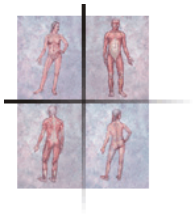
CAPÍTULO 10



ERGONOMIA: APLICACIÓN DE LA ANTROPOMETRIA AL DISEÑO DEL LUGAR DE TRABAJO

Kamal Kotbiyal

1. INTRODUCCION

La ergonomía es la ciencia que nos permite diseñar estaciones de trabajo, procesos, y productos que los seres humanos puedan utilizar eficientemente, fácilmente, y de forma segura. La ergonomía asegura que los usuarios sean el centro de todas las actividades de diseño. El enfoque centrado en el ser humano considera la información sobre sus capacidades físicas, fisiológicas, y mentales; y sus limitaciones, para diseñar cosas para el Liso humano. "También tiene en cuenta las características de comportamiento, sociales, y culturales de los usuarios. La ergonomía es, de hecho, la ciencia fundamental del diseño.

La Asociación Internacional de Ergonomía define esta ciencia como:

El estudio de los aspectos anatómicos, fisiológicos, y psicológicos de los seres humanos en el ámbito de trabajo. Se preocupa por optimizar la eficiencia, la salud, la seguridad, y el confort de las personas en el trabajo, en la casa, y en los ambientes de recreación. Esto, por lo general, requiere el estudio de los sistemas en los cuales interactúan seres humanos, máquinas, y medio ambiente, con el fin ele adecuar la tarea a las personas.

En la Figura 1 se muestra un modelo simple de interacción entre los seres humanos, las máquinas, y el medio ambiente. Una persona interactúa con las máquinas en dos puntos: en los controles y en las muestras o resultados. En los controles, la persona pasa la información a la máquina, y en las muestras o resultados, la máquina pasa la información a la persona. Por lo tanto, se establece un flujo cíe información. Factores ambientales tales como la iluminación, el «stress» térmico, el ruido, etc. afectan el flujo de información entre la persona y las máquinas. La ergonomía busca optimizar el funcionamiento cae esta corriente de información.

En la literatura, el término *factores humanos o ingeniería de los factores humanos* es utilizado frecuentemente. Ergonomía y factores humanos (ingeniería) significan esencialmente lo mismo - es decir, diseño para el uso humano. Sin embargo, a muchos investigadores les gusta hacer una distinción sutil entre los dos términos -los factores humanos enfatizan las características psicológicas (o cognitivas), mientras que la ergonomía pone énfasis en los aspectos fisiológicos del usuario.

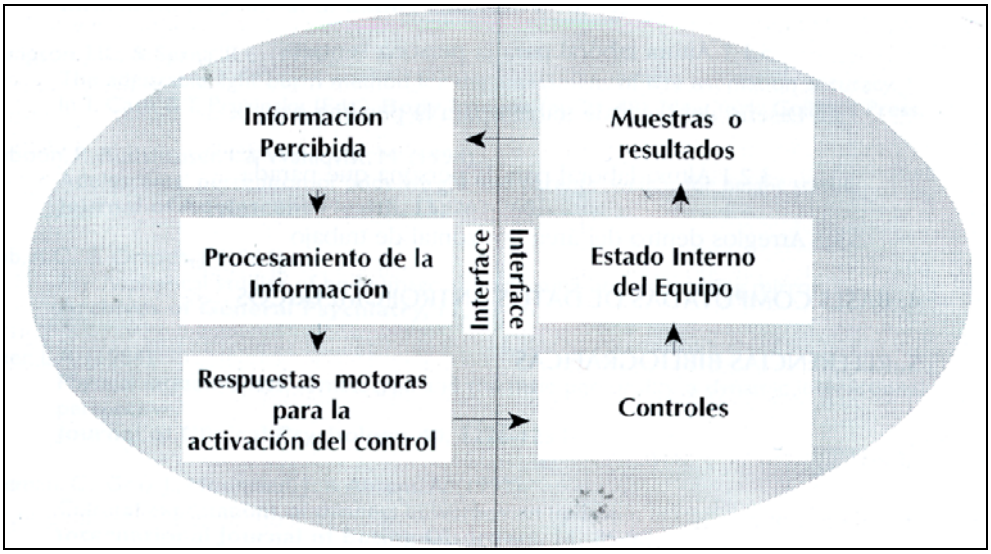


FIGURA 1. *Interacción ser humano-máquina-medio ambiente.*

2. LA ANTROPOMETRIA EN LA ERGONOMIA

La Antropometría - ciencia de las mediciones de los seres humanos -es de vital importancia para la ergonomía. La antropometría descubre las relaciones entre las distintas dimensiones corporales, copio la longitud del antebrazo y la estatura. Estas relaciones pueden ser utilizadas para el diseño o evaluación de los productos. La aplicación sistemática de la antropometría puede minimizar la necesidad de que las *personas se adapten a situaciones* laborales desfavorables, lo que a su vez reducirá el «stress» músculo-esquelético sobre el cuerpo. La antropometría nos permite desarrollar normas y requisitos específicos (bancos de referencia) contra los cuales un producto, máquina, herramienta, o pieza de algún equipo puede ser evaluada para asegurar su adecuancia para la población usuaria (Roebuck, Kroemer, Thompson, 1975).

2.1 La Antropometría y el diseño del lugar de trabajo

El lugar de trabajo es donde realizamos nuestra tarea u oficio. El trabajo podría consistir en tareas simples como empacar botellas de shampoo en una caja, armar un circuito electrónico para un TV color, palpar o manipular huesos o músculos de un paciente, dar suelta a un paciente en la cama, o preparar una taza de té. O el mismo podría consistir en tareas complejas, tales como volar en una nave espacial, procesar el control en una planta química o nuclear, tocar un piano, pintar una obra de arte, o realizar una delicada operación en el cerebro. Cualquiera sea la naturaleza de la tarea, sea simple o compleja, el diseño del lugar (le trabajo debería ser tal que la persona no tenga, por ejemplo, que ejercer irás fuerza de la necesaria o adoptar posturas incómodas que pudieran afectar sus habilidades de manipulación: En otras palabras, el lugar de trabajo debería ser óptimo para la persona y la tarea.

2.1.1 Diseño óptimo del lugar de trabajo

Para crear un lugar óptimo de trabajo para la tarea y la persona, necesitamos tener en cuenta las características antropométricas del ser humano en el proceso del diseño. Al mismo tiempo, no deberíamos negar las condiciones ambientales, tales como la iluminación, los ruidos, las vibraciones, y el confort térmico, bajo las cuales se lleva a cabo la tarea. Tampoco debernos ignorar los aspectos cognitivos del trabajo, en las consideraciones sobre el diseño. De hecho, debernos considerar al ser humano-trabajo-medio ambiente (ver Figura 1) como un sistema en el cual cada uno interactúa con los otros, para lograr las metas y objetivos estipulados. En este capítulo, nos dedicaremos principalmente a los temas relacionados con el diseño del lugar de trabajo sobre el cual la antropometría tiene una directa relación.

Hay muchas preguntas que necesitan ser consideradas al diseñar el lugar de trabajo. Qué tipos de datos son útiles para el diseño laboral? Cómo deberíamos utilizar los datos antropométricos? Deberían estar diseñados los lugares de trabajo para la persona promedio? La lista no es concluyente y pueden agregarse más preguntas a la misma. En este capítulo, intentaremos obtener respuestas a algunas de estas preguntas.

2.2 Datos antropométricos

Los datos antropométricos de los seres humanos pueden dividirse en dos categorías principales:

- datos estáticos o estructurales, y
- datos funcionales (dinámicos)

2.2.1 Datos estáticos o estructurales

Los datos antropométricos o estructurales están estrechamente relacionados con las estructuras corporales rígidas como las extremidades (parte superior del brazo, antebrazo, piernas, etc.). Los segmentos óseos, conectados entre sí por las articulaciones, aportan la estructura corporal firme. Se identifican puntos o marcas de referencia sobre los huesos y se realizan mediciones entre puntos de referencia.

Las mediciones estáticas normalmente son realizadas en posturas normatizadas, de parado o sentado. La posición ~standard~ de parado requiere que la persona se pare erecta con ambos pies juntos, mirando derecho hacia adelante, y los brazos colgando relajados a los costados. La cabeza se ubica en el plano de Frankfort (ver Capítulo 2). En la posición de sentado, la persona tiene que sentarse en un asiento horizontal rígido, con el tronco derecho, la cabeza en el plano de Frankfort, los brazos colgando verticalmente hacia abajo, y el antebrazo en posición horizontal. Además, ambos pies deben descansar cómodamente en el piso. Para ello, se puede necesitar una silla ajustable.
Se debería destacar que dado que la medición y recolección ele datos antropométricos es costosa y

lleva tiempo, se debe poner cuidado en seguir estrictamente las normas o «standars» de evaluación.

Medición	Descripción
Estatura	Una línea recta, medición punto a punto, normalmente tomada desde el piso con el sujeto parado, o desde la superficie horizontal en la cual el sujeto se sienta.
Diámetro	Una línea recta, medición horizontal punto a punto, en el plano frontal.
Profundidad	Una línea recta, medición horizontal punto a punto, en el plano sagital.
Distancia	Una línea recta, medición punto a punto, entre marcas anatómicas.
Circunferencia	Una medición cerrada siguiendo un contorno corporal.
Curvatura	Una medición punto a punto siguiendo el contorno, normalmente no circular.

TABLA 1. *Tipos de mediciones de interés para el diseño del lugar de trabajo (de Kroemer, Kroerner, & Kroemer-Elbert, 1990)*

Dimensión corporal		Hombres	Mujeres	
	Media (cm)	DS (cm)	Media (em)	DS (cm)
1. Estatura	174.6	7.0	161.0	6.2
2. Altura hasta el ojo	163.0	6.9	150.5	6.1
3. Altura hasta el hombro	142.5	6.6	131 .0	5.8
4. Altura hasta el codo	109.0	5.2	100.5	4.6
5. Altura hasta los nudillos	75.5	4.1	72.0	3.6
6. Altura sentado	91.0	1.6	85.0	3.5
7. Altura sentado, hasta el ojo	79.0	3 5	74.0	3.3
8. Altura sentado, hasta el hombro	59.:5	3 2	55.5	3.1
9. Altura sentado, hasta el codo	24.5	3.1	23.5	2.9
10. Grosor del muslo	16.0	1.5	15.5	1.7
11. Longitud glúteo-rodilla	59.5	3.1	57.0	3.0
12. Longitud glúteo-póplítea	49.5'	3.2	48'.0	3.0
13. Altura hasta la rodilla	54.5	3.2	50.0	2.7
14. Altura hasta el hueco poplíteo	44.0-	2.9	40.0	2.7
15. Diámetro de hombro (bideltoides)	46.5	2.8	39.5	2.4
16. Diámetro de cadera	36.0	2.9	37.0	3.8
17. Profundidad del tórax (busto)	25.0	2.2	25.0	2.7
18. Profundidad abdominal	27.0	3.2	25.0	3.0
19. Envergadura	179.0	8.3	160.5	7.1
20. Diámetro de la cabeza	15.5	6.0	14.5	6.0
21 . Longitud de la mano	19.0	1 .0	17.5	9.0
22. Longitud de hombro al codo	36.5	2.0	33.0	7.0
23. Longitud codo-punta de los dedos	47.5	2.1	43.0	1.9
24. Extensión vertical, asido (parado)	206.0'	8.0	190.5	7.1
25. Extensión vertical asido(sentado)	124.5	6.0	115.0	5.3
26. Extensión hacia adelante asido	78.0	3.4	70.5	3.1
(desde la parte posterior del hombro)				

TABLA 2. *Datos antropométricos de la población británica adulta (19-65 años) (de Pheasant, 1986).*

De este modo, puede asegurase que los datos obtenidos por diferentes investigadores individuales y en distintos grupos étnicos y ocupacionales puedan ser comparados y utilizados para el diseño.

Se pueden medir distintos tipos de dimensiones estáticas o estructurales. La Tabla 1 enumera algunos de los tipos de medición que son de interés para diseño del lugar de trabajo. Se han llevado a cabo algunos estudios antropométricos con el fin de preparar tablas de datos estructurales que puedan ser

utilizadas por los diseñadores (NASA, 1978; Gordon y cols., 1989; Pheasant, 1986). En algunos de estos estudios se han obtenido varios cientos de dimensiones corporales (NASA, 1978). Sin embargo, la mayoría de estos datos no son obtenidos a partir de la población general, sino de distintas poblaciones especiales tales como militares, pilotos de la fuerza aérea, trabajadores en industrias específicas, y estudiantes universitarios. Por lo tanto, la utilidad de os datos disponibles para el diseño de los lugares de trabajo y de los productos para el consumidor se ve algo limitada. La Tabla 2 presenta algunos datos antropométricos seleccionados en la población británica. Debido a que los ergónomos utilizan distintas mediciones y diferentes marcas anatómicas que otros grupos relacionados con la antropometría, la Tabla 3 brinda una descripción de los sitios de medición para los datos de la Tabla 2.

Dimensión corporal	**Descripción**
1. Estatura	Altura desde el piso hasta el vértex, normalmente no en extensión
2. Altura hasta el ojo	Desde el piso, hasta el ángulo interno del ojo
3. Altura hasta el hombro	Desde el piso hasta el punto acromial.
4. Altura hasta el codo	Desde el piso hasta el punto radial.
5. Altura hasta los nudillos	Desde el piso hasta el tercer metacarpiano
6. Altura sentado	Desde la superficie de sentado hasta el vértex
7. Altura sentado hasta el ojo	Desde la superficie de sentado hasta el ángulo interno del ojo.
8. Altura sentado hasta el hombro	Desde la superficie de sentado hasta el punto acromial.
9.Altura sentado hasta el codo	Desde la superficie de sentado hasta la cara inferior del codo.
10. Grosor del muslo	Desde la superficie de sentado hasta la parte superior del tejido blando del muslo (sin compresión), en su punto más grueso.
11. Longitud glúteo-rodilla	Distancia horizontal desde la parte superior del glúteo (sin compresión), hasta la cara anterior de la rodilla.
12. Longitud glúteo-poplíteo	Distancia horizontal desde la parte posterior de los glúteos (sin compresión) hasta la parte posterior del ángulo poplíteo (donde la parte posterior de las piernas se encuentra con la parte inferior del muslo).
13. Altura hasta la rodilla	Distancia vertical desde el piso hasta la superficie superior de la rodilla, normalmente hasta el cuádriceps.
14. Altura hasta el ángulo poplíteo.	Distancia vertical desde el piso hasta el ángulo poplíteo.
15. Diámetro del hombro (bideltoides)	Diámetro bideltoides.
16. Diámetro de cadera	Distancia máxima entre caderas, en la posición sentado. (Nota: no es el diámetro bi-iliocrestídeo)
17. Profundidad del tórax (busto)	Distancia máxima horizontal, desde el plano de referencia vertical, hasta el frente del tórax en los hombres, o los pechos en las mujeres. (Nota: no es el diámetro A-P del tórax.
18. Profundidad abdominal	Máxima distancia horizontal, desde el plano de referencia vertical, hasta el frente del abdomen en la posición sentado.
19. Envergadura	La máxima distancia horizontal entre las puntas de los dedos, cuando ambos brazos están estirados hacia los costados.
20. Diámetro de la cabeza	Diámetro máximo de la cabeza por sobre el nivel de las orejas.
21. Longitud de la cabeza	Distancia entre la glabela y el occipucio.
22. Longitud hombro a codo	Distancia desde el acromial hasta la parte inferior del codo, en la posición «standard» de sentado.
23. Longitud codo-punta de los dedos	Distancia desde la cara posterior del codo hasta la punta del dedo meñique, en la posición «standard» de sentado.
24. Extensión vertical asido (parado)	Distancia desde el piso hasta el centro de un rodillo cilíndrico; el individuo totalmente tomado con la palma de la mano cuando el brazo es elevado verticalmente por sobre la cabeza, en la posición de parado.
25. Extensión vertical asido (sentado)	Distancia desde el piso hasta el centro de un rodillo cilíndrico; el individuo totalmente tomado con la palma de la mano cuando el brazo es elevado verticalmente por sobre la cabeza, en la posición de sentado.
26. Extensión hacia adelante asido	Distancia desde la curvatura del hombro (desde la parte posterior del hasta el centro de un rodillo hombro) cilíndrico; totalmente tomado con la palma de la mano cuando el brazo es elevado horizontalmente en la posición de sentado

TABLA 3. *Definiciones de las variables antropométricas utilizadas en la Tabla 2 (adaptado de Pheasant, 1986, pp. 72-81).*

2.2.2 Datos dinámicos o funcionales

Para poder realizar una tarea, el trabajador interactúa dinámicamente con su lugar de trabajo. De acuerdo a la naturaleza del mismo, el traba ¡actor tendrá constantemente que adoptar o corregir la postura, de manera de poder llegar a la tecla de control, tomar una herramienta, aplicar fuerza, hacer un contacto visual con una persona, o mover cosas alrededor del lugar. La naturaleza dinámica ale la interacción entre el ser humano y el lugar de trabajo tiene implicancias importantes para el diseño del espacio. Hace necesario que los datos, sobre las distintas dimensiones corporales utilizadas para el diseño de los lugares de trabajo, sean determinados en las condiciones laborales reales. Este tipo de datos, llamados datos antropométricos dinámicos o funcionales, se relacionan con las condiciones en las cuales se realiza el trabajo. Se debe resaltar que estos datos no se deberían utilizar si se cambian las condiciones laborales. Por ejemplo, los datos sobre el alcance de un conductor ajustado al asiento por el cinturón de seguridad no deberían ser utilizados para determinar el valor ale diseño para un operador cae máquinas que se mueve libremente.

Los datos funcionales o dinámicos dependen de la interacción entre las distintas partes corporales involucradas en la actividad. La postura de la persona en el trabajo es un criterio importante en los datos dinámicos. Por ejemplo, si estás tratando de llegar a una caja en una cinta transportadora en movimiento en frente del banco de trabajo, te podrías inclinar y extender completamente los brazos para aumentar el alcance. De aranera similar, un lector en la biblioteca podría pararse en puntas de pie para poder llegar a un libro que está en las estanterías superiores. Con frecuencia, los jugadores de básquetbol aumentan su alcance funcional a través de los saltos. Por el contrario, el alcance de una persona puede verse limitado a través de la restricción del movimiento corporal, por ejemplo, por el cinturón de seguridad en el automovilista (Bullock, 1974).

Al contrario de lo que ocurre con los datos estáticos, no existen tablas de datos funcionales fácilmente disponibles para que sean utilizadas por los diseñadores. Por lo tanto, los diseñadores tienen que coordinar sus procesos de fabricación con ergónomos que puedan planificar estudios para recolectar los datos necesarios.

2.2.3 Fuentes de variabilidad antropométrica

Debe destacarse que las dimensiones estructurales (y, por lo tanto funcionales) están influidas por distintos factores tales como la edad, el sexo, la ocupación, las condiciones ambientales, y el grupo étnico.

En el proceso de crecimiento normal, la mayoría de las dimensiones corporales del ser humano atraviesan una serie de cambios. Lleva cerca de 20 años alcanzar la estatura máxima. Varias longitudes corporales, perímetros, y profundidades también se estabilizan en la etapa de madurez. Sin embargo, el proceso normal de envejecimiento continúa y afecta los tejidos biológicos, lo que resulta en cambios tales como la reducción en la estatura debido al aplastamiento de los discos vertebrales, y una disminución en la fuerza muscular y otras capacidades.

Los hombres y las mujeres, en general, difieren en las dimensiones corporales. Por ejemplo, la estatura media es mayor en los hombres, el diámetro de cadera es mayor en las mujeres. En muchas dimensiones no se observan diferencias significativas entre ambos sexos. Por lo tanto, un diseñador no debería hacer generalizaciones acerca de los cuerpos masculinos y femeninos, y debería considerar cada dimensión ele diseño en forma separada.

El mundo de hoy está atravesando tremendos cambios socio-económicos y políticos, resultante en una migración, siempre en aumento, de personas. La migración ocurre no sólo entre países sino también internamente dentro de un mismo país. Las personas pueden moverse de una provincia a otra por distintas razones sociales, ambientales, o económicas. Por lo tanto, las poblaciones de los países no pueden considerarse homogéneas. Los lugares de trabajo industriales, de servicio, y otros, ahora tienen poblaciones mixtas, no sólo en tipo de sexo sino también en grupos étnicos (caucásicos; asiáticos, etc.).

La heterogeneidad poblacional es de gran importancia para las consideraciones antropométricas en el diseño de los lugares de trabajo y productos al consumidor. Por ejemplo, se ha observado que las proporciones corporales de las personas con diferentes orígenes étnicos son diferentes. Los negros africanos tienen proporcionalmente extremidades inferiores más largas que la población blanca europea. Las personas que pertenecen a poblaciones chinas, japonesas, indonesias, y vietnamitas tienen proporcionalmente extremidades inferiores más cortas que los europeos. Por lo tanto, los lugares de trabajo y las comodidades

no pueden ser utilizadas fácil y eficientemente por todos los miembros de la población debido a estas variaciones.
La ocupación ejerce una influencia considerable sobre las características antropométricas de la población en ese grupo. Por ejemplo, las personas en las fuerzas armadas por lo general son más altas, los colectiveros y conductores tienen perímetros más grandes, los oficinistas tienen una menor fuerza física que los trabajadores manuales (por ej., en la industria de la construcción, los jugadores de básquetbol son más altos, etc). Estas variaciones pueden deberse ya sea a un criterio de selección deliberado, selección por prejuicio o selección natural. Por lo tanto, debemos ser cuidadosos al seleccionar una serie de datos para una aplicación tal como el diseño del lugar de trabajo.

También pueden producirse cambios antropométricos debido a una mejoría en la nutrición, dieta, reducción de enfermedades infecciosas, urbanización, actividad física, matrimonios entre comunidades, etc. Los efectos de estos factores normalmente son observados en el transcurso de un largo período de tiempo, usualmente en varias décadas. Por ejemplo, hay más personas mayores en nuestras poblaciones ahora que en cualquier otro momento de nuestra historia. Los proyectos de largo alcance como edificios, facilidades en la comunidad, etc., necesitarán considerar estos cambios en su diseño.

Factores ambientales tales como una gran altura, climas fríos, presión atmosférica, cte., también pueden afectar las dimensiones antropométricas. La exposición a bajas presiones puede, por ejemplo, provocar inflamación en las articulaciones o extremidades, lo cual en cambio podría reducir la movilidad y el rango de movimiento de una articulación. Los viajes espaciales o por lugares de gran altura también podrían producir cambios en las dimensiones corporales, por ejemplo, la longitud de la columna podría aumentar, en el viaje espacial, debido a los efectos anti-gravitatorios.

Si bien hoy tenemos más información antropométrica que hace una década atrás, aún la calidad de los datos deja mucho que desear. Los datos actualmente disponibles son hi-dimensionales, es decir, mediciones realizadas en un plano definido. Es necesario aportar coordenadas tri-dimensionales de los puntos o marcadores de referencia en el cuerpo, en un sistema global de coordenadas de manera que se puedan obtener valores exactos de la dimensión en el espacio (Kroemer y cols., 1994). Para poder recolectar tales datos necesitamos tener fácil acceso a una instrumentación sofisticada y a las técnicas necesarias para recolectar los datos.

2.3 La utilizando los datos antropométricos

Como mencionamos anteriormente, existen diversas fuentes de datos antropométricos disponibles a los diseñadores. Sin embargo, es importante mencionar algunas características importantes de los datos, antes de describir un procedimiento para utilizar los datos antropométricos.

- Los datos antropométricos se observa que están normalmente distribuidos en la mayoría de las dimensiones corporales. La implicancia importante de este hecho es que podemos aplicar los procedimientos estadísticos usuales para manipular y analizar los datos que se adecuen al propósito del diseño. Sólo necesitamos conocer la media (X) y el desvío standard (s) de las dimensiones corporales.

Se sabe que algunas dimensiones son más variables que otras. La variabilidad de una dimensión está expresada en términos del coeficiente de variación (CV). El CV, expresado como porcentaje, se obtiene dividiendo el desvío standard (s) por la media, y multiplicando por 100:

$$CV = \frac{s}{\overline{X}} \times 100$$

Las longitudes corporales tales como la estatura, la altura hasta el codo, la longitud (le la pierna, etc. tienen menor variabilidad (CV = 3-5 %) que los diámetros corporales (cadera, hombro, etc.), o que las profundidades (tórax, abdomen, etc.), las que tienen un CV en el rango del 5-9 %.

- La correlación entre dimensiones corporales varía ampliamente. Algunas dimensione corporales (estatura y altura hasta los ojos, estatura y altura hasta el poplíteo) tienen una alta correlación, mientras que otras, como por ejemplo el peso y la altura, tiene una pobre relación.

El uso de datos antropométricos para el diseño de los lugares (le trabajo, máquinas, equipos y productos debería proseguir en una forma sistemática para lograr los mejores resultados. continuación se presenta un procedimiento paso a paso:

Paso l
Seleccionar la población usuaria. Esto significa esencialmente determinar el sexo (hombre mujeres, o ambos), la edad (niños, adultos jóvenes, ancianos), la ocupación, la nacionalidad o los aspectos étnicos y culturales.

Paso 2
Determinar qué dimensiones corporales son necesarias para el diseño. Las variables antropométricas podrían incluir la estatura, el alcance hacia adelante, diámetro de cadera, perímetro de cabeza, etc. Por ejemplo, el diseño para una estación de computadora podría requerir las alturas poplíteas, hasta el codo, y hasta la rodilla. Para el diseño de un panel de control, el alcance hacia adelante podría ser un dato necesario. Luego, en este paso deber controlarse si todos los datos relevantes están disponibles. Si falta algún dato se deberían tomar los recaudos para conseguirlos. Los datos faltantes pueden obtenerse de dos formas Pueden ser estimados a partir de la información existente usando un procedimiento estadístico (descripto posteriormente), o pueden determinarse experimentalmente llevando a cabo mediciones en una muestra representativa de la población usuaria.

Paso 3
Determinar los límites del diseño. Los límites dependen del criterio de diseño. El criterio n debería ser general, sino específico. No es bueno decir que el asiento debería ser cómodo Los criterios deberían ser expresados en términos de dimensiones corporales específicas. I ejemplo, si todas las personas que trabajan en la oficina deben poder alcanzar cosas que están en la estantería de arriba, el criterio de diseño en términos de dimensión corporal en alcance vertical con agarre. El límite del diseño para este caso entonces estará establecido la persona más baja en la oficina. Por el contrario, si el propósito del diseño es que todas personas que vienen a ver una ópera puedan entrar al teatro sin agachar sus cabezas, el límite estará establecido por la persona más alta en la población usuaria. Este método, normalmente, se conoce como -*diseños para los extremos»* (Kantowitz & Sorkin, 1983).

A veces es aconsejable establecer un rango de valores como límites del diseño *(diseño para: rango ajustable)*. En este caso, el diseño debería incorporar un ajuste en la dimensión requerida. Por ejemplo, ahora las sillas (le oficina están diseñadas con un asiento con altura ajustable. Los diseños ajustables normalmente son más costosos, pero la aceptación del usuario es mayor.

Un método todavía común y popular entre los diseñadores es establecer el límite para la «persona promedio» *(diseño para la medía)*. Ejemplos de este método se pueden observar en los diseños de asientos del transporte público, mostradores en los supermercados, etc. Sin embargo, debe destacarse que la «persona promedio» es una cosa imaginaria que existe solamente en la mente del diseñador. En la vida real, es imposible encontrar una persona que tenga todas las dimensiones corporales promedio. Además, el diseño basado en la persona «promedio» (percentil 50%) pondrá en desventaja al menos al 50 % de la población usuaria.

El percentil es un valor de la dimensión tal que cierto porcentaje (le personas están en, o por debajo de ese valor. Por ejemplo, el percentil 95%, representa un valor tal que el 95 por ciento (le las personas en la población están en, o por debajo de ese valor. Para calcular el valor (X) correspondiente a un determinado percentil, para una dimensión seleccionada, necesitamos *sumar o restar a la media* un valor obtenido multiplicando el *desvío standard* por un factor p que se puede seleccionar a partir de la tabla Estadística 4. Es decir:

$$\mathbf{x = \bar{x} \ s \ x \ p}$$

Percentil	Valor p
2.5	-1.96
5.0	-1.64
10.0	-1.28
50.0	0.00
90.0	1.28
95.0	1.64
97.5	1.96

TABLA 4. *Valores para distintos percentiles*

Donde, p es una constante para el percentil (Tabla 4). Por ejemplo, para calcular el percentil 95 para la estatura de los hombres británicos, tenemos (de la Tabla 2):

$$\mathbf{\bar{x}\ (174.0\ cm) + s\ (7.0\ cm) \times p\ (1.64) = 185.5\ cm}$$

Una pregunta que a menudo se les hace a los diseñadores es qué cantidad de la población usuaria debería ser acomodada en el diseño. En la vida real, no todos los individuos en la población usuaria pueden ser satisfechos, ya que el costo de tal diseño sería prohibitivo desde el punto de vista comercial. Factores técnicos tales como la técnica de fabricación y la tecnología también pueden determinar el rango de acomodación. En aplicaciones ergonómicas, normalmente, se intenta satisfacer al 90-95 % de la

población. Sin embargo, en situaciones específicas, el 100% de la población debe ser acomodada, sin importar cuál podría ser el costo. Un ejemplo es la seguridad de las maquinarias en los lugares (le trabajo. Como el riesgo de lesiones graves es extremadamente alto, todas las personas que podrían directa o indirectamente utilizar la maquinaria debe permanecer alejada de los puntos de peligro, tales como ejes rotadores, motores eléctricos, y herramientas cortantes.

Paso 4

Fabricar un modelo del tamaño real. Este es un paso fundamental en el proceso de diseño y es útil para revelar fallas en el mismo. Los modelos de los equipos o de las facilidades pueden construirse con materiales económicos como cartón, goma espuma, madera, o plástico. La construcción puede ser temporaria de manera que pueda alterarse fácilmente, si es necesario. Las pruebas con los modelos deberían incluir condiciones de la vida real, es decir, tareas, usuarios, y condiciones representativas, de modo que cuando se manufacture el producto final funcione como es de esperar. Si las pruebas con las muestras revelan cualquier problema, debería repetirse el proceso de diseño hasta que se obtenga un producto aceptable.

2.3.1 Cómo estimar los datos faltantes

Es bastante frecuente que las tablas de datos antropométricos no contengan mediciones de todas las dimensiones corporales. A menudo, los datos antropométricos son recolectados con aplicaciones específicas en mente, tales como la ropa o equipo militar. Por lo tanto, se recolectan solamente los datos necesarios. No es extraño encontrar muchos datos faltantes necesarios para algún otro propósito. Por ejemplo, la Tabla 2 no contiene datos sobre la altura desde el hombro hasta la punta de los dedos.

Para obtener estos datos faltantes, se pueden utilizar dos métodos. Uno es llevar a cabo un estudio antropométrico para medir la dimensión requerida. Esto no siempre puede ser posible debido a restricciones de tipo económicas o técnicas. El otro método es de naturaleza estadística. El principio básico es pensar en la dimensión requerida en términos de otras dimensiones sobre las cuales ya tenemos datos. De acuerdo a principios estadísticos los valores medios de dos dimensiones pueden sumarse o restarse para obtener el valor medio de la tercera dimensión. Por ejemplo, para estimar la altura promedio entre el hombro y la punta de los dedos en los hombres, podemos sumar la altura desde el hombro al codo (Dimensión 22) y la altura desde el codo hasta la punta (le los dedos (Dimensión 23). Es decir:

hombro hasta punta de los dedos

$$(\bar{\times}) = \bar{\times}_{22} + \bar{\times}_{23}\ \mathbf{36.5 + 47.5 = 84\ cm}$$

Para calcular un percentil a partir del valor promedio, necesitamos conocer el desvío standard de la altura desde los hombros hasta la punta de los dedos. Esto se puede calcular utilizando el coeficiente de variación, para diversas clases de dimensiones corporales. En este caso, el CV para longitudes corporales cortas resulta ser de 8.8%. Por lo tanto, el desvío standard de la longitud hombro-punta de dedos sería

$$s = \frac{CV \times \overline{X}}{100} = \frac{8.8 \times 84}{100} = 7.39cm$$

Ahora, si necesitamos el valor del percentil 95% para la longitud del hombro a la punta de los dedos, podemos calcularlo de la siguiente manera:

$$\mathbf{X_{percentil\ 95}\ \bar{\times} + s \times 1.64 = 84 + 7.4 \times 1.64 = 96.2\ cm}$$

2.3.2 Ejemplos

Ejemplo 1: La altura máxima de una estantería de almacenaje en una oficina

La altura máxima de una estantería de almacenaje debería ser tal que todos los usuarios de la oficina puedan alcanzar los elementos guardados sin levantar su brazo por encima del nivel de los hombros. Por lo tanto, la altura de la estantería estará determinada por la persona con la menor altura, de parado hasta los hombros. Supongamos que entre los usuarios en la oficina se encuentran hombres y mujeres. Como las mujeres, en promedio, tienen una menor altura hasta los hombros, consideraremos la mujer más baja en la oficina. También consideremos, para los fines de este ejercicio, que todos los usuarios son británicos, para quienes los datos antropométricos están dados en la Tabla 2. Utilizando los valores de la media y del desvío standard para las mujeres, a partir de la Tabla 2, y el correspondiente valor de p a partir de la Tabla 3, el 5to. percentil para la altura hasta los hombros es,

$$\mathbf{X_{5to\ percentil} = 131 - 5.8 \times 1.64 = 121.5\ cm}$$

Por lo tanto, el nivel más alto de la repisa en la oficina no debería exceder los 121.5 cm.

Ejemplo 2: Altura del asiento de la silla para el trabajo en la oficina

Las sillas en la oficina son utilizadas tanto por hombres como por mujeres. Dada la mezcla multicultural de los empleados australianos en las oficinas, está claro que las sillas con altura fija no son una buena idea. Es aconsejable proveer de sillas ajustables. Por lo tanto, la altura del asiento de una silla de oficina es el caso de «diseños ajustables», discutido anteriormente. Para determinar el rango de ajuste deberíamos considerar las personas más bajas (digamos una mujer china en el 5to. percentil) y las personas más altas (un hombre británico en el 95to. percentil). La altura del asiento debería ser tal que el usuario pueda apoyar sus pies en el piso. Para ello, consideraremos la altura poplítea como la dimensión adecuada para el diseño. La altura poplítea para la mujer china en el 5to. percentil y para el hombre británico en el 95to. percentil puede estimarse en 32.5 cm y 49.0 cm, respectivamente. Por lo tanto, el rango de ajuste para el asiento de la silla debería ser de 32.5 a í8.8 cm.

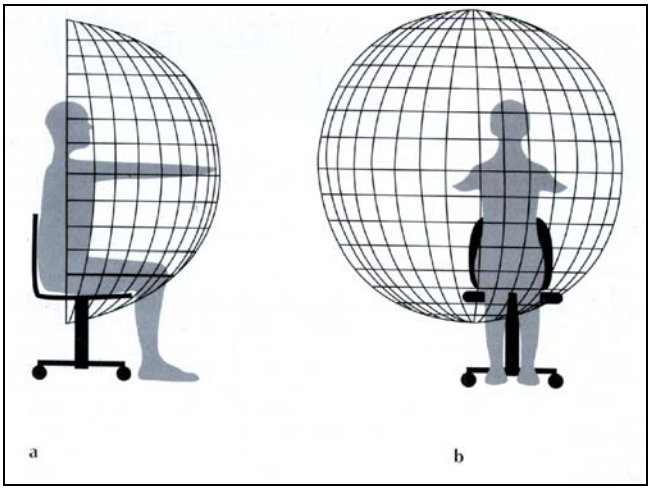
3. DISEÑO DEL LUGAR DE TRABAJO

Como se mencionó anteriormente, el diseño del lugar de trabajo debería tener en cuenta la naturaleza de la actividad y las características personales del operador. También debería considerar si la actividad será realizada en posiciones de sentado o de parado, ya cine esto influirá en los requerimientos del lugar de trabajo. La decisión sobre si el trabajo debería realizarse sentado o parado depende de distintos factores, entre los cuales son importantes el tipo, duración, intensidad, repetitividad y requerimiento de destrezas de la actividad, y la variabilidad de tareas (Eastman Kodak, 1983). Por lo general, si el trabajo se va a desarrollar durante períodos extensos de tiempo, requiere bajo costo fisiológico (el trabajo es suave) y demanda manipulaciones finas, se prefiere un lugar de trabajo sentado. Si el trabajo es intenso, requiere frecuentes movimientos y es de corta duración, se recomienda trabajar parado. Es preferible un lugar de trabajo sentado/parado si las tareas pueden ser realizadas en posiciones, ya sea de parado o sentado.

3.1 El trabajo sentado

Una consideración importante en el diseño del lugar de trabajo para el operador sentado es que todos los elementos utilizados para la tarea, tales como herramientas, materiales, controles, etc., estén a un alcance fácil y cómodo para la persona. El espacio dentro del cual una persona es capaz de llegar sin estirarse o inclinarse está limitado por el alcance funcional del brazo. La Figura 2 muestra la superficie normal de alcance de un operador sentado. El espacio laboral tri-dimensional, formado por el alcance del brazo, esta influenciado por muchos factores tales como la dirección de movimiento, la naturaleza de la tarea, la altura de trabajo y la ropa utilizada por el operador. La presencia de factores limitantes, tales como elementos de seguridad o cinturón de seguridad que pueden prevenir el movimiento libre del cuerpo, también afecta el alcance del brazo. El grado en el cual el alcance del brazo está afectado por limitaciones depende del tipo de restricción (Gang, Bakhen, &, Saxena, 1982).

El alcance normal también está influido por las características personales (edad, sexo, grupo étnico, discapacidad, etc.) del operador. Para acomodar a la mayoría de la población usuaria (normalmente el 95 %) se debería considerar para el propósito del diseño el rango (le alcance de la persona en el Sto. percentil. La lógica de ésto es que si la persona con la longitud de brazo más corta puede alcanzar un punto en el espacio laboral, entonces todos los demás en la población usuaria pueden llegar a ese punto.



***FIGURAS 2a y 2b**. Superficie normal de alcance del brazo izquierdo de un operador sentado.*

La capacidad de alcance de una persona sentada puede aumentarse inclinando o estirando el cuerpo. Ocasionalmente ésto se puede permitir, pero en el trabajo normal se debería evitar, en la medida de las

posibilidades. Es importante mencionar que la elongación o inclinación frecuentes pueden perjudicar al cuerpo. Además, podría crear problemas de seguridad en el lugar de trabajo. Por ej., las inclinaciones o estiramientos extremos pueden hacer que una persona pierda el equilibrio, especialmente si está llevando una carga en las manos. La capacidad de alcance hacia adelante depende de la altura de la superficie de trabajo. La capacidad de alcance disminuirá a mayores alturas, ya que impedirá que la persona se incline completamente hacia adelante.

3.1.1 Altura laboral para la persona sentada

La altura de trabajo es la altura a la cual se realiza la tarea. Esta altura, generalmente, depende de la naturaleza del trabajo llevado a cabo por el operador. Sin embargo, las preferencias individuales también pueden afectar la elección de la altura. Por lo tanto, tanto la naturaleza de la actividad como las preferencias individuales, deberían tenerse en cuenta al momento de determinar la altura óptima.

Como el trabajo sentado involucra principalmente a manos y brazos, la altura debería ser tal que las articulaciones del codo y hombro estén en posiciones neutras (relajadas). Esto implica que el ángulo de la articulación del codo debería ser aproximadamente de 90 % (es decir, que el antebrazo esté paralelo a la superficie de trabajo) y que la parte superior del brazo esté verticalmente hacia abajo. En otras palabras, el trabajo debería realizarse a la altura del codo. Sin embargo, se debería mencionar que la naturaleza de la actividad determinará en última instancia la altura real de trabajo. Por ejemplo, las investigaciones (Ayoub, 1973) indican que un trabajo de precisión (que implica destreza) se realiza mejor a alturas por encima (aproximadamente 5 a 15 cm) de la altura del codo. De forma similar, los trabajos que demandan una constante percepción visual (por ejemplo la inspección de partes y componentes), deberían ser elevados para llevarlos cerca de los ojos. Por el contrario, el trabajo que supone movimientos repetitivos, como escribir a máquina, preferentemente deberían llevarse a cabo a alturas levemente inferiores a la altura del codo (Bex, 1971). Para poder establecer la altura adecuada para la tarea, se debería diseñar un Lugar de trabajo ajustable. La Tabla 5 resume las recomendaciones referentes a las alturas de las superficies de trabajo para las tareas sentadas.

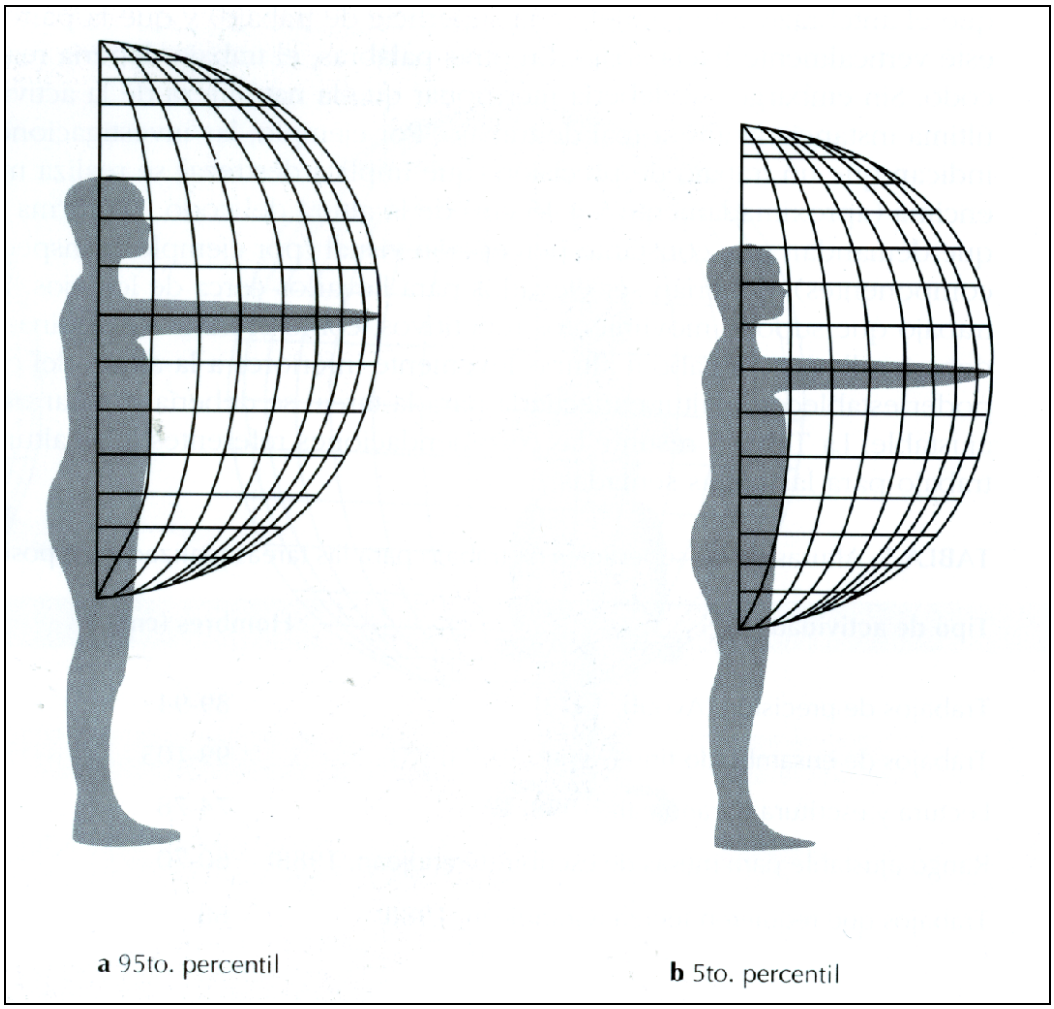
Tipo de actividad	Hombres (cm)	Mujeres (cm)
Trabajos de precisión (Ayoub, 1973)	89-94	82-87
Trabajos de ensamblado tino (Ayoub, 1973)	99-105	89-95
Lectura y escritura (Grandjean, 1988)	74-78	70-74
Rango ajustable para mesas de escribir (Grandjean, 1988)	60-70	60-70
Trabajos que requieren fuerza (Grandjean, 1988)	68	60

TABLA 5. Alturas de las superficies de trabajo para las tardas realizadas en posición sentado

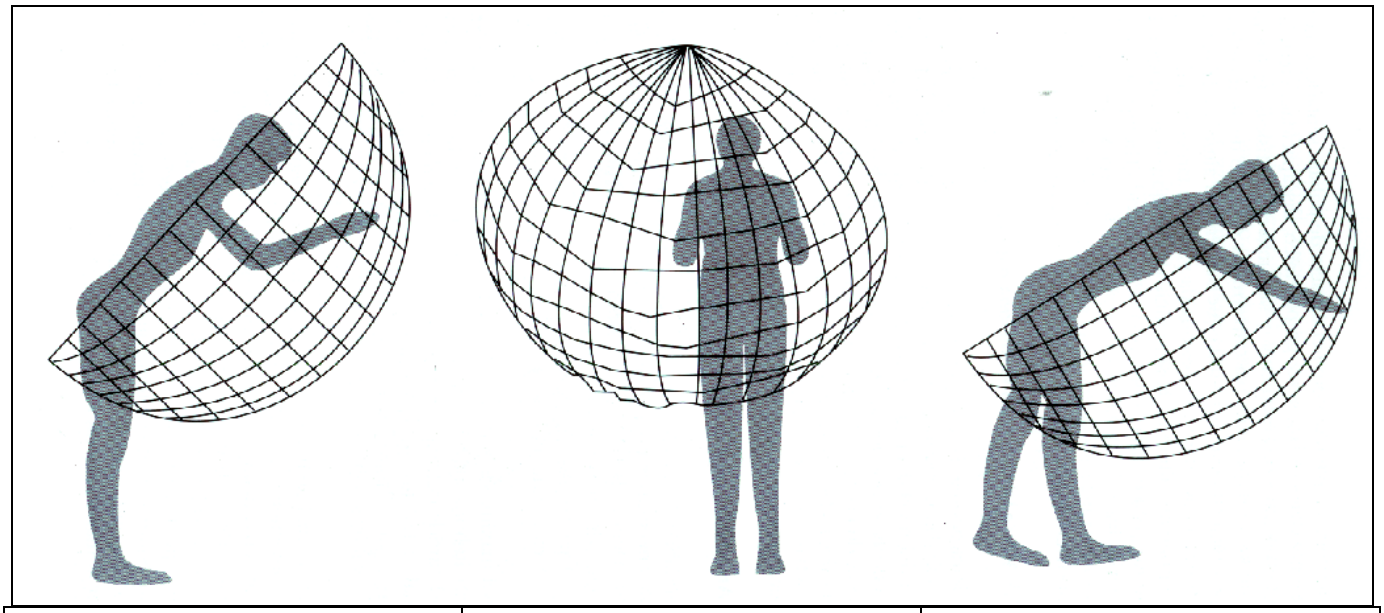
Es importante mencionar que la altura de trabajo, y la altura de la superficie de trabajo (mesa), no son las mismas. La altura de la superficie de trabajo es meramente la altura del banco o de la mesa, mientras que la altura de trabajo es la altura real a la cual se realiza la tarea. En muchos casos, la altura de la superficie y la altura de trabajo pueden ser las mismas (por ejemplo, en la escritura). En el caso de una estación de computadora, la altura de la línea del medio del teclado es la altura promedio de trabajo y, por lo tanto, diferente de la altura de la mesa sobre la cual se apoya el teclado. En los lugares de trabajo industrial, distintas guías y accesorios son utilizados para sostener las piezas de trabajo y, por lo tanto, la altura de trabajo es diferente a la altura del banco.

3.2 Diseño del lugar de trabajo para la persona parada

El diseño del lugar de trabajo para la persona parada sigue similares principios de diseño que los aplicados al trabajo sentado. El espacio tri-dimensional de trabajo para el operador parado está determinado por el alcance funcional del brazo. Las figuras 3a y 3b muestran la superficie normal de alcance para una mujer en el 5to. y 95to. percentil (E.E.U.U.). Dentro de este espacio laboral, una persona es capaz de llegar a cualquier punto sin estirarse, inclinarse, o doblarse. Si una persona parada tiene libertad para cambiar de posturas corporales, el alcance normal puede fácilmente aumentarse estirando, inclinando, o doblando el cuerpo (Figuras 4a, 4b, y 4c).



FIGURAS 3a y 3b. *Superficie normal de alcance de una persona parada (Mujer, E.E.U.U.).*



A doblando la espalda (vista lateral)	B doblando la espalda (vista posterior	C doblando la espalda, con un pie atrás (vista lateral)

FIGURA 4a, 4b, Y 4c. Expansión del alcance parado (Mujer, E.E.U.U., 5to. Percentil)

El alcance de parado, como el espacio de trabajo sentado, está influenciado por características personales (edad, sexo, grupo étnico, discapacidad, etc.), la naturaleza de la tarea, los requerimientos de vestimenta, y las limitaciones físicas. La altura de la superficie de trabajo es un factor importante para determinar el grado de alcance hacia adelante, que se puede lograr inclinándose. A medida que aumenta la altura de la superficie de trabajo, la inclinación hacia adelante se ve restringida y, por lo tanto, disminuye el alcance hacia adelante. La relación entre altura de la superficie de trabajo y la inclinación hacia adelante ha sido utilizada para decidir la distancia de seguridad (Thompson, 1989) para mantener a las personas lejos de los puntos de peligro, tales como partes rotatorias de las maquinarias, robots, y animales salvajes en el zoológico. El valor de la distancia «lejos del alcance» debería estar determinado por la persona en el percentil 99no. de la población.

3.2.1 Altura laboral para la persona parada

La altura óptima de trabajo para la tarea de parado está influenciada por la naturaleza del trabajo y las preferencias personales. Como regla general, la altura de trabajo debería fijarse cerca del nivel del codo. Pero, de acuerdo al tipo de tarea realizada, la altura real puede ser por encima o por debajo de la altura del codo. Para un ensamblado liviano, para empaques y tareas de escritura, la altura óptima será aproximadamente 10 a 15 cm por encima de la altura del codo. Para tareas que requieran fuerza, es recomendable una altura 10 a 20 cm por debajo del codo. Para poder acomodar la elección individual de la altura de trabajo, se debería proveer de una mesa ajustable.

3.3 Arreglos dentro del área horizontal de trabajo

En el banco de trabajo, los materiales, las herramientas, las piezas de trabajo, y otros elementos necesarios para la tarea, se deben mantener dentro de las zonas de alcance conveniente. Dentro de las zonas de alcance conveniente, en el plano horizontal, se pueden distinguir dos tipos de áreas de trabajo:

- Area máxima de trabajo (AMT)
- Area normal de trabajo (ANT)

El área máxima de trabajo es la intersección entre la zona de alcance conveniente y la superficie horizontal, tal como la mesa o el banco. El área máxima de trabajo está formada por el barrido del brazo, totalmente extendido y rotando alrededor del hombro. El área normal de trabajo está formada por el movimiento cómodo de barrido de la extremidad superior, alrededor de la articulación del hombro, con el codo flexionado a 90 %. En la Figura 5 muestra estas dos áreas.

El área normal de trabajo (ANT) permite que el movimiento de la mano se realice en una zona conveniente, con gasto calórico normal. Ordenar todos los materiales, herramientas, y equipamiento dentro del área normal permite una mayor productividad a través de la maximización de la eficiencia a un mínimo costo humano. Farley (1955) determinó el ANT, considerando el codo fijo durante el barrido realizado por el antebrazo extendido. Se suponía que la parte superior del brazo permanecía al costado del cuerpo en una posición natural. Squires (1956) sostenía que durante el movimiento de barrido el codo no permanece fijo sino que se mueve fuera y hacia afuera del cuerpo. Por lo tanto, el camino desarrollado por la mano sería un elongado epicicloide.

Das y Behara (1989) han extendido el concepto de Squires para determinar el área normal de trabajo más allá de la mediana del cuerpo. Ellos han sugerido que el movimiento del codo hacia el cuerpo debería ser considerado para determinar el ANT, más allá de la mediana del cuerpo, ya que el vector antebrazo-mano se mueve hacia la izquierda pasada la mediana.

No está de más decir que el trabajo debería mantenerse dentro del área normal de trabajo ya que hay algunas posiciones que imponen menos «stress» sobre el cuerpo que otras. Las disposiciones concretas dentro del ANT dependerán de la actividad llevada a cabo, y deberían determinarse a través de la experiencia. Además, antes de finalizar el ordenamiento del lugar de trabajo se deberían aplicar los siguientes principios (Sanders & McCormick, 1992):

- **Principio de importancia -** Los elementos más importantes deberían estar en los lugares más convenientes o accesibles.
- **Principio de frecuencia de uso -** Los elementos más frecuentemente utilizados deberían estar en los lugares más convenientes o accesibles.
- **Principio de función -** Los elementos concernientes a funciones o acciones estrechamente relacionadas, deberían agruparse juntos.
- **Principio de secuencia de uso -** Los elementos que comúnmente se utilizan en secuencia deberían agruparse juntos, y ordenarse de manera que sean compatibles con esa secuencia.

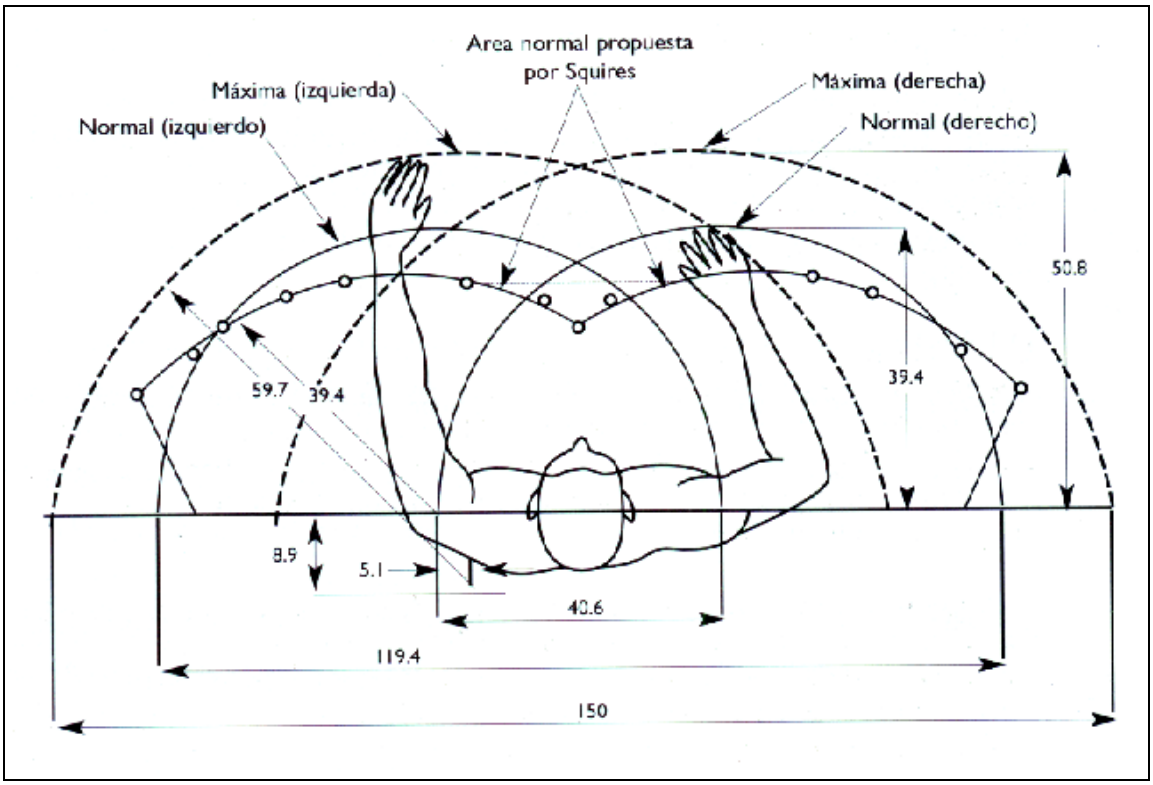


FIGURA 5. *Areas de trabajo normal y máxima en el plano horizontal. (Adaptado de Sanders & McCormick, 1992, Fig. 13-11, p. 342).*

4. BASES COMPUTADAS DE DATOS ANTROPOMETRICOS

A medida que las personas toman más conciencia de que la salud laboral y los problemas de seguridad, en los lugares de trabajo, no son sólo actos de Dios sino que se clan por deficiencias en los diseños, los fabricantes y los diseñadores industriales están siendo obligados a utilizar la ergonomía en los procesos de diseño. Esto asegurará que el elemento humano sea adecuadamente considerado en el diseño de productos y lugares de trabajo. La fácil disponibilidad de tecnología computada, de bajo costo y altamente eficiente, ahora hace posible que los diseñadores utilicen la información ergonómica en las primeras etapas del proceso de diseño. Se han desarrollado diversas aplicaciones de diseño ayudadas por la computadora, y algunas están ahora disponibles para los usuarios en general (Tabla 6), las cuales tienen la facilidad de utilizar una «forma humana» para evaluar ergonómicamente un lugar de trabajo o el diseño (le un producto. La forma humana usada en estas aplicaciones de «software» está basada, por lo general, en las bases de datos antropométricos actualmente disponibles para distintas poblaciones, y pueden manipularse para seleccionar distintas formas, tamaños, y posturas. La forma humana puede ser fácilmente movida alrededor de un lugar de trabajo para evaluar el alcance y los requerimientos de visión, o puede manipularse para evaluar un producto. De ser necesario, pueden realizarse cambios en el diseño y se puede llevar a cabo rápidamente una nueva evaluación ergonómica. El proceso puede repetirse hasta que se logre el resultado deseado.

Como se discutió anteriormente, todos los productos, procesos, y diseños de los lugares de trabajo deben ser evaluados ergonómicamente antes de proceder a la etapa de elaboración del prototipo. Por lo tanto, el uso de software para el diseño reduce la necesidad pruebas con modelos frecuentemente costosas. Las pruebas experimentales con modelos pueden llevarse a cabo para decidir finalmente los parámetros para el diseño del prototipo. El uso de un «software» tiene, además de acelerar el proceso del diseño, distintas ventajas adicionales, tales como menor costo y facilidad de un diseño interactivo. Se está haciendo un rápido progreso en el desarrollo de la versatilidad, flexibilidad, y menor costo. Es de esperar que en unos pocos años, dichos programas se vuelvan accesibles para cualquier persona interesada en utilizarlos.

Software»	Referencia	Comentarios
BOEMAN	Rothwell (1985), Dooley (1982)	Desarrollado por la Corporación Boeing de América, en 1969, para evaluar la disposición de la cabina de mando de un avión.
BUFORD	Rothwell (1985), Dooley (1982)	Desarrollado por Rockwell International, E.EU.U., para predecir el rango de alcance de un astronauta.
COMBIMAN	McDaniel (1976)	Desarrollado por la Universidad de Daytona, E.E.U.U, en 1973. Este modelo humano biomecánico computado ha sido utilizado en el diseño y evaluación de los tripulantes de aviones para la visión y el alcance de la mano.
CYBERMAN	Rothwell (1985), Dooley (1982)	Desarrollado por la Corporación Chrysler para evaluar los interiores[1] de los automóviles.
FRANKY	Elías y Lux (1986)	" Desarrollado por Gesellschaft fur Ingenieur-Technik (GIT) mbH, Alemania, para el diseño y evaluación de sistema de maquinarias par seres humanos.
MANNEQUIN	HUMANCAD (1991)	Este es un programa (le diseño y dibujo ergonómico basado en PC que dibuja personas (hombres/mujeres). Brinda diferentes vistas. La persona puede caminar, inclinarse, ver, alcanzar, y tomar objetos. También computa los torques de las articulaciones. Disponibles para los usuarios en general.
OSCAR	Lippmann (1986)	Un sistema basado en PC para evaluar lugares de trabajo simples
SAMMIE	Porter y Freer (1987)	Sistema para la Ayuda en la Evaluación de la Interacción entre el Hombre y la Máquina (SAMMIE). Es utilizado para la evaluación ergonómica de distintos lugares de trabajo y productos. Se pueden desarrollar modelos altamente complejos y realistas. Está disponible para los usuarios en general.
ERGOSHAPE	Launis y Lehtela (1990)	Desarrollado en el Instituto de Salud Ocupacional, Finlandia, para aportar el conocimiento ergonómico para el diseño de los lugares de trabajo.

***TABLA 6**. Lista din «softwares» para el diseño con ayuda computada, para la evaluación ergonómica.*

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ayoub, M. M. (1973).
Workplace design and posture.
Human Factors, 15, 265-268.

Bex, F.H.A (1971).
Desk heights.
Applied Ergonomics, 2, 138-140.

Bullock, M. I. (1974).
Determination of functional arm reach boundaries for operation of manual controls.
Ergonomics, 17, 375-388.

Das, B., & Behara, D. (1989).
A new model for the determination of the horizontal normal working area.
In A. Mital (Ed.), **Advances in industrial ergonomics and safety-1.** (pp. 195-202).
London: Taylor & Francis.

Dooley, M. (1982).
Anthropometric modelling programmes - a survey.
IEEE Computer Graphics and Applications, 2, 17-25.

Eastman Kodak (1983).
Ergonomic design for people at work: Vol. I (pp. 12-77).
New York: Van Nostrand Reinhold.

Elias, H.J., & Lux, C. (1986).
Gestatung ergonomisch optimierter Arbeitsphtze and Produkte mit Franky and CAD.
[The design of ergonomically optimised workstations and products using Franky and CAD].
REFA Nachrichten, 3, 5-12.

Farley, R. (1955).
Some principles of methods and motion study as used in development work.
General Motors Engineering Journal, 2, 20-25.

Garg, A., Bakken, G. M., & Saxena, U. (1982).
Effect of seat belts and harnesses on functional arm reach.
Human Factors, 24, 367-372.

Gordon, C.C., Churchill, T, Clauser, C. E., Bradtmiller, B., McConville, J.T.,Tebbets, I.,
& Walker, R. (1989).
1988 Anthropometric Survey of US Army personnel: summary statistics interim report (Technical Report NATICK/TR-89-027).
Natick, MA: USA Army Natick Research, Development and Engineering Centre.

Grandjean, E. (1988).
Fitting the task to the man: A textbook of occupational ergonomics (4th ed.).
London: Taylor & Francis.

HUMANCAD (1991).
Mannequin user guide.
Melville, NY: HUMANCAD, Biomechanics Corporation of America.

Kantowitz, B.H., & Sorkin, R.D. (1983).
Human factors: Understanding people-system relationships (p. 470).
New York: John Wiley & Sons.

Kroemer, K., Kroemer, H., & Kroemer-Elbert, K. (1994).
Ergonomics: how to design for ease and efficiency (pp. 13-93).
Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Kroemer, K., Kroemer, H., & Kroemer-Elbert, K. (1990).
Engineering physiology. (2nd ed., pp. 1-36).
Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Launis, M., & Lehtela, J. (1990).
Ergonomic design of workplaces with a two dimensional micro-CAD system.
In C. M. Haslegrave, J. Wilson, E. Corlett and I. Manenica, (Eds.) **Work design in practice** (pp. 1 10-1 18). London: Taylor and Francis.

Lippmann, R. (1986).
Arbeitsplatzgestaltung mit Hilfe von CAD [Workstation design with help from CAD].
REFA Nachrichten, 3, 13-16.

McDaniel, J.W. (1976).
Computerised biomechanical man-model.
Proceedings of the 6th Congress of the International Ergonomics Association and the 20th meeting of the Human Factors Society, pp. 384-389.

NASA (1978).
Anthropometric source book (Vol. I-III).
Publication 1024, Houston, TX: LBJ Space Centre, NASA (NTIS, Springfield, VA 22161,
Order 79, 11734).

Pheasant, S. (1986).
Bodyspace: anthropometry, ergonomics and design.
London: Taylor and Francis.

Porter, J. M., & Freer, M T (1987).
The SAMMIE system information booklet (5th ed.).
SAMMIE CAD Ltd: Loughborough.

Roebuck, J., Kroemer, K., & W Thompson (1975).
Engineering anthropometric methods.
New York: J. Wiley.

Rothwell, P. L. (1985).
Use of man-modelling CAD systems by the ergonomists.
In P. Johnson and S. Cook. (Eds.). **People and computers: designing the interface** (pp. 199-208). Cambridge: Cambridge University Press.

Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1992).
Human factors in engineering and design (7th ed.).
New York: McGraw-Hill.

Squires, P. (1956).
The shape of the normal work area.
(Report No. 275). New London, Connecticut: Navy Department, Bureau of Medicine and Surgery, Medical Research Laboratories.

Thompson, D.(1989).
Reach distance and safety standards.
Ergonomics, 32, 1061-1076.