

MANUAL DEL ESTUDIANTE

MÓDULO 3: BIOMECÁNICA AVANZADA Y MODELAMIENTO

1. Presentación del módulo

La biomecánica avanzada aplicada al trabajo permite comprender, con mayor precisión, cómo actúan las fuerzas sobre el cuerpo humano durante la ejecución de una tarea. No basta con observar que una postura es incómoda o que una carga parece pesada; es necesario analizar qué sucede internamente en el sistema musculoesquelético cuando una persona levanta, sostiene, empuja, hala o gira una carga.

En este módulo se estudiarán tres ejes clave. El primero es la compresión lumbar, con especial referencia al enfoque del método NIOSH para manipulación manual de cargas. El segundo es el análisis de las fuerzas internas, es decir, aquellas que se generan dentro del cuerpo como respuesta a las exigencias externas. El tercero es el estudio del torque y las palancas, fundamentales para entender por qué pequeños cambios en la distancia, el ángulo o la postura pueden disparar el esfuerzo biomecánico.

Este módulo tiene una utilidad brutal en ergonomía ocupacional, porque permite sustentar técnicamente una intervención. Ya no se trata solo de decir “el trabajador está mal posicionado”, sino de demostrar por qué ese diseño incrementa la demanda física y eleva la probabilidad de lesión.

2. Objetivo del módulo

Al finalizar este módulo, el participante será capaz de:

- Comprender los fundamentos de la biomecánica avanzada aplicada al trabajo.
- Interpretar la compresión lumbar asociada a tareas de manipulación manual de cargas.
- Diferenciar fuerzas externas e internas en el análisis ocupacional.
- Analizar tareas mediante principios de torque y sistemas de palancas.
- Evaluar casos reales y proponer medidas de control con criterio biomecánico.

3. Competencias a desarrollar

- Al concluir el módulo, el estudiante podrá:
- Explicar la relación entre carga externa y respuesta interna del cuerpo.

- Identificar variables biomecánicas críticas en tareas laborales.
- Interpretar el riesgo lumbar en escenarios de levantamiento manual.
- Analizar el efecto de la distancia, postura y técnica sobre el esfuerzo físico.
- Formular recomendaciones ergonómicas basadas en principios mecánicos.

DESARROLLO TEÓRICO DEL MÓDULO

4. FUNDAMENTOS DE BIOMECÁNICA OCUPACIONAL

4.1. ¿Qué es la biomecánica ocupacional?

La biomecánica ocupacional es el campo que estudia cómo actúan las leyes de la mecánica sobre el cuerpo humano durante el trabajo. Analiza el movimiento, las fuerzas, las aceleraciones, los momentos y las cargas que soportan los segmentos corporales en diferentes tareas.

Su finalidad no es solo describir el movimiento, sino determinar si una tarea es biomecánicamente segura, tolerable o riesgosa.

4.2. ¿Por qué es importante en ergonomía?

Porque muchas lesiones laborales no dependen únicamente del peso de un objeto, sino de cómo se manipula. Un objeto “ligero” puede ser riesgoso si está lejos del cuerpo, si exige torsión del tronco o si se levanta repetidamente durante largas jornadas.

La biomecánica permite responder preguntas como estas:

- ¿Cuánta carga recibe la columna lumbar?
- ¿Qué articulación está sometida a mayor demanda?
- ¿Cuál es el efecto de alejar la carga del cuerpo?
- ¿Qué postura incrementa el torque sobre la espalda?
- ¿Cuánto esfuerzo muscular se necesita para compensar una mala posición?

4.3. Conceptos básicos

Fuerza

Es toda acción capaz de modificar el estado de movimiento o deformación de un cuerpo. En el trabajo, la fuerza aparece al levantar, empujar, halar, sostener o estabilizar una carga.

Carga externa

Es la fuerza que proviene del entorno, como el peso de una caja, una herramienta o una pieza.

Carga interna

Es la respuesta que genera el propio organismo, principalmente a través de músculos, tendones, articulaciones y estructuras de sostén.

Momento o torque

Es la capacidad de una fuerza para producir rotación alrededor de un eje.

Brazo de palanca

Es la distancia perpendicular entre la línea de acción de la fuerza y el eje de rotación.

5. COMPRESIÓN LUMBAR Y MÉTODO NIOSH

5.1. ¿Qué es la compresión lumbar?

La compresión lumbar es la fuerza que actúa presionando las vértebras y discos de la zona baja de la espalda, especialmente a nivel de la unión lumbosacra, durante actividades como levantar, bajar, cargar o sostener objetos.

Cuando una persona manipula una carga, la columna no recibe únicamente el peso del objeto. También soporta la acción de los músculos que se contraen para mantener el equilibrio y controlar el movimiento. Ese detalle cambia todo: la carga interna puede ser mucho mayor que la carga visible.

5.2. ¿Por qué es crítica la región lumbar?

La región lumbar actúa como eje de transmisión entre el tronco y las extremidades inferiores. Debe soportar:

- el peso del tronco,
- el peso de la carga,
- la acción muscular para estabilizar el cuerpo,
- las variaciones posturales,
- las aceleraciones y desaceleraciones.

Por eso, las tareas con manipulación manual de cargas mal diseñadas suelen terminar afectando la espalda baja.

5.3. Relación con NIOSH

El enfoque de NIOSH se utiliza para evaluar tareas de levantamiento manual y determinar un límite de peso recomendado según las condiciones del levantamiento. El modelo considera que no existe un peso “seguro” universal; la aceptabilidad de la carga depende de varias condiciones de ejecución.

5.4. Variables consideradas en la ecuación NIOSH

El método parte de una constante de carga y aplica multiplicadores según las condiciones reales del levantamiento. Entre las variables más importantes están:

a) Distancia horizontal

Es la distancia entre la carga y el cuerpo, especialmente respecto a la zona media entre los tobillos. Cuanto más lejos está la carga, mayor es el momento sobre la columna y mayor la compresión lumbar.

b) Altura vertical

Es la altura inicial de la carga con respecto al suelo. Levantar desde niveles muy bajos o muy altos suele ser más exigente que hacerlo desde una zona intermedia.

c) Desplazamiento vertical

Es la diferencia entre la altura de origen y destino. Mientras mayor sea el recorrido vertical, mayor puede ser la demanda física.

d) Ángulo de asimetría

Aparece cuando el levantamiento implica giro o torsión del tronco. Levantar y girar al mismo tiempo es una mala combinación biomecánica.

e) Frecuencia

No es lo mismo levantar una caja una vez que hacerlo cada 20 segundos durante varias horas. La repetición incrementa la fatiga y reduce la tolerancia del sistema musculoesquelético.

f) Calidad del agarre

Una carga sin asas, inestable o difícil de sujetar obliga a mayor esfuerzo compensatorio.

5.5. Idea central del método NIOSH

El método NIOSH no calcula directamente la lesión, sino la aceptabilidad biomecánica y fisiológica del levantamiento. Su lógica es simple: si las condiciones empeoran, el peso recomendado disminuye.

O sea: no es solo “cuánto pesa”, sino “cómo, desde dónde, hacia dónde, cuántas veces y con qué control”.

5.6. Índice de levantamiento

Una vez obtenido el peso recomendado, se compara con el peso real de la carga.

Índice de levantamiento = $\text{Peso real} / \text{Peso recomendado}$

Interpretación general:

- Menor o igual a 1: condición más aceptable.
- Mayor que 1: empieza a aumentar el nivel de riesgo.
- Mucho mayor que 1: la tarea requiere rediseño.

5.7. Factores que aumentan la compresión lumbar

- levantar desde el suelo,
- mantener la carga lejos del cuerpo,
- inclinar el tronco hacia adelante,
- girar mientras se levanta,
- manipular cargas pesadas,
- repetir la tarea sin pausas adecuadas,
- trabajar con mala técnica o en espacios reducidos.

5.8. Principio práctico clave

Cada centímetro que la carga se aleja del cuerpo le cobra factura a la espalda. Así de simple. Y así de cruel.

6. Fuerzas internas

6.1. ¿Qué son las fuerzas internas?

Son las fuerzas que se generan dentro del organismo para responder a una demanda externa. Si una persona sostiene una caja, no solo actúa el peso de la caja; también aparecen fuerzas musculares, tensiones tendinosas, reacciones articulares y compresión sobre las estructuras óseas.

6.2. Diferencia entre fuerza externa e interna

Fuerza externa

Proviene del entorno:

- peso del objeto,
- gravedad,
- resistencia de una herramienta,
- empuje de una máquina,
- fricción del piso.
- Fuerza interna

Proviene del cuerpo:

- contracción muscular,
- compresión articular,
- tensión ligamentaria,

- estabilización segmentaria.

6.3. ¿Por qué son importantes las fuerzas internas?

Porque son las que realmente soportan las estructuras anatómicas. En muchos casos, el objeto parece “ligero”, pero la fuerza muscular requerida para sostenerlo en determinada postura es muy alta.

Ejemplo clásico: sostener una carga con el brazo extendido. El objeto puede no pesar demasiado, pero al estar lejos del eje articular, el hombro y la musculatura deben generar una fuerza interna enorme para compensar.

6.4. Respuesta muscular frente a la carga

Cuando existe una carga externa, los músculos se activan para:

- mantener la postura,
- controlar el movimiento,
- evitar colapso del segmento corporal,
- estabilizar articulaciones.

Este esfuerzo muscular puede multiplicar varias veces la carga que recibe una articulación.

6.5. Fuerzas de compresión y cizallamiento

Compresión

Fuerzas que presionan una estructura. En la columna, la compresión aplasta vértebras y discos.

Cizallamiento

Fuerzas que intentan deslizar una estructura sobre otra. En la columna, esto puede favorecer daño en discos, ligamentos y articulaciones intervertebrales.

6.6. Factores que incrementan fuerzas internas

posturas extremas,

- distancia larga entre el cuerpo y la carga,
- aceleración brusca,
- tareas unilaterales,
- torsión,
- contracciones sostenidas,
- debilidad muscular,
- mala técnica de levantamiento.

6.7. Aplicación ergonómica

El análisis de fuerzas internas ayuda a justificar intervenciones como:

- acercar la carga al cuerpo,
- reducir alcances,
- elevar superficies de trabajo,
- rediseñar herramientas,
- usar ayudas mecánicas,
- redistribuir tareas.

7. Análisis de torque y palancas

7.1. ¿Qué es el torque?

El torque o momento de fuerza es el efecto rotacional producido por una fuerza alrededor de un punto o eje.

Fórmula básica:

$$\text{Torque} = \text{Fuerza} \times \text{Distancia}$$

Esto significa que una fuerza pequeña puede generar un gran torque si actúa lejos del eje.

Esto significa que una fuerza pequeña puede generar un gran torque si actúa lejos del eje.

7.2. Aplicación en el cuerpo humano

En biomecánica humana, las articulaciones funcionan como ejes y los segmentos corporales como barras móviles. Los músculos generan fuerza para vencer o equilibrar los torques producidos por el peso del cuerpo o de una carga.

7.3. Ejemplo simple

Si una persona sostiene una caja pegada al pecho, la distancia entre la carga y la columna es relativamente pequeña. Si esa misma caja se sostiene con brazos extendidos, la distancia aumenta y el torque sobre la espalda y hombros también.

La caja no cambió de peso. Lo que cambió fue el brazo de momento. Y ahí se disparó el problema.

7.4. ¿Qué es una palanca?

Una palanca es un sistema mecánico formado por:

- un punto de apoyo o fulcro,
- una fuerza aplicada,
- una resistencia.

En el cuerpo humano, los huesos actúan como palancas y las articulaciones como puntos de apoyo.

7.5. Tipos de palancas en biomecánica humana

Palanca de primer género

- El punto de apoyo está entre la fuerza y la resistencia.
Ejemplo: extensión del cuello.
- Palanca de segundo género
- La resistencia está entre el apoyo y la fuerza.
Ejemplo: ponerse de puntillas.
- Palanca de tercer género
- La fuerza está entre el punto de apoyo y la resistencia.
Ejemplo: flexión del codo con el bíceps.

Esta última es muy frecuente en el cuerpo humano. Tiene ventaja en velocidad y amplitud de movimiento, pero desventaja mecánica en términos de fuerza. Por eso los músculos suelen tener que hacer mucho esfuerzo para mover cargas relativamente modestas.

7.6. Relevancia ergonómica del sistema de palancas

El hecho de que el cuerpo funcione muchas veces con palancas de tercer género explica por qué:

sostener objetos lejos del cuerpo resulta tan exigente,

el hombro y la espalda se fatigan rápido,

pequeñas variaciones posturales tienen gran efecto biomecánico.

7.7. Factores que modifican el torque en el trabajo

- distancia de la carga,
- ángulo del tronco,
- ángulo del brazo,
- peso del objeto,
- velocidad del movimiento,
- estabilidad de la base de apoyo.

7.8. Principios prácticos

- Menor distancia = menor torque.
- Mejor alineación postural = menor demanda interna.
- Menor giro del tronco = menor esfuerzo compensatorio.
- Mejor altura de trabajo = menor brazo de palanca desfavorable.

8. Integración biomecánica en la evaluación ergonómica

La biomecánica avanzada no debe verse como teoría aislada. Debe integrarse a la evaluación ergonómica real, por ejemplo:

- análisis de levantamiento manual,
- diseño de estaciones de trabajo,
- rediseño de herramientas,
- evaluación de almacenamiento,
- control de tareas repetitivas,

análisis de esfuerzo en mantenimiento, almacén, oficina e industria.

El profesional de ergonomía debe preguntarse siempre:

- ¿Dónde está el eje de carga?
- ¿Qué distancia separa la carga del cuerpo?
- ¿Qué grupo muscular compensa?
- ¿Qué tipo de palanca está operando?
- ¿Qué estructura está recibiendo la mayor demanda interna?

PRÁCTICA: EVALUACIÓN DE CASOS REALES

Caso 1: Levantamiento de cajas desde el piso

Situación

Un operario levanta cajas de 18 kg desde el piso hasta una mesa ubicada a la altura de la cintura. Realiza esta tarea cada 2 minutos durante 4 horas. Para depositar la caja, gira ligeramente el tronco hacia la derecha.

Análisis guiado

Factores críticos:

- altura inicial baja,
- distancia horizontal posiblemente alta,
- torsión del tronco,
- repetición sostenida,
- posible fatiga lumbar acumulada.

Interpretación biomecánica:

- aumenta el torque sobre la zona lumbar,
- se incrementan fuerzas internas por acción de los extensores del tronco,
- la combinación de flexión + giro eleva la exigencia sobre columna.

Ejercicios

Identifica las variables del método NIOSH presentes en el caso.

¿Qué factores aumentan la compresión lumbar?

- Propón 4 medidas de mejora ergonómica.

- Explica por qué girar el tronco durante el levantamiento empeora el riesgo.

Caso 2: Técnico que sostiene herramienta a distancia

Situación

Un trabajador realiza perforaciones en pared usando una herramienta de 4 kg durante varios minutos por ciclo. Debe mantener los brazos elevados y ligeramente separados del cuerpo.

Análisis guiado

Factores críticos:

- carga sostenida,
- brazos alejados del eje corporal,
- hombro en elevación,
- posible contracción estática prolongada.

Interpretación biomecánica:

- el peso de la herramienta genera torque sobre hombro y columna,
- la musculatura del hombro debe producir gran fuerza interna para estabilizar,
- la fatiga se acelera por mantenimiento postural.

Ejercicios

- ¿Qué región anatómica está más exigida?
- Explica el efecto del brazo de palanca en este caso.
- ¿Qué diferencia habría si la herramienta se pudiera apoyar o suspender?
- Propón una mejora de ingeniería y una administrativa.

Caso 3: Manipulación unilateral en mesa de trabajo

Situación

Una trabajadora toma piezas desde una bandeja ubicada al lado izquierdo, a 40 cm del cuerpo, y las coloca sobre una mesa frontal. Repite la acción cada 10 segundos durante toda la jornada.

Análisis guiado

Factores críticos:

- tarea unilateral,
- alcance lateral repetido,

- frecuencia alta,
- posible rotación de tronco y hombro.

Interpretación biomecánica:

- se generan torques repetitivos en hombro y columna,
- existe sobrecarga localizada por uso dominante de un solo lado,
- la repetición favorece fatiga y lesión musculoesquelética.

Ejercicios

- ¿Qué fuerzas internas podrían generarse en hombro y espalda?
- ¿Por qué una bandeja mal ubicada modifica el esfuerzo biomecánico?
- Rediseña el puesto en tres acciones concretas.
- ¿Qué lesión podría aparecer si la tarea se mantiene por meses?

9. EJERCICIOS PRÁCTICOS DESARROLLADOS

Ejercicio 1: Cálculo conceptual de torque

- Un trabajador sostiene una caja de 10 kg:
- Escenario A: pegada al tronco.
- Escenario B: a 40 cm del tronco.

Preguntas

- ¿En qué escenario el torque es mayor?
- ¿En cuál escenario habrá mayor exigencia muscular?
- ¿Por qué el peso no cambió, pero el esfuerzo sí?

Respuesta esperada

El torque será mayor en el escenario B porque la distancia entre la carga y el eje aumenta. Por tanto, también aumentará la fuerza muscular requerida para sostener la postura. El peso externo es el mismo, pero el brazo de palanca cambió.

Ejercicio 2: Identificación de palancas

Relaciona cada ejemplo con el tipo de palanca:

- ponerse de puntillas
- Flexionar el codo con una carga en la mano
- mover la cabeza hacia atrás

Respuesta esperada

- a) segundo género
- b) tercer género
- c) primer género

Ejercicio 3: Detección de riesgo lumbar

Lee la situación:

“Trabajador levanta una caja desde el suelo, con tronco inclinado, carga alejada del cuerpo y giro hacia la izquierda”.

Identifica:

- dos factores que aumentan torque,
- dos factores que aumentan compresión lumbar,
- una medida inmediata de corrección.
- Respuesta orientativa

Torque:

- carga alejada,
- inclinación del tronco.
- Compresión lumbar:
- peso + activación muscular compensatoria,
- torsión durante el levantamiento.
- Corrección inmediata:

acercar la carga al cuerpo y eliminar el giro mediante reubicación del punto de destino.

10. ACTIVIDADES APLICADAS DEL MÓDULO

Actividad 1: Observación biomecánica de campo

Selecciona una tarea real de:

- almacén,
- oficina,
- mantenimiento,
- producción,
- laboratorio.

Luego analiza:

- ¿Qué carga externa existe?

- ¿Qué fuerzas internas podrían generarse?
- ¿Qué articulación soporta mayor torque?
- ¿Qué mejora reduciría ese torque?

Actividad 2: Ficha de análisis de levantamiento

Completa una ficha con los siguientes datos:

peso de la carga,

- altura de inicio,
- altura de destino,
- distancia al cuerpo,
- existencia de giro,
- frecuencia,

observaciones posturales,

propuesta de rediseño.

Actividad 3: Simulación de rediseño

Elige un caso real y plantea:

- situación actual,
- problema biomecánico,
- fuerza o torque crítico,
- rediseño propuesto,
- beneficio esperado.

11. AUTOEVALUACIÓN

- Responde las siguientes preguntas:
- ¿Por qué la compresión lumbar no depende solo del peso de la carga?
- ¿Cuál es la diferencia entre fuerza externa y fuerza interna?
- ¿Qué ocurre biomecánicamente cuando una carga se aleja del cuerpo?
- ¿Por qué las palancas de tercer género exigen mayor esfuerzo muscular?
- ¿Qué variables del levantamiento considera el enfoque NIOSH?
- ¿Cómo afecta el giro del tronco al riesgo lumbar?
- ¿Qué relación existe entre torque y postura?
- ¿Por qué una tarea aparentemente liviana puede ser biomecánicamente exigente?

12. CONCLUSIONES DEL MÓDULO

La biomecánica avanzada permite analizar el trabajo con un nivel de precisión superior. Gracias a ella, es posible comprender que el riesgo no se encuentra únicamente en el objeto o en la tarea visible, sino en la interacción entre postura, fuerza, distancia, repetición y control corporal.

La compresión lumbar representa uno de los principales focos de análisis en tareas de manipulación manual de cargas, y el enfoque NIOSH ofrece una base sólida para interpretar la aceptabilidad del levantamiento. Por su parte, el estudio de fuerzas internas revela que el cuerpo puede soportar demandas muy superiores a la carga visible, especialmente cuando la postura o el diseño del trabajo son desfavorables. Finalmente, el análisis de torque y palancas demuestra que la distancia y la alineación postural son variables decisivas en la exigencia biomecánica.

En resumen: en ergonomía, mil veces no gana el más fuerte; gana el puesto mejor diseñado.

13. TAREA FINAL DEL MÓDULO

Desarrolla un informe técnico breve sobre una tarea real de manipulación, sostén o alcance, considerando lo siguiente:

Descripción de la tarea.

- Carga externa identificada.
- Posibles fuerzas internas generadas.
- Análisis de torque o palanca predominante.
- Riesgo lumbar o articular observado.
- Recomendaciones de mejora.
- Conclusión biomecánica.