

**MÓDULO 4**  
**UNIDAD**

**2**

**ERGONOMÍA  
DINÁMICO-  
OPERACIONAL**





|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 1        |

## Unidad 2

### Legislación básica

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales (BOE de 10 de noviembre).
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención y modificaciones posteriores (BOE de 31 de enero) y sus modificaciones posteriores.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (BOE de 23 de abril).
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores (BOE de 23 de abril).
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización (BOE de 23 de abril).
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual (BOE de 12 de junio y corrección de errores de 18 de julio).
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (BOE de 7 de agosto) y sus modificaciones posteriores.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro (BOE de 19 de diciembre) y sus modificaciones posteriores.
- Norma UNE-EN ISO 13857:2020, sobre «Seguridad de las máquinas. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores e inferiores».
- Método NIOSH-91 (National Institute for Occupational Safety and Health). «Evaluación ergonómica de la manipulación manual de cargas».
- Método OWAS (Ovako Working Posture Analysis System) del Institute of Occupational Health & Safety of Finland.
- Metodologías de análisis ergonómico de la carga física de Guelaud, Hettinger, Spitzer y Scherrer.

## 1. DISEÑO DE HERRAMIENTAS MANUALES

Se trata de aquellas herramientas que son utilizadas haciendo uso de la fuerza de las manos y que pueden producir efectos de corte, apriete, percusión, etc.

El esfuerzo realizado por la mano puede ser de torsión, aprehensión, tracción o empuje sobre el mango de la herramienta.

Algunos ejemplos característicos de herramientas manuales son los martillos y alicates.

### 1.1. MARTILLOS

En el diseño de los martillos, los tres puntos siguientes son de capital importancia si se quieren obtener unos resultados ergonómicos:

- El martillo debe tener una depresión, para evitar que se resbale de la mano.
- El diámetro del mango debe tener unos 3,8 cm.
- Es preferible una forma ovalada, de manera que sea posible una sujeción más segura y con menor rotación.

Figura 1. Martillo



### 1.2. ALICATES

En el diseño de los alicates, hay tres puntos especialmente importantes, a fin de obtener unos buenos resultados desde el punto de vista ergonómico:

- La longitud del mango debe ser de 10 cm como mínimo, y todos los dedos deben poder abrazar la herramienta.
- El diámetro del mango debe oscilar entre 1,5 y 2 cm, debiendo ser no conductor eléctrico, no resbaladizo y suave al tacto, es decir, sin bordes cortantes ni aristas.
- La extensión máxima será de 9 cm, con la finalidad de permitir un abarcamiento óptimo para la mayoría de los hombres y de las mujeres.

Figura 2. Alicates



|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 3        |

### 1.3. HERRAMIENTAS AUTOMÁTICAS

Pueden ser eléctricas, neumáticas, de combustión interna o de explosión (clavadoras) y, en todas ellas, cabe destacar el diseño de sus mangos y posicionamiento de sus gatillos.

#### 1.3.1. Diseño de mangos

Los datos antropométricos relativos al diámetro de los mangos indican que un diámetro de 3,2 a 3,8 cm proporciona la máxima fuerza de sujeción para la mayoría de la población trabajadora.

Así pues, los principios básicos que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar una pistola neumática son los siguientes:

- El mango debe estar colocado en la parte inferior y tan cerca como sea posible del centro de gravedad de la herramienta.
- El ángulo entre el mango y el eje disparador debe ser de 100° aproximadamente.
- La longitud del mango deberá ser al menos de 10 cm.
- La anchura del mango será entre 5 y 7 cm.
- Deberá haber una parada digital en la base.
- El mango no deberá tener surcos para los dedos.

#### 1.3.2. Posicionamiento de gatillos

Podemos diferenciar tres tipos de gatillos:

- **Gatillo dedo índice.** El mango de la herramienta es sostenido por el pulgar y todos los dedos, excepto el índice, que se emplea para pulsar el gatillo.
- **Gatillo dedo pulgar.** El mango es sostenido por los cuatro dedos, con el pulgar usado para manipular el gatillo.
- **Gatillo de barra.** La herramienta es sostenida y activada por los cuatro dedos. Los gatillos de barra son preferibles a los de botón cuando el peso no es excesivo, ya que la fuerza está más distribuida y la fatiga concentrada en el músculo queda reducida considerablemente.

### 1.4. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS

Al seleccionar una herramienta deberemos tener en cuenta una serie de aspectos, al objeto de que se adapte, de la mejor forma posible, a las características de los usuarios. Las consideraciones generales que pueden servirnos de guía a la hora de seleccionarlas son las siguientes:

- Las herramientas deben permitir al usuario trabajar con sus muñecas en posición recta y mantener los codos cerca del cuerpo.
- Las empuñaduras de cada herramienta deben distribuir la fuerza sobre la mayor superficie posible sin producir presión en los costados de los dedos.

- Los mangos de la herramienta no deben dejar marcas en la palma de la mano, o zona de agarre, de las personas usuarias, debiendo ser lo más anatómicos posibles, tal y como se observa en la figura 3.

Figura 3. Mango de herramienta manual



- Deben disponer de superficies redondeadas, para que la mano no haga fuerza sobre esquinas o aristas vivas.
- Bajo un punto de vista dinámico, las herramientas deben estar bien equilibradas.
- El espacio destinado para alojar los dedos, en herramientas en las cuales se introducen las manos o los dedos (sierras manuales, tijeras, etc.), debe ser el adecuado, pues la compresión localizada puede provocar molestias y lesiones.
- Hay que evitar el uso de herramientas que dispongan de acanaladuras para acomodar los dedos, puesto que en el apoyo puede producirse una presión sobre los nervios y los vasos sanguíneos que genere daños físicos.
- Las herramientas no deben tener mangos lisos y resbaladizos. Deberán ser utilizadas con empuñaduras que se sostengan bien y agarren con seguridad, permitiendo que el usuario pueda posicionar correctamente las manos.
- Es necesario considerar el peso de las herramientas, sobre todo si se van a utilizar de forma repetitiva. Para herramientas de precisión, su peso deberá ser el menor posible, inferior a 1,75 kg, y para herramientas de fuerza, deberá estar comprendido entre 1,12 y 2,3 kg.
- Hay que eliminar las vibraciones de las herramientas siempre que sea posible, puesto que pueden causar microfracturas óseas e interferir en la normal nutrición del cartílago articular.

## 1.5. CRITERIOS DE USO Y MANTENIMIENTO DE HERRAMIENTAS

Con carácter general, las consideraciones que se deben tener en cuenta respecto a la utilización, el mantenimiento, el almacenaje y el transporte de las herramientas manuales son las siguientes:

- Elegir herramientas que puedan ser utilizadas indistintamente por personas que trabajen tanto con la mano derecha, como con la izquierda. En su defecto, se deberán disponer y utilizar herramientas diseñadas para zurdos, en caso de necesidad.
- Si las herramientas disponen de elementos de corte, deberán revisarse periódicamente para verificar su estado. Un filo desgastado duplica o triplica la fuerza necesaria para su utilización.
- El aumento de la fuerza en la utilización de las herramientas produce mayor fatiga y esfuerzo para el sistema músculo-esquelético y disminuye la seguridad en el desarrollo de la actividad.

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 5        |

- Cuando manejamos herramientas manuales, se ha de evitar mantener posiciones fijas o estáticas durante largos periodos de tiempo.
- Al utilizar herramientas en posiciones incómodas, tanto pesadas como ligeras, se mantienen contracciones isométricas prolongadas que pueden generar fatiga física.
- Para prevenir la sobrecarga de los músculos de la mano y del antebrazo, implicados en el agarre y en la utilización de las herramientas, se deberán efectuar pausas o descansos periódicos. Determinadas patologías pueden pasar desapercibidas y provocar lesiones a medio-largo plazo.
- En actividades de montaje, se deberán utilizar elementos de suspensión auxiliares que permitan al trabajador acceder a las herramientas con facilidad y tener que soportar el menor peso posible de las mismas.
- Los usuarios deben transportar y almacenar las herramientas manuales en cajas o cinturones portaherramientas, tal y como se aprecia en la figura 4.

Figura 4. Caja portaherramientas



## 2. TRABAJOS CON MOVIMIENTOS REPETITIVOS. LOS CTD

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Las herramientas de mano son un elemento que ayuda al trabajo, siendo, en muchos casos, imprescindibles. Desde el punto de vista económico, el diseño incorrecto de una herramienta tiende a aumentar el tiempo improductivo de trabajo, lo cual encarece un producto y, por lo tanto, disminuye la competitividad de una empresa.

Este hecho también está ligado a los problemas que puede acarrear sobre la salud. Hay que decir que una herramienta es generalmente usada con frecuencias muy elevadas. Por ejemplo, si en una cadena de montaje utilizan un atornillador eléctrico una vez cada diez segundos, esto significa:

- Una frecuencia horaria de 360 veces.
- Una frecuencia diaria alrededor de 3.000 veces.
- Si el peso de la herramienta es de 500 gr, movilizará 1,5 t/día. Si el peso es de 2 kg, entonces serán 6 t/día.

A la vista de estos datos es evidente que un pequeño defecto puede acarrear graves problemas.

Desde el punto de vista de la salud, los problemas derivados del mal diseño de una herramienta se encuentran dentro del campo de los microtraumatismos repetitivos [*cumulative trauma disorders* (CTD) y *repetitive strain injuries* (RSI)].

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 6        |



## 2.2. LOS CTD

Los **CTD** son definidos como el resultado de muchos microtraumatismos en el curso de largos periodos de tiempo, caracterizados por molestia, debilitamiento, incapacidad o dolor persistente en articulaciones, músculos, tendones u otros tejidos blandos con o sin manifestaciones físicas.

Los CTD son el origen de un buen número de problemas músculo-esqueléticos producidos por la demanda excesiva que se hace de estos elementos. Además, su movilización se realiza, en muchas de las ocasiones, por canales estrechos, produciendo rozamiento e inflamaciones.

Para cada tipo de movimiento, según la entidad de la fuerza ejercida, se requiere un tiempo de recuperación que determina la frecuencia con que se puede efectuar dicho movimiento.

Las estructuras que se suelen ver afectadas con mayor frecuencia son las articulaciones, los músculos, los tendones, las vainas tendinosas y otros tejidos blandos.

A continuación se enumeran los trastornos más frecuentes cuando se habla de CTD.

### 2.2.1. Tenosinovitis

Los tendones son tejidos conectores que unen los músculos a los huesos y que se deslizan por el interior de las vainas tendinosas. **Tenosinovitis** es un término general para referirse a las lesiones producidas por repetición y que involucran a la vaina sinovial. Con excesivas repeticiones, será estimulada a producir cantidades excesivas de fluido sinovial. El exceso de este líquido se acumula en la vaina, que se inflama y se hace dolorosa. Por ejemplo, repetir el mismo movimiento más de 1.500 a 2.000 veces por hora es una causa reconocida de irritación de las vainas tendinosas de las manos.

### 2.2.2. Tendinitis

Es una forma de inflamación del tendón que aparece cuando el conjunto músculo-tendón es tensado repetidamente. Con esfuerzos más fuertes, algunas fibras que componen el tendón pueden desgarrarse o romperse. Los tendones se hacen así más gruesos y de contorno desigual e irregular. En tendones que no dispongan de vainas, como, por ejemplo, en el hombro, el área dañada puede calcificarse. Sin descanso y tiempo suficiente para que los tejidos puedan sanar, el tendón puede quedar permanentemente dañado.

### 2.2.3. Dedo disparador

Se produce cuando la vaina del tendón está tan inflamada que lo bloquea e impide su movimiento, produciendo movimientos discontinuos y bruscos (dando «tirones»). Esta lesión se halla a menudo asociada al uso de herramientas que tienen mangos con bordes duros y agudos.

También, si el disparador o gatillo de una herramienta manual es demasiado ancho, el operador no puede abarcarlo con firmeza. La falange distal es forzada para activar la herramienta, en lugar de serlo la falange media. El abuso del dedo en esta posición puede conducir al desarrollo de un nódulo en el tendón flexor que llega a alcanzar a la vaina.



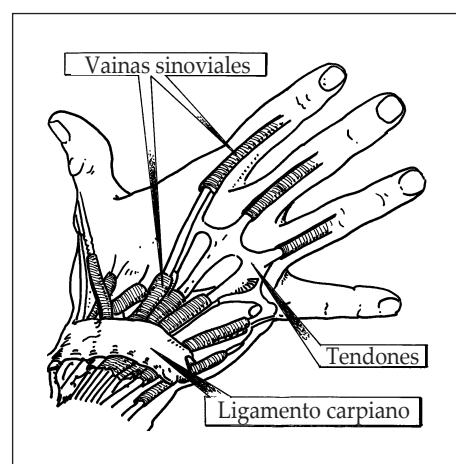
### 2.2.4. Síndrome del túnel carpiano

Es una alteración del nervio que pasa por la muñeca en su parte anterior y que es producida por mantener la muñeca en flexión.

En su recorrido desde el antebrazo a la mano, el nervio medio pasa a través del túnel carpiano junto con los tendones flexores de los dedos.

El uso repetido de una herramienta con la muñeca en posiciones extremas puede ocasionar la inflamación y dilatación de los tejidos a su paso por el túnel carpiano, así como la opresión del nervio medio. La compresión resultante del nervio medio puede provocar algunos síntomas, tales como hormigueo, entumecimiento y dolor en las manos, que se conocen como el «síndrome del túnel carpiano». Estas sensaciones normalmente aparecen en las áreas de piel conectadas con el nervio medio (los tres primeros dedos y la base del pulgar). Estos síntomas pueden afectar a ambas manos (bilateral) o solamente a la mano dominante y se agudizan normalmente durante el sueño. En estados avanzados se produce una merma de fuerza en los músculos del pulgar, ocasionando sensación de debilidad y torpeza de la mano.

Figura 5. Anatomía de la mano



### 2.2.5. Síndrome de la salida torácica

Este síndrome resulta de la compresión del plexo neurovascular braquial entre el cuello y el hombro. Esto lleva consigo una disminución del riego sanguíneo en la extremidad superior que causa una disminución del pulso y diversas parestesias (hormigueos).

### 2.2.6. Codo de tenista

El codo de tenista es un dolor incapacitante en la parte más exterior del codo (epicóndilo), producido por el uso continuado del músculo que se inserta allí (el cual realiza los movimientos de supinación).

## 2.3. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

Las lesiones músculo-esqueléticas son responsables de una gran cantidad del absentismo en una empresa. Los siguientes datos sirven para incidir sobre la importancia de los CTD:

- En EE. UU., 19 millones de personas tienen algún tipo de incapacidad por lesión músculo-esquelética anualmente (Encuesta Nacional de Salud, 1977). Las industrias más frecuentemente afectadas son las manufactureras, las informáticas y las de alimentación. En España, un 80 % de las enfermedades profesionales son de origen músculo-esquelético.

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 8        |



- Este tipo de lesiones son las que más afectan a la calidad de vida, como consecuencia de la extensión de los trastornos fuera de la jornada laboral.
- Se espera que estas lesiones vayan en aumento en los próximos años.

## 2.4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS CTD

El NIOSH define cuatro factores que influyen en los CTD:

- Repetitividad.
- Fuerza.
- Postura inadecuada.
- Falta de reposo/descanso.

Silverstein indica que un movimiento es decididamente repetitivo cuando se ejecuta más de una vez cada 30 s en cada ciclo de trabajo.

Por su parte, la Universidad de Míchigan define unos criterios para la cuantificación del riesgo en dos de las causas anteriormente citadas: la fuerza y la postura. Esta universidad, en relación con la postura, señala que puede haber problemas cuando se superan las siguientes amplitudes de movimientos:

- 45° de extensión de muñeca.
- 30° de flexión de muñeca.
- 18° de desviación ulnar.
- 8° de desviación radial.

El criterio de fuerza se muestra esquematizado en el cuadro que figura a continuación:

Cuadro 1. Criterio para definir esfuerzos críticos hechos con las manos (Universidad de Míchigan)

| Postura   | Ejemplo de actividad          | Fuerza aplicada (peso del objeto) |
|---|-------------------------------|-----------------------------------|
| Pinza múltiple .....  | Sostener un objeto            | > 1 kg                            |
| Pinza múltiple, presión con los dedos, dedo como «gancho» .....                 | Tirar o empujar un objeto     | > 1 kg                            |
| Pinza múltiple en movimiento con solo los dedos en contacto con el objeto ..... | Manipulación con los dedos    | > 1 kg                            |
| Presa de mano .....   | Sostener un objeto            | > 4 kg                            |
| Presa de mano o presión palmar .....  | Tirar o empujar               | > 4 kg                            |
| Presa de mano en movimiento con los dedos y palma en contacto con el objeto ..  | Manipulación con toda la mano | > 4 kg                            |

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 9        |

## 2.5. TRATAMIENTO Y PREVENCIÓN

Una parte esencial del tratamiento y prevención de los traumas citados es la eliminación de movimientos que causan el problema y la reducción de los esfuerzos. A menudo, el rediseño de la herramienta o la actividad consigue resultados satisfactorios.

Muchas veces las medidas preventivas pasan por medidas de índole administrativa, tales como la rotación de puestos o la instauración de pausas que permitan a los tejidos recuperarse antes de que aparezca la fatiga.

## 2.6. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS CTD

Varían dependiendo de los medios de que se disponga: desde listas de chequeo a métodos sofisticados de análisis de movimientos (infrarrojos, ultrasonidos, etc.).

### 2.6.1. Test de Michigan

Desarrollado y aplicado por el centro de ergonomía de la Universidad de Michigan, presenta una lista de cuestiones que hay que contestar y, según las respuestas, se identifican los factores de riesgo.

### 2.6.2. Cuestionario de Keyserling

Igualmente de la Universidad de Michigan, sirve para analizar puestos de trabajo y descartarlos por carencia de riesgos o instar a que se analicen más profundamente.

### 2.6.3. Otros métodos

Utilizados para obtener información tridimensional del movimiento (posiciones, trayectorias, velocidades, aceleraciones, etc.) mediante técnicas de vídeo, análisis de infrarrojos e informática.

## 3. MANDOS Y DISPOSITIVOS DE CONTROL. CONDICIONES DE DISEÑO

### 3.1. MANDOS

#### 3.1.1. Elección de los mandos

(Véase cuadro en pág. siguiente).

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 10       |



Cuadro 2. Criterio de mandos según exigencias de la maniobra

|   | Exigencia de la maniobra |                            |                                   |                            |                       |                               |                               |  |                               |   |  |
|---|--------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|-------------------------------|---|--|
|   | 1                        | 2                          | 3                                 | 4                          | 5                     | 6                             | 7                             | 8  | 9                             | 10  | 11   |
| <b>Leyenda</b><br>o Inaceptable<br>+ Aceptable<br>++ Recomendable<br>No implicado | Dos posiciones estables  | Varias posiciones estables | Variación continua de la posición | Posición estable o aflojar | Precisión de maniobra | Posición de referencia visual | Posición de referencia táctil | Escasa probabilidad de maniobra accidental | Necesidad de acción mantenida | Intervención de urgencia; rapidez de intervención | Transmisión directa de la energía muscular |
| <b>Mandos (ejemplos)</b>  |                          |                            |                                   |                            |                       |                               |                               |  |                               |   |  |
| Tecla o botón basculante de dos posiciones .....                                  | ++                       |                            |                                   | ++                         |                       | +                             | ++                            | o  | ++                            | +   | o  |
| Tecla o botón basculante de tres posiciones .....                                 |                          | ++                         |                                   | ++                         |                       | +                             | +                             | o  | ++                            | +   | o  |
| Botón pulsador emergente con una posición de reposo .....                         |                          |                            |                                   |                            |                       | o                             | o                             | ++   | ++                            | +   | o  |
| Botón pulsador sobresaliente .....  | ++                       | +                          | +                                 | o                          | +                     | ++                            | +                             | o  | ++                            | +   | o  |
| Tecla sensitiva .....   |                          |                            |                                   |                            |                       |                               |                               | o  | ++                            | +   | o  |
| Tecla de cursor .....   | ++                       | ++                         | ++                                | ++                         | +                     | ++                            | +                             | o  | +                             | o   | o  |
| Botón rotativo emergente por el anillo .....                                      | ++                       | ++                         | ++                                | ++                         | +                     | o                             | o                             | o  |                               | o   | o  |
| Botón de cursor .....   | ++                       | ++                         | ++                                | ++                         | +                     | ++                            | +                             | o  | +                             | o   | o  |
| Botón pulsador tipo «Emergencia» .....  | ++                       | o                          | o                                 | +                          | o                     | +                             | o                             | o  | ++                            | ++  | o  |
| Botón rotativo liso o moleteado .....   | ++                       | ++                         | ++                                | ++                         | ++                    | o (1)                         | o (1)                         | +  | (2)                           | o   | o  |
| Botón rotativo con muescas .....  | ++                       | ++                         | ++                                | ++                         | ++                    | o (1)                         | o (1)                         | +  | (2)                           | o   | o  |
| Botón rotativo con dos espesores o de llave .....                                 | ++                       | ++                         | +                                 | ++                         | +                     | ++                            | oo++                          | +  | (2)                           | +   | o  |
| Manipulador (pequeña palanca) .....   | ++                       | ++                         | ++                                | ++                         | +                     | ++                            | +                             | o  | ++                            | o   | o  |
| Manilla o empuñadura .....  | ++                       | +                          | ++                                | ++                         | +                     | +                             | +                             | o  | ++                            | +   | o  |
| Palanca oscilante en un plano .....   | ++                       | ++                         | ++                                | ++                         | +                     | ++                            | +                             | o  | ++                            | ++  | ++   |
| Cursor de empuñadura .....  | ++                       | +                          | ++                                | ++                         | +                     | ++                            | +                             | o  | +                             | +   | +  |
| Palanca oscilante en más de un plano .....  |                          | ++                         | ++                                | ++                         | +                     | +                             | +                             | o  | ++                            | o   | +  |
| Manivela .....  |                          |                            | ++                                | ++                         | +                     | o                             | o                             | o  | o                             | o   | ++   |
| Volante manivela .....  |                          |                            | ++                                | ++                         | ++                    | o                             | o                             | o  | o                             | o   | ++   |
| Volante .....   |                          |                            | ++                                | ++                         | ++                    | o                             | o                             | o  | ++                            | o (3)   | ++   |
| Cabrestante .....   |                          |                            |                                   | ++                         |                       | o                             | o                             | o  | +                             | o   | ++   |
| Botón pulsador de pie .....   | ++                       | +                          | +                                 | +                          | +                     | o                             | +                             | o  | ++                            | o   | +  |
| Pedal con apoyo de talón .....  | +                        | o                          | ++                                | o                          | +                     | (4)                           | o                             | +  | o                             | ++ (4)  | +  |
| Pedal sin apoyo de talón .....  | +                        | o                          | o                                 | o                          | o                     | o                             | +                             | o  | ++ (4)                        | +   | ++   |
| Tapiz de contacto .....   | ++                       |                            |                                   |                            |                       |                               |                               | o  |                               | ++  |  |
| Barra y placa oscilante .....   | +                        | +                          |                                   | +                          |                       | ++                            |                               | o  | +                             | ++  |  |
| Cable tendido .....   | +                        | o                          |                                   |                            |                       | o                             |                               | o  | +                             | ++  |  |
| Célula fotoeléctrica u otro dispositivo inmaterial ..                             | ++                       |                            |                                   |                            |                       |                               |                               | o  |                               | ++  |  |

(1) Salvo con señales pintadas o insertadas.

(2) Si tiene puntos duros al pasar a las posiciones señaladas.

(3) Salvo si la maniobra requiere menos de 1/2 vuelta.

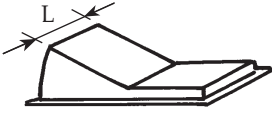
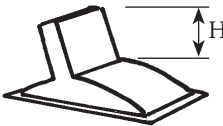

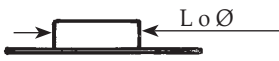
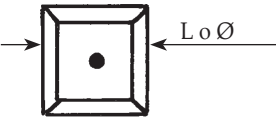
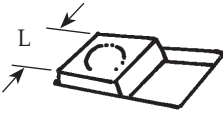

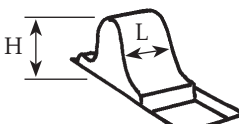

(4) Inaceptable en posición de pie.

P.º GRAL. MARTÍNEZ CAMPOS, 5 y PONZANO, 15. 28010 MADRID • GRAN DE GRÀCIA, 171. 08012 BARCELONA • ALBORAYA, 23. 46010 VALENCIA



### 3.1.2. Dimensiones de los mandos

Cuadro 3. Dimensiones recomendadas de los mandos

| Tipo  | Ejemplos   | Dimensiones (mm)   |
|---|--|--|
| Tecla o botón basculante de dos posiciones          |    | $L \geq 10$  |
| Tecla o botón basculante de tres posiciones         |    | H = 7 hasta varias decenas de mm según la utilización  |
| Botón pulsador emergente con una posición de reposo |    | $L \text{ o } \varnothing \geq 20$   |
| Botón pulsador sobresaliente o de tecla             |  | Botón pulsador:<br>$L \text{ o } \varnothing \geq 20$<br>Tecla de teclado:<br>$L \text{ o } \varnothing \geq 12$ |
| Tecla sensitiva                                     |  | $L \text{ o } \varnothing \geq 20$   |
| Tecla de cursor                                     |  | $L \geq 15$  |
| Botón rotativo emergente por el anillo              |  | Según utilización  |
| Botón de cursor                                     |  | $L \geq 15 - H \geq 7$   |
| Botón pulsador tipo campeón                         |   | $\varnothing \geq 40$ deseable 70-80   |

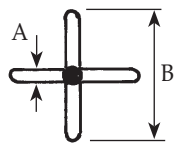
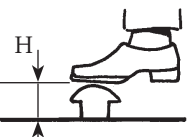
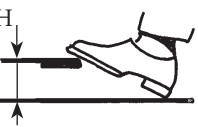
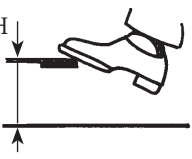
.../...

| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 12       |



| Tipo  | Ejemplos | Dimensiones (mm)  |
|---|----------|---|
| .../...   |          |   |
| Botón rotativo liso o moleteado                       |          | $\varnothing = 7$ (dos dedos), hasta 80 (toda la mano)  |
| Botón rotativo con muescas                            |          | $\varnothing = 15$ a 80   |
| Botón rotativo con dos espesores o de llave           |          | $L = 20$ a 80   |
| Manipulador (pequeña palanca)                         |          | $\varnothing = 10$ a 15<br>$L = 60$ a 100   |
| Manilla o empuñadura                                  |          | $\varnothing = 15$ a 25<br>$L \geq 100$<br>E espaciación $\geq 50$                                  |
| Palanca oscilante en un plano<br>Cursor de empuñadura |          | $\varnothing = 20$ a 35<br>Longitud según utilización   |
| Palanca oscilante en más de un plano                  |          | $\varnothing = 20$ a 60<br>Longitud según utilización   |
| Manivela<br>Volante-manivela                          |          | $\varnothing A = 15$ a 35<br>En caso de rotación rápida,<br>$R \leq 100$ ; si no, según utilización |
| Volante   |          | $\varnothing A = 20$ a 35<br>$\varnothing R = 150$ a 500  |
|   |          | .../...   |

| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 13       |

| Tipo  | Ejemplos   | Dimensiones (mm)                       |
|---|--|--|
| ...   |  |  |
| Cabrestante   |    | Ø A = 20 a 35<br>Ø B según utilización |
| Botón pulsador de pie   |    | H según postura                        |
| Pedal con apoyo del talón   |    | H ≤ 50 –<br>– anchura ≥ 90             |
| Pedal sin apoyo del talón   |  | H según postura –<br>– anchura ≥ 90    |
| Tapiz de contacto<br>Barra y placa oscilante<br>Cable tendido<br>Célula fotoeléctrica u otro dispositivo inmaterial |  | Según utilización                      |

### 3.1.3. Espaciación de los mandos

Figura 6. Botones pulsadores

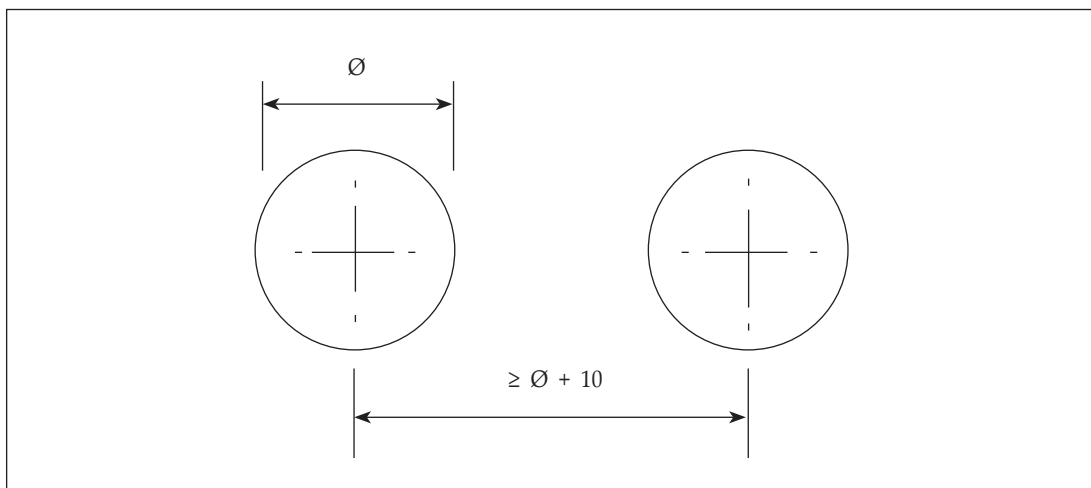


Figura 7. Teclas de teclado

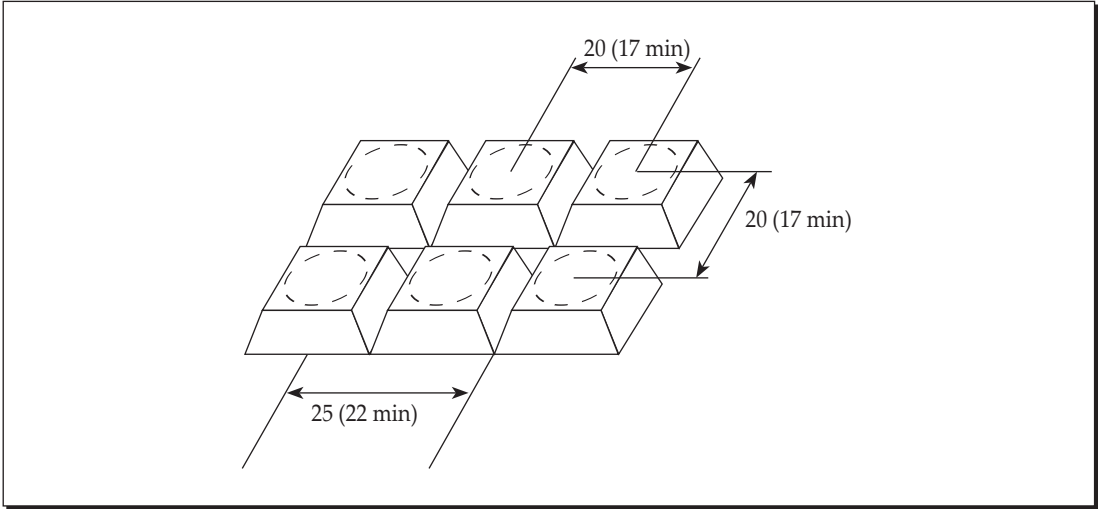


Figura 8. Botones rotativos

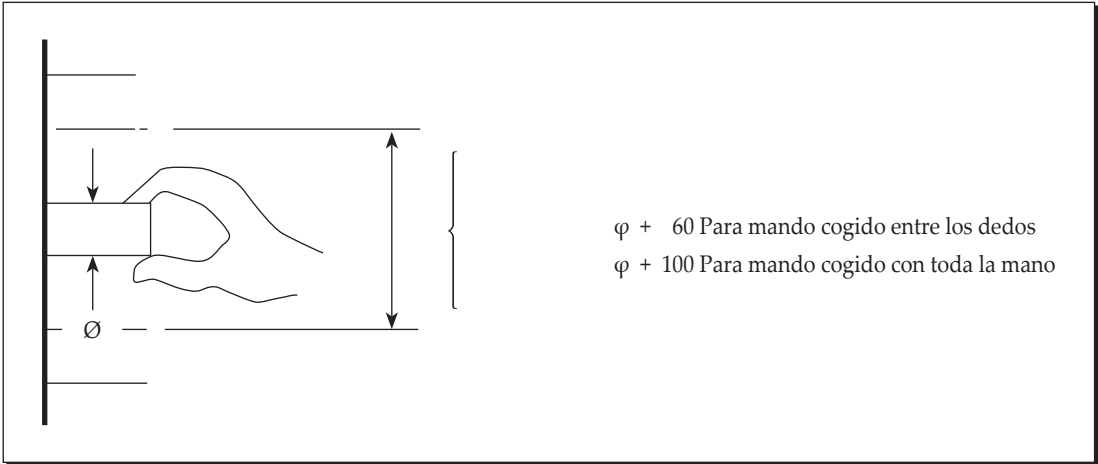
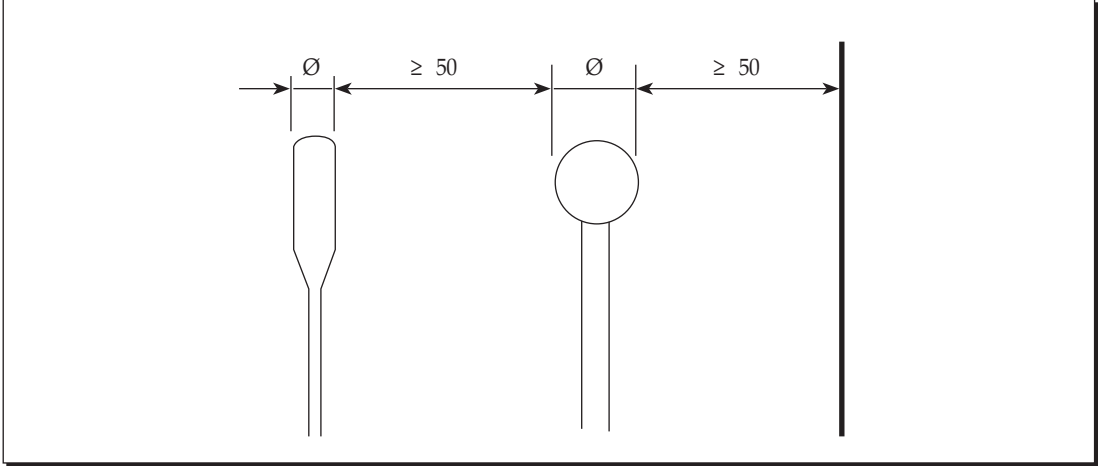


Figura 9. Palancas










| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 15       |

### 3.1.4. Color de los botones pulsadores no luminosos

Cuadro 4. Recomendaciones de color de los botones pulsadores no luminosos

| Color   | Función   | Utilización   | Ejemplos   |
|---|---|---|--|
|    | Parada fuera de servicio sin tensión.             | Parada inmediata.<br>Parada diferida.<br>Parada general.<br>Parada de urgencia. | Parada ciclo, parada bomba hidráulica.<br>Anulación de carga.<br>Anulación ciclo mecanización.   |
|    | Marcha intervención.                              | Mando de funciones destinadas a suprimir condiciones anormales.                 | Anulación defecto: engrase, isoterma, etc.<br>Recuperación ciclo mecanización avance después de una retención.<br>Parada claxon.                               |
|   |   | Mando de movimientos de retorno que no están en la secuencia natural.           | Retorno general de las unidades.   |
|   | Ejecución.  | Inicio de una secuencia manual «retorno».                                       | Retorno de los órganos de la máquina (cabezales, etc.), a su disposición de origen, aflojar pieza, desbridado, retorno de la unidad, apertura de puerta.       |
|  | Marcha puesta en servicio en tensión preparación. | Puesta en tensión de los circuitos de mando.                                    | Armario con tensión, marcha grupo alta frecuencia, etc.  |
|   |   | Arranque de los aparatos para funciones auxiliares.                             | Marcha bomba hidráulica, marcha recogida virutas, marcha lubricación, etc.   |
|   |   | Registro de un programa preparado.  | Marcha automática, manual, vaciado, ciclo por ciclo (selección por botón-pulsador).  |
|  | Toda función sin color específico.                | Composición de un programa.   | Test de lámparas, más rápido, menos rápido, etc.   |
|  | Marcha puesta en servicio ejecución.              | Arranque del aparato principal.   | Rotación brochas, rotación muela.  |
|   |   | Comienzo de un ciclo.   | Arranque ciclo automático, marcha cargas, rotación plato, engrase, etc.  |
|   |   | Comienzo de una secuencia manual «IR».  | Avance <i>transfert</i> , cierre puerta, avance unidad, diamantado, posicionamiento, penetración muela, rotación cabezal, puesta al par, descenso prensa, etc. |
|   |   | Marcha a impulsos.  | Marcha pieza: bloqueo, embridado, etc.   |

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 16       |



### 3.1.5. Color de los botones pulsadores luminosos

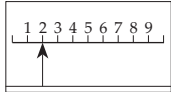
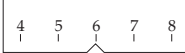
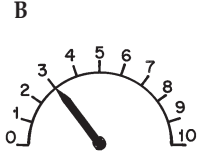
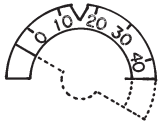

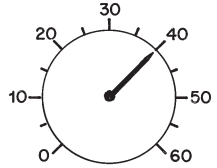
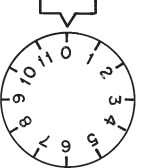

Cuadro 5. Recomendaciones de color de los botones pulsadores luminosos

| Color   | Función  | Significado del botón iluminado   | Ejemplos de utilización   |
|---|--|---|---|
|    | Parada rearme.   | Alarma.<br>Condición anormal que necesita de una acción inmediata del operador.<br>Indicación funcionamiento. | Parada y rearme grupo hidráulico.<br>Falta de engrase, rearme alimentación entrada.   |
|    | Puesta en marcha de una operación destinada a suprimir condiciones peligrosas.                   | Atención.<br>Aviso.<br>Indicación funcionamiento.   | Una magnitud (corriente, temperatura) se acerca al límite permitido.<br><b>Nota.</b> El uso del botón amarillo puede anular otras funciones que hayan sido ordenadas anteriormente. |
|    | Marcha (1).<br>Ejecución en marcha manual de:<br>• Una secuencia.<br>• Un movimiento de retorno. | Confirmación de que la orden ha sido bien ejecutada.<br>Confirmación de funcionamiento.                       | Desbridado, soltar, pieza, retorno de <i>transfert</i> , rotación de platos, retroceso de unidad, retroceso de muela, retorno de eyector.   |
|   | Autorización (2) de inicio de ciclo automático.  | Indicación funcionamiento.  |   |
|    | Marcha (3).<br>Ejecución en marcha manual de:<br>• Una secuencia.<br>• Un movimiento de ida.     | Confirmación de que la orden ha sido bien ejecutada.<br>Confirmación de funcionamiento.                       | Embridado, pieza colocada, avance de <i>transfert</i> , cierre de plato, avance de unidad, avance muela, avance eyector, engrase mecafluído (deslizadera).                          |
|    | Puesta en tensión de un circuito.  | Confirmación permanente de que la orden ha sido bien ejecutada.   | Puesta en tensión general, puesta en servicio, rotación de brochas, marcha de rociado, engrase permanente (cajas de engranajes).  |
|   | Puesta en marcha de una función.   | Confirmación de funcionamiento.   |   |
| <p>(1) Función que puede, igualmente, ser asegurada por la asociación de un botón pulsador no luminoso amarillo y un piloto verde.</p> <p>(2) Función a asegurar, preferentemente, por la asociación de un botón pulsador negro y un piloto verde.</p> <p>(3) Función que puede, igualmente, ser asegurada por la asociación de un botón pulsador negro y un piloto azul.</p> |  |   |   |

## 3.2. MEDIOS DE SEÑALIZACIÓN VISUAL

### 3.2.1. Elección del tipo de indicador

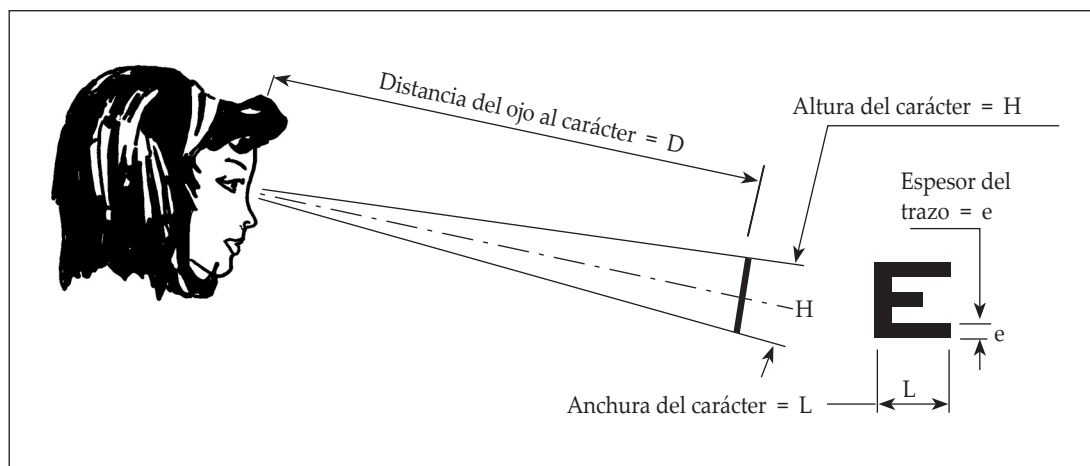
Cuadro 6. Recomendaciones para seleccionar el tipo de indicador

| Tipo de indicador  | Aguja móvil<br>cuadrante fijo  | Aguja fija<br>cuadrante móvil   | Indicador<br>numérico   |
|--|--|---|---|
|  | <b>A</b><br>  |    |   |
|  | <b>B</b><br>  |    |    |
|  | <b>C</b><br>                                     |  |  |
| Utilización  |  |   |   |
| Situación de valores precisos (con cifras o cuadrantes fijos en el momento de la lectura). | Aceptable  | Aceptable   | Muy buena<br>Rápida   |
| Estimación de un valor o una apreciación de las desviaciones o control de posición.        | A o C bueno<br>B muy bueno   | Pasable   | Desfavorable  |
| Ajuste a un valor dado.  | Muy bueno<br>Si la relación directa entre la dirección de la aguja y el sentido de la rotación del botón de reglaje se corresponden. | Pasable   | Bueno   |
| Reglaje y control de un valor para mantener constante.                                     | Muy bueno<br>Si la relación directa entre la dirección de la aguja y el sentido de la rotación del botón de reglaje se corresponden. | Desfavorable  | Desfavorable  |

### 3.2.2. Dimensiones y espaciamiento de las señales (en pantallas y cuadros sinópticos)

En la siguiente figura se detallan las dimensiones y espaciamientos de las señales:

Figura 10. Dimensiones y espaciamientos de las señales

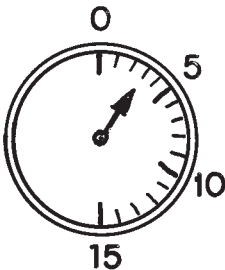
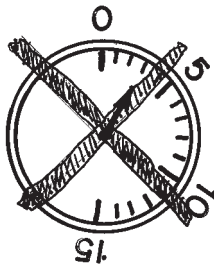
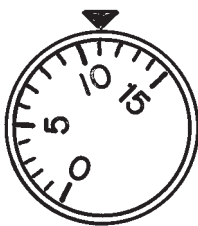


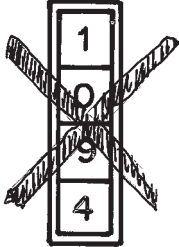


Cuadro 7. Dimensiones de los caracteres en función de la distancia del ojo

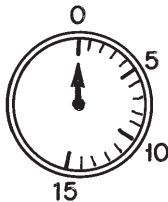


|   |                    |       |         |           |         |       |        |         |
|---|--------------------|-------|---------|-----------|---------|-------|--------|---------|
| D   | Desde              | 0     | 500     | 800       | 1.250   | 2.000 | 3.150  | 5.000   |
|   | Hasta incluso      | 500   | 800     | 1.250     | 2.000   | 3.150 | 5.000  | 8.000   |
| H   |                    | 3     | 3,5     | 4,5       | 6       | 9     | 14     | 23      |
| L *   |                    | 2 a 3 | 2 a 3,5 | 2,5 a 4,5 | 3,5 a 6 | 5 a 9 | 8 a 14 | 12 a 23 |
| e   | Oscuro sobre claro | 0,3   | 0,35    | 0,45      | 0,6     | 0,9   | 1,4    | 2,3     |
|   | Claro sobre oscuro | 0,25  | 0,3     | 0,4       | 0,5     | 0,75  | 1,2    | 2       |
| * El óptimo es ancho = alto.  |                    |       |         |           |         |       |        |         |
| Espaciamiento: <ul style="list-style-type: none"> <li>Entre los caracteres: <math>\geq e</math>.</li> <li>Entre dos líneas de caracteres: <math>\geq \frac{H}{2}</math>.</li> </ul> |                    |       |         |           |         |       |        |         |

### 3.2.3. Legibilidad de los indicadores

Cuadro 8. Recomendaciones sobre las cifras de los indicadores

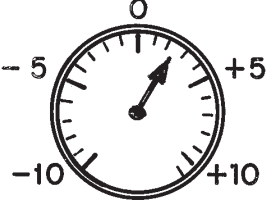
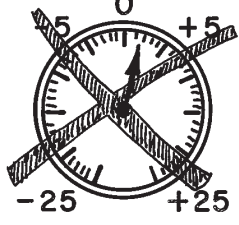
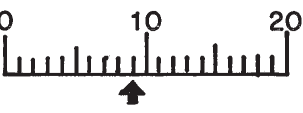
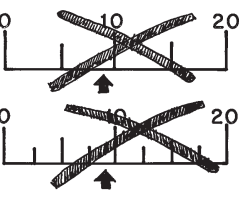
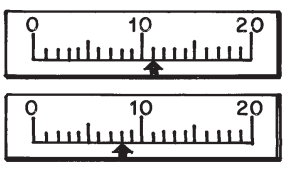
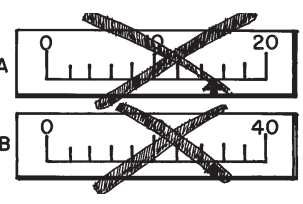
|                    | Disposición de las cifras   |   |
|--------------------|---|---|
|                    | Buena   | Mala  |
| Cuadrante fijo     |    |    |
| Cuadrante móvil    |   |   |
| Indicador numérico |  |  |

Cuadro 9. Recomendaciones sobre las agujas de los indicadores

|           | Dimensión de las agujas  |   |
|-----------|--|---|
|           | Buena  | Mala  |
| Cuadrante |  <p>La aguja debe desplazarse lo más cerca posible de la graduación, dejando esta visible y las cifras.</p> |   |

### 3.2.4. Elección de las graduaciones

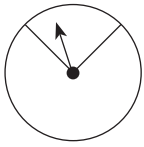
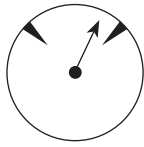
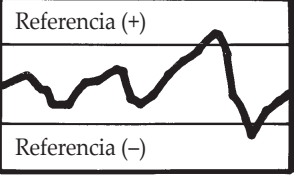
Cuadro 10. Elección de las graduaciones de los indicadores

|   | Bueno   | Malo  |
|---|---|---|
| Zona de graduación  |  <p>Límites adaptados a la zona de utilización (para una lectura entre -5 y +5).</p>       |  <p>Límites inadaptados (para una lectura entre -5 y +5).</p>                 |
| Subdivisión de escala   |  <p>Lectura fácil para un resultado pedido próximo a la unidad.</p>                      |  <p>Interpolación difícil para un resultado pedido próximo a la unidad.</p>  |
| Homogeneidad de las escalas   |  <p>Para dos indicadores próximos, adoptar la misma amplitud y la misma subdivisión.</p> |  <p>Si se ha leído 15 en A, el riesgo es grande de leer 25 pasando a B.</p> |
| <p>Las unidades de medida llevadas sobre los cuadrantes (o mandos, o fichas de instrucción) deben ser idénticas para una variable que haya que medir.</p> <p>Excluir las exigencias de conversiones o de cálculos especiales, sobre todo cuando deben tomarse decisiones rápidas.</p> |   |   |

|                  |   |                 |
|------------------|---|-----------------|
| <b>ERGONOMÍA</b> | <b>ERGONOMÍA<br/>DINÁMICO-OPERACIONAL</b> | <b>UNIDAD 2</b> |
|                  |   | <b>21</b>       |




### 3.2.5. Exploración de los estados de funcionamiento

Cuadro 11. Características de los estados de funcionamiento de los indicadores

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Cuadrante</b>           | <p>Sector coloreado</p>  <p>Referencias</p>  <p>Delimitación de la zona de funcionamiento normal</p> |
| <b>Registrador gráfico</b> |  <p>Delimitación de la zona de funcionamiento normal y posibilidad de exploración del sentido de la variación en el tiempo</p>   |

### 3.2.6. Colores de los pilotos luminosos



Cuadro 12. Recomendaciones de color de los pilotos luminosos

| Color   | Significado  | Utilización   | Ejemplos  |
|---|--|---|---|
|  | Alarma, señalización de defecto o condiciones anormales que necesitan una acción del operador. | Normalmente apagado, se enciende con la aparición de la condición, del defecto. Se apaga cuando desaparece el defecto.                      | Defecto alimentación detectores.<br>Defecto de engrasado, muela usada, etc.<br>Falta de aire, filtro obstruido, muela usada, pieza mala, cambio de útiles, etc.   |
|  | Atención.<br>Advertencia.<br>Demanda de intervención.  | Se enciende para señalar un riesgo o solicitar una intervención.<br>Se apaga después de la intervención o cuando el riesgo ha desaparecido. | Repaso general de las unidades, primera medida mala (caso de parada después de dos controles).<br>Demanda de alimentación de pieza.<br>Demanda de evacuación de pieza.<br>Diamantado a efectuar.<br>Máquina en ciclo automático.  |
|  | Máquina dispuesta.   | Se enciende cuando se han cumplido las condiciones de funcionamiento.<br>Se apaga después de la puesta en marcha.                           | Autorización salida ciclo automático.<br>Fin de ciclo o inicio de ciclo.<br>Autorización rotación platos.<br>Aflojar piezas: fin anclaje, fin desbridado.<br>Unidad o gatos en posición de origen: fin retorno unidad, fin retroceso muela, etc.<br>Ausencia pieza en salida, presencia pieza en entrada.<br>Pieza buena. |

.../...

| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 22       |



| Color  | Significado  | Utilización  | Ejemplos  |
|--|--|--|---|
| .../...  |  |  | Fin retorno <i>transfert</i> , fin de carrera <i>transfert</i> .<br>Fin mecanizado, seguridad mecanizada, cota alcanzada, par alcanzado.<br>Todas las unidades en automático.   |
|   | Circuito con tensión.<br>Condiciones permanentes de funcionamiento normal.   | Normalmente encendido (después de puesta en marcha por un botón verde).<br>Se apaga después de que desaparece la situación.  | Armario con tensión, puesta en servicio.<br>Marchas auxiliares diversas: <ul style="list-style-type: none"> <li>Bomba hidráulica, recogida virutas, lubricación, etc.</li> <li>Rotación brocha (si es continua), selección ciclo automático.</li> </ul>   |
|    | Un órgano fuera de su posición de origen.<br>Toda significación a la que no corresponde ninguno de los colores anteriores. | Se enciende después del mando de movimiento y al final del movimiento.<br>Se enciende al final del movimiento y se apaga cuando el órgano abandona la posición «adelante».<br>Se enciende para confirmar que una orden ha sido bien realizada. | Rotación platos, diamantado, engrase.<br>Situación de la pieza: <ul style="list-style-type: none"> <li>Fin de bridaje, fin bloqueo.</li> <li>Fin avance <i>transfert</i>, fin de carrera.</li> <li>Fin avance inyector, etc.</li> </ul> Máquina aislada de su carga automática, ciclo manual, vaciado ciclo por ciclo, etc. |
| <b>Nota.</b> Para remarcar la atención, en los casos en que necesita la intervención del operador, los pilotos luminosos pueden pasar por una fase de intermitencia y ser reforzados por una señal sonora. |  |  |   |

### 3.3. PUESTOS DE CONTROL/AYUDA PARA LA DECISIÓN

Cuadro 13. Selección del sistema de información (indicadores)

| Indicador acústico  | Indicador óptico  |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>La información es simple.</li> <li>La información es breve.</li> <li>La información no servirá posteriormente.</li> <li>La información concierne a sucesos en un momento concreto</li> <li>La información debe ir seguida de acciones inmediatas.</li> <li>El sistema óptico está sobrecargado.</li> <li>La intensidad luminosa en el lugar de trabajo es elevada, o puede ser necesaria una adaptación a la oscuridad.</li> <li>El puesto de trabajo no es fijo.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>La información es compleja.</li> <li>La información es larga.</li> <li>La información servirá posteriormente.</li> <li>La información se refiere a unos sucesos localizados.</li> <li>La información no tiene por qué ir seguida de una reacción inmediata.</li> <li>El sistema acústico está sobrecargado.</li> <li>El lugar de trabajo es muy ruidoso.</li> <li>La actividad se realiza en un puesto de trabajo fijo.</li> </ol> |



| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 23       |

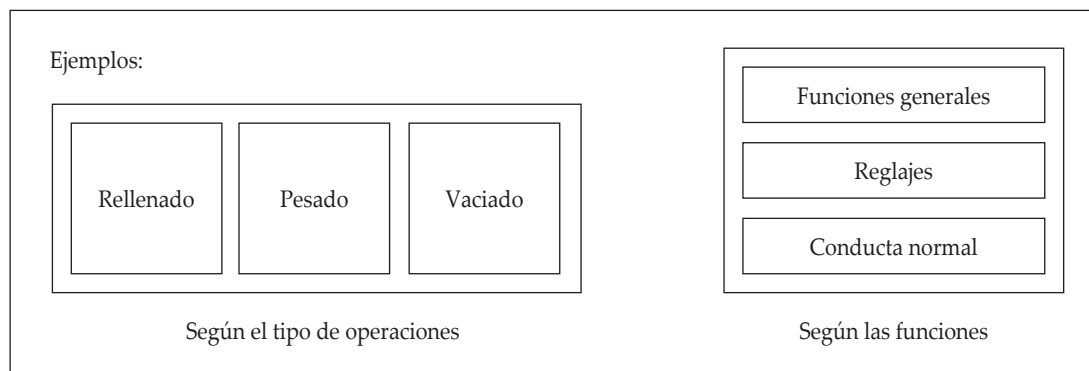
### 3.4. PUPITRES Y CUADROS DE MANDO

#### 3.4.1. Emplazamiento de los cuadros de mando y medios de señalización visual

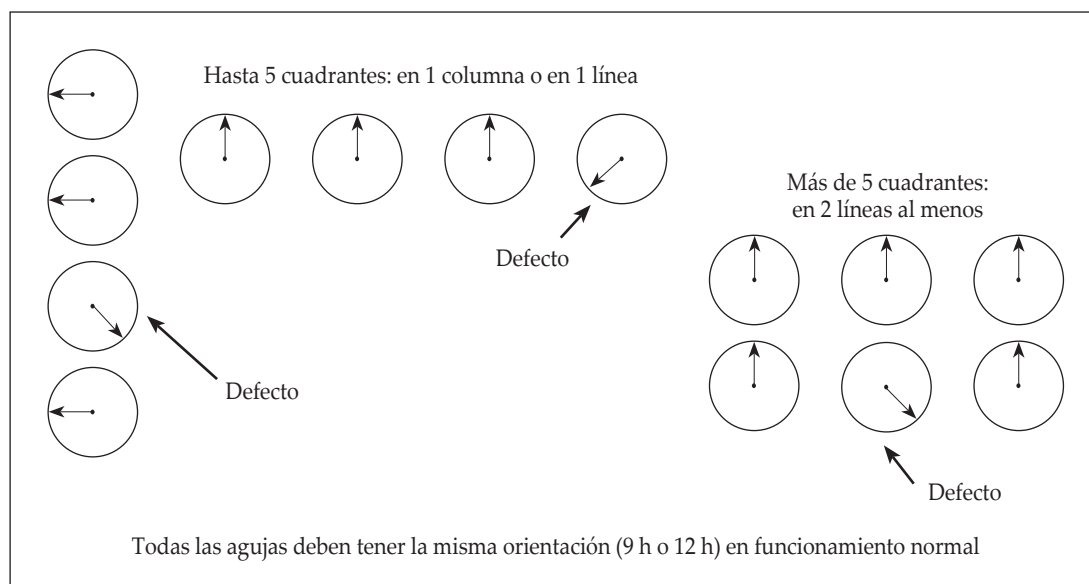
Cuadro 14. Disposiciones relativas de los mandos y señales

|   |  |
|---|--|
| <p>Botones y pilotos</p>  |  |
| <p>Botones y cuadrantes redondos, horizontales y verticales</p> |  |
| <p>Paneles de señalización y de mandos separados</p>            |  |

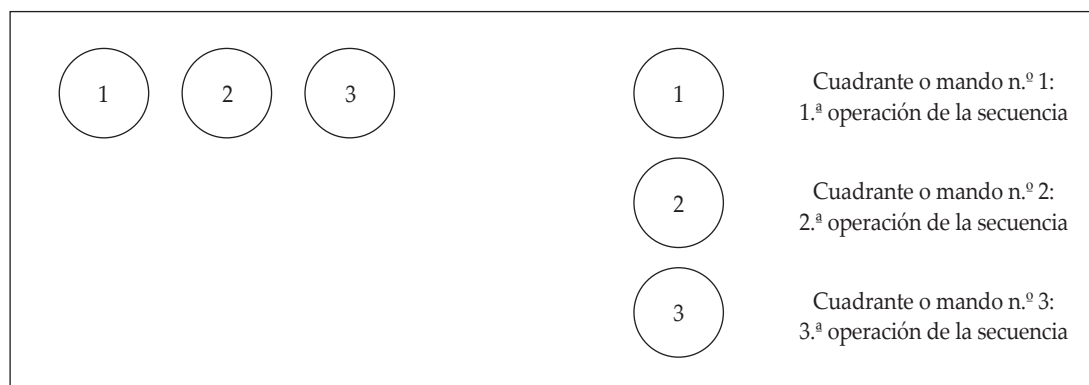
Cuadro 15. Agrupamiento en subconjuntos



Cuadro 16. Agrupamiento y orientación de los cuadrantes



Cuadro 17. Correspondencia entre los elementos de los cuadros y la secuencia de las operaciones



### 3.4.2. Correspondencia entre la acción sobre los mandos y los efectos esperados

Figura 11. Correspondencia entre la acción sobre los volantes, palancas y botones, y el sentido de desplazamiento rectilíneo

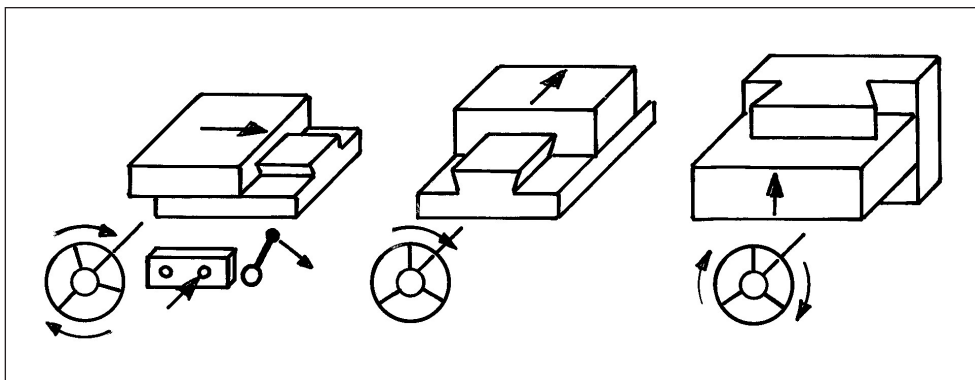


Figura 12. Correspondencia entre la acción sobre los volantes, palancas y botones, y el sentido de rotación

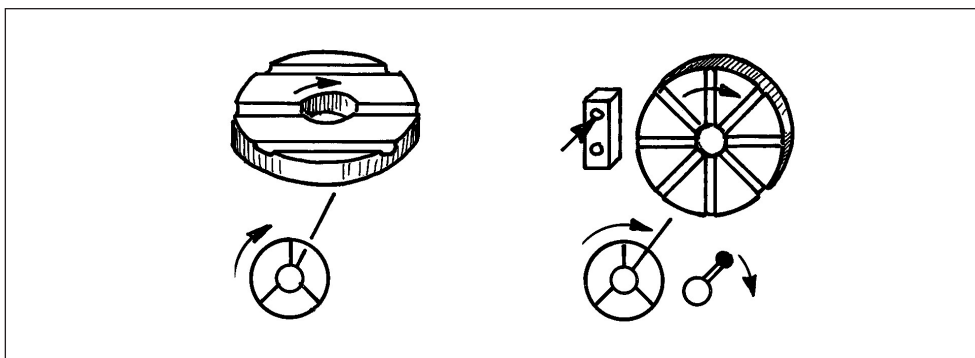


Figura 13. Correspondencia entre la acción sobre las palancas y la dirección de los movimientos o la intensidad del efecto

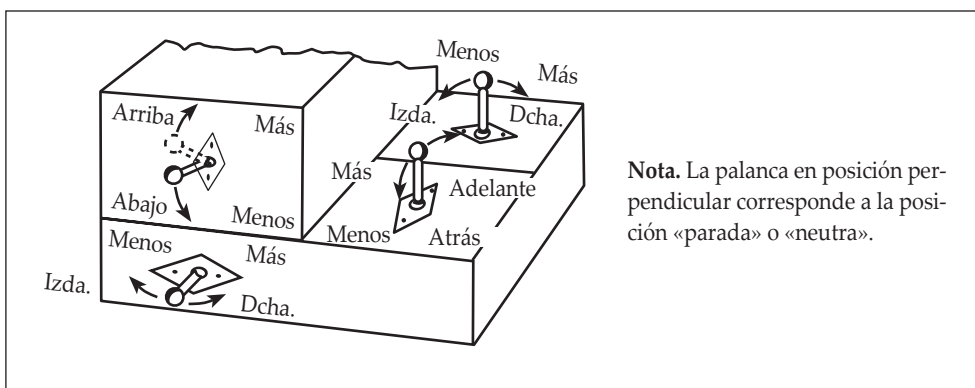
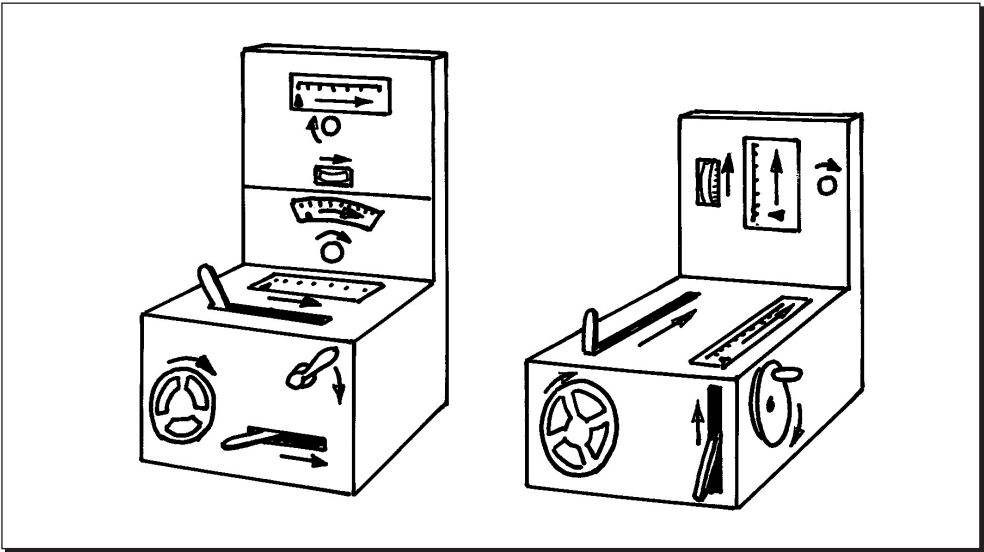
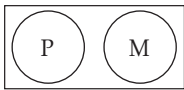
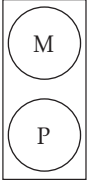


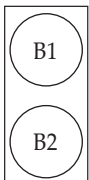
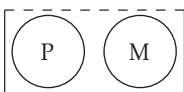
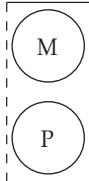
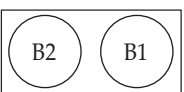








Figura 14. Correspondencia entre la acción sobre los mandos y las indicaciones de los cuadrantes



Cuadro 18. Correspondencia entre la acción sobre los botones pulsadores (de acción simple) y los efectos esperados

| Disposición recomendada   | Efectos esperados  |
|---|--|
| <b>Mandos marcha-parada</b><br> o   |  Marcha<br> Parada   |
| <b>Mandos de aparatos con dos sentidos de marcha</b><br><b>1.ª variante.</b> Mandos por presión mantenida.<br><br><br><br><br> y  pueden ser accionados tecleando |  Marcha<br> Parada general<br> Parada particular<br> Marcha adelante<br>Acción subir<br>Acción abrir<br>Acción más rápido<br>Desplazamiento a derecha<br>.../... |

|                  |   |                 |
|------------------|---|-----------------|
| <b>ERGONOMÍA</b> | <b>ERGONOMÍA<br/>DINÁMICO-OPERACIONAL</b> | <b>UNIDAD 2</b> |
|                  |   | <b>27</b>       |

| Disposición recomendada  | Efectos esperados |
|--|-------------------|
| <p>.../...</p> <p><b>2.ª variante.</b> Mandos por impulsión.</p> <p>Nota. El bloque marcha-parada (a trazos) puede estar emplazado en otro lado sobre el tablero en caso de necesidad.</p> |                   |

## 4. BIOMECÁNICA. CÁLCULO DE ESFUERZOS

### 4.1. INTRODUCCIÓN

La **biomecánica** es la disciplina dedicada al estudio del cuerpo humano, considerado este como una estructura que funciona según las leyes mecánicas de Newton y las leyes de la biología.

Expuesta así la biomecánica, se pueden considerar algunos principios generales, pero la especialización surge cuando los objetivos tratan de obtener unos resultados distintos. En **biomecánica deportiva** se estudia al hombre desde el punto de vista de un rendimiento máximo. En **biomecánica ortopédica** y de **rehabilitación**, desde el punto de vista de resolver algún tipo de discapacidad. En **biomecánica ocupacional** se estudia al hombre desde el punto de vista de una tarea que debe diseñarse para el 90 % de las personas, sin sobrepasar valores que pudieran originar daños.

Ya en 1700 Ramazzini reflejaba en su libro *De morbus artificum diatriba*, clásico en la medicina del trabajo, lo siguiente:

«[...] He comprobado que ciertos movimientos irregulares y violentos, y posturas antinaturales del cuerpo, dañan la estructura de la máquina viviente de tal forma que, por ello, se desarrollan de manera gradual enfermedades».

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 28       |



Si en mecánica estudiamos que el efecto de una fuerza es:

- El establecimiento de un equilibrio.
- El establecimiento de un movimiento.
- El establecimiento de una deformación.

En biomecánica se puede ampliar ese concepto diciendo que, según la magnitud de la fuerza, esta puede:

- Producir incomodidad.
- Producir dolor.
- Producir lesión.

Las partes de la mecánica clásica hay que interpretarlas bajo los siguientes aspectos:

- **Estática.** Fuerzas sin considerar movimiento: posturas.
- **Cinética.** Movimiento sin considerar fuerzas: movimientos.
- **Dinámica.** Fuerza considerando movimientos y masas: aceleraciones.

Es importante tener en cuenta en biomecánica ocupacional que, al igual que se establece en el concepto de «ergonomía», cuando se diseña un puesto de trabajo, se diseña qué, cómo, con qué, dónde, con qué medios, etc., se va a realizar, lo que determinará la productividad, pero también las posibles futuras molestias y, no en pocos casos, el dolor o posibles daños o lesiones del trabajador.

## 4.2. CARGAS, ESFUERZOS Y TENSIONES

### 4.2.1. Cargas

Un cuerpo dentro del campo gravitatorio posee la característica medible de su peso. En principio parece evidente que una persona está sometida a una carga mayor cuanto mayor es el peso que soporta, considerando este la suma de su propio cuerpo más las cargas ajenas agregadas.

La representación gráfica del peso se simplifica considerando un vector cuyo punto de aplicación se encuentra en el centro de gravedad del cuerpo y de las cargas. El módulo es proporcional al número de unidades de la magnitud peso, la dirección es la línea que une el centro de gravedad del cuerpo con el centro de la tierra y el sentido es descendente.

En mecánica, uno de los problemas que se presentan es la determinación de los centros de gravedad de los cuerpos. Para ello existen, catalogados en manuales, procedimientos y fórmulas que facilitan este cálculo. Pero en el caso que se ha propuesto, por la forma irregular del cuerpo humano, es casi imposible utilizar procedimientos tan inmediatos. Por otra parte, la infinidad de posturas que puede adoptar el cuerpo humano hace que este centro de

| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 29       |

gravedad sea variable y, por ello, su determinación se efectúe por medio de una composición de los distintos vectores que generan los diferentes segmentos corporales (partes definidas del cuerpo).

Por ello hay que disponer previamente del peso y del centro de gravedad de cada uno de estos segmentos. Esta labor la desarrolló Dempster, cuyos valores, sus segmentos ponderados, han sido fundamentales para este tipo de estudios.

Conocidos estos valores, el procedimiento que se debería seguir sería la composición de fuerzas paralelas y del mismo sentido. Un ejemplo sería la composición de los segmentos brazo y antebrazo, cuya resultante es posible componerla con el vector del siguiente segmento, y así sucesivamente se llegaría a determinar el centro de gravedad del cuerpo completo.

Es impensable que esta labor se efectúe sin ayuda de aplicaciones informáticas que integren tanto los parámetros ponderales como geométricos. En todo caso, este es uno de los procedimientos para tipificar las cargas físicas estáticas.

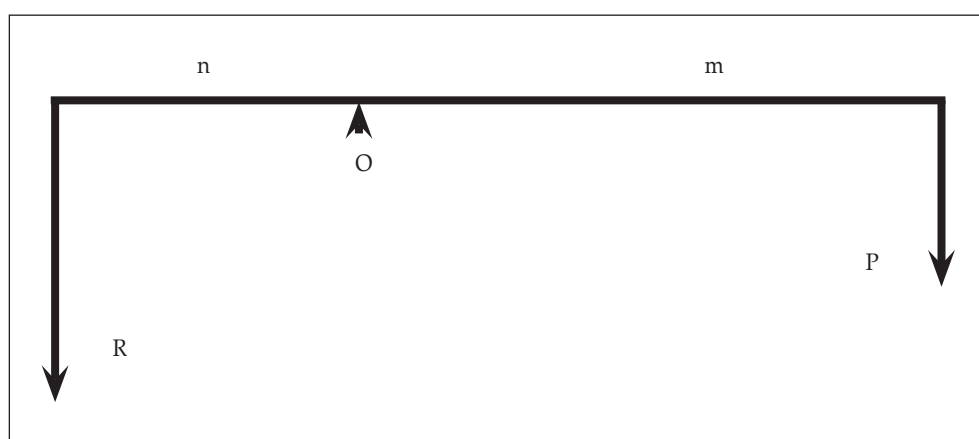
#### 4.2.2. Esfuerzos

A igualdad de carga, en la medida en que el cuerpo adopte una posición más desequilibrada, que es lo mismo que decir que existe una pequeña superficie de apoyo y que la vertical que contiene el centro de gravedad se aleja del centro de dicho apoyo, el gasto metabólico será mayor.

Esto quiere decir que la actividad muscular tiene que compensar esa situación, tipificada en mecánica como de equilibrio inestable, ya que, en caso contrario, la persona se caería al más mínimo impulso externo, de la misma forma que lo haría una reproducción, exacta en forma y peso, de escayola.

La concepción mecánica del cuerpo humano, como conjunto de palancas, nos obliga a identificar los elementos de estas con sus homólogos anatómicos. Una palanca consta de un elemento rígido (m-n), un punto de apoyo con las articulaciones (O), la fuerza con la carga (P) y la resistencia con la contracción muscular (R), tal y como se observa en la figura 15.

Figura 15. Esquema general de las palancas



|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 30       |



El principio general de las palancas, denominado «ley de la palanca», se puede expresar según la siguiente fórmula:

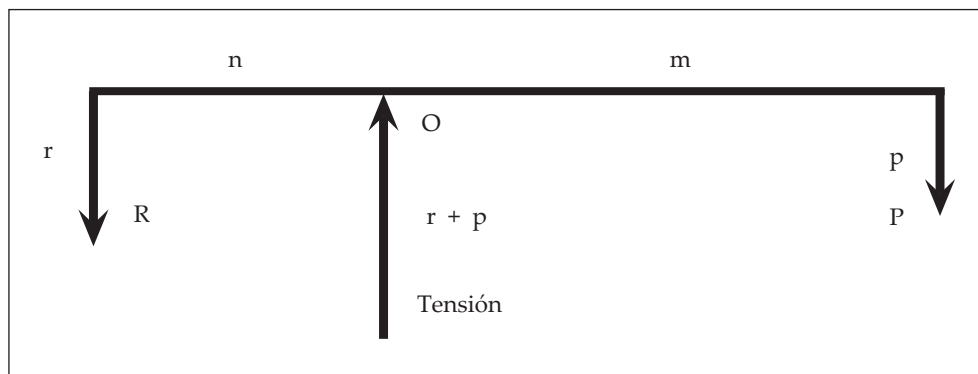
$$P \times m = R \times n$$

El peso (P) por su brazo de palanca (m) es igual, para mantener un equilibrio, a la resistencia (R) por su brazo de palanca (n). Esto quiere decir que, cuanto mayor sea el brazo de palanca, la fuerza aplicada tendrá mayor efecto.

### 4.2.3. Tensiones

Si nos fijamos en la figura 15, las fuerzas P y R están equilibradas respecto al punto de apoyo, pero la propia presencia de estas fuerzas obliga a un nuevo equilibrio que evite el desplazamiento hacia abajo del sistema. En este caso sencillo, se puede afirmar que la fuerza que debe aplicarse al punto de apoyo (O) es la suma de P más R, siendo la representación un vector cuya dirección es la misma que el de las fuerzas aplicadas, aunque de sentido contrario. El punto de aplicación es el del punto de apoyo, y el módulo es la suma de los módulos de r y P (véase figura 16).

Figura 16. Ejemplo de tensiones



El hecho de que un sistema esté equilibrado no significa que las fuerzas actuantes dejen de existir. Por ello, además de las resistencias ejercidas por los músculos, es necesario conocer las fuerzas que se están generando en las articulaciones. Estas fuerzas pueden actuar presionando o «tirando» de la articulación (fuerzas de tensión y de compresión).

El concepto de «tensión» es análogo al de «presión». En realidad este es el concepto que más interesa, ya que es el que está vinculado con los efectos que nosotros percibimos o sufrimos, algo parecido al concepto de «temperatura» respecto al de «calor». Pero la posible identificación entre fuerza y tensión se da por el hecho de que se suelen considerar las superficies de cada articulación como datos constantes dentro de cada modelo y, por ello, existe una proporcionalidad directa.

### 4.3. CONCEPTO DE «MOMENTO»

El efecto de una fuerza aplicada depende de dicha fuerza y de la distancia que la separa del punto donde se concreta su efecto, distancia que hace las veces de un brazo de palanca.



|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 31       |

Esta fuerza debe ser compensada aplicando la ley de las palancas: la fuerza por su brazo de palanca se equilibra con otra fuerza por su propio brazo de palanca. Si esto no fuera así, no se podría evitar el giro del sistema.

El producto de una fuerza por una distancia se denomina **momento**, y en los ejemplos que siguen se ilustrará su aplicación.

#### 4.3.1. Aplicación de momentos a un segmento corporal

En el ejemplo de la figura 17, se considera que se soporta con la mano un peso exterior de 10 kg, un peso del segmento antebrazo-mano de 2 kg y que el punto de apoyo es la articulación del codo (O).

La condición para que no exista desplazamiento vertical es que la suma de todas las fuerzas actuantes sea nula, y la condición para que no exista giro es anular el efecto de las dos palancas que se forman, al considerar de forma independiente la carga externa y el peso del segmento corporal considerado (brazo).

Aplicando el concepto de «momento» se tendrá en nuestro caso:

$$10 \text{ kg} \times 33 \text{ cm} = M1$$

$$2 \text{ kg} \times 16 \text{ cm} = M2$$

Como los momentos tienen la propiedad aditiva, el momento acción resultante es:

$$M_t = M1 + M2$$

El momento total que es necesario generar para que no exista giro en el codo sería:

$$M_t = 10 \text{ kg} \times 33 \text{ cm} + 2 \text{ kg} \times 16 \text{ cm}$$

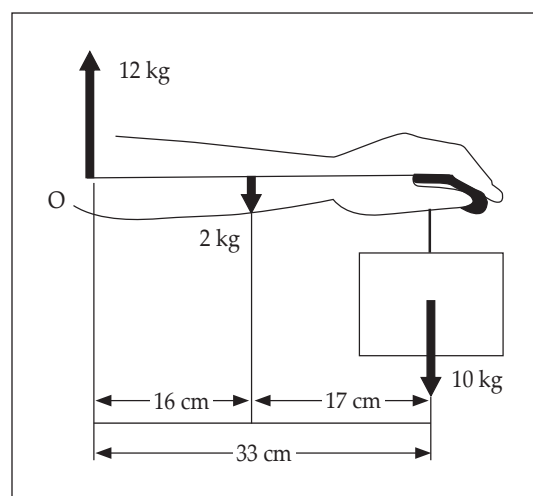
$$M_t = 330 \text{ cmkg} + 32 \text{ cmkg} = 362 \text{ cmkg} \text{ o } 3,62 \text{ mkg}$$

siendo su sentido contrario al de los sumandos.

La siguiente pregunta sería si el valor obtenido es mucho o poco.

En principio no es posible contestar. Ocurre lo mismo que con otras magnitudes, como calor o fuerza, que es necesario referirlas a un calor específico o a una superficie, respectivamente, para obtener magnitudes como temperatura o presión, que entonces sí son susceptibles de ser «sentidas».

Figura 17. Segmento corporal (brazo-mano)



La respuesta a esta pregunta pasaría por conocer cuáles son los músculos que entran en juego y en qué punto están insertados al hueso que actúa de palanca. Esto proporcionará el brazo de palanca de que se dispone, así como el límite de la fuerza muscular que se pueda ejercer.

En nuestro caso se trataría de los músculos flexores que se encuentran en el segmento brazo: bíceps, músculo braquial y braquiorradial, componentes del paquete muscular de dicho segmento. El punto de inserción de estos músculos, asumiendo en el planteamiento una simplificación, lo situaremos a 5 cm del eje de giro del codo (véase figura 18).

Por ello, para equilibrar el efecto del momento total (Mt), generado por la carga externa y por el peso del segmento considerado (en un ángulo de flexión de 90°), la fuerza aproximada que deben ejercer los citados músculos (Fm), en su conjunto y en su componente vertical, es de:

$$Mt = 362 \text{ cmkg} = Fm (\text{kg}) \times 5 \text{ cm}$$

$$Fm = 362 \text{ cmkg} / 5 \text{ cm}$$

$$Fm = 72,4 \text{ kg}$$

Naturalmente, lo expuesto hasta ahora no es más que una aproximación de la realidad, ya que no todos los músculos tienen la misma función ni su disposición espacial es idéntica; pero el ejemplo sirve para comprender que los esfuerzos no están limitados solo a las cargas, sino también a la disposición muscular. En el caso del ejemplo expuesto, el esfuerzo es aproximadamente siete veces superior al de la carga.

### 4.3.2. Aplicación de momentos estáticos a múltiples segmentos

En el ejemplo del párrafo anterior se ha considerado el segmento antebrazo-mano como un todo solidario. También se hubiera podido estudiar esta parte del cuerpo suponiendo los segmentos antebrazo y mano de forma separada, como dos eslabones de una cadena.

Para analizar los esfuerzos que se generan en el hombro, es necesario tener en cuenta, como mínimo, dos segmentos, ya que los efectos varían sensiblemente en función del ángulo que forman el antebrazo y el brazo. Como ejemplo sencillo de aplicación vamos a suponer el brazo y antebrazo totalmente extendidos, manteniendo una posición horizontal y sosteniendo en la mano un peso de 10 kg.

Aprovechando los datos del ejemplo anterior, el cálculo se iniciará considerando las reacciones producidas en el codo: fuerza de reacción en el codo de 12 kg y momento de reacción en el codo de 362 cmkg. Esto es así porque en la fase anterior se han neutralizado con dichas resistencias el efecto de las acciones, a costa de haber generado otras nuevas en el siguiente eslabón (principio de acción y reacción) (véase figura 19).

Figura 18. Sistema en equilibrio

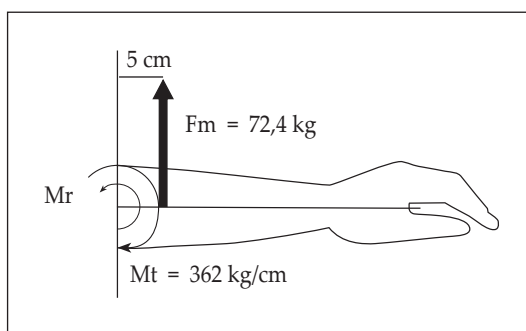
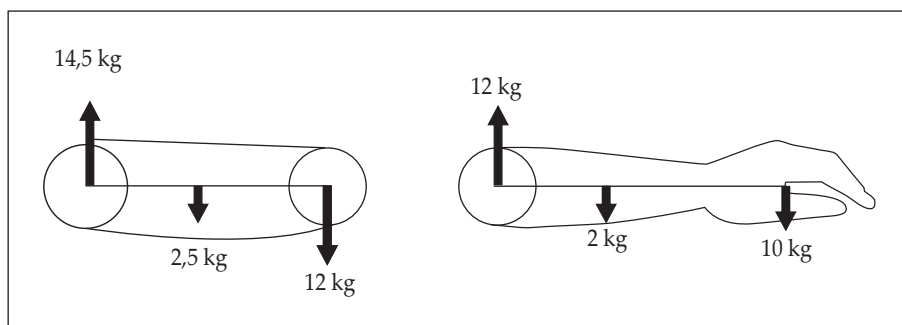


Figura 19. Segmentos corporales (brazo y antebrazo)



Por el equilibrio de fuerzas, en el hombro se genera una reacción que es la suma de dos acciones: peso del eslabón anterior más peso del segmento brazo (2,5 kg).

$$12 \text{ kg} + 2,5 \text{ kg} = 14,5 \text{ kg}$$

Este equilibrio evita los desplazamientos verticales. La condición de equilibrio de momentos, que evita el momento de giro, considera un momento de reacción en el hombro ( $M_h$ ) (véase figura 20) en sentido opuesto a las agujas del reloj, que neutraliza los momentos generados:

- Por el momento, en el sentido de las agujas del reloj, que se opone al generado en el codo por la acción del eslabón antebrazo-mano = 362 cmkg.
- Por el peso del eslabón anterior, que genera un momento en el sentido de las agujas del reloj:

$$12 \text{ kg} \times 31 \text{ cm} = 372 \text{ cmkg}$$

- Por el peso del segmento brazo, que genera un momento en el sentido de las agujas del reloj:

$$2,5 \text{ kg} \times 12 \text{ cm} = 30 \text{ cmkg}$$

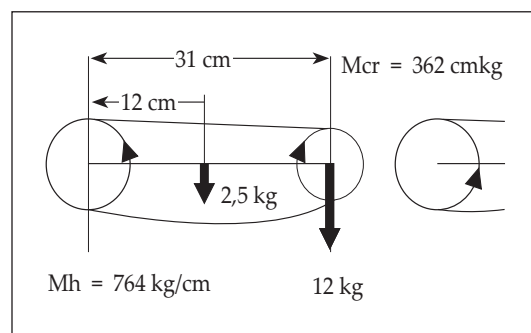
El momento total resistente en el hombro sería:

$$362 + 372 + 30 = 764 \text{ cmkg}$$

El sentido del momento es opuesto al de las agujas del reloj.

En el ejemplo anterior, por la postura elegida, se habría llegado a la misma solución al considerar solo un segmento: brazo-antebrazo-mano. Pero, si se adopta otra postura diferente,

Figura 20. Segmento corporal (brazo)

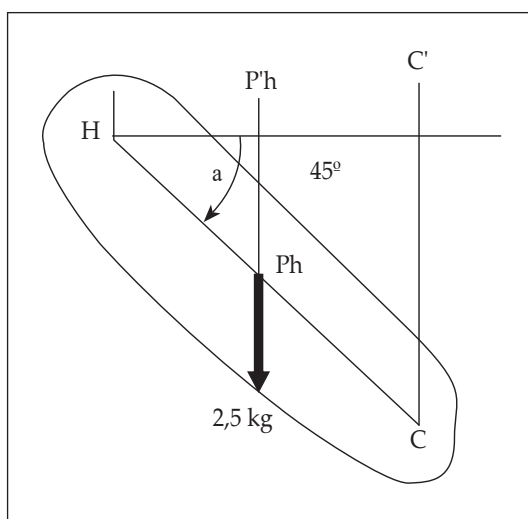


es necesario conocer los ángulos que forman en el espacio los ejes de los distintos segmentos respecto a una línea de referencia determinada.

En este punto es necesario matizar que, al ser las cargas fuerzas paralelas verticales y descendentes, el factor distancia del concepto «momento» se considera como la separación que existe entre los puntos de acción y de reacción en la dirección horizontal.

En la figura 21, que representa el segmento brazo de la figura 20, girado 45°, en sentido horario respecto al centro del hombro, las distancias que hay que considerar para el cálculo de momentos serían:

Figura 21. Segmento brazo (girado 45°)



$$HP'h = HPh \times \cos a$$

$$HC' = HC \times \cos a$$

Considerando los pesos y distancias de los ejemplos anteriores, para aplicarlos al caso que nos presenta la figura 22, en que los ejes de los dos segmentos presentan diferentes ángulos respecto a la horizontal, se tendrá:

- Momento para el codo:

$$Mc = Pe \times CM \times \cos Aa + Pa \times CGa \times \cos Aa$$

- Momento para el hombro:

$$Mh = (Pe + pa) \times HC \times \cos Ab + Pb \times HGb \times \cos Ab + Mc$$

Utilizando datos numéricos, tendremos:

- Momento para el codo:

$$Mc = 10 \text{ kg} \times 33 \text{ cm} \times \cos 10 + 2 \text{ kg} \times 16 \text{ cm} \times \cos 10$$

$$Mc = 325 \text{ cmkg} + 31,5 \text{ cmkg} = 356,5 \text{ cmkg}$$

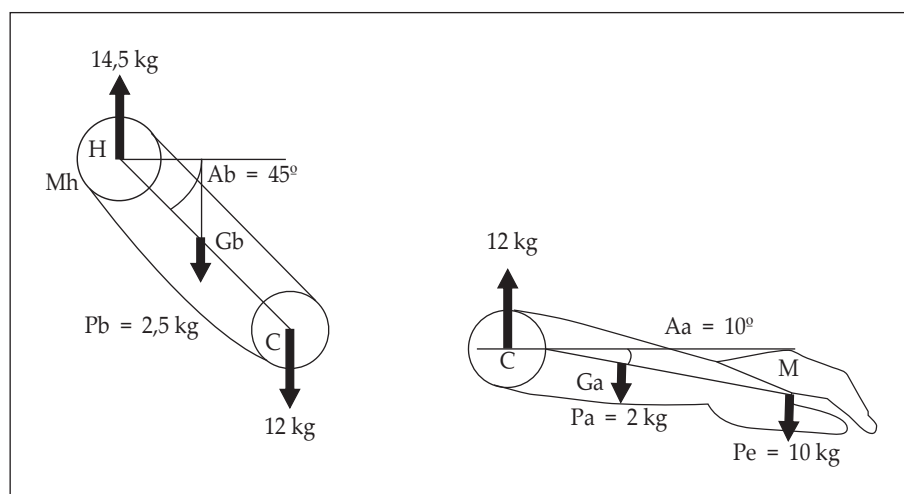
- Momento para el hombro:

$$Mh = 12 \text{ kg} \times 31 \text{ cm} \times \cos 45 + 2,5 \text{ kg} \times 12 \text{ cm} \times \cos 45 + Mc$$

$$Mh = 263 \text{ cmkg} + 21,2 \text{ cmkg} + 356,5 \text{ cmkg}$$

$$Mh = 640,7 \text{ cmkg}$$

Figura 22. Segmentos corporales (brazo y antebrazo girados)



### 4.3.3. Momentos máximos

Todo lo visto hasta ahora no tendría sentido si no tuviera aplicación a la hora de evaluar una postura. Esta evaluación consiste en comparar los momentos de acción con los momentos de reacción que se les oponen. Estos suelen ser las fuerzas musculares por sus brazos de palanca. Pero, si se analiza un movimiento determinado, se puede deducir que en todo momento varía el grado de estiramiento muscular, y con ello su capacidad de producir fuerza. Por otro lado, también suele existir una modificación del ángulo que forma el brazo de palanca respecto a la acción de su propia fuerza; por ello, al aplicar el coseno, el valor de este brazo de palanca también varía.

Existen estudios que determinan las fuerzas musculares en función de las posturas y movimientos, y, consecuentemente, se pueden deducir los momentos que pueden ser aplicados por el sistema músculo-esquelético en cada caso. Estos estudios se concretan en fórmulas que analizan cada tipo de movimiento. El conjunto de fórmulas que recopila Chaffin constituye una base importante para abordar este tipo de problemas.

Un ejemplo de estas fórmulas es la que propuso Shanne para el estudio de momentos máximos en la articulación del codo, en movimientos de flexión y para el caso de personal masculino:

$$SE = (336,29 + 1,544 \times AE - 0,0085 \times AE^2 - 0,5 \times AS) \times 0,1011$$

donde:

AE = Ángulo que forma el eje del brazo con el eje del antebrazo.

AS = Ángulo que forma el brazo con el tronco.

Aplicando la fórmula para los casos en que el antebrazo se mantenga horizontal y el ángulo AS, ya definido, varíe según los valores 0, 30, 60 y 90, respectivamente, se obtendrían, consecutivamente, los ángulos de AE: 90, 120, 150 y 180.

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 36       |



Despejando en la fórmula cada pareja de valores AS y AE, se obtienen los momentos máximos: 87,5, 80, 73,5 y 66.

A partir de estos momentos máximos, es posible conocer las cargas exteriores máximas que se pueden soportar con la mano en las sucesivas posturas mencionadas. En nuestro caso, aplicando los datos anteriores al modelo masculino de 70 kg, se obtendrían 23, 22, 20 y 17 kg, respectivamente, para cada postura.

En función de la frecuencia con que se efectúen las cargas y del tiempo de exposición, se pueden aplicar porcentajes a esas fuerzas máximas así obtenidas.

## 5. CARGA FÍSICA DE TRABAJO: DEFINICIÓN Y EVALUACIÓN

### 5.1. INTRODUCCIÓN

Si entendemos la **carga de trabajo** como el conjunto de requerimientos psicofísicos a los que el trabajador se ve sometido a lo largo de la jornada laboral hay que admitir que para realizar una valoración correcta de dicha carga o actividad del individuo frente a la tarea hay que valorar los dos aspectos reflejados en la definición, o sea, el aspecto físico y el aspecto mental, dado que ambos coexisten, en proporción variable, en cualquier tarea.

Aunque, en general, el progreso técnico implica un crecimiento de los requerimientos mentales en detrimento de los físicos, no es menos cierto que aún existen puestos en los que las exigencias físicas siguen siendo elevadas, por lo que es necesario evaluarlas y aportar las medidas correctoras precisas para eliminar en lo posible los trabajos pesados. Uno de los objetivos de la ergonomía es reducir o eliminar la fatiga del trabajador, por ello es necesario evaluar previamente si el nivel de actividad física que demanda el trabajo es susceptible de provocar el cansancio prematuro del trabajador.

### 5.2. TRABAJO MUSCULAR

Todo tipo de trabajo requiere, por parte del trabajador, un consumo de energía, tanto mayor cuanto mayor sea el esfuerzo solicitado.

La realización de un trabajo muscular implica el poner en acción una serie de músculos que aportan la fuerza necesaria a costa de un cierto consumo energético. Según la forma en que se producen las contracciones de estos músculos, el trabajo desarrollado se puede considerar como «estático» o «dinámico».

El trabajo muscular se denomina **trabajo estático** cuando la contracción de los músculos es continua y se mantiene durante un cierto periodo de tiempo. El **trabajo dinámico**, por el contrario, produce una sucesión periódica de tensiones y relajamientos de los músculos activos, todas ellas de corta duración.

Aunque en la práctica, excepto en casos muy concretos, la frontera entre trabajo estático y dinámico no es fácil de determinar, es importante mantener esta distinción por las consecuen-

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 37       |

cias que se derivan de uno y otro tipo de trabajo. Las diferencias se producen en la irrigación sanguínea de los músculos, que es la que, en definitiva, fija el límite en la producción de trabajo muscular. Dicha irrigación es fundamental por dos motivos:

- Porque la sangre aporta al músculo la energía necesaria.
- Porque, además, la sangre evacua del músculo los residuos de la reacción de oxidación de la glucosa producidos como consecuencia del trabajo (ácido láctico).

A título de ejemplo, se puede decir que en un trabajo dinámico el aporte de sangre al músculo es de 10 a 20 veces mayor que en estado de reposo.

Por el contrario, en el trabajo estático, al comprimirse los vasos sanguíneos, el aporte de sangre a los músculos no solo no aumenta, sino que disminuye, privando al músculo del oxígeno y de la glucosa que necesita.

Además, los residuos producidos no pueden ser eliminados con la rapidez necesaria, acumulándose y desencadenando la fatiga muscular. Esta es una de las consecuencias negativas que produce el estatismo postural.

### 5.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO MUSCULAR

El estudio del trabajo muscular, sea este estático o dinámico, tiene especial importancia en el caso de los trabajos denominados «pesados» por exigir esfuerzos físicos importantes.

Para la determinación de la carga física de una tarea se pueden utilizar básicamente tres criterios de valoración:

- Consumo de energía por medio de la observación de la actividad que hay que desarrollar por el operario, descomponiendo todas las operaciones en movimientos elementales y calculando, con la ayuda de las tablas, el consumo total.
- Medida del consumo de oxígeno del operario durante el trabajo, ya que existe una relación lineal entre el volumen de aire respirado y el consumo energético.
- El tercer criterio parte del análisis de la frecuencia cardíaca para calcular el consumo energético.

En este epígrafe se va a determinar la carga de una tarea, exclusivamente, a partir del consumo de energía calculado, descomponiendo el trabajo previamente.

#### 5.3.1. Método del consumo de energía

El hombre transforma, por medio de un proceso biológico, la energía química de los alimentos en energía mecánica, que utiliza para realizar sus actividades, y en calor. Este consumo de energía se expresa generalmente en kilocalorías (kcal), siendo 1 kcal la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 l de agua de 14,5 °C a 15,5 °C.



|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 38       |



El consumo energético que nos interesa es el debido a la realización del trabajo, es decir, el «metabolismo de trabajo». Sin embargo, si se quiere calcular o definir la actividad física máxima, es necesario establecer el consumo energético total, que incluye los siguientes factores:

- Metabolismo basal.
- Metabolismo extraprofesional o de ocio.
- Metabolismo de trabajo.

El **metabolismo basal**, que depende de la talla, el peso y el sexo, y es proporcional a la superficie corporal, es el consumo mínimo de energía necesario para mantener en funcionamiento los órganos del cuerpo, independientemente de que se trabaje o no. Experimentalmente se ha calculado (Scherrer, 1967) que para un hombre de 70 kg es aproximadamente de 1.700 kcal/día, y para una mujer de unos 60 kg, de unas 1.400 kcal/día. Dentro del metabolismo basal se incluye el **metabolismo de reposo**, que se refiere al consumo energético necesario para facilitar la digestión y la termorregulación.

El **metabolismo extraprofesional o de ocio** es el debido a otras actividades habituales, como puede ser asearse, vestirse, etc. Como media se estima (Lehmann, 1960) un consumo de unas 600 kcal/día para el hombre y de 500 kcal/día para la mujer.

El **metabolismo de trabajo** se calcula teniendo en cuenta dos factores:

- Carga estática (posturas).
- Carga dinámica.
  - Desplazamiento.
  - Esfuerzos musculares.
  - Manutención de cargas.

Para el cálculo de los diferentes factores se utilizarán las tablas con los valores promedio, según estimaciones de Guelaud, Spitzer, Hettinger y Scherrer, para poder determinar la carga, según el trabajo físico.

## 5.4. EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

Se pueden establecer algunas normas generales que sirvan de referencia para la clasificación de las actividades según su nivel de exigencia. No obstante, hay que tener en cuenta que estos límites están fijados para un hombre adulto medio y sano, debiendo ser modificados según una serie de factores, como edad, sexo, constitución física, grado de entrenamiento, etc., que no hay que olvidar a la hora de efectuar la valoración. Asimismo, habrá que considerar dónde y cómo se realiza la tarea: las condiciones termohigrométricas, el tipo de vestido, las exigencias mentales, etc., también influyen en el grado de fatiga.

Respecto a los límites, en relación al consumo de energía, se admite que para una actividad física profesional, repetida durante varios años, el metabolismo de trabajo no debería pasar de 2.000-2.500 kcal/día (Scherrer, 1967, y Grandjean, 1969). Cuando se sobrepasa este valor el trabajo se considera pesado.



| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 39       |

Cuadro 19. Clasificación del trabajo en función del consumo energético

| Nivel de actividad   | Metabolismo de trabajo<br>(kcal/jornada laboral) |
|----------------------|--|
| Trabajo ligero ..... | < 1.600  |
| Trabajo medio .....  | 1.600-2.000                                      |
| Trabajo pesado ..... | > 2.000  |

Esta sería la clasificación del trabajo (ligero, medio o pesado) en función del consumo de energía (kcal/día); no obstante, se trata de valores medios, calculados para grandes periodos de tiempo, prácticamente toda la vida laboral de la persona, pudiéndose alcanzar en determinados momentos valores más altos.

#### 5.4.1. Cálculo de la carga física estática

Para la determinación de la carga física estática, la secuencia que hay que seguir sería la siguiente:

- Observar la postura del trabajador y determinar la posición estática correspondiente.
- Considerar dicha posición en el cuadro 20, que determina el consumo metabólico, derivado de la postura estática, o carga postural (kcal/min).

Cuadro 20. Cálculo de la carga por trabajo físico estático

| Carga estática o carga postural          | Kcal/min |
|--|----------|
| Sentado:                                 |          |
| • Normal .....                           | 0,06     |
| • Curvado .....                          | + 0,09   |
| • Brazos encima de los hombros .....     | + 0,10   |
| De pie:                                  |          |
| • Normal .....                           | 0,16     |
| • Brazos por encima de los hombros ..... | + 0,14   |
| • Curvado .....                          | + 0,21   |
| • Muy curvado .....                      | + 0,40   |
| Arrodillado:                             |          |
| • Normal .....                           | 0,27     |
| • Curvado .....                          | + 0,04   |
| • Brazos por encima de los hombros ..... | + 0,09   |
| Tumbado:                                 |          |
| • Brazos elevados .....                  | 0,06     |
| En cuclillas:                            |          |
| • Normal .....                           | 0,26     |
| • Brazos por encima de los hombros ..... | + 0,01   |

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 40       |



- Cuantificar el tiempo en que el trabajador adopta la citada postura, en minutos, durante la jornada laboral analizada.
- Calcular la carga física estática, como resultado de considerar el consumo, derivado de la postura adoptada y el tiempo de exposición a la misma, merced a la fórmula:

$$E = \text{Consumo postural estático} \times \text{Tiempo}$$

¿Cuál es la carga física estática de un trabajador que se halla en posición «de pie normal», durante 4 horas, a lo largo de la jornada de trabajo de 8 horas?

- Posición «de pie normal», por tabla de carga estática = 0,16 kcal/min.
- Tiempo de la postura, 4h  $\times$  60 min/h = 240 min.
- Fórmula de cálculo de la carga estática:

$$E = \text{Carga Física} \times \text{Tiempo}$$

$$E = 0,16 \text{ kcal/min} \times 240 \text{ min}$$

$$E = 38,4 \text{ kcal}$$

## 5.4.2. Cálculo de la carga física dinámica por esfuerzo muscular

En la carga física dinámica se deberían tener en consideración las diversas variables; según proceda, el posible desplazamiento, los esfuerzos musculares y la manipulación manual de cargas.

Para el cálculo de la carga física dinámica, derivada de los esfuerzos musculares, la secuencia que hay que seguir sería la siguiente:

- Observar la postura del trabajador, la parte del cuerpo utilizada y estimar la intensidad del esfuerzo desarrollado en la tarea dinámica.
- Considerar ambas variables en la cuadro 21, para la determinación del consumo en kilocalorías por minuto, correspondiente al trabajo físico analizado.

Cuadro 21. Cálculo de la carga por trabajo físico dinámico

| Músculos empleados | Intensidad del esfuerzo | Consumo en kcal/min |
|--------------------|-------------------------|---------------------|
| Manos              | Ligero .....            | 0,5                 |
|                    | Medio .....             | 0,8                 |
|                    | Pesado .....            | 1,0                 |
| Un brazo           | Ligero .....            | 0,9                 |
|                    | Medio .....             | 1,4                 |
|                    | Pesado .....            | 2,0                 |
|                    |                         | .../...             |

| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 41       |

| Músculos empleados | Intensidad del esfuerzo | Consumo en kcal/min |
|--------------------|-------------------------|---------------------|
| .../...            |                         |                     |
| Dos brazos         | Ligero .....            | 1,7                 |
|                    | Medio .....             | 2,2                 |
|                    | Pesado .....            | 2,8                 |
| Una pierna         | Ligero .....            | 0,7                 |
|                    | Medio .....             | 1,1                 |
|                    | Pesado .....            | 1,5                 |
| Cuerpo             | Ligero .....            | 3,2                 |
|                    | Medio .....             | 5,0                 |
|                    | Pesado .....            | 7,2                 |

- Cuantificar el tiempo durante el que el trabajador realiza el esfuerzo, en minutos, durante la jornada laboral analizada.
- Calcular la carga física dinámica, como resultado de considerar los esfuerzos musculares y el tiempo de exposición a la misma, merced a:

$$D = \text{Consumo (esfuerzos)} \times \text{Tiempo}$$

¿A qué carga dinámica, derivada de esfuerzos musculares, está sometido un trabajador que realiza su tarea con «ambos brazos», con una intensidad «ligera», durante 5 h de trabajo?

- «Ambos brazos» y «ligero», por tabla de consumo = 1,6 kcal/min.
- Tiempo de la postura,  $5h \times 60 \text{ min/h} = 300 \text{ min}$ .
- Fórmula de cálculo de la carga dinámica:

$$D = 1,7 \text{ kcal/min} \times 300 \text{ min}$$

$$E = 510 \text{ kcal}$$

### 5.4.3. Cálculo de la carga física dinámica por manejo de cargas

Para calcular el consumo energético debido a la manutención manual de cargas se puede emplear la fórmula propuesta por Spitzer y Hettinger (1966), modificada por Guelaud (1975).

Relaciona el número de veces que se realiza la manipulación manual con la longitud y desnivel del recorrido, con los consumos metabólicos al llevar, levantar, subir, etc.

$$E = n [L (K_{\text{llevar de ida}} + K_{\text{llevar de vuelta}}) + H_1 (K_{\text{levantar}} + K_{\text{bajar}}) + H_2 (K_{\text{subir}} + K_{\text{descender}})]$$

siendo:

E = Consumo energético expresado en kilocalorías.

n = Número de veces que se realiza la operación.

| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 42       |



$L$  = Longitud del recorrido.

$H_1$  = Altura total en metros del levantamiento o bajada (de la carga).

$H_2$  = Desnivel vertical en metros que hay que subir o descender durante el recorrido (por el trabajador).

Tabla 1. Consumo según la importancia de la carga desplazada, levantada o bajada (en kcal/m)

| Carga (kg) | $K_{llevar}$ | $K_{levantar}$ | $K_{bajar}$ | $K_{subir}$ | $K_{descender}$ |
|------------|--------------|----------------|-------------|-------------|-----------------|
| –          | (1)          | (2)            | (3)         | (4)         | (5)             |
| 0          | 0,047        | 0,32           | 0,08        | 0,73        | 0,20            |
| 2          | 0,049        | 0,35           | 0,09        | 0,74        | 0,21            |
| 5          | 0,051        | 0,38           | 0,11        | 0,75        | 0,22            |
| 7          | 0,052        | 0,41           | 0,14        | 0,77        | 0,24            |
| 10         | 0,054        | 0,49           | 0,18        | 0,80        | 0,27            |
| 12         | 0,056        | 0,53           | 0,21        | 0,83        | 0,30            |
| 15         | 0,059        | 0,60           | 0,26        | 0,86        | 0,33            |
| 18         | 0,062        | 0,66           | 0,32        | 0,90        | 0,37            |
| 20         | 0,065        | 0,75           | 0,36        | 0,93        | 0,40            |
| 22         | 0,068        | 0,83           | 0,40        | 0,96        | 0,42            |
| 25         | 0,072        | 0,94           | 0,46        | 1,00        | 0,46            |
| 27         | 0,076        | 1,04           | 0,52        | 1,02        | 0,48            |
| 30         | 0,080        | 1,19           | 0,59        | 1,07        | 0,52            |
| 32         | 0,083        | 1,32           | 0,67        | 1,11        | 0,55            |
| 35         | 0,090        | 1,52           | 0,75        | 1,15        | 0,59            |
| 37         | 0,094        | 1,68           | 0,82        | 1,18        | 0,62            |
| 40         | 0,100        | 1,90           | 0,94        | 1,24        | 0,67            |
| 45         | 0,111        | 2,37           | 1,20        | 1,33        | 0,76            |
| 50         | 0,122        | 2,97           | 1,55        | 1,42        | 0,86            |

(1), (2) y (4): valores tomados de Spitzer y Hettinger.  
(3) y (5): estimaciones sobre datos de los mismos autores.

Para el cálculo de la carga física dinámica, derivada de la manipulación manual de cargas, según la fórmula de Spitzer y Hettinger, seguiremos la secuencia:

- Cuantificar el número de veces que se va a realizar la manipulación manual de la carga ( $n$ .º veces).
- Determinar la magnitud de la carga que hay que manipular ( $L$  en m).
- Estimar el consumo metabólico en la tabla 1, por la acción de «llevar», o «llevar» y «volver» ( $K_{llevar\ ida}/K_{llevar\ vuelta}$ ).
- Cuantificar la altura del «levantamiento», o «bajada» ( $H_1$  en m), considerando que al «bajar» el peso sería de 0 kg.
- Estimar el consumo metabólico en la tabla 1, por la acción de «levantar», o «levantar» y «bajar» ( $K_{levantar}/K_{bajar}$ ), en kilocalorías por minuto.

| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 43       |

- Definir el posible desnivel, al «descender» o «subir», durante el recorrido efectuado ( $H_2$ , en m).
- Estimar el consumo metabólico, debido a la acción de «subir», o «descender», mediante la tabla 1, durante la tarea ( $K_{\text{subir}} + K_{\text{descender}}$  en kcal/min).
- Aplicar la fórmula de cálculo de Spitzer y Hettinger.

#### 5.4.4. Cálculo de la carga física dinámica por desplazamientos

Para el cálculo del gasto energético producido por los desplazamientos (todos los que realiza el trabajador y que no tengan por objeto la manipulación manual de cargas) pueden utilizarse los siguientes consumos unitarios por metro recorrido:

- Desplazamientos horizontales: 0,047 kcal/m.
- En recorridos ascendentes: 0,73 kcal/m.
- En recorridos descendentes: 0,20 kcal/m.

Estos consumos metabólicos están referidos a una velocidad media en llano de 4 km/h y de ascenso/descenso de 80 pasos por minuto.

Por último, la carga física dinámica resulta de la suma de las variables que se den en cada caso.

### 5.5. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO PESADO

Cuando el trabajo que hay que realizar implica unas exigencias físicas elevadas es necesario organizar el mismo de manera que se consigan unos resultados idénticos sin que las exigencias sobrepasen los límites normales. Para ello se puede actuar básicamente de dos maneras:

- Mejorando los métodos y medios de trabajo.
- Introduciendo tiempos de reposo.

#### 5.5.1. Mejora de los métodos y medios de trabajo

Este sistema consiste en adecuar para cada actividad muscular aspectos como el ritmo de las operaciones, el peso de las cargas, la dirección de los movimientos, los útiles o las posturas de trabajo, con el fin de conseguir una mejor adecuación entre los músculos que el operario pone en juego y la tarea que debe realizar, es decir, una mejor utilización de la fuerza disponible.

Existen algunas indicaciones generales al respecto para determinados tipos de actividad. Por ejemplo, combinando el ritmo de trabajo y la adaptación del útil, se ha determinado para un trabajo pesado, como es el que se realiza al cargar, descargar o cavar con pala manual, que el rendimiento óptimo se obtiene con 12-15 paladas por minuto y con una carga de la pala entre 8 y 10 kg (estudios realizados en el Max-Planck-Institut für Arbeitsphysiologie de Dortmund, en Alemania). Para el transporte manual de carga, considerada la forma de trabajo más penosa, se han realizado numerosos estudios. Según Lehmann, 50-60 kg constituyen una carga correcta para

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 44       |



un rendimiento satisfactorio (a efectos de consumo energético, obviamente sin tener en cuenta el riesgo dorsolumbar). Las cargas más ligeras son más fáciles de transportar, pero implican un número de idas y venidas suplementarias que aumentan a la postre el consumo total de energía.

Sin tener en cuenta el «viaje de vuelta», la eficacia máxima se obtiene en las siguientes condiciones:

- Carga = 35 % del peso del cuerpo.
- Velocidad = 4,5 a 5 km/h.

En todo esto juega un papel importante la antropometría como base para un diseño postural, dimensional y direccional adecuado, especialmente en el caso de puestos de trabajo fijos o semifijos.

### 5.5.2. Tiempos de reposo

Una vez optimizados los métodos y medios de trabajo, si el metabolismo de trabajo aún sobrepasa los límites admisibles, es necesario prever tiempos de reposo para permitir la recuperación del organismo, puesto que, reduciendo el tiempo total de trabajo, se reduce el consumo energético.

Teniendo en cuenta los valores límites antes apuntados, Lehmann y Spitzer han propuesto la fórmula siguiente para calcular el tiempo de reposo en función del consumo energético:

$$D = (M/4 - 1) \times 100$$

siendo:

D = Duración del reposo en porcentaje de la duración del trabajo.

M = Kilocalorías por minuto consumidas en la realización del trabajo.

Si se considera, por ejemplo, un trabajo que exige un consumo de 6 kcal/min, el tiempo de reposo necesario sería:

$$D = (6/4 - 1) \times 100 = 50\%$$

Este 50 % nos indica que la duración del reposo debe ser la mitad de lo que dura el trabajo efectivo. Así, después de una hora de trabajo efectivo, se debería descansar:

$$D = 50 \times 60 \text{ minutos} / 100 = 30 \text{ minutos}$$

Si se quiere saber dentro de cada hora cuál sería el tiempo de reposo:

$$D = 30 \times 60 / 90 = 20 \text{ minutos}$$

El cálculo de los tiempos de reposo por esta fórmula da valores normalmente elevados, aunque pueden ser correctos si la valoración del consumo energético es exacta.

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 45       |

## 6. MANIPULACIÓN MANUAL DE CARGAS. NIOSH-91

La ecuación de NIOSH-91 es una metodología de evaluación ergonómica de la manipulación manual de cargas.

### 6.1. CONDICIONES DE APLICACIÓN

Requiere que las actividades de manipulación de cargas que no sean de levantamiento (empuje, tracción, transporte, sostenimiento de cargas, etc.) no sean demasiado intensas, de forma que no requieran un gasto de energía significativo. Si este tipo de tareas son frecuentes, se requerirán medidas complementarias del gasto de energía y de la frecuencia cardíaca.

La ecuación no incluye tareas con cargas impredecibles, o resbaladizas, con riesgo de caídas, levantamientos con una sola mano, levantamientos en postura «sentada» o «arrodillada», levantamientos en espacios constreñidos, levantamiento de personas, levantamientos de objetos extremadamente fríos, calientes o contaminados, «palear» o levantamientos con gran aceleración.

Si el ambiente de trabajo es muy desfavorable, podrían necesitarse valoraciones metabólicas independientes.

### 6.2. ECUACIÓN NIOSH-91

En la revisión del año 1991, contempla los factores tenidos en cuenta en 1981 e introduce dos nuevos:

- Factor de asimetría.
- Factor de agarre o acoplamiento.

Asimismo, los valores de los factores multiplicadores ya existentes también han variado significativamente, y la constante de carga ha disminuido de 40 a 23 kg.

La ecuación pretende determinar el RWL (peso límite recomendado), que es el valor máximo de la carga, recomendado para su manipulación, que resulta del producto de los factores de la siguiente ecuación:

$$RWL = 23 \times (25/H) \times 1 - (0,003 \times |V - 75|) \times (0,82 + 4,5/D) \times (1 - |0,0032 \times A|) \times F_M \times C_M$$

Cada término del producto de factores varía de 0 a 1, siendo 1 el valor ideal en cualquier situación de manejo de pesos.

23 kg = Constante de carga, que sería el peso de referencia o peso teórico máximo permitido en las mejores condiciones de carga.

H = Distancia horizontal desde las manos a la columna vertebral (cm).

V = Distancia vertical desde las manos al suelo, medida en el origen y en destino de la carga (cm).

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 46       |



$D$  = Desplazamiento vertical que experimenta la carga durante el levantamiento (desde el origen hasta el destino. El valor mínimo de esta constante es de 25 cm).

$A$  = Amplitud del giro del tronco en grados durante el desplazamiento de la carga (origen-destino) medido en el plano horizontal.

$F_M$  = Factor multiplicador dependiente de la frecuencia de levantamiento (se calcula por tablas).

$C_M$  = Factor multiplicador dependiente del tipo de presa o asido de la carga que se realice con las manos (se calcula por tablas).

Los valores de pesos manipulados por encima del valor de este peso límite recomendado (RWL), resultante del producto de todos estos factores, estarían fuera de rango ergonómico.

Para llevar a cabo un análisis efectivo de la manipulación manual de cargas, el cálculo matemático mediante la ecuación de NIOSH-91 y la posterior valoración de los resultados obtenidos, los pasos que hay que seguir serían:

- Valorar en primera instancia si la manipulación manual de cargas reúne los requisitos para ser evaluada mediante NIOSH-91.
- Analizar las condiciones de la tarea de manejo manual de la carga y valorar si son diferentes las condiciones en el origen y en el destino. En tal caso, se deberá aplicar dos veces y valorar el resultado obtenido.
- Determinación de la constante de carga.
  - 23 kg de peso teórico máximo permitido.
- Análisis del factor horizontal.
  - Medir  $H$ , distancia horizontal, de las manos a la columna vertebral, en centímetros.
  - $H_m$  = Factor horizontal  $(25/H)$  en centímetros.
- Análisis del factor vertical.
  - Medir  $V$ , distancia vertical, desde las manos hasta el suelo, en centímetros.
  - $V_m = (1 - 0,003 \times |V - 75|)$ , en centímetros.
- Valorar el factor de desplazamiento vertical de la carga.
  - Medir  $D$ , valor del desplazamiento vertical de la carga, durante el levantamiento, de origen a destino.
  - $D_m = [0,82 + (4,5/D)]$ , valor mínimo de 25 cm.
- Factor de asimetría, amplitud de giro del tronco.
  - Medir  $A$ , ángulo en el plano horizontal (grados), al desplazar la carga.
  - $A_m = (1 - 0,0032A)$ .



| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|-----------|-----------------------------------|----------|
|           |                                   | 47       |

- Factor de frecuencia del levantamiento.
  - Estimar  $F_M$ , mediante la tabla 2, a partir de la duración de la tarea y la frecuencia.

Tabla 2. Factor de frecuencia ( $F_M$ )

| Frecuencia<br>(levantamientos/<br>min) | Duración del trabajo |             |            |             |            |             |
|--|----------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
|  | $\leq 1$ h           |             | $\leq 2$ h |             | $\leq 8$ h |             |
|  | V < 75               | V $\geq$ 75 | V < 75     | V $\geq$ 75 | V < 75     | V $\geq$ 75 |
| 0,2                                    | 1                    | 1           | 0,95       | 0,95        | 0,85       | 0,85        |
| 0,5                                    | 0,97                 | 0,97        | 0,92       | 0,92        | 0,81       | 0,81        |
| 1                                      | 0,94                 | 0,94        | 0,88       | 0,88        | 0,75       | 0,75        |
| 2                                      | 0,91                 | 0,91        | 0,84       | 0,84        | 0,65       | 0,65        |
| 3                                      | 0,88                 | 0,88        | 0,79       | 0,79        | 0,55       | 0,55        |
| 4                                      | 0,84                 | 0,84        | 0,72       | 0,72        | 0,45       | 0,45        |
| 5                                      | 0,8                  | 0,8         | 0,6        | 0,6         | 0,35       | 0,35        |
| 6                                      | 0,75                 | 0,75        | 0,5        | 0,5         | 0,27       | 0,27        |
| 7                                      | 0,7                  | 0,7         | 0,42       | 0,42        | 0,22       | 0,22        |
| 8                                      | 0,6                  | 0,6         | 0,35       | 0,35        | 0,18       | 0,18        |
| 9                                      | 0,52                 | 0,52        | 0,3        | 0,3         | 0          | 0,15        |
| 10                                     | 0,45                 | 0,45        | 0,26       | 0,26        | 0          | 0,13        |
| 11                                     | 0,41                 | 0,41        | 0          | 0,23        | 0          | 0           |
| 12                                     | 0,37                 | 0,37        | 0          | 0,21        | 0          | 0           |
| 13                                     | 0                    | 0,34        | 0          | 0           | 0          | 0           |
| 14                                     | 0                    | 0,31        | 0          | 0           | 0          | 0           |
| 15                                     | 0                    | 0,28        | 0          | 0           | 0          | 0           |
| > 15                                   | 0                    | 0           | 0          | 0           | 0          | 0           |

**Nota.** Los valores de V están expresados en centímetros.

- Factor de acoplamiento.
  - Estimar  $C_M$ , mediante el cuadro 22, según el tipo de presa, asido de la carga con las manos.

Cuadro 22. Factor de acoplamiento ( $C_M$ )

| Acoplamiento/Agarre | Factores de acoplamiento |                |
|---------------------|--------------------------|----------------|
|                     | V < 75 cm                | V $\geq$ 75 cm |
| Buenos .....        | 1                        | 1              |
| Regular .....       | 0,95                     | 1              |
| Malo .....          | 0,9                      | 0,9            |

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 48       |



- Aplicar la fórmula de NIOSH-91 y valorar los resultados obtenidos.
  - $RWL = 23 \times (25/H) \times (1 - 0,003 \times |V - 75|) \times (0,82 + 4,5/D) \times (1 - 0,0032 \times A) \times F_M \times C_M$
  - Si es necesario, se deberá aplicar, tanto en el origen, como en el destino, y se elegirá el peso límite recomendado (RWL), más pequeño, más seguro.
- Obtener el índice de levantamiento (IL).

$$IL = \frac{\text{Carga levantada}}{RWL}$$

En función del resultado:

- Si  $IL \leq 1 \Rightarrow$  Riesgo controlado
- Si  $1 < IL \leq 3 \Rightarrow$  Riesgo moderado, requiere intervención
- Si  $IL > 3 \Rightarrow$  Riesgo excesivo, debe rediseñarse la tarea

Los valores de peso permitidos tienen una fuerte tendencia a disminuir en todos los países con carácter general, así como la tendencia a contemplar otra serie de factores tan importantes como puede ser el peso del objeto levantado (acoplamiento, asimetría, frecuencia, etc.).

Asimismo, algunos expertos consideran que la actual revisión no está totalmente a la altura de los tiempos, ya que no toma en consideración de forma clara factores como la fatiga y los factores psicosociales en la aparición y el desarrollo de las lesiones de espalda.

### 6.2.1. Ecuación NIOSH multitarea

Cuando se trata de una serie de tareas en lugar de una tarea sencilla, en que se manipulen diferentes objetos, levantados a diferentes alturas aún es posible obtener un índice de levantamiento compuesto (ILC) que se pueda aplicar como criterio de riesgo dorsolumbar.

Dicho índice consta de dos sumandos: 1) el índice de levantamiento de la tarea más exigente, incrementado por 2) el efecto que tiene sobre dicho índice cada tarea adicional.

$$ILC = IL_1 + \sum_{i=2}^n \Delta IL_i$$

Dicho incremento, debido a una tarea adicional, viene dado por la diferencia entre el índice de levantamiento (IL) de esta tarea adicional a la frecuencia acumulada de dicha tarea más las anteriores y el índice de levantamiento de la tarea adicional a la frecuencia acumulada de las tareas anteriores, incluida en ambos casos la frecuencia de la tarea más exigente. De modo que, con cada tarea adicional, el índice de levantamiento compuesto (ILC) aumenta progresivamente.

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 49       |

Por ejemplo, el incremento del índice de levantamiento debido a la cuarta tarea es:

$$\Delta IL_4 = IL_4 (FM_{1+2+3+4}) - IL_4 (FM_{1+2+3})$$

### 6.3. GUÍA TÉCNICA DEL INSHT<sup>1</sup>

De acuerdo con el Real Decreto 487/1997, relativo a las disposiciones mínimas de seguridad y salud en relación con la manipulación manual de cargas, el INSHT ha desarrollado una guía técnica para poder realizar la evaluación de los riesgos asociados a esta actividad, en particular, dorsolumbares. Esta guía puede ser aplicada por personal adiestrado en su uso, por lo que se convierte en una herramienta básica para cualquier técnico, ya sea de nivel intermedio o superior, que necesite evaluar este tipo de riesgos, que, por otro lado, están presentes en la práctica totalidad de actividades.

Una vez conocido el método NIOSH, descrito en páginas anteriores, se advierte que la guía técnica no es más que una simplificación del mismo.

La guía define **carga** como cualquier objeto susceptible de ser movido (levantado, empujado, arrastrado), implicando para ello una fuerza superior a 3 kg. A partir de este umbral pueden aparecer los riesgos dorsolumbares.

Las restricciones a la aplicación de la fórmula propuesta para tareas de levantamiento y depósito de cargas son las mismas que las de la fórmula NIOSH: se supone que el levantamiento se realiza a dos manos y desde una postura «de pie», las condiciones del levantamiento son idénticas para todas las cargas (es decir, todos los parámetros de la ecuación se mantienen invariables; en caso contrario, se podía tomar como referencia del cálculo la situación más desfavorable, siendo entonces conscientes de que se está sobrevalorando el riesgo) y que no existen otras tareas que requieran esfuerzos físicos importantes ajenos a la manipulación manual de cargas.

La ecuación supone levantar un peso máximo de 25 kg, siempre que se realice en condiciones ideales, o sea, que el resto de los factores multiplicadores alcancen el valor de 1. En este caso, el nivel de protección es del 85 % de la población.

Si modificamos la fórmula, reduciendo a 15 kg el peso máximo que hay que levantar en condiciones ideales, lo que supone aplicar un factor de corrección del 0,6, en este caso, el nivel de protección obtenido por la fórmula es del 95 % (ello significa proteger al 99 % de los hombres y al 90 % de las mujeres).

La fórmula también posibilita disminuir el nivel de protección elevando el peso máximo que hay que levantar en condiciones ideales a 40 kg (o lo que es lo mismo, aplicar un factor de corrección de 1,6). En este caso, la guía advierte que ello solo puede hacerse para trabajadores sanos y entrenados, sometidos a control médico, y cuando estos levantamientos se realicen de forma esporádica.

Asimismo, se establece un límite de carga máximo desde la posición de sentado de 5 kg, siendo la zona de manipulación la comprendida entre el hombro y la cadera, con un alcance máximo de la longitud del antebrazo.

<sup>1</sup> Ahora denominado Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST).

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 50       |



Define además un límite, y esto es una innovación, para la manipulación en equipo:

- Para dos personas, el peso máximo que hay que levantar es el correspondiente a 2/3 de la suma de las capacidades individuales.
- Para tres personas, el peso máximo que hay que levantar sería el correspondiente a la mitad de la suma de las capacidades individuales.

Estas reducciones se justifican por los defectos en la sincronización de los movimientos y por las diferentes estaturas de los portadores.

La fórmula de cálculo supone la multiplicación de 5 factores (6, si se añade el factor de corrección debido al nivel de protección escogido).

El primero de ellos, el peso teórico recomendado en función de la zona de manipulación (distancias horizontal y vertical de la carga respecto del cuerpo del trabajador), se obtiene del dibujo. El resto de los factores, desplazamiento vertical, giros de tronco, agarre de la carga y frecuencia de manipulación, se obtienen de las correspondientes tablas (véase cuadro 23). Su significado es idéntico al utilizado por la fórmula NIOSH.

La guía establece además otros factores que se deben tener en consideración:

- La distancia de transporte establece limitaciones adicionales: hasta 10 m se limita el transporte de cargas a 10.000 kg/día, y para distancias superiores, a 6.000 kg/día.
- Límites para el manejo o la tracción de cargas de 25 kg para la puesta en movimiento o el paro y de 10 kg para mantener la carga en movimiento (fuerza sostenida).
- Límites para el tamaño de la carga de 60 cm de ancho, 50 cm de fondo, con un óptimo de 35 cm, y 60 cm de alto (para evitar que entorpezca el campo de visión). Además, las cargas deberían llevar información sobre su peso y la posición del centro de gravedad cuando este se encuentre descentrado.
- El trabajador debería poder regular su ritmo de trabajo y realizar pausas a discreción.
- El trabajador debe disponer de espacio para adoptar las posturas de trabajo que sean seguras y manipular la carga en condiciones de estabilidad. Las zonas de tránsito deben ser antideslizantes y carecer de desniveles e irregularidades.
- Las condiciones termohigrométricas deben ser adecuadas, evitando el calor y el frío excesivos, así como las corrientes de aire.
- Las condiciones de iluminación deben permitir una buena visión en las zonas de trabajo y de tránsito.

Cuadro 23. Cálculo del peso aceptable

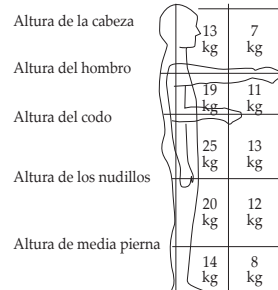
**F1 a) Datos de la manipulación**

1) Peso real de la carga  kg.

2) Datos para el cálculo del peso aceptable:

2.1. Peso teórico recomendado  
en función de la zona de  
manipulación  kg.

2.2. Desplazamiento vertical:



|               | Factor corrección |
|---------------|-------------------|
| Hasta 25 cm   | 1                 |
| Hasta 50 cm   | 0,91              |
| Hasta 100 cm  | 0,87              |
| Hasta 175 cm  | 0,84              |
| Más de 175 cm | 0                 |

2.3. Giro del tronco:

|                         |  | Factor corrección |
|-------------------------|--|-------------------|
| Sin giro                |  | 1                 |
| Poco girado (hasta 30°) |  | 0,9               |
| Girado (hasta 60°)      |  | 0,8               |
| Muy girado (90°)        |  | 0,7               |

2.4. Tipo de agarre:

|                |  | Factor corrección |
|----------------|--|-------------------|
| Agarre bueno   |  | 1                 |
| Agarre regular |  | 0,95              |
| Agarre malo    |  | 0,9               |

.../...

## 2.5. Frecuencia de manipulación:

|                  | Duración de la manipulación |               |               |
|------------------|-----------------------------|---------------|---------------|
|                  | ≤ 1 h/día                   | > 1 h y ≤ 2 h | > 2 h y ≤ 8 h |
|                  | Factor corrección           |               |               |
| 1 vez cada 5 min | 1                           | 0,95          | 0,85          |
| 1 vez/min        | 0,94                        | 0,88          | 0,75          |
| 4 veces/min      | 0,84                        | 0,72          | 0,45          |
| 9 veces/min      | 0,52                        | 0,30          | 0,00          |
| 12 veces/min     | 0,37                        | 0,00          | 0,00          |
| > 15 veces/min   | 0,00                        | 0,00          | 0,00          |

## 3) Peso aceptable:

$$\begin{array}{ccccccc}
 & \text{Peso} & & \text{Factor de} & & \text{Factor de} & & \text{Factor de} & & \text{Factor de} & & \\
 & \text{teórico} & & \text{corrección} & & \text{corrección} & & \text{corrección} & & \text{corrección} & & \\
 & & & \text{despl. vertical} & & \text{giro} & & \text{agarre} & & \text{frecuencia} & & \\
 \text{Peso (*)} & = & \boxed{\phantom{00}} & \times & \boxed{\phantom{00}} & \times & \boxed{\phantom{00}} & \times & \boxed{\phantom{00}} & \times & \boxed{\phantom{00}} & = & \boxed{\phantom{00}} & \text{kg} \\
 \text{aceptable} & & & & & & & & & & & & & 
 \end{array}$$

## 7. MÉTODO OWAS. ANÁLISIS DE LA CARGA FÍSICA POSTURAL

El método OWAS (Ovako Working Posture Analysis System), concebido por el Institute of Occupational Health & Safety of Finland, se utiliza para identificar, analizar y evaluar la carga física postural estática, que pudiera afectar a los trabajadores.

Está basado en una clasificación simple y sistemática de las posturas de trabajo. Hemos de observar la tarea, delimitar las posturas de cada fase de trabajo, codificarlas y analizarlas, junto con el registro del tiempo.

Aunque es un método útil para la identificación de posturas inadecuadas, no se puede utilizar si queremos estudiar grados o niveles de gravedad de la misma postura básica. Es decir, se identifica si una persona está inclinada o no, pero no si su grado de inclinación es grande o pequeño. Para la determinación efectiva de la carga física postural estática, analizaremos:

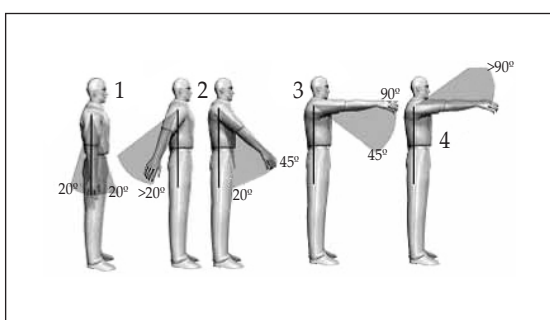
- Evaluación de la posición de los brazos.
- Evaluación de las manos y muñecas.
- Evaluación del cuello.
- Evaluación del tronco.
- Evaluación de las piernas.

- Evaluación del esfuerzo.
- Esbeltez.

## 7.1. EVALUACIÓN DE LA POSICIÓN DE LOS BRAZOS

Para determinar la puntuación del «brazo», se deberá medir el ángulo que forma con respecto al eje del tronco, como se muestra en las diferentes posturas consideradas:

Figura 23. Posiciones del brazo

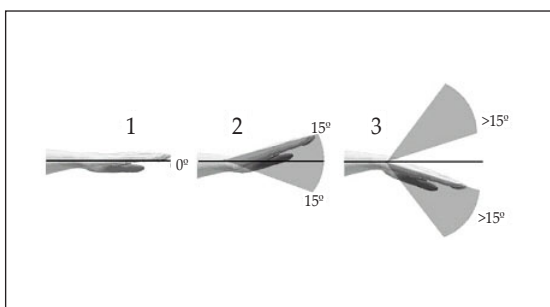


| Puntuación del brazo |   |
|----------------------|---|
| Puntos               | Posición del brazo                        |
| 1                    | Desde 20° de extensión a 20° de flexión   |
| 2                    | Extensión > 20° o flexión entre 20° y 45° |
| 3                    | Flexión entre 45° y 90°                   |
| 4                    | Flexión > 90°                             |

## 7.2. EVALUACIÓN DE LAS MANOS Y MUÑECAS

En primer lugar, determinar el grado de flexión de la «muñeca», mediante las tres posiciones posibles, consideradas por el método.

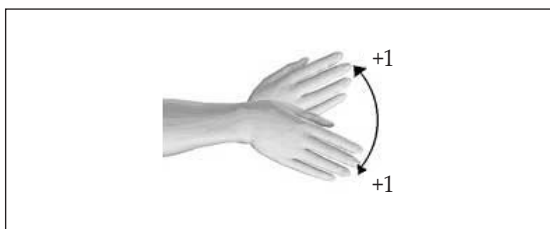
Figura 24. Posiciones de la muñeca



| Puntuación de la muñeca |   |
|-------------------------|---|
| Puntos                  | Posición de la muñeca                         |
| 1                       | Si está en posición neutra respecto a flexión |
| 2                       | Si está flexionada o extendida entre 0° y 15° |
| 3                       | Para flexión o extensión mayor de 15°         |

En segundo término, que hay que tener en cuenta la desviación de la muñeca:

Figura 25. Desviación de la muñeca



| Puntuación de la desviación de la muñeca |  |
|--|--|
| Puntos                                   | Desviación de la muñeca                |
| 0  | Posición neutra                        |
| 1  | Si está desviada radial o cubitalmente |

Por último, se deben tener en consideración los factores de repetición e intensidad del esfuerzo, tomando los siguientes valores:

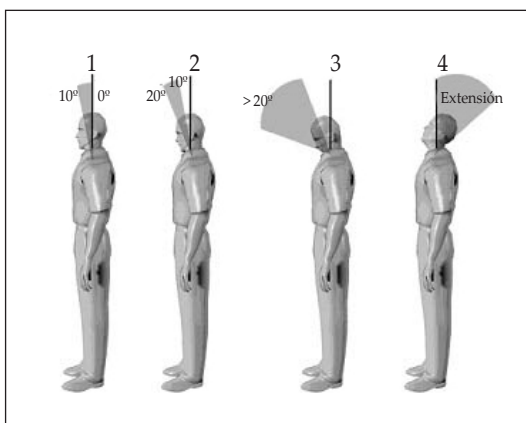
| Puntuación de la repetitividad |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Puntos                         | Repetitividad de brazo-muñeca |
| 0                              | < 4 repeticiones por minuto   |
| 1                              | > 4 repeticiones por minuto   |

| Intensidad del esfuerzo |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| Puntos                  | Intensidad                |
| 1                       | Tarea ligera (< 10 %)     |
| 3                       | Tarea algo dura (10-30 %) |
| 6                       | Tarea dura (30-50 %)      |
| 9                       | Tarea muy dura (50-80 %)  |
| 13                      | Casi al máximo (> 80 %)   |

Figura 26. Posiciones del cuello

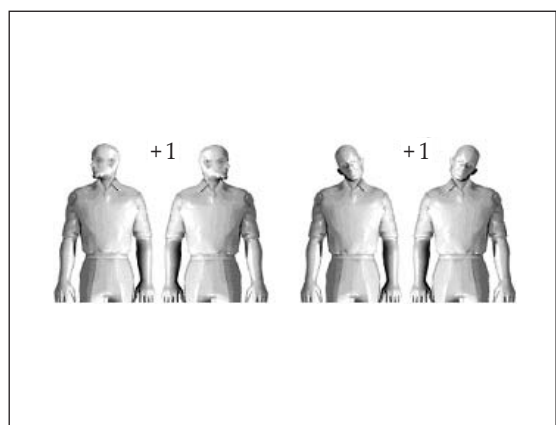
### 7.3. EVALUACIÓN DEL CUELLO

Evaluar inicialmente la flexión del «cuello», según las tres posiciones de flexión, así como la posición de extensión, puntuadas por el método.



La puntuación calculada hasta el momento para el cuello podrá verse incrementada si el trabajador presenta inclinación lateral o rotación.

Figura 27. Posiciones que modifican la puntuación del cuello



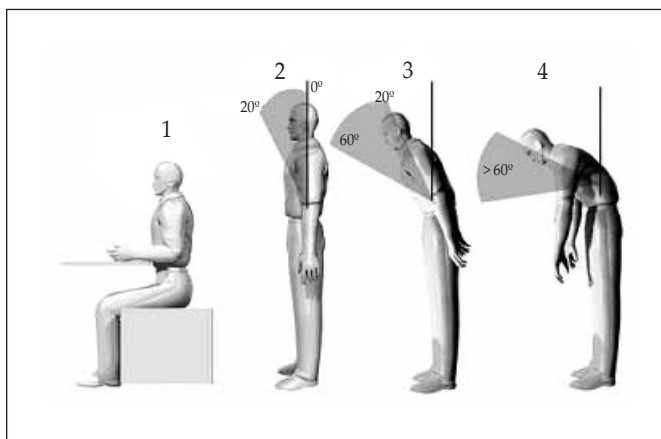
| Puntuación del cuello                         |                                    |
|---|------------------------------------|
| Puntos  | Posición del cuello                |
| 1   | Si existe flexión entre 0° y 10°   |
| 2   | Si está flexionado entre 10° y 20° |
| 3   | Para flexión mayor de 20°          |
| 4   | Si está extendido                  |
| Modificaciones sobre la puntuación del cuello |                                    |
| + 1   | Si el cuello está rotado           |
| + 1   | Si hay inclinación lateral         |



## 7.4. EVALUACIÓN DEL TRONCO

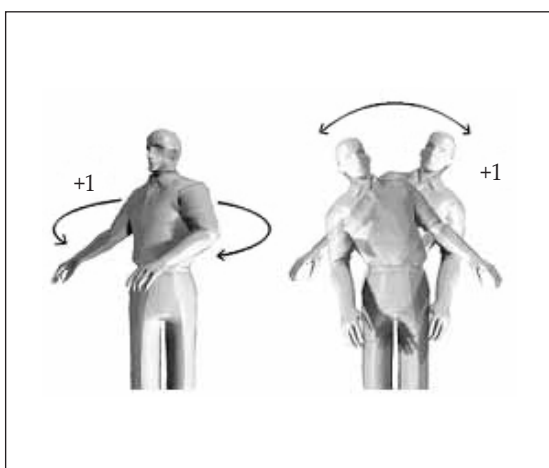
Se deberá determinar si el trabajador realiza la tarea sentado o de pie, indicando, en este último caso, el grado de flexión del «tronco».

Figura 28. Posiciones del tronco



La puntuación incrementará su valor si existe torsión o lateralización del tronco. Ambas circunstancias no son excluyentes y, por tanto, podrán incrementar el valor original del tronco hasta en dos unidades si se dan simultáneamente.

Figura 29. Posiciones que modifican la puntuación del tronco

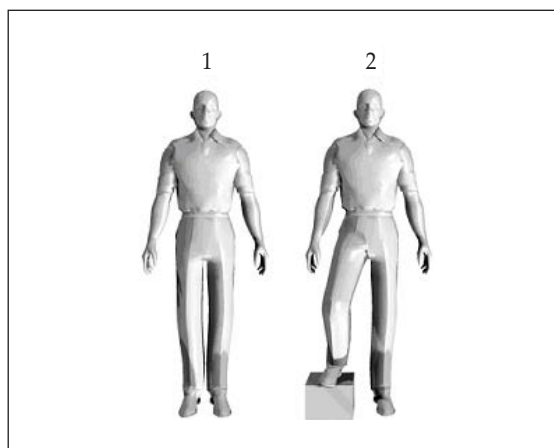


| Puntuación del tronco                         |  |
|---|--|
| Puntos  | Posición del tronco  |
| 1   | Sentado, bien apoyado y con un ángulo tronco-caderas > 90° |
| 2   | Si está flexionado entre 0° y 20°                          |
| 3   | Si está flexionado entre 20° y 60°                         |
| 4   | Si está flexionado más de 60°                              |
| Modificaciones sobre la puntuación del tronco |  |
| + 1   | Si hay torsión del tronco                                  |
| + 1   | Si hay inclinación lateral del tronco                      |

## 7.5. EVALUACIÓN DE LAS PIERNAS

En el caso de las «piernas», el método no se centrará, como en los análisis anteriores, en la medición de ángulos. Serán aspectos como la distribución del peso entre las piernas, los apoyos existentes y la posición sentada o de pie los que determinarán la puntuación asignada.

Figura 30. Posición de las piernas



| Puntuación de las piernas |  |
|---------------------------|--|
| Puntos                    | Posición de las piernas  |
| 1                         | Sentado, pies y piernas bien apoyados, peso simétricamente distribuido     |
| 1                         | De pie, peso simétricamente distribuido, espacio para cambios de posición  |
| 2                         | Sentado, con piernas y pies no apoyados                                    |
| 2                         | De pie, con el peso distribuido asimétricamente o las rodillas flexionadas |
| 2                         | Andando  |

## 7.6. EVALUACIÓN DEL ESFUERZO

Se debe tener en cuenta el «esfuerzo», o peso manipulado, al realizar una tarea, para calcular el posible riesgo de lesiones, tal y como se muestra en la tabla:

| Puntuación de la fuerza |                                     |
|-------------------------|-------------------------------------|
| Puntos                  | Fuerza empleada                     |
| 1                       | Carga o fuerza intermitente < 2 kg  |
| 2                       | Carga o fuerza intermitente 2-10 kg |
| 3                       | Carga estática 2-10 kg              |
| 3                       | Carga o fuerza repetida 2-10 kg     |
| 4                       | Carga estática > 10 kg              |
| 4                       | Carga o fuerza repetida > 10 kg     |

## 7.7. ESBELTEZ

Resulta de aplicar la ecuación matemática siguiente:

$$\text{Esbeltez} = 0,707 \times \left[ \frac{\text{Talla (cm)} - 162,9}{8,9} - \frac{\text{Peso (kg)} - 96,5}{12} \right]$$

## 7.8. RESULTADO DEL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

Para la determinación del riesgo de lesiones o molestias en el «cuello», teniendo en cuenta las variables consideradas por el método OWAS:

| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL |  |  |  |  |  | UNIDAD 2 |  |  |
|-----------|-----------------------------------|--|--|--|--|--|----------|--|--|
|           |                                   |  |  |  |  |  | 57       |  |  |

Tabla 3. Riesgo de lesión o molestias en el cuello

| Riesgos a corto plazo |            |   |   |   |   |   |
|-----------------------|------------|---|---|---|---|---|
| Brazos                | 1          |   | 2 |   | 3 |   |
|                       | Repetición |   |   |   |   |   |
| Cuello                | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1                     | 1          | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| 2                     | 2          | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 3                     | 2          | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| Riesgos a medio plazo |            |   |   |   |   |   |
| Brazos                | 1          |   | 2 |   | 3 |   |
|                       | Repetición |   |   |   |   |   |
| Cuello                | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1                     | 1          | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 2                     | 2          | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| 3                     | 3          | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Riesgos a largo plazo |            |   |   |   |   |   |
| Brazos                | 1          |   | 2 |   | 3 |   |
|                       | Repetición |   |   |   |   |   |
| Cuello                | 0          | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1                     | 2          | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2                     | 2          | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 |
| 3                     | 3          | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Para la determinación del riesgo de lesiones o molestias en la «zona lumbar», teniendo en cuenta las variables consideradas por el método OWAS:

Tabla 4. Riesgo de lesión o molestias en la zona lumbar

|          | Tronco | 1       |   |   | 2 |   |   | 3 |   |   |
|----------|--------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|          |        | Piernas |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Esbeltez | Fuerza | 1       | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1        | 1      | 1       | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
|          | 2      | 1       | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
|          | 3      | 2       | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| .../...  |        |         |   |   |   |   |   |   |   |   |

|           |                                   |          |
|-----------|-----------------------------------|----------|
| ERGONOMÍA | ERGONOMÍA<br>DINÁMICO-OPERACIONAL | UNIDAD 2 |
|           |                                   | 58       |



|         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .../... |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 2       | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 |
|         | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
|         | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| 3       | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
|         | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 |
|         | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 |

Para la determinación del riesgo de lesiones o molestias en la «mano-muñeca», teniendo en cuenta las variables consideradas por el método OWAS:

Tabla 5. Riesgo de lesión o molestias en la mano-muñeca

|         | Intensidad | 1          |   | 2 |   | 3 |   |
|---------|------------|------------|---|---|---|---|---|
|         |            | Repetición |   |   |   |   |   |
| Cubital | Muñeca     | 1          | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1       | 0          | 1          | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
|         | 1          | 1          | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2       | 0          | 2          | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
|         | 1          | 2          | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 3       | 0          | 3          | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 |
|         | 1          | 4          | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Los niveles de riesgo de las posibles lesiones o molestias, teniendo en cuenta el método OWAS, serían:

- **Nivel I.** Riesgo de lesión o molestia ligero. No se requiere ninguna acción adicional.
- **Nivel II.** Riesgo de lesión o molestia moderado. Se requiere una intervención a medio plazo.
- **Nivel III.** Riesgo de lesión o molestia elevado. Se requiere una intervención en plazo breve.
- **Nivel IV.** Riesgo de lesión o molestia peligroso. Se requiere una intervención inmediata.