

El factor humano

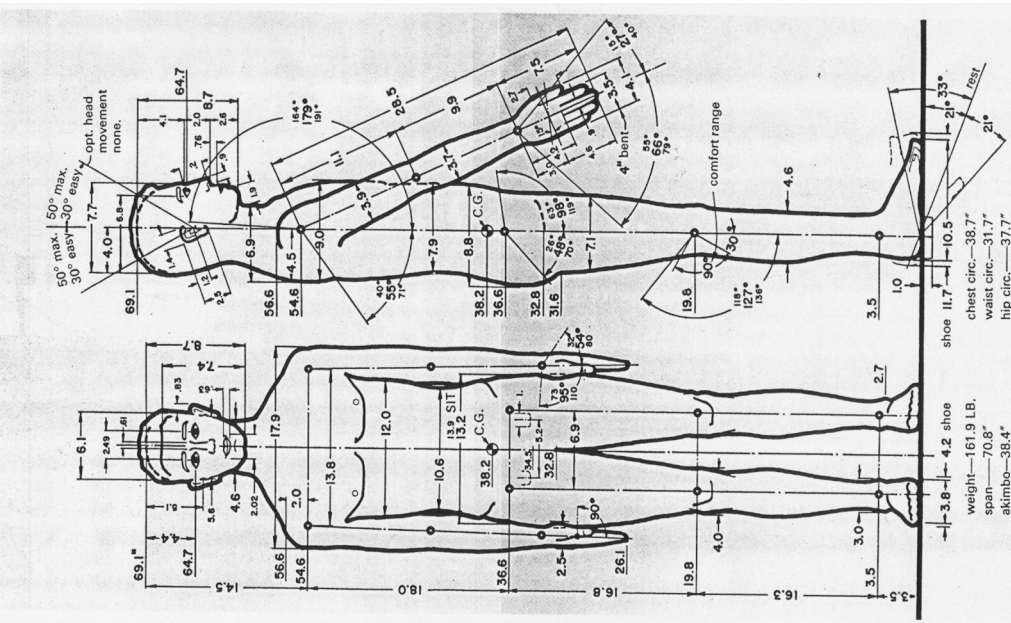
LA SEÑORA ROSE COHEN es una viuda morena y atractiva, que vive en Brooklyn, y cuya vida incluye actividades tan variadas como la de ama de casa, trabajar en su hogar costiendo ajeno y visitar con frecuencia a su hija y dos nietos. En esto no se distingue de cientos de miles de mujeres norteamericanas. Pero hay un aspecto en que es de lo más extraordinaria. Vive y disfruta de su vida únicamente porque un minúsculo aparatito, movido por baterías y llamado marcapaso le fue implantado debajo de la piel de su tórax. Unos alambrillos llevan a su corazón, para que pueda mantener su latir uniforme, las señales generadas por el marcapaso. Sin este marcapaso artificial su corazón trastabillaría y ella moriría casi con seguridad. Debe la vida a una estirpe de ingenieros: los bioingenieros que se especializan en los problemas y posibilidades de los seres vivos. Forman un grupo reducido, pero los adelantados que han ayudado a cristalizar han dejado ya una huella importante en las vidas de mucha gente. Y prometen tener efectos mayores aún.

Aunque las actividades que desempeñan tocan muchos campos de la sociedad actual, la mayoría de los bioingenieros se especializan en uno de estos tres terrenos: ingeniería médica, ingeniería de factores humanos e ingeniería biotécnica. Los dispositivos artificiales que se usan para prolongar la vida, uno de los cuales es el marcapaso, son obra de uno de estos subgrupos, el de los ingenieros médicos. Nuevas máquinas e ingenierías de sistemas, mejor adaptadas a sus metas porque fueron ideadas teniendo en mente las necesidades y limitaciones humanas son la especialidad de otro subgrupo, el de los ingenieros en factores humanos. La tercera subdivisión incluye los ingenieros bióticos, que se han lanzado a duplicar las maravillas del mayor ingeniero de todos: la mismísima Naturaleza.

El ingeniero biótico trata de transportar a sistemas artificiales las características más destacadas de diversas formas de vida animal. La idea data ya de hace varios siglos. La mitología griega nos habla de Ícaro, que trató de volar con alas copiadas de las de los pájaros, para acabar muriendo porque al volar cerca del Sol sus alas de cera se fundieron por el calor. Y a principios del siglo XVI, Leonardo de Vinci, ese genio fecundísimo, trazó los planos detallados de una máquina voladora que estaba basada también en la estructura de las alas de las aves.

Pero, como sabe cualquier ingeniero moderno, ninguna de ambas ideas servía. Rara vez tiene éxito la copia directa de la Naturaleza, cosa que fue lo que propusieron aquellos viejos soñadores: la creación de réplicas exactas de las estructuras de vuelo de las aves. Orville y Wilbur Wright hicieron un primer aeroplano venturoso porque fueron, en cierto sentido, verdaderos ingenieros bióticos. Basaron su trazo en los procesos que permiten el vuelo. Pensaron ante todo en términos de función más bien que de estructura; en su máquina buscaron imitar función, no estructura.

Muchísimos seres humidísimos tienen aptitudes que los ingenieros bióticos darían algo por duplicar. Unos peces son tan sensibles a los minúsculos cambios eléctricos del agua que los rodea, que reaccionan cuando un visitante (en un acuario) frota su peine, para cargarlo de electricidad y lo mueve frente al tanque de agua del pescado. Sólo voltímetros tan refinados como los electrometros, son así de sensibles. La marsopa emite al nadar unos chillidos agudi-



El varón medio, un esbozo tomado de cientos de estadísticas, sirve de modelo a los ingenieros de factores humanos, que adaptan las máquinas al hombre e inventan productos—desde discos de teléfono a tableros de jets—hechos para el hombre.

simos, y después puede interpretar los ecos que le rebotan, con tan fantástica precisión, que percibe la presencia y situación de objetos submarinos mucho antes de que pueda verlos; puede incluso distinguir entre diversas especies de peces. El sonar, la contrapartida artificial de este sistema localizador por eco, protege a los barcos y submarinos de peligros sumergidos; pero el sonar es al aparato de la marsopa como un telescopio de juguete al telescopio enorme de monte Palomar.

Un animal que ha servido ya como modelo a los ingenieros biónicos, y con trascendentales resultados, es el pequeño escarabajo. Los singulares ojos de este animal responden a las sombras con extraordinaria rapidez y precisión. Esta habilidad visual inspiró la invención de un sistema extremadamente eficaz de fotografía aérea.

Una cámara basada en el ojo de un insecto

Las investigaciones iniciales que llevaron a la invención de un nuevo sistema de cámara las dirigió una dinámica pareja de jóvenes alemanes: Werner Reichardt, ingeniero, y Bernhard Hasselstein, biólogo. Mediante una serie de experimentos sumamente ingeniosos, descubrieron la existencia de una relación entre la estructura multifacética del ojo del escarabajo y la forma en que se comporta el animal. Al estudiar detalladamente los movimientos del escarabajo cuando el terreno en que se colocó se iluminaba según una secuencia de luz y sombra hallaron que la trayectoria que elegía y la velocidad con que se movía dependían de la luz que recibiera en ese momento. Aparentemente, el escarabajo percibe las sombras a medida que pasan de una faceta a otra de su ojo. Parece que a su conducta la afectan las secuencias de luz y sombras que caen sucesivamente en tales facetas y que tales secuencias pueden indicarle no sólo la ubicación sino también la velocidad de aproximación del peligro en potencia.

Ingenieros norteamericanos especializados en el diseño de equipo de reconocimiento aéreo, percibieron en seguida la utilidad de este principio. A ellos había afectado un problema que afecta por igual a todos los fotógrafos de reconocimiento aéreo; debido a que la cámara aérea se mueve a la misma velocidad extremadamente alta a que se mueve el avión en que va, el fotógrafo no puede tomar fotos claras de los objetos del suelo a menos que también se mueva sincrónicamente su película. Pero la película debe moverse precisamente a la velocidad debida; demasiado aprisa o demasiado despacio y la imagen sale borrosa. El principio del ojo del escarabajo les dio un modo de determinar la velocidad correcta de la película. A cierta distancia se colocan en el avión dos fotoceldas—cada una análoga a una de las facetas del ojo. Al volar el avión, los cambios de luz producidos por la aparición de un objeto en la Tierra se registran por turno en cada una de las celdillas. Correlacionando la información del tiempo que trascurre entre el primero y el segundo registro con la información que obtiene sobre la velocidad y altura de la

nave, el fotógrafo puede determinar, a su vez, con facilidad, la velocidad a que se desplaza su película para obtener una imagen suficientemente precisa.

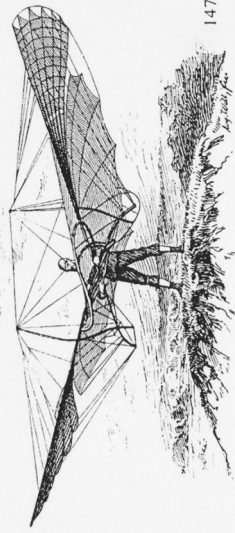
En tanto que los ingenieros biónicos se esfuerzan por convertir habilidades naturales en ingeniería de sistemas, sus colegas especializados en ingeniería de factores humanos se esfuerzan porque el sistema encaje dentro de las características humanas. Su trabajo, que a menudo requiere la colaboración de científicos, recibió un gran ímpetu durante la Segunda Guerra Mundial, ya que entonces quedó al descubierto dolorosamente que el éxito militar dependía en gran parte de un acoplamiento eficaz entre las máquinas de guerra y las capacidades y limitaciones de los hombres que las usaban. La simple aceptación de este hecho produjo adelantos que aunque obvios o simples en apariencia, tuvieron efectos trascendentales.

Así por ejemplo, los pilotos navales disponían de diversos tipos de aviones, cuyas características eran diferentes también. En los bombarderos de largo alcance, una reserva de combustible de 2000 litros podría ser peligrosamente escasa, en tanto que en un caza monoplaneo tal cantidad bastaría para toda una misión. Como algunos de los marcadores de combustible de los aparatos marcan en galones y otros lo hacen en litros, los pilotos solían confundirse al pasar de un avión a otro. En algunos casos pensaron que peligriban cuando en realidad estaban seguros, en tanto que en otros no percibieron que se estaban quedando sin gasolina y acababan haciendo aterrizajes forzosos. Los ingenieros de factores humanos resolvieron el problema, por cierto del modo más sencillo: cambiaron las marcas en los marcadores de combustible y en otros instrumentos semejantes y pusieron símbolos en vez de números. En vez de indicar el número de galones de combustible que había en el tanque, los símbolos indicaban el nivel relativo: "lleno", "medio lleno", "vacío". Tal sistema no sólo se usa hoy día en los aviones, sino, como todo conductor sabe, en todos los automóviles.

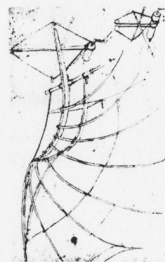
Diseñando seguridad

Del mismo modo, los ingenieros de factores humanos introdujeron una alteración elemental pero que salvó muchas vidas, en los botones que en los aviones controlan las alas de las alas y las ruedas y la potencia del motor. Originalmente, los tres botones, que pueden estar colindantes en la cabina, eran idénticos en diseño y forma. En una situación de tensión, el piloto podía equivocarse y tirar de uno en vez del otro. El resultado podía ser desastroso: acabando de tocar tierra y todavía a gran velocidad, debía elevar los alerones, pero en vez de ello tiraba del control retractor de las ruedas y terminaba aterrizando de panza. O también el error podía ser más peligroso aún: más de un piloto murió en el despegue porque habiendo alcanzado la velocidad de vuelo, al querer retraer las ruedas cerraba la aceleración y se precipitaba a tierra. El dar a los botones nuevas formas que representarían la función que controlaban (por ejemplo una rueda pequeña, para el control de las ruedas de aterrizaje)

OTTO LILIENTHAL, precursor de la aviación hizo unos 2000 vuelos en deslizadores como el que vemos abajo antes de morir estrellado en 1896. Como Leonardo, en sus diseños copió las alas de las aves. Los ingenieros biológicos modernos, sin embargo, sólo copian los principios generales de una función animal, pero cambian con libertad esas estructuras, para resolver problemas específicos con los materiales de que disponen.



A FINES DEL SIGLO XVI, y tras estudiar y registrar meticulosamente los detalles estructurales de las alas de las aves, Leonardo da Vinci esbozó esta ala, que impulsaba la fuerza humana. Leonardo dejó instrucciones para hacer sus alas de tiras flexibles de abeto, pana y plumas, pero su "máquina voladora" nunca fue construida, ni esta primera incursión en la biónica hubiera dado resultado. Leonardo copió demasiado servilmente su modelo biológico; y no tuvo en cuenta otros parámetros como el que los músculos de las alas de las aves, en proporción a su peso, son unas 20 veces más grandes que los músculos pectorales del hombre.



permitted a los pilotos usar su sentido del tacto para determinar si estaban o no usando el control debido.

Al terminar la guerra, los ingenieros de factores humanos extendieron su campo de acción y se ocuparon de problemas mucho más sutiles y complejos. Un estudio hecho por Ezra S. Krendel del Instituto Franklin de Filadelfia, permitió expresar en términos matemáticos un aspecto importante de la relación hombre-máquina, o sea, de la aptitud del hombre para controlar y guiar máquinas. Este factor pudo incluirse en seguida en el diseño de la ingeniería de los aviones. Krendel y sus colaboradores construyeron un modelo simplificado de un aparato para timonear aviones —un asiento de cubo (bucket seat) y un bastión de mando. Frente al asiento colocaron un osciloscopio de rayos catódicos que representaba las exigencias y necesidades del timoneo mediante un punto que se movía al azar en la pantalla. La habilidad de timoneo del piloto se medía haciéndolo manipular el control en forma tal que mantuviera al punto siempre en el centro de la pantalla. Probando las reacciones de un gran número de pilotos colocados bajo muy diferentes conjuntos de circunstancias y midiendo la rapidez y eficiencia de sus reacciones, Krendel llegó a una fórmula matemática que describía la habilidad del piloto para coordinar la mano y el ojo. Con esa fórmula, los ingenieros aeronáuticos pueden tomar en cuenta el factor humano y acrecentar la eficiencia del avión y su margen de seguridad. Hacer cálculos semejantes con otras máquinas que deben ser timoneadas, desde automóviles a aviones, son hoy aspectos rutinarios del proceso de diseño.

Todos los adelantos hechos en la ingeniería de factores humanos tienen un influjo directo sobre la gente. Pero cuando el efecto es más bien de conveniencia que de seguridad, no siempre es obvio. La experiencia y la costumbre nos habilitan a muchas penalidades pequeñas. Así por ejemplo, el diseño del teclado de las máquinas de escribir tuvo desde la invención de ella a fines del siglo XIX un gran contenido de ingeniería. Dado que las barras de los tipos de la máquina eran pesadas y se trababan con facilidad, el inventor, Christopher Latham Sholes, deliberadamente diseñó el teclado a fin de que hubiera una gran distancia entre las letras que con más frecuencia están juntas en la escritura. Pero al venir la escritura al tacto, saltaron a la vista las fallas iniciales. Al usarse los diez dedos para escribir, la mano izquierda, más débil, trabaja mucho más que la derecha, mucho más fuerte. Más aún, el dedo más débil, el meñique de la mano izquierda debe oprimir dos de las teclas de uso más frecuente: la "a" y la tecla de mayúsculas. Sin embargo, todos los esfuerzos para cambiar el teclado y hacerlo más adecuado con las necesidades del idioma y la mano, no han tenido nunca éxito.

El obstáculo de la costumbre

Una distribución diferente, ideada por August Dvorak, de la Universidad del Estado de Washington, se probó en un grupo de empleados federales a principios de 1956; de haber resultado venturosa la prueba, el gobierno tenía el plan de poner en todas sus máquinas el teclado de Dvorak. Pero fue apenas cuatro meses después cuando se tuvo que abandonar la idea. Los mecanógrafos hallaron tan difícil "desaprender" las viejas costumbres que tenían que no se pudieron adaptar al teclado. Por fortuna la ingeniería halló otra solución

al problema de la fatiga de manos y dedos: las máquinas eléctricas cuya operación es más fácil y mucho menos cansada.

Esta historia del teclado de la máquina de escribir ilustra uno de los mayores problemas con que tropiezan los ingenieros de factores humanos: la fuerza de la costumbre.

Así por ejemplo, en 1949, los ingenieros de una compañía de teléfonos crearon una nueva caja para el teléfono que le daba más firmeza y por tanto que hacía más fácil su uso. Los ingenieros de factores humanos reconocieron que esta nueva caja permitía quitar las letras y los dígitos de sus posiciones originales (bajo los agujeros para los dedos) y colocarlos fuera de ellos, en el perímetro del disco. A primera vista se pensó que tan sencilla innovación, que pone los dígitos siempre a la vista, incluso mientras se está marcando, reduciría el número de llamadas equivocadas. Pero sin embargo al someter a prueba el nuevo disco se halló que en lugar de disminuir, aumentaban los errores al marcar. Los dígitos habían servido de guías cuando estuvieron bajo los agujeros de los dedos, pero al ser puestos en el perímetro del disco, el usuario perdía su blanco. Hubo que poner puntos blancos dentro de los agujeros para los dedos, como puntos sustitutos de referencia, en seguida bajó el número de llamadas erróneas.

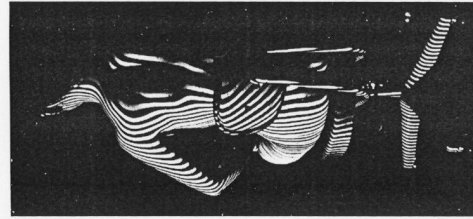
Para empresas tales como las de teléfonos, un cuerpo de ingenieros de factores humanos es una necesidad. Cualquier cambio que se introduzca, sea en el aparato o en la organización de un servicio, tiene efectos muy directos sobre millones de personas, no sólo sobre los empleados que trabajan en la compañía. Sólo considerando detalladamente tales efectos puede tenerse la seguridad de que el cambio resultará venturoso.

Telefoneando con ayuda de una computadora

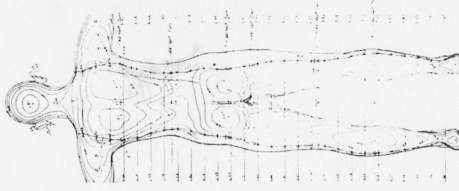
Ello explica que los estudios sobre factores sean parte de la planeación anticipada de cualquier innovación que se proyecte en compañías tales como la Bell System, de los Estados Unidos. Así por ejemplo, es muy probable que dentro de unos años, el servicio de información corra a cargo de computadores. Cuando un abonado pida información sobre un número, la telefonista ya no tendrá que enfrascarse en un directorio sino que oprimirá botones en un aparato como máquina de escribir, indicando a la computadora que busque en sus archivos de memoria la información que le ha sido pedida.

Cuando se comenzó a planear la información por computadora, un equipo de ingenieros en factores humanos que estaba bajo la dirección del finado Richard L. DeMinger, ingeniero químico que además tenía el título de doctor en filosofía y en psicología experimental, determinó hasta dónde podría ser útil el nuevo sistema, tanto para la compañía, como para la telefonista y para el público. Los ingenieros también propusieron el sistema de memoria que la computadora debería utilizar e idearon el lenguaje en el que la telefonista debería hablar, por decirlo así, a la computadora.

Al investigar las ventajas que podría traer consigo ese sistema, DeMinger y sus colaboradores descubrieron que hay algunas ocasiones en que ni con computadoras se puede mejorar el sistema actual. Cuando el abonado cuenta con datos precisos, la telefonista puede informarle casi en seguida: en llama-



EL BAYAR COMO CEBRA A ESTA MUJER fue parte de la técnica fotográfica ideada por Jiro Kohara, ingeniero de factores humanos, para comprobar la relación de la estructura ósea con el contorno del cuerpo. Mediante un filtro luminoso especial proyectó rayas verticales sobre modelos en diversas posiciones. Los resultantes dibujos que trazan el contorno, unidos a datos antropométricos sobre la estructura ósea dieron nuevos trazos para fabricar sillas y otras clases de muebles.



ESTE MAPA DEL CONTORNO HUMANO —similar a los usados por los geólogos para ilustrar la topografía de la superficie de la tierra— es otro de los medios de que se valen los ingenieros de factores humanos para hacer estudios detallados de la figura humana. La técnica, la más precisa hasta hoy ideada para medir la superficie del cuerpo, no sólo sirve para diseñar objetos que deben ser de tamaño exacto, sino que se usa para hacer estudios sobre exposición a la radiación.

das sobre negocios bien conocidos, la telefonista empieza a dar el número unos 10 segundos después de que el abonado empezó a hablar. Pero en preguntas como, “¿Puede darme el número de la tienda de regalos de la Calle Principal?” o “¿Tiene el número de un doctor Hernández de la calle setenta y pico?” que todos hacemos de vez en cuando, la respuesta es mucho más difícil. Si bien se puede acabar dando la información pedida si el abonado da datos más exactos, por ejemplo el nombre, una tienda cercana o el primer nombre o la dirección completa del doctor Hernández, el proceso lleva mucho tiempo. Los directores de las telefonistas de información, aunque más al día y con índices cruzados mejores que los de uso general no son aún lo bastante detallados para permitir hallar la información sin contar con ciertos detalles.

Si se computarizara el sistema de información se establecería un sistema de índices cruzados que sería más complejo, sobre todo para áreas metropolitanas. La pregunta puesta como ejemplo sobre el doctor Hernández, difícil o imposible de contestar en el sistema actual, podría contestarla fácilmente una computadora programada para buscar todas las listas de médicos por nombres empezados por HER y por calles que empezaran con el número siete. Más todavía, la operadora podría sugerir los datos y registros que podrían dar la respuesta en mucho menos tiempo y con menos esfuerzo del que hoy se requiere para pedirle al abonado más información.

Al establecer categorías para la memoria de la computadora, Deining y su gente contraron su atención en el usuario del teléfono. Analizaron los hechos que los abonados suelen ofrecer cuando llaman y así determinaron los grupos generales que el sistema de memoria debía contener. Al idear el lenguaje de la computadora, centraron su atención en la telefonista de informes. Probaron la velocidad y la precisión con que pueden marcar los diversos códigos propuestos, para escoger el más eficiente.

Ingeniería para prolongar la vida

Al automatizar el servicio de información, la Bell System trata de vincular los procesos del pensar humano con un sistema de ingeniería. Este puente entre la máquina y el cerebro es la tarea más delicada que tienen ante sí los ingenieros de factores humanos para lograr que sus proyectos se adapten y sirvan a la gente. Empero, este tercer subgrupo de bioingenieros está esforzándose, y con éxito, por establecer una conexión aún más íntima con el cuerpo humano. Son ingenieros médicos que están creando máquinas —como el marcapaso de Rose Cohen— que conservan la vida y la salud de la gente. Esos ingenieros ayudaron a crear el riñón artificial, sistema de filtración que conectado directamente al torrente sanguíneo de un enfermo cuyos riñones no funcionan, purifica su sangre y lo salva de una muerte segura. Así también, los ingenieros jugaron un papel destacado en la creación de la máquina corazón-pulmón que se hace cargo de la circulación y oxigenación de la sangre mientras el cirujano opera el corazón.

En la frontera de la ingeniería médica se encuentra el trabajo contemporáneo de hacer órganos artificiales —dispositivos hechos por el hombre que implantados en el cuerpo pueden reemplazar partes que ya no funcionan bien. La mayoría de estos importantísimos adelantos se realizan en el diseño de

partes de repuesto para el corazón, el más vital de los órganos del hombre. El primero y más usado fue la válvula cardíaca artificial que impide la falla cardíaca debida a filtraciones entre las cámaras del corazón. Un cierto tipo de válvula —una esfera de plástico del tamaño de una canica, que va metida en una minúscula jaula de acero— sube y baja ya, dentro del corazón de unos 100.000 norteamericanos. Fue diseñada por M. Lowell Edwards, ingeniero de Portland, Oregón. Su trabajo empezó en el año de 1957 cuando, recién retirado de una carrera de ingeniería extraordinariamente fecunda —tiene sesenta y tres patentes en aviación, pulpa y papel— conoció a Albert Starr de la Universidad de Oregón y descubrió la necesidad de un dispositivo artificial que sirviera como válvula cardíaca. A veces las válvulas naturales no tienen la forma correcta o una enfermedad las daña; al no abrirse y cerrarse correctamente, la sangre se filtra entre las cámaras del corazón; aunque se habían ideado y ensayado varias válvulas mecánicas, ninguna había resultado.

Edwards tardó casi tres años en perfeccionar su válvula, pero su esfuerzo y su tiempo valieron la pena. La válvula consiste de una esfera de unos 19 milímetros de diámetro de caucho de silicio curado térmicamente, metida dentro de una jaula de unos 37 milímetros de acero inoxidable. En septiembre de 1960 se implantó en el corazón de un hombre de cincuenta y dos años, para salvarlo de los daños que le había causado una fiebre reumática. Sobrevivió casi 10 años, pudiendo conservar su empleo. A partir de 1967 se usan cada vez más las válvulas cubiertas con tela de polietileno, que curan por completo, debido a que la tela acaba por estar recubierta por tejido vivo; la nueva válvula ha llevado el índice de supervivencia a un 95 por ciento. Como dice Starr: “Para la válvula se necesitaba un cirujano que dijera cómo debía trabajar y un ingeniero que viera cómo hacerla”.

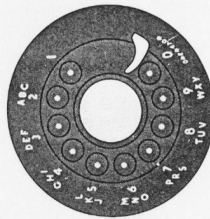
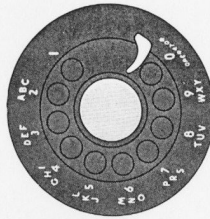
Así de dramático es el efecto del marcapaso, la línea vital electrónica de la señora Cohen. Esta diminuta máquina hace la función de una pequeña porción de tejido del corazón que le marca el ritmo al músculo del corazón. Como el timonel de una remera ordena los golpes de los remeros, así este marcapaso de ritmo ordena al músculo cuándo debe oprimir y cuándo debe descansar. Si el timonel no controla a su tripulación se pierde la carrera; pero si el marcapaso del ritmo del corazón falla, como ocurre en la enfermedad Stokes-Adams, los resultados suelen ser desastrosos. El rendimiento del corazón disminuye y a veces el órgano se para.

Regulación electrónica del corazón

El marcapaso artificial trabaja como el tejido marcapaso natural pues mediante impulsos eléctricos rítmicos manda órdenes a los músculos del corazón. Todo empezó en 1952 cuando Paul Zoll del Hospital Beth Israel, de Boston, concibió la idea de enviar al corazón un pulso de energía mediante electrodos que estuvieran fijados en el pecho, por fuera. Pero era tanta la energía necesaria para producir el estímulo necesario que los enfermos que usaron los primeros aparatos —que Zoll inventó en cooperación con los ingenieros de la Electrodyne Company— sufrieron intensas quemaduras en la piel y además unas contracciones parecidas a calambres en los músculos del pecho. Los adelantos realizados poco después en cirugía y en electrónica permitieron produ-



UN DISCO TELEFÓNICO ejemplifica los detalles, increíblemente minúsculos que deben considerarse los ingenieros de factores humanos al diseñar productos para uso humano. En 1947, los investigadores de los Laboratorios Bell dispusieron que el disco entonces en uso (*arriba*) se cambiara a fin de que la persona media viera los números desde un ángulo más amplio. Los ingenieros idearon un disco con los números fuera de los agujeros para los dedos (*abajo*). Pero al probarlo se vio que no eran distinguibles los agujeros negros. Mas al poner un punto que sirviera de blanco dentro de cada agujero (*último disco*), lograron el disco, en que es muy fácil y preciso marcar los números.



cir marcapasos que se llevaban por fuera, cuyos electrodos se hacían pasar por el pecho y se fijaban directamente al corazón. Sin embargo, estos aparatos eran abultados e incómodos; con frecuencia los enfermos sufrían infecciones en el punto en que el alambre se internaba hacia el corazón.

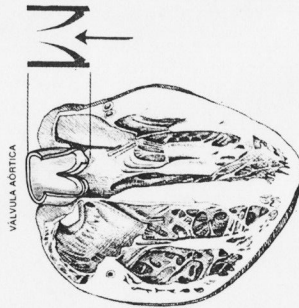
Por último, en 1960 dos equipos investigadores totalmente independientes —Wilson Greatbatch, ingeniero electrónico y William M. Chardack del Hospital de la Administración de Veteranos de Buffalo, Nueva York; y Adrian Kantrowitz del Hospital Maimonides de Brooklyn, que trabajaba con ingenieros de la General Electric Company— idearon un marcapasos similar al usado hoy en día. Guiados por su experiencia en construir generadores de pulso muy débiles para naves espaciales, los ingenieros crearon un generador de señales lo bastante pequeño para implantarse en el interior del cuerpo pero lo bastante poderoso para dar al corazón un estímulo suficiente. El alambrado de estos primeros modelos fue inadecuado; era tan delgado y tan delicado que se rompía con facilidad. En los tres años siguientes a su operación hubo que sustituir tres veces el marcapasos de la señora Cohen debido a que se rompieron sus alambres y por tanto dejó de funcionar.

Así las cosas, en 1965, un equipo de ingenieros de la fábrica de la General Electric, de Milwaukee, Wisconsin, rediseñó el sistema de alambrado del marcapasos. Dos ingenieros mecánicos —David Fischer y Hugh Forman— y dos ingenieros electricistas —Wendell Pyle y David Bowers— inventaron un marcapasos basado en un alambrado nuevo del todo, llamado el helicable, que consiste de 49 sargas o tiras de alambre de acero inoxidable y plata, embobinadas juntas y enrolladas en forma de resorte. El diámetro total del resorte es de 0,0018 de pulgada —la mitad del diámetro de un cabello humano.

El marcapasos de dos velocidades

Los ingenieros de la General Electric lograron hacer otras mejoras al marcapasos. Un instrumento de dos velocidades que se está fabricando ahora, permite acelerar o retardar los latidos del corazón tan sólo con pasar un magneto sobre la porción del pecho bajo la cual está implantado el generador de la señal; gracias a eso, cualquier persona puede acelerar el ritmo de su corazón cuando va a subir una escalera, o bien retrasarlo cuando va a echar una siesta. Los marcapasos más recientes, llamados unidades de "demanda" tienen sensores que actúan cuando el corazón late anormalmente, activando la unidad para que se corrija la situación.

Sin embargo, de todos los proyectos en esta área, el más emocionante sin duda alguna es la creación de un corazón completamente artificial; algunos de los más prominentes médicos cardiólogos han intervenido en este proyecto. Willem Kolff, que fue de los primeros en trabajar en el riñón artificial ha dirigido varios equipos en la Clínica Cleveland, Ohio y en la Universidad de Utah cuya meta era inventar un corazón artificial. Michael de Bakay, el famoso cardiocirujano, que inventó la técnica de sustituir arterias arruinadas con seccio-



VÁLVULA AÓRTICA

CON VÁLVULAS CARDIACAS ARTIFICIALES (abajo) inventadas por equipos de médicos e ingenieros, se han podido sustituir válvulas naturales; tal es el caso de la válvula aórtica vista arriba, que fue dañada por una enfermedad. Cada modelo de las válvulas artificiales fue adaptado de tipos hace mucho utilizados por los ingenieros mecánicos para aparatos domésticos como reguladores de tiro de hornos y excusados. Todos permiten que la sangre fluya por una arteria al contraerse el corazón; en seguida, para impedir el flujo de regreso, cierra la abertura que inicia la siguiente contracción.

nes de tubo de Dacrón, encabeza otro grupo en el Baylor College of Medicine de Houston, Texas. Y Teisuzo Akutsu, que anteriormente estuvo en el Maimonides Medical Center de Brooklyn, Nueva York, ha dedicado su vida al corazón artificial, en el seno de la Universidad de Misipi.

El diseño básico del corazón totalmente artificial ideado por Akutsu se parece bastante al corazón natural. Tiene una cámara de bombeo interna y flexible, la cual está hecha de caucho de silicio y un nicho rígido y externo de resina de fibra de vidrio, cubierta de caucho de silicio. Lo impulsa un chorro de aire comprimido introducido entre estas capas para expulsar a la sangre de la cámara interna, del mismo modo a como lo hacen las contracciones musculares en el corazón natural y normal. El flujo de aire está regulado con absoluta precisión mediante unos controles electrónicos. Con ayuda de dispositivos electrónicos semejantes se puede hacer que el corazón artificial funcione casi como un corazón natural.

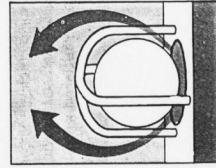
Y, sin embargo, quedan por resolver muchos problemas básicos. Uno es cómo proporcionar la energía necesaria para que el corazón artificial no se detenga jamás. Es obvio que no se puede mantener conectado al paciente a un tomacorriente durante las 24 horas del día, ni tampoco puede llevar cómodamente la batería de unos tres kilos que es necesaria para dar los treinta vatios que requiere su máquina. Lo ideal sería implantar en el cuerpo, junto con el corazón artificial la fuente de energía, razón por la cual deberá ser muy reducida. Lo más prometedor es un combustible nuclear como el plutonio 238, siempre y cuando no cause daños al hombre.

En busca de un material para el corazón artificial

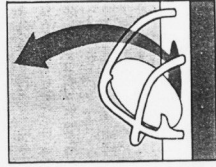
Otro obstáculo, quizá más grave, es el hecho de que aún no se encuentra un material perfecto para los corazones artificiales. Debe ser fuerte y durable, inmune a los ataques de los fluidos de la sangre y de los tejidos e inocuo al organismo del paciente. Sobre todo, debe ser compatible con la sangre humana a fin de que no produzca coágulos.

Hasta hoy, el material que mejor cumple tales requisitos es el caucho de silicio, que, por desgracia tiene dos defectos muy graves. Para empezar se rasga con facilidad por lo que hay que reforzarlo con algo más fuerte, como una red de Dacrón; y después, el otro gran problema que presenta es que ha provocado coágulos en animales de experimentación. La mayoría de los investigadores, entre otros el propio Akutsu convienen en que la solución al problema del corazón artificial quizá se encuentre en la química de los polímeros y en el ingeniero químico. Si pueden hacer una molécula gigante con las propiedades necesarias, habrán dado un paso inmenso en el camino de saber si es posible o no sustituir totalmente al corazón humano.

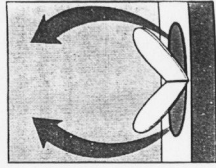
Akutsu es un hombre muy cauto. "No tengo idea —dice— de cuándo tendremos éxito en nuestro trabajo. Cada vez que alguien me lo pregunta, yo siempre contesto, «Diez años.»"



VÁLVULA DE BOLA EN LAJUNTA



VÁLVULA DE DISCO EN PIVOTE



VÁLVULA DE MARIPOSA

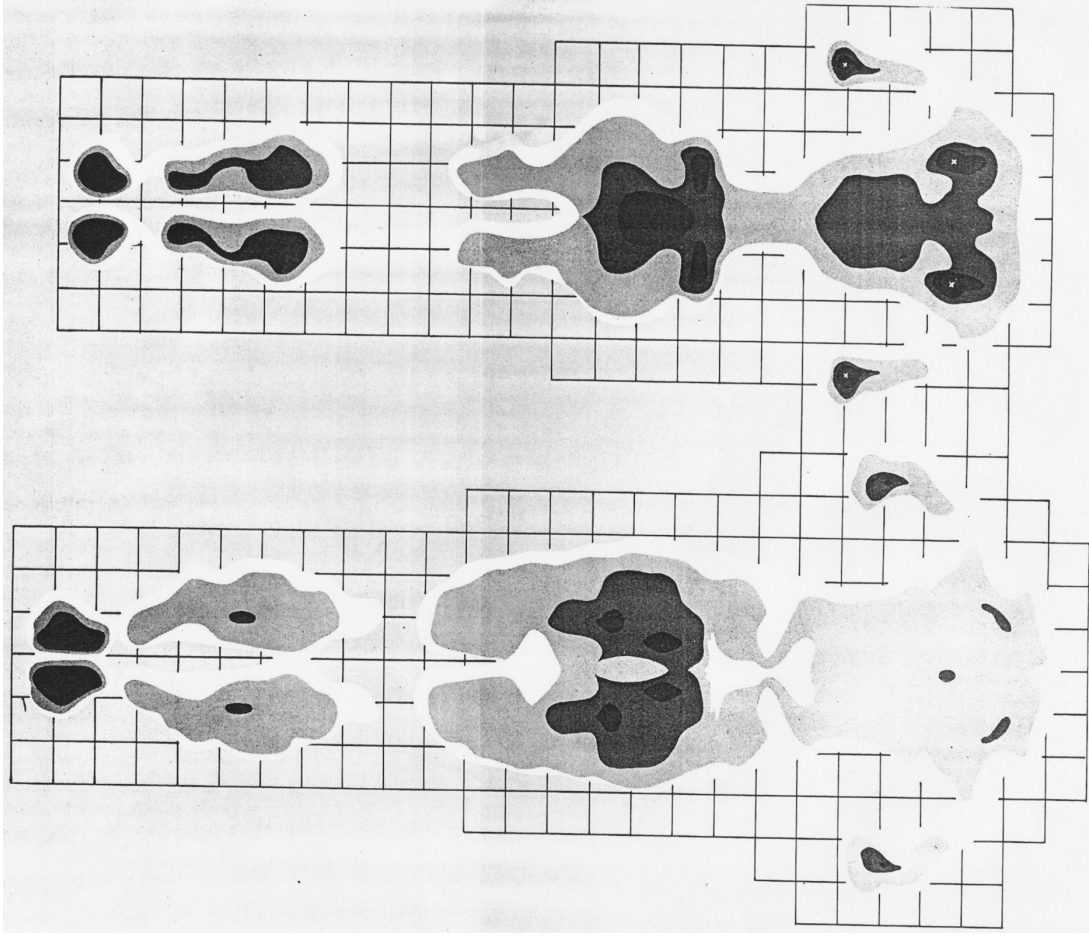
Máquinas adaptadas al hombre

Al marcar un teléfono, manejar un auto o estudiar un radar-scope se unen nuestras facultades sensoriales, de decisión y musculares a un sistema de ingeniería. Pero si se oprime el botón equivocado, o el pánico nos domina cuando tenemos que atender a demasiados indicadores o bien el asiento se vuelve demasiado incómodo quiere decir que el sistema no funciona adecuadamente. El precio del error puede ser un desastre: durante la Segunda Guerra Mundial, y en un período de 22 meses, hubo 457 accidentes en la Fuerza Aérea Norteamericana debido a que los pilotos confundieron los controles de los alerones con los de aterrizaje.

Los ingenieros se enfrentan a problemas tales como hallar el tamaño ideal de los agujeros para los dedos en los discos telefónicos, determinar la firmeza adecuada de las camas (*derecha*) y crear señales de caminos que sean legibles a los conductores que vayan a 100 kph. Donde quiera que el hombre se encuentre en contacto con una máquina, se hace indispensable el saber de los ingenieros de factores humanos, ya que la máquina tendrá éxito si en su diseño se han tomado en cuenta las limitaciones y habilidades de su operador.

UN MAPA PARA UNA BUENA NOCHE

Para averiguar por qué en las camas blandas no se descansa bien, los ingenieros de factores humanos han hecho gráficas (*derecha*) de la distribución de la presión del cuerpo sobre colchones blandos y duros. En los colchones duros (*izquierda*) el apoyo se carga en partes del cuerpo relativamente insensibles, en cambio los blandos muestran porque se carga tanto en porciones sensibles como insensibles.



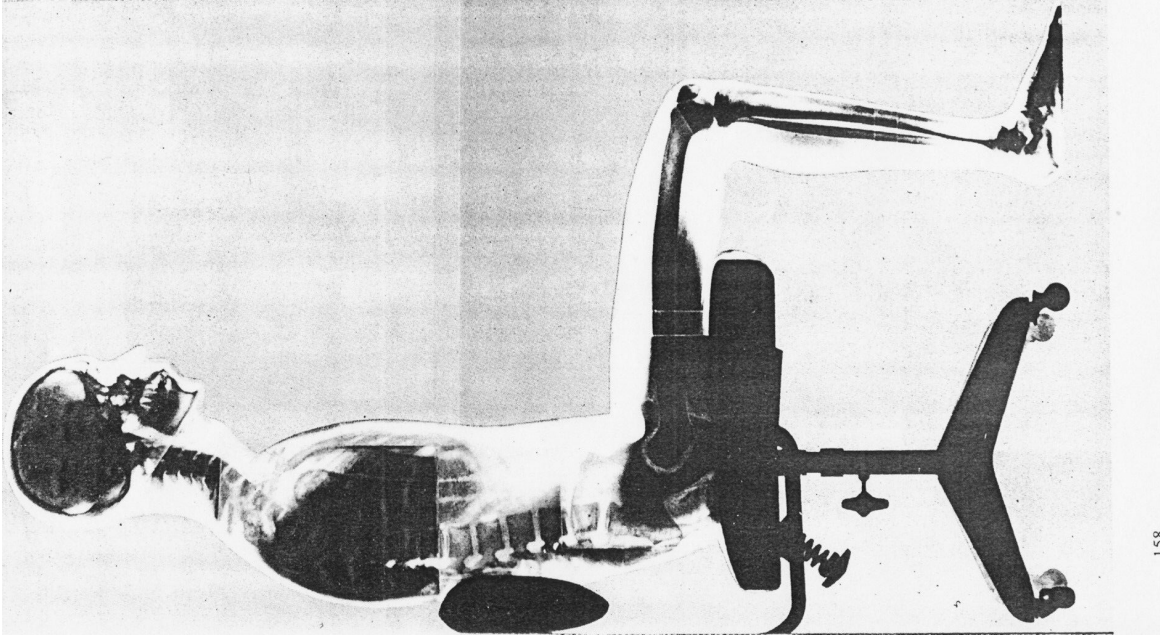
Las sillas y la mecánica orgánica

El sentarse en una silla no es posición de descanso universalmente adaptada. Hay gente en el mundo que descansa parándose en una pierna; otras se arrojan al suelo cruzando las piernas. Pero en la civilización occidental, la silla responde a una necesidad de descanso sin estar durmiendo. Veces hay en que la silla debe recibir el cuerpo de una secretaria o de un hombre de negocios por ocho o mas horas al día. Jiro Kohara, de la Universidad Chiba de Japón, ha examinado sistemáticamente como las sillas afectan al cuerpo. Sus estudios incluyen fotos en rayos X de posturas del esqueleto, pruebas químicas de la distribución de la presión en asientos acojinados, filmes de los movimientos del cuerpo en una silla tras largos lapsos de estar sentado y mediciones eléctricas de fatiga muscular.

Si el asiento es muy alto o muy largo puede reducir la circulación pues se aprietan los vasos sanguíneos de los muslos. Si el respaldo no sostiene la espina entre la segunda y cuarta vértebras lumbares, los músculos abdominales y de la espalda cargan con parte del peso del cuerpo, lo que produce incomodidad y cansancio. Quizá lo peor sean los asientos suaves. Las pruebas de Kohara indican que un asiento suave no equilibra bien el cuerpo, los músculos trabajan sin descanso para mantener la posición. Y como el acolchamiento distribuye parejo el peso del cuerpo, Kohara opina que al cerebro se le priva de la irritación subconsciente que estimula el pensar eficaz.

DONDE NECESITA APOYO LA ESPINA

Esta foto en rayos X de un oficinista muestra con toda exactitud dónde el respaldo de su silla oprime su espina. Tras examinar la foto, Kohara sugiere que el respaldo se bajara unos tres centímetros, lo cual retiraría el apoyo a las vértebras relativamente inflexibles del nivel del pecho, y abrazaría a las lumbares, ya que ellas cmenian el punto central de la curvatura de la espina.

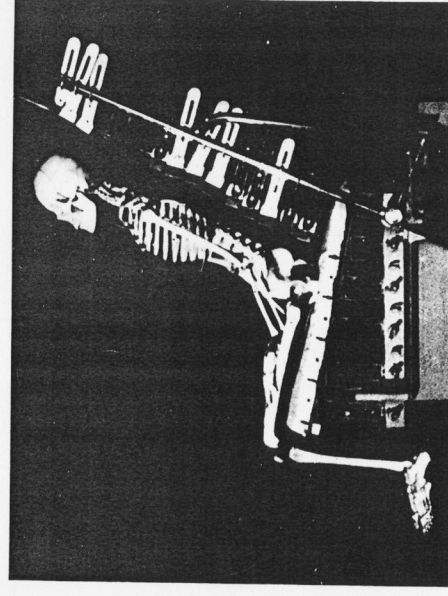


MOLDE DEL APOYO DE UNA SILLA

Mediante una simple reacción química, Kohara (*arriba, de pie*) determina la distribución de la presión del cuerpo. Sienta a una persona sobre un trozo de papel que absorbe una sustancia que



(*arriba, derecha*). La gráfica superior representa el mejor diseño de asiento, porque son los huesos pélvicos los que reciben más presión, en tanto que los muslos casi no sufren ninguna presión.



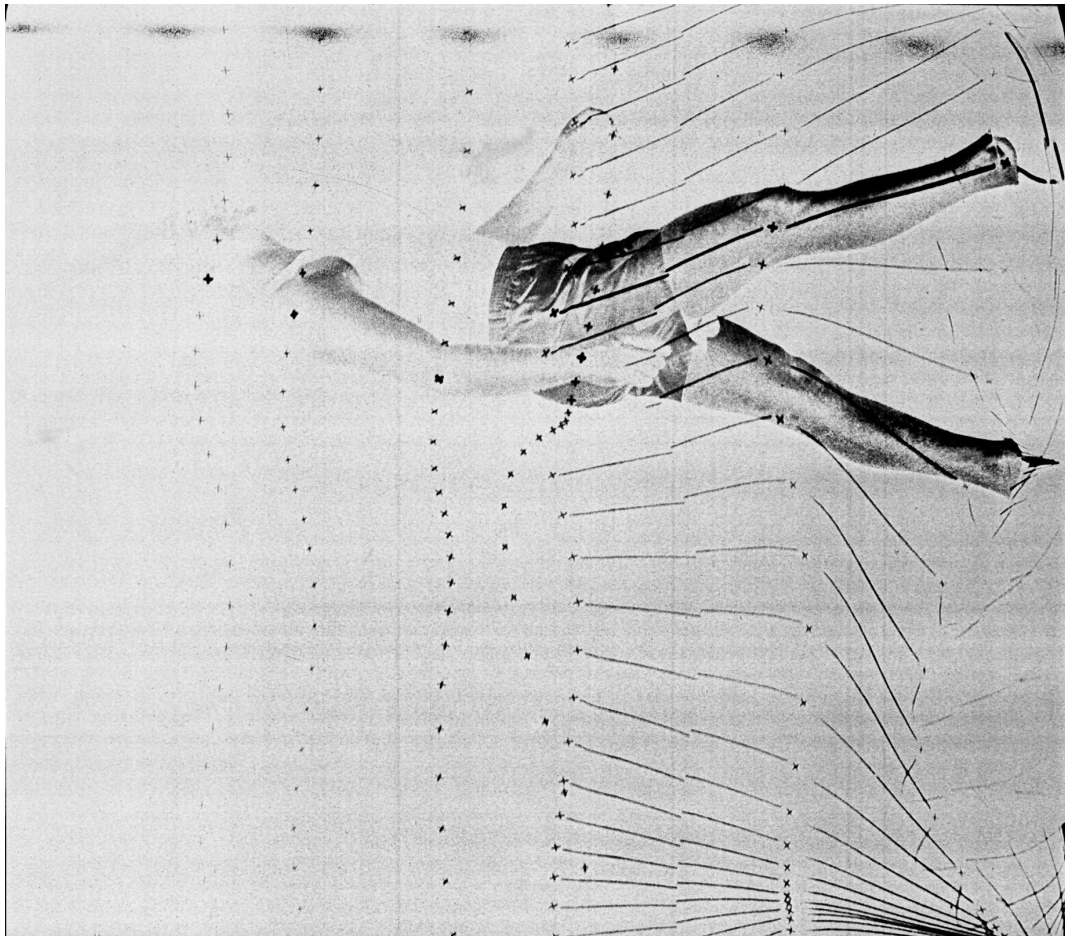
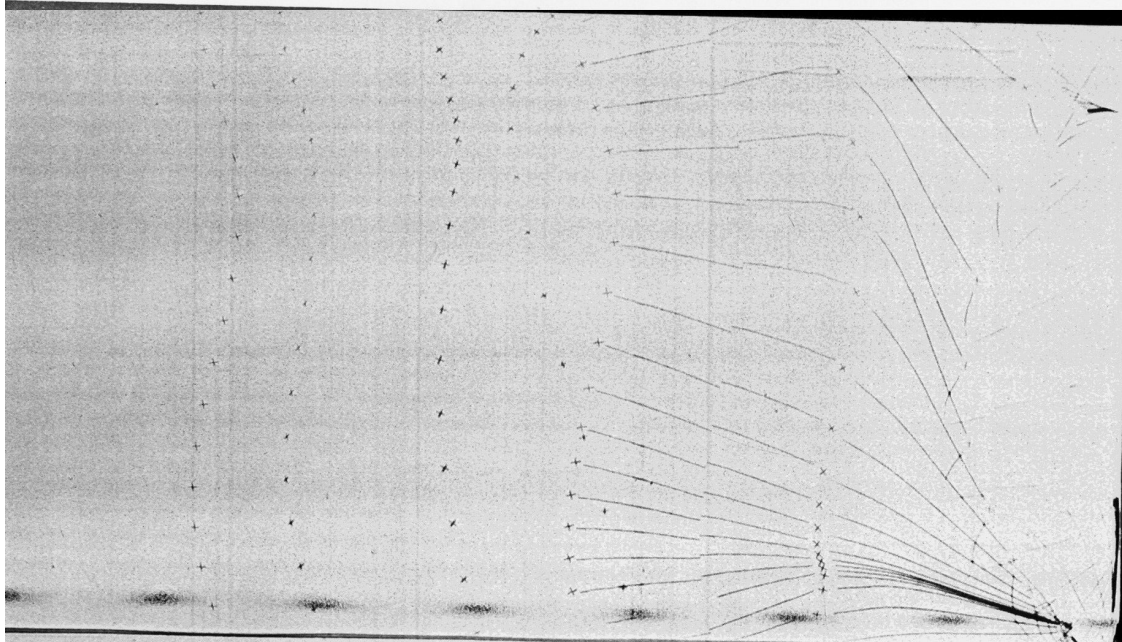
SILLA AJUSTABLE DE PRUEBA

Para diseñar asientos de automóviles, los ingenieros de factores humanos usan un esqueleto de plástico y un "asiento universal de prueba". El asiento les permite ajustar la inclinación, la forma del apoyo en la espalda y hasta la elasticidad de los resortes. A resultados de tales estudios, muchos asientos de autos tienen resortes de brio diferentes para dar un mejor sostén al cuerpo en aquellos sitios en que es mucho mayor la presión del cuerpo.

Cómo ven los ingenieros al cuerpo

El cuerpo humano es extraordinariamente eficiente y adaptable; puede distinguir entre 400.000 especies de sonidos, bombear unos dos millones de litros al año por su sistema circulatorio y hasta planear su futuro. El sencillo acto de caminar atrae la admiración de los ingenieros; ninguna de las máquinas actuales puede duplicar ese movimiento tan fluido. La foto de la izquierda es uno de los muchos estudios sobre factores humanos encauzados a descubrir los complejos movimientos que entrafía el caminar. Se colocaron tiras de cinta reflejante en las caderas, rodillas y tobillos; ante la lente de la cámara se colocó un disco ranurado para que al caminar el hombre se produjera una imagen diagramática de sus movimientos, mostrando la combinación de la rotación de las coyunturas.

Tales pruebas sirven de guía para diseñar miembros artificiales; los miembros más modernos tienen hule espuma en las coyunturas de los tobillos y dispositivos hidráulicos en las coyunturas de las rodillas para que así el inválido pueda caminar con mayor suavidad que antes. Los ingenieros están ahora empeñados en un miembro artificial que contará con pequeños motores eléctricos, que estarán controlados por los impulsos nerviosos del propio inválido. Los movimientos de tales miembros artificiales no sólo se verán naturales sino que también se "sentirán" casi completamente naturales.





UN GIGANTE DÓCIL
 Demostrando la seguridad de su toque, este gigante mecánico se inclina hacia adelante y hacia atrás, imitando los movimientos del operador que va dentro de él. También se alza a cinco toneladas, duplica los movimientos de un hombre que va dentro. Los ingenieros de factores humanos están experimentando con un sistema de control aún más complejo para mover un esqueleto de acero (*derecha*) que permitirá a los soldados del Tio Sam levantar pesos de casi media tonelada. Llamado Amplificador Humano, llevará un sistema de comunicación de ida y vuelta: en el momento en que el operador toca o levanta un objeto, el esqueleto le transmite la presión; cuando responde a esas señales, el esqueleto de acero percibe la acción muscular, la imita con toda exactitud y además agrega el poderosísimo empuje de sus motores hidráulicos.

Máquinas que imitan al hombre

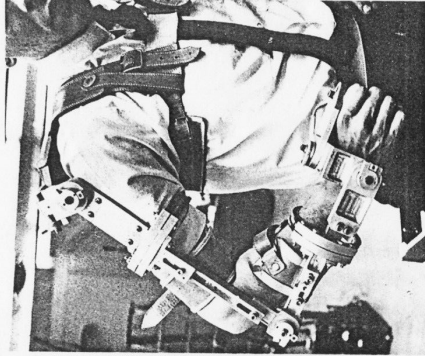
A fines del siglo XIX maravilló a los londinenses un rechinante robot, llamado Mephisto, que jugaba muy bien al ajedrez. No tardó en descubrirse que en su interior había un enano. Hoy día, los ingenieros de factores humanos se valen del mismo ardid, pero no para engañar. Han descubierto que un hombre guía mejor los movimientos de una máquina si él hace los movi-

mentos. Este monstruo de ochenta y cinco toneladas, diseñado para servir a los aviones nucleares, duplica los movimientos de un hombre que va dentro. Los ingenieros de factores humanos están experimentando con un sistema de control aún más complejo para mover un esqueleto de acero (*derecha*) que permitirá a los soldados del Tio Sam levantar pesos de casi media tonelada. Llamado Amplificador Humano, llevará un sistema de comunicación de ida y vuelta: en el momento en que el operador toca o levanta un objeto, el esqueleto le transmite la presión; cuando responde a esas señales, el esqueleto de acero percibe la acción muscular, la imita con toda exactitud y además agrega el poderosísimo empuje de sus motores hidráulicos.

Este brazo de acero sirve para determinar el diseño de las articulaciones del Amplificador Humano. El esqueleto de acero se agacha a levantar una sala (*abajo*). El esqueleto de acero del de la derecha es para probar el motor. El otro lleva una réplica de madera, en la que incluyen cilindros que representan a los motores que le darán casi 20 caballos de fuerza.

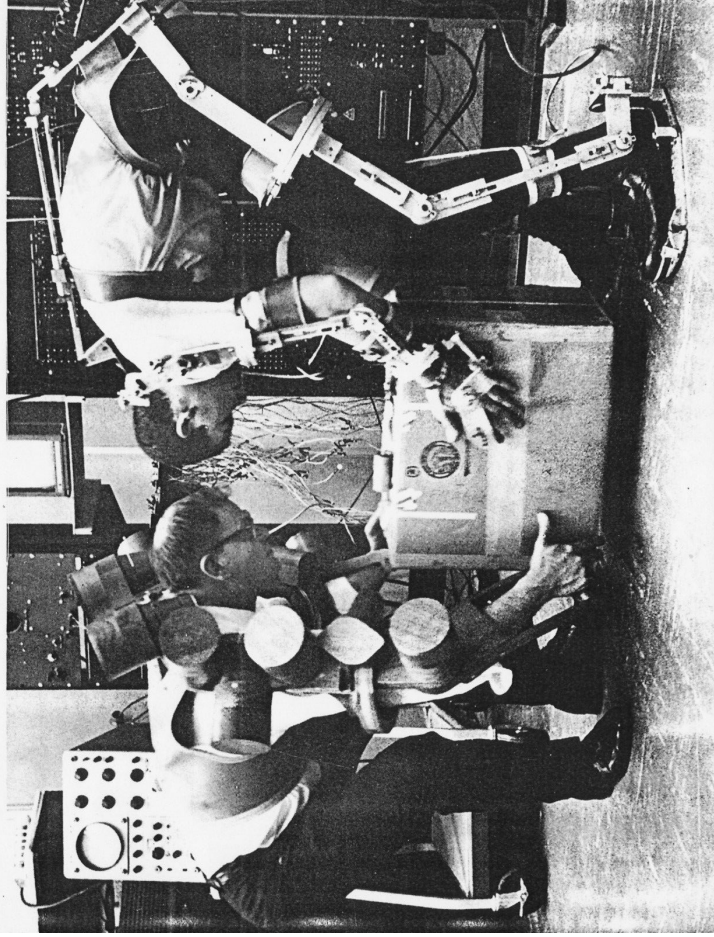
UN BRAZO DE ACERO

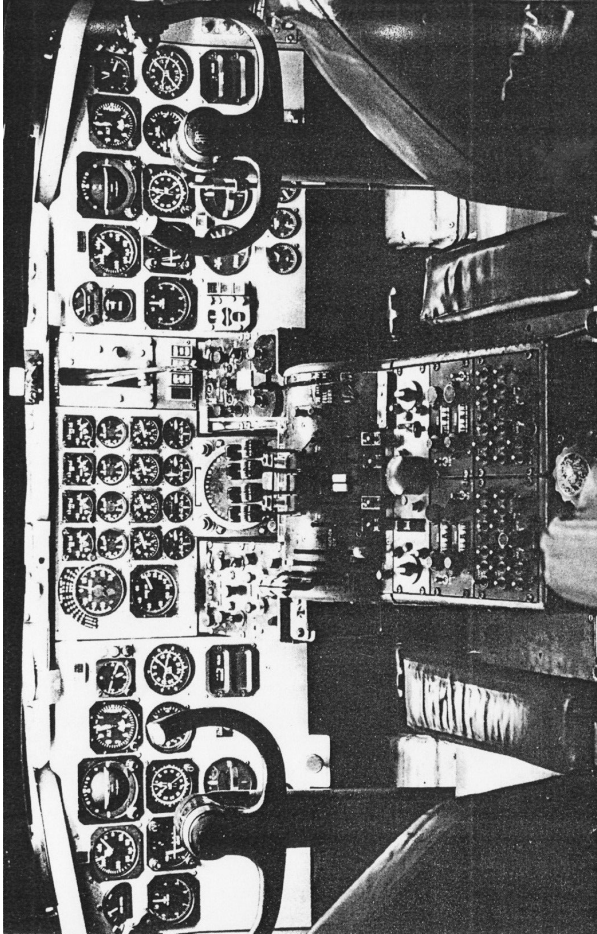
Este brazo de acero sirve para determinar el diseño de las articulaciones del Amplificador Humano. El esqueleto de acero se agacha a levantar una sala (*abajo*). El esqueleto de acero del de la derecha es para probar el motor. El otro lleva una réplica de madera, en la que incluyen cilindros que representan a los motores que le darán casi 20 caballos de fuerza.



INVENTANDO LA SUPERFUERZA

Los ingenieros del proyecto Amplificador Humano se agachan a levantar una sala (*abajo*). El esqueleto de acero del de la derecha es para probar el motor. El otro lleva una réplica de madera, en la que incluyen cilindros que representan a los motores que le darán casi 20 caballos de fuerza.





Para evitar errores de operación

Pocos hechos mecánicos están tan llenos de emoción como el despegue o aterrizaje de un avión: el piloto debe no quitar el ojo de la pista, vigilar el demás tráfico aéreo, observar los instrumentos de vuelo y operar los controles. En tales condiciones es más importante acoplar la máquina al cerebro del hombre que a su cuerpo. Desde la guerra de 1939, miles de ingenieros de factores humanos se han dedicado a simplificar instrumentos y controles.

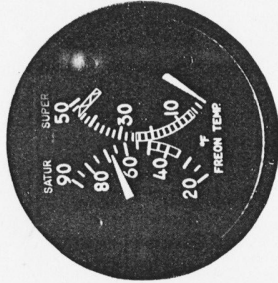
He aquí algunos de sus cambios:

- Colocar los seis instrumentos más importantes en la misma posición en todos los aviones; frente al piloto.
- Hacer que todos los instrumentos del motor marquen las "nueve" en condiciones de despegue. Con esta disposición, se pueden leer 32 instrumentos en el mismo tiempo que antes se necesitaba para leer cuatro, que empezaban en diferentes posiciones.
- Diferenciar los controles dándoles diferentes formas para hacerlos más fácilmente reconocibles (*abajo*).

Estos cambios de diseño son provisionales, según opinan la mayoría de los ingenieros de factores humanos. Afirmar que los aviones que habrá en el futuro no tendrán arriba de dos instrumentos.

ALTIMETRO DE FACIL LECTURA

El indicador de altitud del DC-8 tiene tres manecillas para indicar cientos, miles y decenas de miles. Durante el aterrizaje y el despegue, aparece un número en la parte rayada de la esfera, que da un informe en cientos de pies. Otros altímetros tienen una manecilla para cientos y números intercalados para cifras mayores.



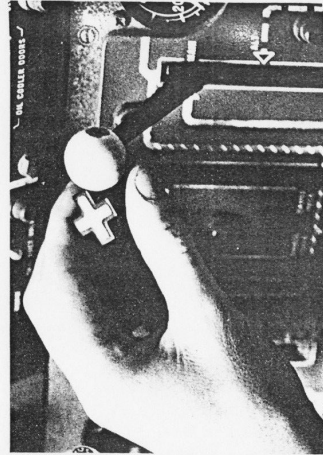
LOS MEDIDORES DE TEMPERATURA

Este instrumento doble para el sistema de aire acondicionado del DC-8 tiene zonas sombreadas en las esferas para resaltar los defectos de funcionamiento. Si el indicador se mueve en esas zonas el funcionamiento es malo. El indicador de la izquierda para la temperatura de los gases refrigerantes indica sobrecalentamiento.

UN MURO DE INSTRUMENTOS

El piloto y el copiloto de un jet DC-8 tienen ante sí cientos de instrumentos y controles. Enfrente de cada rueda de control están los principales instrumentos de vuelo: indicador del horizonte, girocompás, indicador de la velocidad del aire, altímetro, indicador de velocidad vertical e indicador de cruz, que ubica al avión sobre la tierra. Los cuadrantes entre el piloto y el copiloto se refieren a los motores. El estado de cada motor lo dan las columnas verticales de cuatro instrumentos.

mentos dispuestas así según la máxima de factores humanos de que los instrumentos relacionados deben quedar juntos. Es importante que todos los instrumentos estén iluminados uniformemente. La caja del piloto contiene los controles de radio.



UN ACCELERADOR CUÁDRUPLE

Los controles de aceleración de los cuatro motores del DC-8 están juntos a fin de que el piloto pueda abrirlos o cerrarlos uniformemente, pero también podrá hacer ajustes individuales a cada uno de los motores, según se requiera.

UNA CRUZ PARA LA ALIMENTACIÓN CRUZADA

Con una cruz se marca el control de la alimentación cruzada, o sea el paso del combustible de un tanque a otro. Así, por tacto y por vista, el piloto lo distingue de los controles principales de combustible que son redondos.



UNA ALA PARA LOS ALERONES DE LAS ALAS

Con la forma del elemento que controla, este botón fija el ángulo de los alerones de las alas. Los ingenieros procuran que los controles sean distinguibles hasta con guantes, y que los distinga tanto su tamaño como su forma.

UNA RUEDA PARA EL TREN DE ATERRIZAJE

El control del tren de aterrizaje se reconoce por su forma de rueda y por ser blanco y negro, lo que lo diferencia de los vecinos controles de los alerones. Al momento de bajarlo, bajan las ruedas y después al subir se suben.

Información en un instante

La visión del hombre no ha cambiado en miles de años, pero la velocidad con que viaja ha llegado a ser mucho mayor de lo que era antes. Este bosque de señales que vemos abajo parece desconocer este hecho. Para un conductor que viaje a 80 ó 90 kilómetros por hora, estas señales son punto menos que inútiles. Su letra es pequeña, su colocación confusa y las flechas parecen indicar direcciones opuestas.

Desde un punto de vista de factores humanos son mucho más efectivos para dar información al cerebro, las se-

ñales europeas de la derecha. El uniformar las señales —un triángulo para indicar algún peligro, un círculo cruzado para ciertas prohibiciones— permite al conductor jerarquizar en seguida la información. Pruebas de factores humanos han revelado que los signos con mayúsculas y minúsculas —como los de la carretera suiza de la derecha— son más legibles que los de sólo mayúsculas. A pesar de ello, en EE. UU. sólo unas pocas vías rápidas cuentan con señales que se apegan a las indicadas por los ingenieros de factores humanos.

Maraña de señales de una carretera de Ohio, cumple con requisitos federales usados en 1925 —hoy están en desuso.



ESCUELA PRÓXIMA



CAMINO RESALDADO



HOMBRES TRABAJANDO



NO AVANICAR



NO CAMIONES

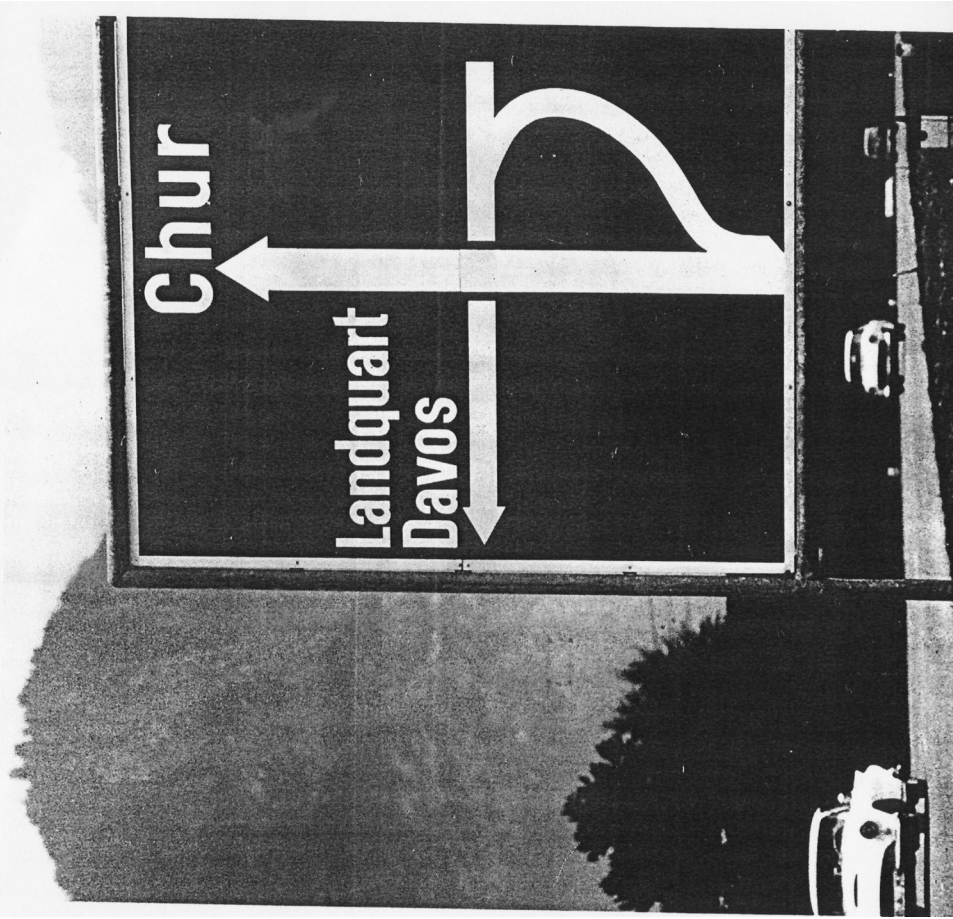


NO VUELTA A LA DERECHA

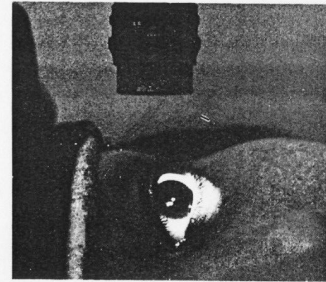
UN LENGUAJE UNIFORME

En 1949, una convención de las Naciones Unidas estableció un grupo de símbolos internacionales para carreteras que han resultado de gran utilidad por ser reconocibles al instante sin necesidad de poner palabras explicativas. La mayoría de las naciones europeas los han adoptado, con lo que viajar en ese continente, de tantas lenguas, se ha hecho mucho más fácil de lo que antes fue.

Señal suiza indica una rampa de salida y dos puntos de destino. En EE.UU. destacan la carretera y no el destino.



Encauzando la percepción humana



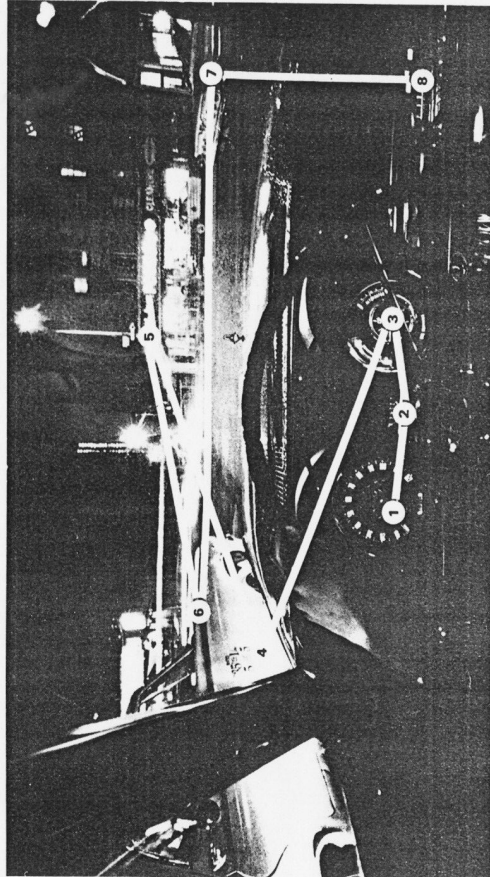
ACERCAMIENTOS DE OJO
Para probar los movimientos del ojo de un "conductor" se afoca la lente de una cámara de cine al punto exacto en que se asesta también un delgado rayo de luz. El rayo, reflejado en la córnea, produce una huella blanca en la película, que muestra simultáneamente cómo se mueve el ojo.

De entre las principales funciones de los ingenieros de factores humanos destaca la de hallar el mejor canal sensorial —vista, oído o tacto— para cualquier tarea hombre-máquina. En la demostración vista en estas páginas, los ingenieros estudiaron la eficacia del canal visual, con una cámara especial que fotografía los movimientos del ojo. Las pruebas indican si la información que recibe un conductor a través del parabrisas y del tablero de instrumentos le llega eficientemente.

Hay veces en que hay que cambiar el propio canal sensorial. Los ingenieros de factores humanos saben que la percepción auditiva tiene ventajas claras sobre la visual: puede transmitir con

más eficacia las señales de peligro; es mejor para mensajes más sencillos; y puede servir para descargar un canal visual sobrecargado. Los fabricantes de coches exploran ahora la conveniencia de proporcionar señales de caminos con transmisores de radio que emitirían órdenes a los radios de los autos, como "¡Alto!" o "¡Espacio!"

Y hasta el tacto tiene sus propias ventajas útiles. Los ingenieros de aviación trabajan en un dispositivo que por medio de presión indicará al piloto qué dirección tomar al aterrizar. Otros ingenieros de factores humanos estudian sistemas de guía de vehículos que se comunicarán con el operador mediante pequeños toques eléctricos.



RASTRANDO LOS MOVIMIENTOS DEL OJO

Cuando al sujeto se le mostró la foto superior del tablero de un auto y del tráfico de una calle, sus ojos vieron el velocímetro y luego hicieron un zigzag según indican los números de las líneas. Las

fábricas de autos se venían también de líneas semejantes —incluso en autos en marcha— para acopiar informes que quizá con el tiempo vendrán a dar nuevas posiciones para los instrumentos.

¿QUÉ ATRAE LA ATENCIÓN?

Mientras se mantiene rigurosamente aprisionado a este sujeto de un estudio de movimientos del ojo, una cámara fotográfica simultáneamente el reflejo en el espejo (centro) del tablero de la foto y también de la córnea de un ojo a medida que mira de un objeto a otro. Los resultados obtenidos de estos estudios se aplican tanto al diseño de autos como también a la eficacia de los anuncios.

