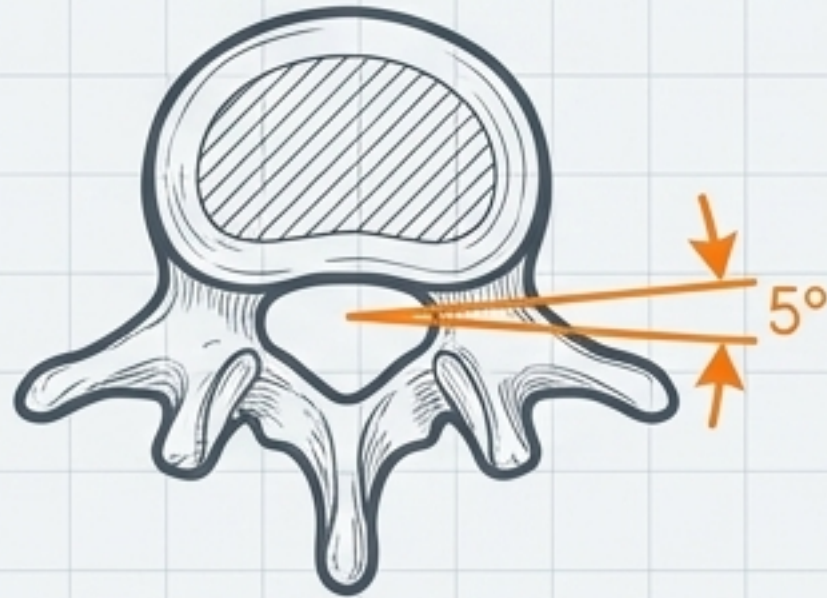


Fig 57

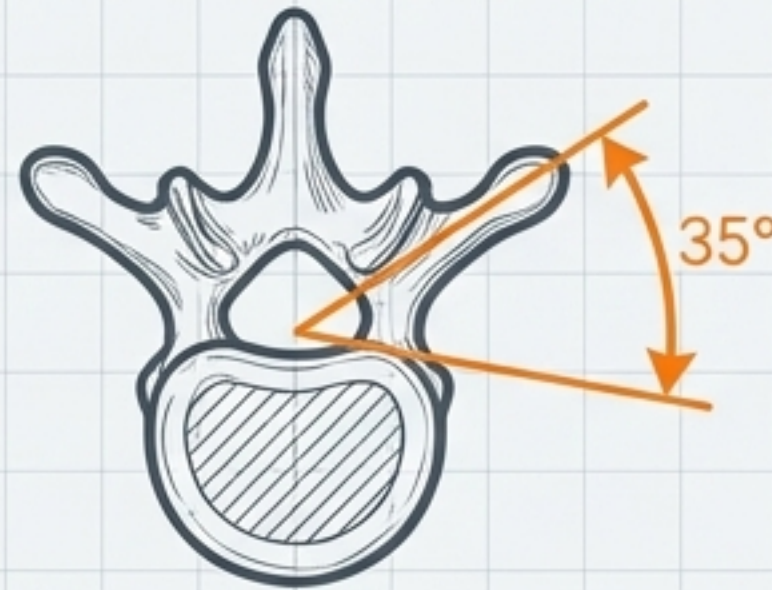


Fig 58

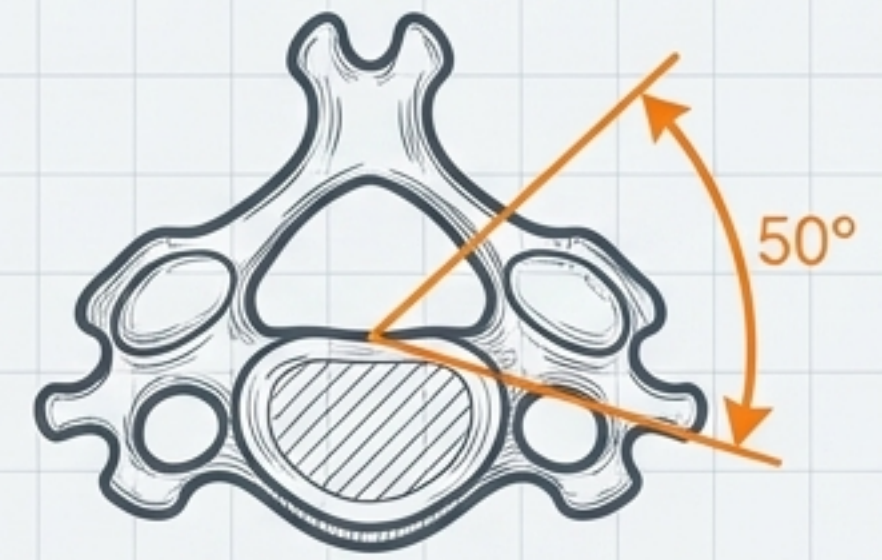
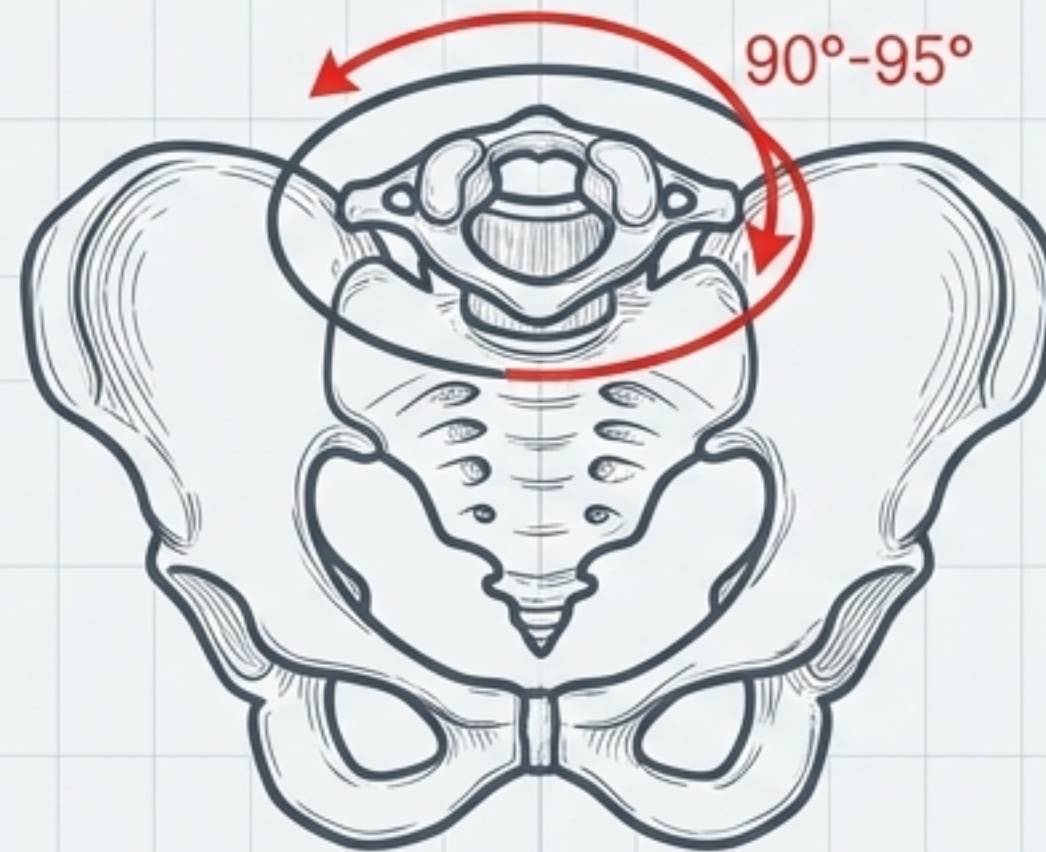


Fig 59

## Progresión de la Torsión

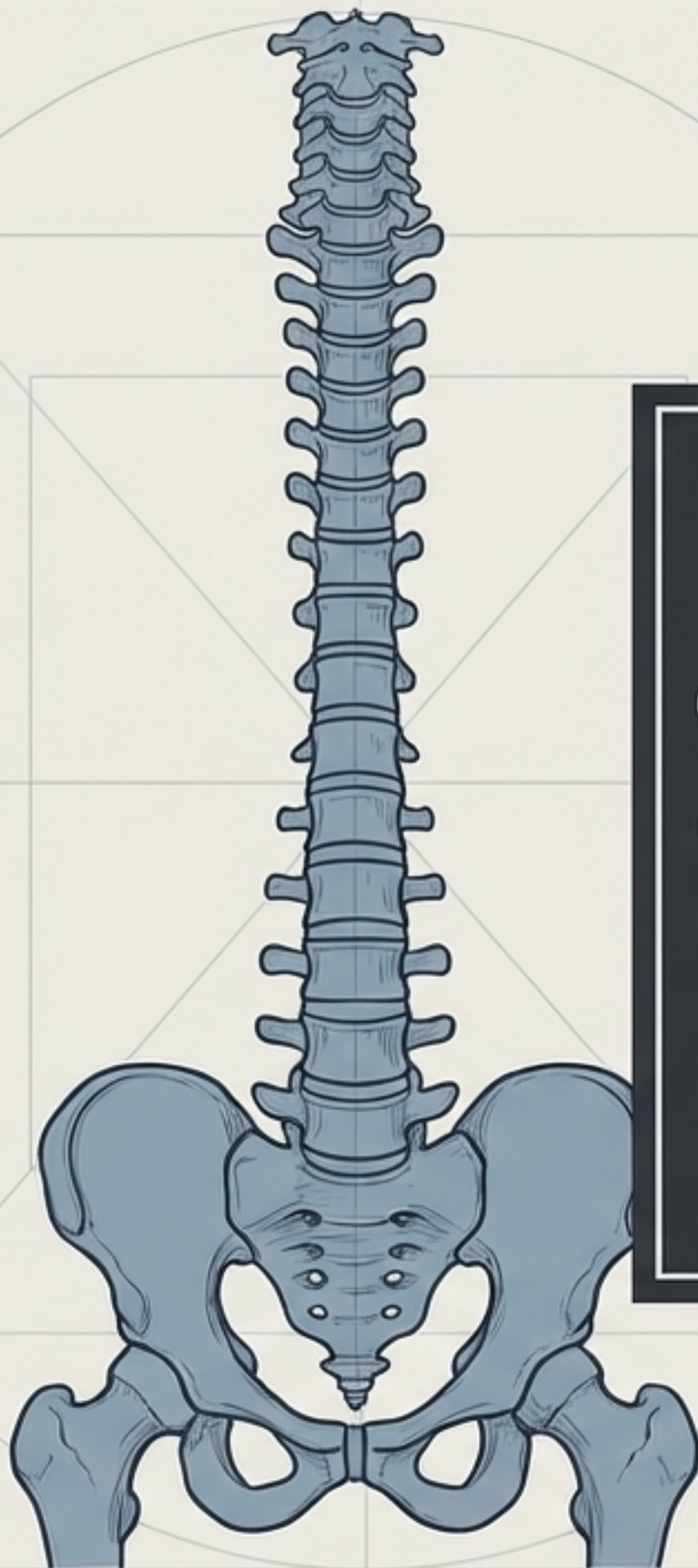
- **Nivel Lumbar** (Fig 57): Apenas 5°. Altamente restringido por la orientación de las facetas articulares.
- **Nivel Dorsal** (Fig 58): 35°. Movilidad moderada.
- **Nivel Cervical** (Fig 59): 45° - 50°. Alta libertad rotacional.



## La Anomalía y la Aplicación

**La Anomalía del Atlas:** La primera vértebra cervical efectúa una rotación masiva e independiente de casi 90 grados en relación al sacro.

**Aplicación Práctica:** La distribución progresiva de estas fuerzas rotacionales se domina en torsiones espinales profundas como Ardha Matsyendrasana (in Playfair Display).



## Síntesis Biomecánica: El Diseño Perfecto

**El Triunfo Evolutivo:** La columna vertebral (Merudanda) no es un simple pilar óseo; es el triunfo definitivo de la ingeniería biológica.

**Unificación de Fuerzas:** Combina de forma maestra un soporte estático impenetrable (multiplicado por 10 gracias a la matemática de sus curvas) con una dinámica fluida excepcional (alcanzando 250° de ROM total en el plano sagital).

Entender el equilibrio de este plano vital, y sus límites articulares, es la clave absoluta para garantizar un movimiento seguro, altamente eficiente y biomecánicamente consciente.

