

DISEÑO DE HERRAMIENTAS DE MANO

Las herramientas de mano aumentan la capacidad de las manos. Esa mayor capacidad puede significar más impacto (martillo), mayor fuerza al asir (pinzas), más torsión (llave, desarmador) e incluso nuevas funciones (sierra de mano, cautín). Este capítulo ayuda a elegir entre las herramientas disponibles e incluso, en algunos casos, a diseñar otras nuevas. Los ocho principios se agrupan en principios generales, principios sobre el asir y principios sobre la forma.

PRINCIPIOS GENERALES

Los tres principios generales son los siguientes:

- usar herramientas especiales,
- Diseñar herramientas que se puedan usar con cualquiera de las manos.
- impulsar con motores más que con los músculos.

PRINCIPIO 1: USAR HERRAMIENTAS ESPECIALES

El rendimiento de la inversión en herramientas especiales es en general elevado debido a la baja relación costo/uso. La gran variedad de desarmadores, cuchillos y pinzas viene a demostrar las virtudes de la especialización de herramientas de mano.

En la tabla siguiente se da la relación costo/uso del capital invertido en una herramienta que cuesta \$10 y de otra que cuesta \$100. Esa relación casi siempre es inferior a un centavo. La relación costo/uso de la mano de obra depende del costo de la mano de obra y del cociente tiempo/uso. Un ejemplo de costo de mano de obra en números redondos podría ser \$7.20/hr, o sea .2 centavos/seg. Si una herramienta especial ahorrase 10 s/uso, el ahorro/uso de mano de obra sería $\frac{10}{.2} = 50$ centavos. Los otros gastos (energía, reparaciones) podrían costar .1 centavo/uso con un ahorro neto de operación de 1.9 centavos/uso. Compárese esto con el costo adicional de capital de la herramienta de mano especial.

Las fórmulas pueden hacer que los cálculos sean más generales y comprensibles.

~2~

$$TC = CC + OC \quad (15.1)$$

donde TC = costo/uso total, centavos/uso

CC = costo de capital por uso, centavos/uso
 $= 100 \text{ CCT} / \text{UPL}$

CCT costo total de capital, en dólares

UPL = usos/vida útil de la herramienta

OC = costo/uso de operación, centavos/uso

$OCPS(SPU)$

$OCPS$ costo de operación de la herramienta/seg, centavos/seg

SPU = segundos/uso de la herramienta, seg/uso

Supóngase que una enfermera emplea una herramienta de uso general 10 veces/día, 250 días/año, y que la herramienta dura 2 años. La $UPI. = 10 \times 250 \times 2 = 5000$ usos/vida de la herramienta. Si el costo de la herramienta fue de \$10, $CC = 100(10)/5000 = .2$ cen-tavos/uso.

El costo de capital / uso (en centavos) es bajo en la mayoría de los casos. Se suponen 250 días hábiles al año y una vida útil de 2 años.

Usos! Usos! Costo inicial

día vida útil \$10 \$100

500	2.0	20.0
10	5000	0.2
100	50000	0.02
1000	500,000	0.002

Si el costo de mano de obra es de \$5/hr (\$4/hr de sueldo + 25% de beneficios mar-ginales), el costo/seg será de .14 centavos/seg. Si el tiempo/uso es de 30 segundos, el cos-to/uso de mano de obra será de 4.2 centavos. Si la energía y el mantenimiento son iguales a cero, entonces $OC = 4.2$ centavos/uso. El costo total por el uso, TC , es de 4.4 centavos.

Ahora véase una herramienta de uso especial que puede hacer el trabajo en 5 seg pero que cuesta \$25. $CC = 100(25)/5000 = .5$ centavos/uso. $OC = 0.7$ centavos y el costo total, TC , será de 1.2 centavos.

La herramienta especial ahorra 3.2 centavos/uso, o sea \$160 en los 2 años de vida útil; es decir, \$80 por año. El rendimiento de la inversión es igual a \$80 dividido entre la inversión promedio de \$12.50, o sea el 640%.

Un trabajo consiste en *preparar, hacer y dejar*. En la tabla 15.2 se demuestra que una herramienta especial ahorra tiempo si se utiliza para fines múltiples.

La herramienta de usos múltiples puede combinar dos funciones (por ejemplo, un martillo de orejas que combina un sacaclavos y con martillo, o unas pinzas que combinan la función de asir y un cortador de alambre). Un ejemplo extremo es la pala de acampar del autor, la cual también sirve como martillo, sierra, hacha, abridor de botellas y llave de tuercas. Las herramientas dos en uno eliminan las acciones de alcanzar, asir, llevar y soltar del costo de mano de obra; es decir, los costos de preparar y dejar son más bajos.

La herramienta especial también puede ahorrar permitiendo que la función de ha-cer sea más eficaz. Como ejemplos se podrían citar un mayor número de rpm, más pre-cisión y mayor fuerza.

Una herramienta de funciones combinadas ahorra tiempo en los actos de preparar y dejar.

La herramienta especial para arqueología de la figura combina ventajas en los actos de asir y soltar (tiene una sierra en uno de los lados y la punta está recortada, de modo que se puede usar para nivelar el suelo) y también en la acción de hacer (gracias al mango mejorado que ofrece una mejor superficie de asa para la mano).

Si se considera el costo total, una herramienta de \$2 puede resultar más costosa que una de \$200.

PRINCIPIO 2: DISEÑAR HERRAMIENTAS QUE SE PUEDAN USAR CON CUALQUIER MANO

Hay un marcado estigma social en relación con la izquierda. La palabra *je.U* (iz-quierda, en inglés) proviene de *lyft*, término anglosajón que significa débil, quebrado; en latín, *sinister*; en francés, *gauche*, del cual se

deriva también *gawk* (bobo, en inglés). En las representaciones medievales, el demonio entraba al escenario por la izquierda. Se suelen hacer cortesías con la mano izquierda; los políticos radicales pertenecen al ala izquierda. En cambio, los auxiliares valiosos son la mano derecha, los invitados de honor se sientan a la derecha del anfitrión, los saludos se hacen y las bendiciones se dan con la mano derecha; portarse correctamente es andar derecho. La palabra *right* (derecha, en inglés) proviene del término anglosajón *~rigt*, que significa recto, justo. En francés, a *di-oit* quiere decir a la derecha; se usa la palabra *adroit* en inglés para significar hábil, ágil para usar las manos: Right on! (¡Adelante!)

En la mayoría de los casos, la herramienta debe estar en la mano preferida por el usuario. La derecha es la preferida por aproximadamente el 90% de la población, porcentaje que parece ser similar en todas las culturas y en ambos sexos.

El beneficio principal de una herramienta que se puede usar con cualquier mano favorece al 10% restante de la población. En los deportes, donde se da gran importancia al rendimiento máximo, por lo general se encuentran productos para una y otra mano. Lo mismo es de desear en la industria.

Otra de las ventajas de una herramienta que se puede usar con cualquier mano es que puede ser utilizada por la mano no preferida en situaciones especiales de trabajo, cuando la otra está ocupada.

En las operaciones repetitivas, una herramienta que se puede usar con cualquier mano permite alternar las manos a fin de reducir la fatiga muscular local. En las figuras 15.2 y 15.3 se muestran unas palas para servir alimentos (Konz, 1974). La diseñada para la mano derecha tiene un fuerte resorte (1.2 kg). El pulgar se fatiga muy pronto y el usuario tiene que descansar o trabajar con molestias, ya que es muy difícil utilizar la pala con la mano izquierda. El diseño alemán (figura 15.3), aunque sus bordes afilados se hincan en la mano, permite alternar las manos, por lo cual es el diseño preferido.

La destreza es mayor en la mano preferida (ver tabla 15.3). Sin una herramienta, con la mano preferida se ahorra alrededor de un 5% de tiempo, pero con una herramienta el margen aumenta con la complejidad creciente de la manipulación. En la figura 15.4 se muestra una jeringa dental diseñada para usarse con cualquier mano.

Ciertas herramientas tienen un diseño peculiar para la mano derecha y requieren una acción diferente cuando se usan con la izquierda. Capener (1956) explica el uso de las tijeras para la mano derecha cuando se emplean con la izquierda:

Como la acción compresiva se realiza entre los dedos pulgar y medio o anular, es necesario agregar acción extensora (en vez de flexora) a la falange terminal del dedo, y aducción (en vez de abducción) al pulgar. Esto implica una inversión de la presión ejercida sobre los anillos del instrumento, con la consiguiente tendencia a torcer de modo que las superficies de corte quedan en el plano vertical más bien que en el horizontal.

PRINCIPIO 3: IMPULSAR CON MOTORES MAS BIEN QUE CON LOS MUSCULOS

La energía mecánica es de 10 a 1000 veces más barata que la humana, por las siguientes razones:

Las personas funcionan 24 horas al día y 8760 horas al año, mientras que las máquinas se desconectan cuando no están en uso. El consumo de energía del trabajador (que se paga con el salario) durante las 8760 horas se debe comparar por lo tanto con las 2000 horas o menos que trabajan las máquinas.

El trabajador consume a menudo combustible de alto costo, como es la carne. Vacas, ovejas y cerdos requieren alrededor de 7 kcal de productos vegetales por 1 kcal de carne; pollos y pescado alrededor de 5; pollos y vacas comen alrededor de 4.5 kcal por cada kcal de leche o huevos producida: (1 kcal/hr 1.16 watts).

El costo de combustible del trabajador no sólo proporciona alimento al trabajador, sino que en general lo proporciona también a su familia.

El salario del trabajador (costo de combustible) sirve para adquirir otros bienes además del alimento (habitación, diversiones, transportación).

El hombre es relativamente una fuente deficiente de energía. El pedaleo en bicicleta, que es el método más efectivo de generar energía humana, es sólo de un 20 a un 25% eficaz.

Las *herramientas especiales* pueden ofrecer ventajas en el acto de hacer. Si son para usos múltiples, pueden ofrecerlas también en las acciones de preparar y dejar. El nuevo instrumento para rescate arqueológico ofrece ambas ventajas.

PRINCIPIOS SOBRE EL ASIR

El segundo grupo de principios de diseño de herramientas de mano se refiere a los mangos: (4) usar un mango fuerte para hacer fuerza, usar un mango de precisión para dar precisión; (5) los mangos deben tener el grosor, la forma y la longitud adecuados; (6) la superficie del mango debe ser compresible, no conductora y lisa.

PRINCIPIO 4: USAR UN MANGO FUERTE PARA HACER FUERZA Y UNO DE PRECISION PARA DAR PRECISION

Hay un gran número de mangos diferentes (Bendz, 1974), pero los más importantes las herramientas de mano son el mango fuerte y el de precisión.

La *fatiga muscular local* que experimenta un dedo aislado se puede reducir usando toda la mano para comprimir el resorte que limpia la cazoleta.

La dirección de la línea de fuerza establece tres subcategorías del mango fuerte:

- Fuerza paralela al antebrazo (por ejemplo, la sierra).
- Fuerza formando ángulo con el antebrazo (por ejemplo, el martillo).
- Momento de torsión alrededor del antebrazo (por ejemplo, el sacacorchos).

Con el instrumento que sirve sólo para la mano derecha, el pulgar tiene que aplicar una *fuerza excesiva*.

El *doble control* y el vástago prolongado permiten operar esta jeringa dental con cualquier mano (Evans, Lucaccini, Hazell y Lucas, 1973).

La *fuerza paralela al antebrazo* la pueden tipificar una sierra de mano, una plancha eléctrica, un taladro eléctrico de mano, un mango en Y para pala, el asa de una maleta o una pistola. Al mango fuerte a menudo se le llama *mango de pistola*. Los músculos pueden aplicar la fuerza a lo largo del eje del antebrazo (plancha eléctrica, sierra, pala) o pueden oponerse a la fuerza (taladro eléctrico, asa de maleta, pistola). Hay dos brazos de fuerza producidos (a) por la acción de la herramienta y (b) por el peso de la misma. Alineando el mango por debajo del centro de gravedad (de equilibrio) de la herramienta se minimizan los momentos de torsión innecesarios y se permite la visión a lo largo de la herramienta para mejorar la precisión. Si el peso de la herramienta es pequeño (una herramienta ligera, una que está suspendida o una que se desliza por una superficie) y su fuerza es elevada, póngase el mango en la parte posterior.

La *fuerza que forma ángulo con el antebrazo* la pueden tipificar un martillo, un hacha, una piqueta para hielo, un escoplo, un cortador de pizzas y unas pinzas (asir inverso). Aunque siempre se requiere el firme control, el ángulo de fuerza difiere de acuerdo con la herramienta. La herramienta puede estar más arriba que la mano

(martillo) o más abajo (piqueta, cortador de pizzas); la muñeca puede estar flexionada (martillo, caña de pescar, raqueta de tenis) o rígida (piqueta, pinzas, desarmador mecánico). Cuando la herramienta está más arriba que la mano, la muñeca está en primera velocidad la parte superior de la herramienta se mueve más que la inferior. Cuando la herramienta está más abajo que la mano, la muñeca está en tercera el movimiento se reduce en la extremidad pero la fuerza aumenta en la muñeca (Capener, 1956). Se puede lograr mayor precisión no cerrando el pulgar sobre los dedos, sino alineándolo a lo largo del eje de la herramienta (martillo de zapatero, matamoscas). La precisión adicional se obtiene a costa de una pérdida en la fuerza de agarre. (Una variante del mango de fuerza es el asa de la taza para el café. El asa debe dejar espacio para dos dedos y limitar la transmisión del calor.)

El *momento de torsión alrededor del eje del antebrazo* mientras se usa el mango de fuerza lo puede tipificar un sacacorchos con mango en T. La extensión del eje del antebrazo se proyecta a lo largo del cuarto dedo. Un problema común del momento de torsión lo constituyen la superficie de sujeción y la palanca insuficiente. Las perillas de las puertas (control relacionado con una herramienta pero que tiene ejes fijos en vez de los ejes ilimitados de la herramienta) son con frecuencia un problema, porque los arquitectos proporcionan una esfera pulimentada y al mismo tiempo esperan que el usuario produzca el momento de torsión confiando en la fricción.

El mango de precisión.

El mango de precisión tiene dos subcategorías.

Los *mangos de precisión interna* (cuchillo de mesa, navaja de afeitar, lima) tienen tres características: asir de pellizco entre el pulgar y el primer dedo (o entre el pulgar y el primero + el segundo dedos); apoyo para reducir el temblor de la herramienta mediante el dedo meñique y la superficie de la mano, y, tercera, el mango pasa por debajo del pulgar y queda por tanto interno con respecto a la mano.

Si se trata de empujar o tirar, el mango de la herramienta por lo general está paralelo a la superficie de trabajo. Si se requiere rotación, (por ejemplo, un desarmador pequeño), el mango tiende a quedar perpendicular al trabajo. Uno de los problemas de la rotación es que el extremo del mango tiende a hacer un agujero en la palma. La penetración se puede eliminar usando un mango tan largo que sobresalga de la palma, o haciendo la extremidad del mango grande y esférica en vez de aguda. La necesidad de hacer fuerza a lo largo del eje de la herramienta se puede reducir mediante un mango con mejores características de sujeción. Como ocurre con el mango de fuerza, el pulgar o el meñique pueden adoptar otra posición. Si se apunta a lo largo de la superficie superior de un cuchillo se logra más fuerza y mayor precisión.

Los *mangos de precisión externa* (lápiz, cuchara, palillos) tienen también tres características. Asir de pellizco entre el pulgar y el primer dedo (o entre el pulgar y el primero $\pm$ el segundo dedos), igual que en los de precisión interna. Sin embargo, el segundo apoyo es el costado del segundo dedo o la piel de la base del pulgar. El mango pasa sobre el pulgar y es por consiguiente externo con respecto a la mano. En general, el mango forma cierto ángulo con la superficie de trabajo.

Los mangos de precisión internos tienen tres características:

- Asir de pellizco,
- Se apoyan en el meñique o en el costado de la mano y
- El vástago queda dentro de la mano

PRINCIPIO 5: EL MANGO DEBE TENER EL GROSOR, LA FORMA Y LA LONGITUD ADECUADOS

Toda herramienta tiene dos extremos: uno trabaja en el material, el otro está en la mano .

Se indican las dimensiones principales de las manos de la persona adulta. Obsérvese que en cuanto a tamaño, fuerza y destreza (1) los varones adultos no son iguales a las mujeres adultas, (2) los niños no son iguales a los adultos y (3) la mano enguantada no es igual a la mano descubierta.

Greenburg y Chaffin (1977, pp. 51 y 77) recomendaron que el diámetro del mango de fuerza fuese entre 50 y 85 mm, preferiblemente hacia los 50. Si los mangos se mueven aproximándose entre sí, la separación inicial máxima debe ser de unos 100 mm (para manos del tamaño más grande) y la separación inicial mínima debe ser de unos 50 mm (la fuerza de la herramienta es baja durante el cierre) (ver figura 15.9). Si el diámetro es demasiado grande los dedos no se superponen, no habrá cierre y el esfuerzo aumenta marcadamente. Si el diámetro es demasiado pequeño, el área de fricción será insuficiente y el mango penetrará en la mano.

Dimensiones principales de la mano, en mm, de los adultos norteamericanos (Garrett,

1971; Rigby, 1973

Mujer pequeña Hombre corpulento

(1er. percentil) (99o. percentil)

Clave Dimensión Garret Rigby Garret Rigby

a Longitud del mano* 160 170 218 211

b Longitud de la palma 97 119

c Anchura metacarpiana 69 79 91 99

d Anchura del pulgar 91 117

e Del extremo a la horquilla 43 69

f Longitud del pulgar 43 43 69 69

g Longitud del dedo 2 56 56 86 86

h Longitud del dedo 3 66 66 97 97

i Longitud del dedo 4 61 61 91 91

Longitud del dedo 5 46 46 71 71

k Grosor del pulgar 15 18 23 23

1 Diámetro del dedo 3 (en la punta) 13 20 20 25

* Recta y plana. Para la mano floja, restar 58 mm.

Saran (1973) informó que el mango en 1 de 25 mm se prefería a los de 19 o de 32 mm. Rigby, al hacer recomendaciones respecto a las asas de los recipientes, indicó un diámetro de 6 mm como mínimo para pesos inferiores a 7 kg, de 13 mm para pesos entre 7 y 9 kg, y de 19 mm para pesos de más de 9 kg. En suma, los mangos de fuerza entre 25 y 50 mm de diámetro serán en general satisfactorios. Tal vez el error más común es usar mangos muy pequeños (de menos de 13 mm de diámetro).

PRINCIPIO 6. DISEÑAR LA SUPERFICIE DEL MANGO DE MODO QUE SEA COMPRESIBLE, LISA Y NO CONDUCTORA

- **Compresible.** Así como un piso compresible (madera o alfombra) es más cómodo para los pies y las piernas que uno de concreto no compresible, un mango de material compresible es más cómodo para la mano. La madera es el material preferido; el caucho y el plástico compresibles son aceptables. Se

debe evitar el plástico duro y el metal descu-bierto. Los materiales compresibles amortiguan la vibración e impiden que la mano resbale sobre el mango; los mangos compresibles con un coeficiente de fricción elevado (cinta en-rollada en un bate de beisbol) pueden ser útiles. Puesto que el aceite disminuye el coeficiente de fricción, hay que usar un material que no lo absorba.

- **No conductora.** Los mangos no deben conducir electricidad ni calor. Por fortuna, los materiales con buena resistencia eléctrica resisten también el paso del calor. Recuérdese que los remaches metálicos en el mango pueden conducir, aunque el resto del mango sea de material no conductor.

Temperatura superficial (C) de tres materiales diferentes, comparada con el tiempo

de contacto necesario para experimentar dolor o para que se produzca la muerte de las células (Wu, 1972).

Dolor Muerte de las células

Tiempo de Plástico Plástico

contacto seg Madera i'nólico Aluminio .4'Idadera ténólico Aluminio

0.1 125 104 61 260 206 96

0.3 108 92 56 218 174 92

0.5 105 89 55 204 163 81

1.0 100 85 53 197 158 79

5.0 95 82 52 183 148 76

10.0 95 82 52 180 147 76

Fuente: Reproducido con autorización del Trabajo No. 75-713, tabla 15.5, del American Institute of Aeronautics and Astronautics

Lisa. Un cuchillo corta triturando la fuerza ejercida sobre un área muy pequeña produce una presión elevada. En igual forma, los bordes agudos y las esquinas de las herramientas son como cuchillos para la mano. El radio de las herramientas debe ser de más de 3 mm; de 6 a 9 es mejor. A los mangos de metal se les debe recubrir con plástico o con cinta para suavizar los bordes agudos y separar las superficies de corte. El plástico o la cinta hacen también que el mango sea compresible y no conductor. La uniformidad de la superficie ayuda a la limpieza. Aunque las ranuras en el mango aumentan la fricción, penetran en la mano. Si es importante que el instrumento no resbale, es posible aumentar el coeficiente de fricción de la mano con diversas sustancias o usando guantes. Se debe tener cuidado con los mangos hechos de materiales muy blandos, ya que pueden incrustar en virutas o astillas.

Un mango deficiente acaba por dejar su marca en la mano.

PRINCIPIOS SOBRE LA FORMA

PRINCIPIO 7 TENER EN CUENTA LOS ANGULOS QUE FORMAN EL ANTEBRAZO, EL MANGO Y LA HERRAMIENTA

Se deben doblar las herramientas, no las muñecas. La idea en que se funda lo anterior es que las máquinas se deben ajustar al hombre, no exigir que el hombre se adapte a la máquina. La mano se mantiene pequeña y flexible gracias a que los músculos que la mueven están situados en el antebrazo

voluminoso. Los dedos son movidos por tendones que van desde los dedos, pasando por los huesos de la muñeca (túnel carpiano), hasta los músculos. Esas cuerdas' rozan contra los huesos si se mueven mientras la muñeca está doblada y producen tenosinovitis. El movimiento de los tendones mientras la muñeca está derecha es menos molesto. Como ocurre con cualquier otra dimensión física, la del túnel carpiano varía de acuerdo con la persona. Welch (1973) demostró que se puede predecir la predisposición a la tenosinovitis. La posición más cómoda de la mano es la que adopta al saludar de mano .

Las *quemaduras* por contacto (conducción) o por proximidad (radiación) se pueden reducir aumentando la distancia entre la mano y la superficie caliente. En la figura 15.16 se muestran varios tipos de espátulas. Si se trata de un rodillo, por ejemplo, aumentese su diámetro. El mismo concepto de distancia se aplica a las asas del equipo fijo, como son los hornos. Si el asa o el mango son de tal forma que la mano no se puede retirar <el asa de la taza para café), aumenta el tiempo de contacto. Los materiales viscosos derramados sobre la piel y los líquidos y materiales calientes que caen en la ropa son muy peligrosos debido al mayor tiempo de contacto.

Los *pellizcos* ofrecen problemas cuando la herramienta se usa repetidamente. Un pellizco por cada 100 veces que se usa una herramienta en el hogar puede ser aceptable si ello significa un pellizco cada 10 años. En cambio, las herramientas se pueden usar 100 veces al día e incluso 100 veces por hora.

El *cautín en ángulo* pone el doblaje en la herramienta y no en la muñeca y lleva también una guarda.

Conviene *diseñar los instrumentos* (tales como las espátulas) para reducir el contacto accidental con superficies calientes.

Las pinzas a menudo se abren insertando el dedo índice detrás del eje. En ocasiones, el dedo sufre un pellizco. Una solución es abrir la herramienta mediante un resorte. Otra posibilidad consiste en abrir las pinzas con el dedo meñique por la parte posterior del mango y no con el índice en el punto de presión. Otra más, usada con las tijeras, es meter los dedos por un aro de modo que puedan tirar de las hojas en lugar de insertarlos entre los dos mangos para empujar.

Los mangos de herramienta, sobre todo los que cierran o están articulados, deben dejar una abertura de por lo menos 25 mm cuando están completamente cerrados. (Greenburg y Chaffin, 1977; p. 124).

PRINCIPIO 8: USAR EL GRUPO ADECUADO DE MUSCULOS

Los músculos que cierran la mano son más fuertes que los que la abren. Se muestran los músculos que se usan para abrir y cerrar la mano. Puesto que aquellos que la abren son relativamente débiles, no se deben usar repetidamente. Se debe poner un resorte para abrir las hojas de las herramientas de mano. Los músculos que cierran la mano, más fuertes, pueden vencer fácilmente la resistencia del resorte al cerrar. Un resorte libre, o uno que se suelta mediante un retén, puede entregar energía con rapidez aunque haya estado comprimido durante largo tiempo.

Un conjunto de músculos abre la mano: el extensor carpi ulnaris (ECU) y el flexor carpi ulnaris (FCU), que son relativamente débiles. Otro conjunto cierra la mano: el extensor carpi radialis brevis (ECRB), el extensor carpi ulnaris (ECU) y el extensor carpi radialis longus (ECRL), que son fuertes (Radonjic y Long, 1971).

Los músculos del antebrazo son más fuertes que los de los dedos. Véase un desarrollo convencional; se hace girar mediante una sucesión de movimientos de asir, girar la mano, soltar, girar la mano y asir de nuevo.

Fuerza máxima de sujeción estática (apretón con la mano), en Kg. según diversos estudios.

50. Desviación

percentil estándar Sexo Mano Grupo

48.2 9.14 M D Personal del ejército

47.8 8.18 M D Fuerza aérea, tripulantes

44.6 7.64 M Pref. Fuerza aérea, oficiales

41.8 6.87 M Pref. Trabajadores industriales

41.4 8.23 M D Conductores de camiones

40.6 – 9.64 M D Industria hulera

33.6 9.55 M D Universitarios

19.1 5.46 M D Universitarios, fuerza durante

45.0 9.55 M 1 Personal del ejército

44.6 7.64 M ; Fuerza aérea, oficiales

43.6 7.27 M 1 Fuerza aérea, tripulantes

41.8 7.00 M 1 Tabajadores industriales

39.1 7.46 M 1 Conductores de camiones 39.1 10.09 M 1 Industria hulera

29.5 8.18 M 1 Universitarios

17.7 4.54 M 1 Universitarios

26.4 4.00 F (D+I)/2 Personal de la marina

25.9 4.68 F Pref. Trabajadoras de la industria

Rotación hacia dentro. La mano y el brazo derechos pueden girar unos 700 en el sentido de las manecillas del reloj alrededor del eje del antebrazo (pronación) y alrededor de 1500 en el sentido contrario (supinación). En la tabla 15.8 se indica el tiempo necesario para girar la mano alrededor del antebrazo. No hay diferencia debida a la dirección.

CONTROLES, HERRAMIENTAS E INSTRUMENTOS AFINES

Las herramientas manuales (las de entonces y las de hoy) son, en esencia, extensiones de las extremidades superiores. Algunas de las máquinas de los tiempos más actuales cumplen con mayor eficiencia las funciones que anterior-mente se realizaban a mano (o con la mano y utilizando herramientas manuales), mientras que otras logran cosas que anteriormente no podían conseguirse. En cualquier caso, la mayoría de las máquinas requieren un control a través de algún instrumento, tal como volantes, pulsadores o palancas, pero estos instrumentos no son «extensiones» de las extremidades (como en el caso de las herramientas manuales), sino que exigen diversos tipos de acciones psicomotrices por parte de quienes las operan. Tanto en el caso de las herramientas como en el de los instrumentos de control, su diseño debería ser tal que completase dos objetivos relacionados. En primer lugar, la herramienta o instrumento ha de ser capaz de desempeñar su función de una forma eficaz cuando la empleen sus usuarios. En segundo lugar, ha de ser adecuada al uso humano por lo que hace referencia a las capacidades sensoriales, psicomotrices y otras, así como a las características antropométricas de los usuarios. Generalmente, estos dos objetivos son compa-tibles en el mismo diseño, puesto que el instrumento que las personas pueden utilizar mejor es, normalmente, aquel que más bien desempeña su función.

Al considerar en especial las capacidades psicomotrices y las caracterís-ticas antropométricas de las personas en función de su posible importancia para el diseño de controles y herramientas, sin embargo, el diseñador puede, bajo circunstancias distintas, considerar estos factores desde dos puntos de vista diferentes. En algunas circunstancias cabe interesarse fundamentalmente en la disposición de diferencias individuales con alguna

característica determinada, como sería el caso de diseñar para individuos considerados extremos [tales como el más bajo, el más ancho, el más pesado o el más pequeño]

Funciones de los controles

Los controles son instrumentos que transmiten información sobre algún mecanismo o sistema. El tipo de información así transmitido puede caracterizarse en términos de clases de información relacionada con los displays, tal como se explicaba en el capítulo 3. Los tipos de información relacionados con las diversas funciones de control se citan a continuación:

Tipo de función de control Tipo de información relacionada

Activación (generalmente on-off) Condición (dicotómica)

Posición de montaje discreta (en cualquier Condición (posición discreta, separada) Cuantitativa
Aviso y señal

Montaje cuantitativo (montaje de un control Cuantitativa

en cualquier posición a lo largo de un

continuo cuantitativo)

Control continuo Cuantitativa

Cualitativa

Figurativa

Entrada de datos (como en máquinas de es- Alfanumérica
cribir, computadoras, pianos) Simbólica

Tipos de control relacionados con las funciones

Ciertas funciones de control pueden realizarse con mayor efectividad mediante algunos tipos de controles que con otros. La tabla 9-1 presenta una lista de algunos de los más corrientes, anotando las funciones de control para las que cada tipo parece indicado. Algunos de estos tipos de controles aparecen ilustrados en la figura 1, junto con las funciones de control para las que pueden emplearse. Aunque un tipo general puede considerarse más apropiado para una función determinada, la utilidad específica de una variante particular de este tipo para una aplicación específica puede resultar influida por características tales (si es que son importantes) como identificación, situación, tamaño, proporción control-display, resistencia, retraso, retroceso, media de operación y distancia de movimiento. Algunas de estas características fueron reflexionadas en el capítulo anterior; algunas de las restantes se explican a continuación.

Identificación de controles

Aunque la identificación correcta de los controles no es realmente crítica en ciertas circunstancias (como al operar una máquina del millón»), existen algunas circunstancias operativas en las que la identificación rápida y correcta es de la mayor trascendencia, e incluso puede ser asunto de vida o muerte. Por ejemplo, McFarland (pp. 603 a 608) cita casos y estadísticas relativas a accidentes de aviación que fueron atribuidos a errores al identificar instrumentos de control. Por ejemplo, se dijo que la Contusión entre los controles del tren de aterrizaje y los alerones fue la causa de más de 400 accidentes de las Fuerzas Aéreas en un periodo de 22 meses durante la segunda guerra mundial. En relación con tales tipos de circunstancias, es cuando resulta importante la identificación del control.

La identificación de los controles es, sobre todo, un problema de codificación y los métodos primarios de codificación incluyen forma, textura, tamaño, situación, método operacional, color y rótulos. (Puesto que en los capítulos 3 y 4 ya explicamos forma, textura, tamaño, color y códigos alfanuméricos, no hablaremos de ellos en este capítulo.) Por lo general, la utilidad de estos métodos se valora mediante criterios como el número de diferenciaciones visibles que se pueden hacer (como, por ejemplo, el número de formas que se pueden identificar), bits de información y precisión en cuanto a su uso y a su velocidad.

Codificación de la situación de los controles

Siempre que traslademos el pie del acelerador al del freno, cuando buscamos el conmutador de la luz a oscuras o empuñamos un control de una máquina sin verlo, estamos respondiendo a una codificación de situación. Pero si hay varios controles parecidos entre los que elegir, la selección de lo que es correcto puede resultar difícil, a menos que estén lo suficientemente separados como para que nuestro sentido cinestésico nos permita distinguirlos. Algunas indicaciones al respecto proceden de un estudio hecho por Fitts y Crannell y citado por Hunt, en el cual se pedía a sujetos con los ojos vendados que alcanzasen unos interruptores de palanca determinados que estaban situados en paneles horizontales y verticales separados entre sí 2,5 cm.

Método operacional para codificar controles

En lo que respecta al método operacional para codificar controles, cada uno tiene su propio y único método de ser operado. Por ejemplo, un control; puede pertenecer a la variedad estirar-pulsar, y otro a una variedad giratoria. Cada uno podrá activarse sólo mediante el movimiento que le es único. Es bastante evidente que este esquema sería inapropiado si existiese algún tipo de prima sobre el tiempo para operar algún instrumento de control y en los que los errores de operación son de considerable importancia. Cuando se utiliza tal método, si es posible, es aconsejable que se utilicen las relaciones de compatibilidad. En conjunto, este método de codificación debería evitarse, exceptuando aquellas circunstancias particulares en las que parezca ser el único apropiado.

Explicación de los métodos de codificación

Al emplear códigos para la identificación de controles, pueden combinarse dos o más sistemas de códigos. Estas combinaciones pueden utilizarse de dos maneras. En primer lugar, cabe emplear las combinaciones únicas de dos o más códigos para identificar instrumentos de control separados, como podrían ser las combinaciones diversas de textura, diámetro y espesor mencionadas anteriormente (Bradley). Y en segundo lugar, pueden ser *códigos* completamente redundantes, como el hecho de identificar cada control mediante una forma distinta y mediante un color distinto.

FORMA Y TEXTURA

A Características deseables.

- Útiles allí donde la iluminación sea baja o bien donde el instrumento pueda identificarse y accionarse mediante el tacto, sin uso de la visión.
- pueden necesitar un suplemento de identificación visual; 3) útil a la hora de estandarizar controles con el fin de la identificación.

B Características no deseadas.

- Limitación en cuanto al número de controles que puedan identificarse (menos por lo que respecta a la textura que a la forma).
- el uso de guantes reduce la discriminabilidad humana).

SITUACIÓN

A Características deseables.

1) Las mismas ventajas en cuanto a forme y textura.

B Características no deseadas.

- Limitación del número de controles que puedan identificarse.
- pueden aumentar las necesidades de espacio.
- la identificación puede no resultar lo suficientemente segura (sería aconsejable una combinación con otro esquema de codificación).

COLOR

A Características deseables.

- Útiles en lo que respecta a la identificación visual.
- útiles a fin de estandarizar controles atendiendo a finalidades de identificación.
- número lo más moderado posible de categorías de codificación.

B Características no deseadas.

- Debe ser visto directamente (pero puede combinarse con algún otro método de codificación, como la forma).
- no puede utilizarse en malas condiciones de iluminación.
- requiere per-sonas con una visión correcta del color.

ROTULACIÓN

A Características deseables.

- Que puedan identificarse en gran número.
- no requieren mucho aprendizaje.

B Características no deseadas.

- Deben ser vistos directamente.
- no pueden utilizarse en malas condiciones de iluminación.
- pueden exigir un espacio adicional.

MÉTODO OPERACIONAL

A Características deseables.

- Por lo general no puede utilizarse en forma incorrecta (generalmente, el control sólo puede accionarse de una manera).
- puede aprovecharse de relaciones compatibles (pero no necesariamente).

B Características no deseadas.

- Debe probarse antes de saber si se ha elegido el control correcto.

- el diseño específico puede que debe incorporar relaciones incompatibles.

Proporción control–display

En las tareas de control continuo, o cuando se monta una disposición cuantitativa con un instrumento de control, la proporción de movimiento del instrumento de control respecto al movimiento del indicador del *display* (es decir, el elemento controlado), se denomina proporción control–display (proporción (CID). El movimiento puede medirse en distancia (en el caso de palanca displays lineales, etc.), en ángulo en número de revoluciones (en el caso mandos, volantes, displays circulares, etc.). Cuando no *hay* display, el movimiento del display es alguna medida de la respuesta del sistema (como podría ser el ángulo de giro de un automóvil). Un control muy «sensible» es aquel que obra un cambio notable en el elemento controlado (*display*) con un leve movimiento de control; su proporción CID sería baja (un pequeño movimiento de control está relacionado con un gran movimiento del display). En la figura 9–3 aparecen ejemplos de proporciones C/D altas y bajas.

Proporciones CID y operación de control

La actuación de los seres humanos en lo que respecta al uso de instrumentos de control de montaje continuo o cuantitativo, con movimientos de *display* relacionados, resulta distintamente afectada por la proporción CID. Este efecto no es simple, sino que más bien es una función de la naturaleza de las actividades motoras humanas cuando utilizan tales controles. En sentido estricto, hay dos tipos de movimientos humanos en tales tareas. En primer lugar, hay, en esencia, un movimiento bruto de ajuste (el tiempo de trayecto o de deslizamiento) en el que el operador lleva el elemento controlado (es decir, al indicador del display) a la posición deseada aproximada. Este movimiento en bruto es seguido por un movimiento preciso de ajuste, en el que el operador realiza un ajuste a fin de llevar al elemento controlado justo a la situación deseada. [En realidad, estos dos movimientos pueden no resultar identificables por separado, pero, por lo general, hay algún tipo de cambio en la conducta motora a medida que existe un acercamiento a la posición deseada.)

Proporciones C/D óptimas

La determinación de una proporción C/D óptima para cualquier control continuo o control de montaje cuantitativo necesita tener en cuenta estos dos componentes de los movimientos humanos. La naturaleza general de estas relaciones se refleja en los resultados de los estudios efectuados por Jenkins y Connor y se ilustra en la figura 9–4, que muestra los aspectos esenciales de las relaciones, a saber, que el tiempo de trayecto desciende notablemente al disminuir la proporción C/D y luego tiende a estabilizarse, y que el tiempo de ajuste posee el modelo inverso.

Aspectos del diseño de controles específicos

Los aspectos de los instrumentos de control explicados anteriormente poseen algunas implicaciones generales por lo que respecta al diseño de un control (consideraciones de identificación, resistencia, retraso, etc.), más que una relación con tipos específicos de controles (aunque algunos de los aspectos tratados tienen mucha más relación con las tareas de seguimiento de controles que con los tipos restantes).

Selectores

En el caso que nos ocupa, en una investigación se hizo una comparación sobre el empleo de cuatro tipos de selectores giratorios, preparados para poder elegir entre tres números digitales y, por otra parte, para poder efectuar una lectura de tres números digitales ya dispuestos en los cuatro selectores. Sin embargo, en cuanto a la tarea de lectura de los valores de los tres dígitos que los selectores indicaban, obtuvo el mayor número de errores. Por supuesto, estas diferencias han de considerarse desde el punto de vista del uso al que se destinan estos selectores.

Mandos montados concéntricamente

A veces, las restricciones de espacio o otras consideraciones aconsejan el uso de mandos de montaje concéntrico (o condensados). Pese a las ventajas posicionales de tales controles, hay también algunos inconvenientes posibles relacionados con ellos, sobre todo la posibilidad de accionar mandos adyacentes en forma inadvertida. Si los mandos son demasiado finos, los dedos pueden operar sobre el mando siguiente, y si la distancia entre diámetros es pequeña, los dedos pueden accionar sin querer el mando anterior.

Manivelas y volantes de mano para objetos móviles

Por lo general, las manivelas y los volantes se utilizan como medios de aplicar una fuerza para realizar diferentes tipos de funciones tales como mover algún tipo de vehículo, instrumentos cortantes o levantar objetos. Veamos liaste qué punto las realizaciones que se llevan acabo con tales instrumentos de control resultan afectadas por su tamaño, fricción, dirección de rotación situación y utilización de mano preferida versus la no preferida.

Dimensiones de manivelas y volantes.

En un estudio realizado por Davis se utilizaron varias dimensiones diferentes de manivelas y volantes para controlar la posición de un indicador sobre un dial. Por lo general, se necesitaba casi una revolución de la manivela para conseguir la Roscón deseada. Manivelas y volantes estaban montados de modo que el plano de rotación era paralelo al plano frontal del cuerpo. Mediante el uso de `fuerzas de torsión de 0, 20, 40, 60 y 90 libras, era posible determinar el tiempo necesario para conseguir la posición deseada bajo las diferentes condiciones de fricción-fuerza de torsión que acos-tumbran aparecer cuando se operan tales controles.

Capacidad de trabajo con diferentes manivelas.

La capacidad de trabajo de una serie de sujetos que utilizaban tres tamaños de manivelas y cinco cargas de torsión resistentes. fue investigadas por Katchmer con la intención de identificar las combinaciones óptimas. Las manivelas se ajustaron a la altura de la cintura de cada sujeto y a éstos se les dijo que debían darle vueltas a la manivela a una cierta velocidad, hasta que notasen que no podían continuar a ese ritmo (o hasta que hubieran pasado 10 minutos En los tiempos medios que los sujetos pudieron resistir los mejores fueron, naturalmente, los correspondientes a las cargas más bajas, pero es evidente que podían accionar la manivela de 18 cm durante más tiempo bajo cargas moderadas que con las manivelas más cortas. Mientras que la media de caballos de vapor (cv) por minuto fue superior para la fuerza de torsión de 90 lb. (promedio del período realmente trabajado), la duración de los sujetos para levantar esta pesada carga fue corta (sobre 1 minuto).

Controles rotatorios en tareas de seguimiento

Existen diversos aspectos de los factores humanos de los controles rotatorios (como las manivelas) en su empleo en tareas de seguimiento. Como ejemplos, Swartz, Norris y Spragg investigaron las relaciones existentes entre el tamaño de las manivelas y su situación en una tarea de seguimiento bimanual, con referencia a la ejecución a cargo de sus sujetos. En la figura 9-9 aparecen algunos de los resultados referidos al tiempo en el *target* (TeT) para diversos tamaños de manivelas y para dos combinaciones de posiciones de las dos mani-velas. Los resultados indican que el TeT fue superior para las manivelas de 5 y 7,6 cm, siendo la siguiente mejor la de 10,2 cm y que la posición de las manivelas también influía en la realización del seguimiento.

Controles de tipo palanca

Como indicábamos anteriormente, hay pruebas de que la proporción del movimiento de la palanca con el movimiento del indicador del display es, aparentemente, un aspecto bastante critico de los instrumentos de

control en forma de palanca. En un estudio se halló que la longitud de la palanca (30, 45, 60 o 75 cm) era poco importante por lo que respectaba a la velocidad y a la precisión, mientras la proporción C/D estuviese entre 2,5 o 3 (Jenkins y Karr).

Controles accionados con el pie

Cuando se utilizan instrumentos de control activados con el pie, son destinados, por lo general, a controlar una sola función, o quizá dos o tres. Al comentar el empleo del pie, Kroemer apunta que el tenor general de los manuales sobre factores humanos es el de suponer que los pies son más lentos y menos precisos que las manos, pero se apresuran a añadir que esta suposición no está basada ni negada por resultados experimentales.

Consideraciones sobre el diseño de pedales.

Los pedales utilizados para diversas finalidades varían por lo que respecta a unas cuantas características: si necesitan impulso con o sin acción del tobillo, la situación del fulcro (si el pedal es de bisagra), el ángulo del pie respecto a) hueso de la tibia, la carga (la fuerza necesaria), y las exigencias operacionales (tales como el tiempo de reacción, el tiempo de trayecto, velocidad de la operación y precisión). Con finalidad puramente ilustrativa, presentaremos algunos de los resultados de un experimento llevado a cabo por Ayoub y Trombley, en el que uno de los factores que variaron era la situación de) fulcro en e) pedal. Como variación en el procedimiento experimental, hicieron que los sujetos accionasen un pedal mediante un arco predeterminado de 12° (ángulo constante) y, por separado, a una distancia de 1.9 cm (distancia constante) medida en la base de) pie (la bola del pie). (Aunque la distancia del movimiento de la bola del pie fuese constante con diferentes situaciones de fulcro, el ángulo de movimiento aumentaba a medida que el fulcro se desplazaba hacia la bola del pie.)

Controles accionados con el pie para acciones de control discretas.

Por lo general, los mecanismos de control activados con el pie se emplean para controlar una función o un par de ellas. Sin embargo, existen pruebas de que el pie puede utilizarse para funciones de control más variadas. Empleando procedimientos que no es necesario describir aquí, fue capaz de medir la velocidad y precisión con las que los sujetos alcanzaban los diferentes blancos con sus pies. En conjunto descubrió que, después de un corto periodo de aprendizaje, el sujeto podía realizar su trabajo con una precisión considerable y en un tiempo de trayecto muy corto (promediando casi 0.1 s). Aunque los movimientos hacia adelante eran algo más rápidos que hacia atrás o los movimientos laterales, estas diferencias no tuvieron ninguna consecuencia práctica. Sus resultados nos dan una cierta base para suponer que es posible el asignar al pie tareas de control que hasta el momento se habían considerado del dominio exclusivo de las manos.

Pedales de freno y aceleración en los automóviles.

Los controles que *con* mayor frecuencia utilizamos con nuestros pies son los mandos de freno y aceleración de los automóviles. Aparte de sus características individuales, un factor importante en cuanto a su uso es el de sus posiciones relativas. En la mayoría de los automóviles, el acelerador está más bajo que el pedal del freno, lo que requiere, por tanto, levantar el pie del acelerador, su movimiento lateral y luego la depresión del freno. Davis y Watts lo demostraron claramente que tal disposición (con el pedal del freno a 15 cm por encima del acelerador) aumenta los tiempos de movimiento, tal como se demuestra a continuación:

Tiempos de movimientos (s)

Situación del freno Hombres Mujeres

15 cm por encima del acelerador 313 309
Al mismo nivel que el acelerador 155 194

Tales diferencias por lo que respecta a la activación del freno reducirían las distancias de frenado en, aproximadamente, 3 a 6.7 cuando se viaja entre 95 y 180 km / hr.

Procesos de entrada de datos

El hambre, insaciable de información que forma parte integrante de nuestro mundo actual ha ocasionado la proliferación de los mecanismos cuyos inputs y outputs estén relacionadas con la información. Los datos que sirven de input a tales mecanismos son, por lo general,, alfabéticos, o pertenecen a otras formas simbólicas, y en la mayoría de los casos son suministrados a las máquinas mediante el uso de instrumentos de entrada de datos, tales como los tacados. Con todo, se están llevando a cabo algunas investigaciones sobre el empleo de la voz y los movimientos de los ojos como base para la entrada de datos.

- Naturaleza del input de datos. id como es lógico suponer. la velocidad–y precisión del procesado de datos son, por lo general, mayores cuando los datos que se presentan al operador son claros y legibles y vienen presentados en un formato adecuado. Sin embargo, hay algunos otros aspectos sobre la forma de los datos de input que pueden influir sobre la velocidad y la precisión del operador.

Disposición de los teclados.

Se han propuesto diversas disposiciones alternativas para los teclados de las máquinas de escribir convencionales, uno de los cuales fue propuesto, ya hace años, por Dvorak. Esta y otras distribuciones se han hecho basándose en la suposición de que resultan más eficientes poro el empleo combinado de los dedos, considerando lo frecuencia de uso de diversas letras individualmente y en combinación. Una de las características de) teclado de Dvorak era que todos las vocales estuviesen en la hilera del medio a la izquierda, y las consonantes más comunes a la derecha, de la manera siguiente:

AQEUI DHINS

Teleoperadores

Los sistemas de control que permiten ejecutor toles funciones han sido denominados teleoperadores (Johnson y Corliss). La tecnología que permite efectuar toles controles también abre otros campos de aplicaciones posibles, como el de lo manipulación remota de elementos de energía nuclear radiactivo, el control de prótesis articulados como los brazos artificiales, y el levantar y mover tremendos pesos. El denominador común de los teleoperadores es que representan algún tipo de aumento de os habilidades físicos innatas del hombre o través del mecanismo que realiza los actividades en cuestión, sean cuales sean.

Feedback para teleoperadores.

El diseño propio de la ingeniería de diversos tipos de teleoperadores debe tener en cuenta, por completo. lo naturaleza de los respuestas físicas humanas y los características antropométricos del hombre, o fin de que el instrumento pueda simular los movimientos humanos tal como serian realizados por un individuo. Sin embarco. a este respecto deben hacerse algunas consideraciones particulares frente o la naturaleza del *feedback* al individuo, puesto que un *feedback* apropiado es lo que se necesito oste una operación efectiva. En la utilización de tales aparatos, el individuo se sustrae o su contacto físico directo y normal mediante con lo que se controla; pierde, por lo tanto, su *feedback* cinestético habitual), y en algunos casos incluso puede llegar o perder su *feedback* visual directo. En el control de una unidad de accio-namiento remoto (específicamente, uno carretilla movable) Kama, afirmo, con todo, que no se necesita uno visión directo del objeto que se manipulo

Herramientas y otros instrumentas

Probablemente existan un par de consideraciones interrelacionados (criterios, si se quiere) que son (o deberían ser) predominantes en lo que respecta al diseño o selección de los múltiples herramientas manuales y otros instrumentos parecidos que los seres humanos utilizan (y que van desde las pinzas para las cejas a los cuchillos de carnicero, y desde los tacos de billar o las sierras de metal). Ciertamente, los instrumentos han de estar capacitados para realizar su función (como el depilado de cejas), pero además han de poder ser utilizados por las personas, y esto quiere decir que han de ser compatibles con las características de realización antropométrica y biomecánica de ellas.

Alicates

La Western Electric Company ha sido pionero en la aplicación de principios biomecánicos a) diseño de herramientas y lugares de trabajo. Como ejemplo, en una determinada operación de conexiones eléctricas los operadores utilizaron una serie convencional de alicates que obligaban al operador a trabajar con la muñeca torcida. Como indica Tichauer, herramientas manuales diseñados en la forma inadecuada pueden producir un *stress* biomecánico, por ejemplo, estos alicates ejercen unas fuertes fuerzas de torsión sobre la muñeca. Además, la configuración de la mano favorece el desplazamiento cubital de los tendones

extensores, y esto tiende a provocar un *stress* de compresión entre estos tendones y las estructuras ancilarias. Además, el hecho de que el eje de rotación de la herramienta no coincida con

el eje normal del antebrazo también puede producir algún estrés en el hombro y el codo. Un diseño anatómicamente correcto fue el que se consiguió mediante la eliminación de las deficiencias esenciales en el diseño original.

ERGONOMIA