



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

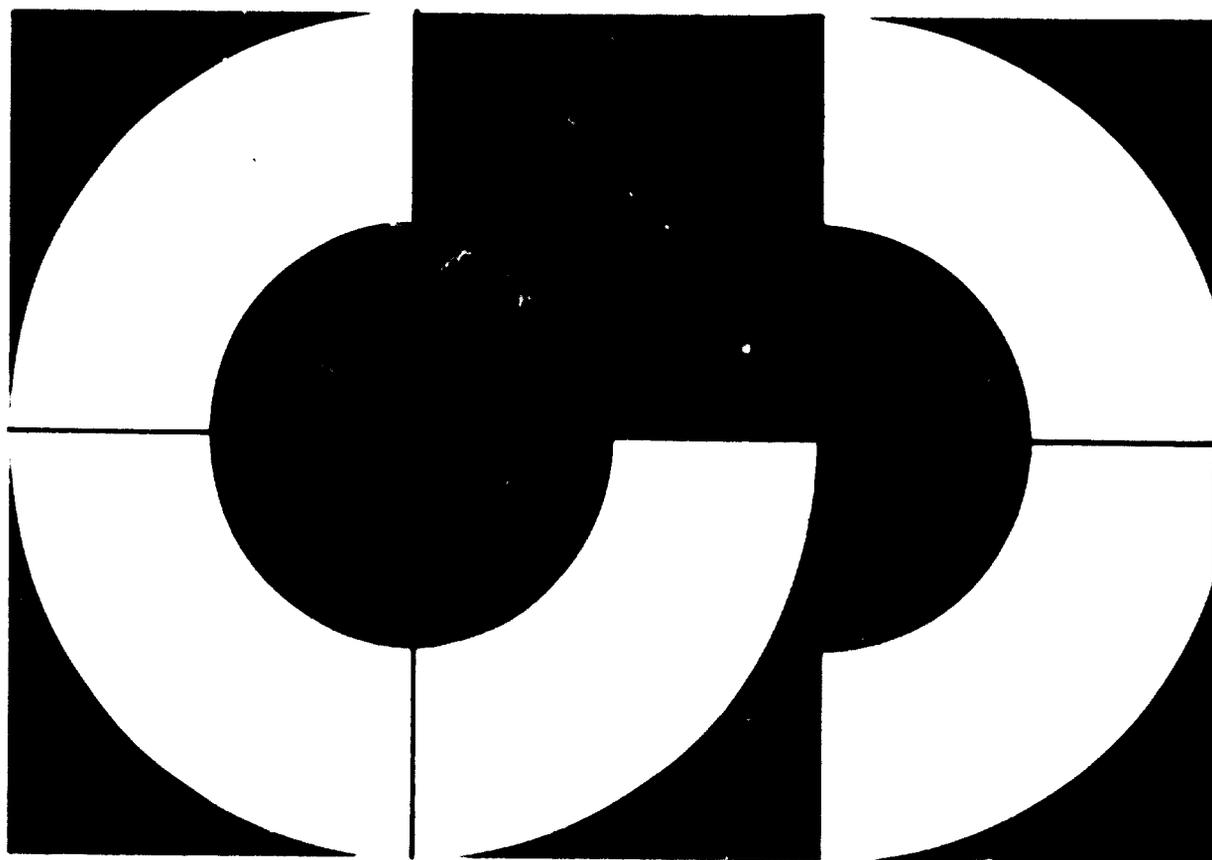
Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

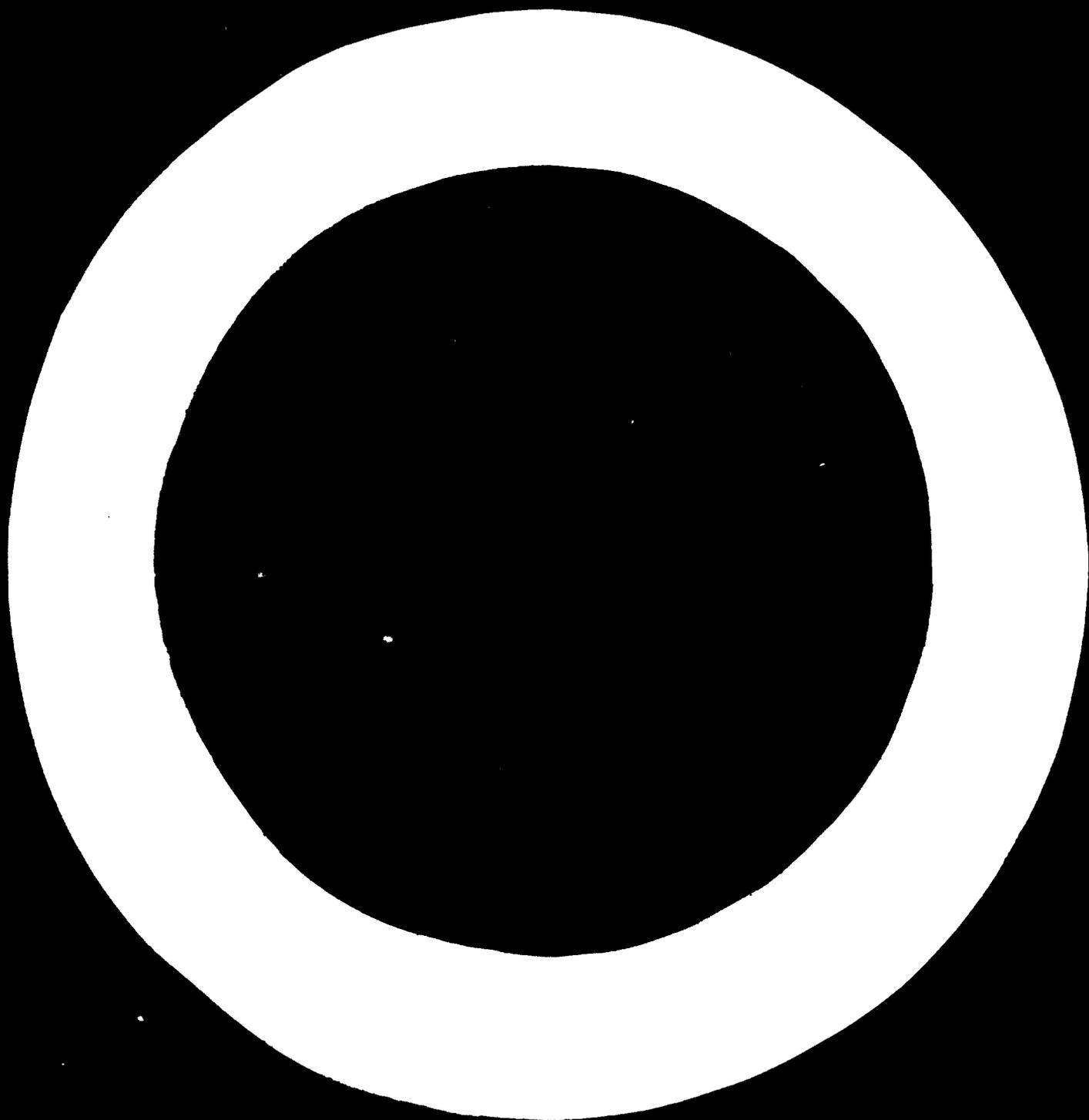
For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

**EMPLEO EFICAZ DE  
MAQUINAS-HERRAMIENTAS  
Y ASPECTOS CONEXOS  
DE LAS ACTIVIDADES DE GESTION  
EN LOS  
PAISES EN DESARROLLO**

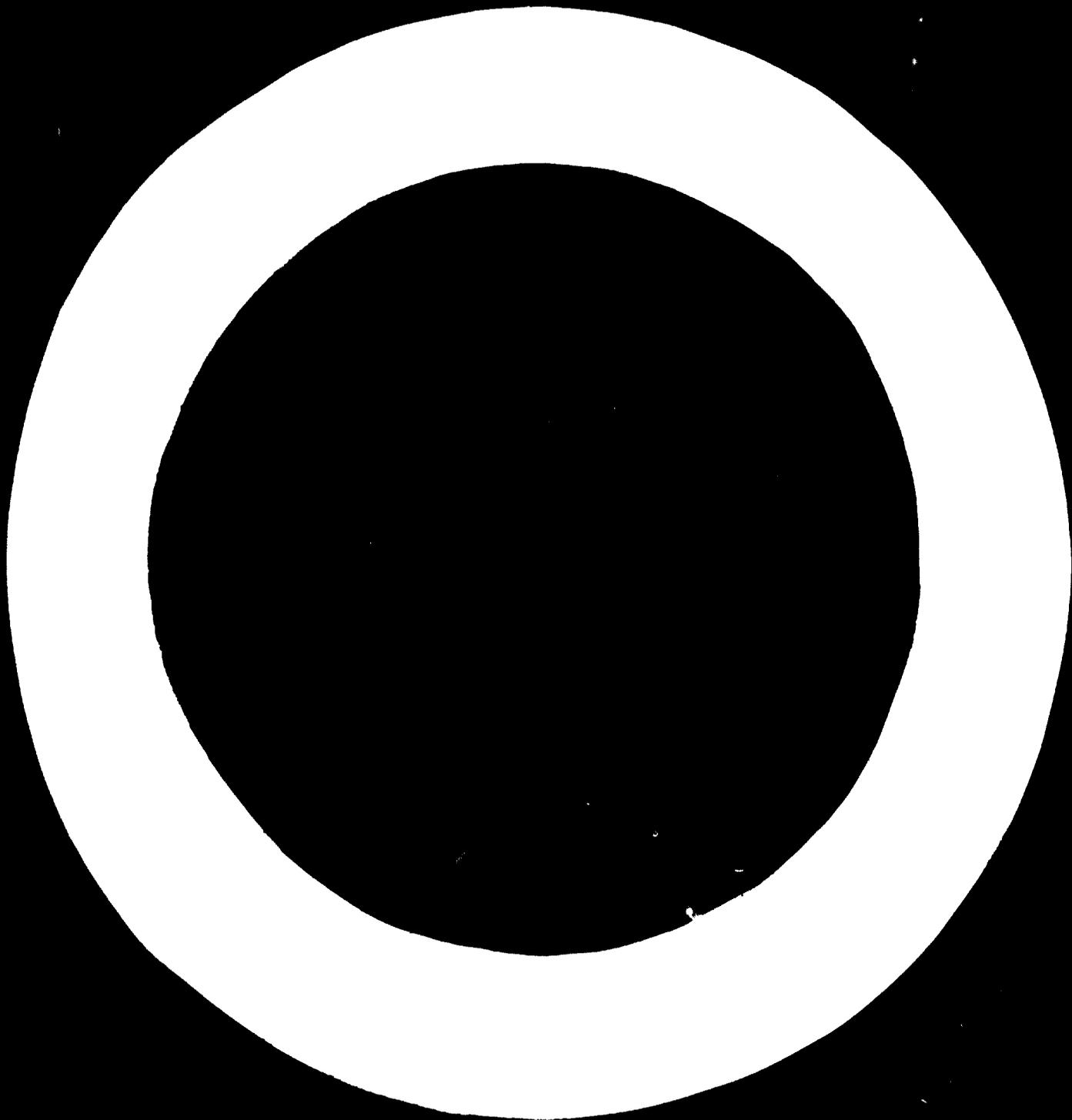


**NACIONES UNIDAS**

(99 p.)



**EMPLEO EFICAZ DE MAQUINAS-HERRAMIENTAS,  
Y ASPECTOS CONEXOS DE LAS ACTIVIDADES DE GESTION,  
EN LOS PAISES EN DESARROLLO**



ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA  
EL DESARROLLO INDUSTRIAL  
VIENA

*Empleo eficaz de  
máquinas-herramientas,  
y aspectos conexos de las  
actividades de gestión,  
en los países en desarrollo*



NACIONES UNIDAS  
Nueva York, 1972

El material que aparece en esta publicación (excepto aquel que la ONUDI haya reproducido con autorización de otros autores o editores) se podrá citar o reproducir con entera libertad, pero se agradecería que se mencionase su origen y que se enviase un ejemplar de la publicación en que figure la cita o reproducción.

II D/77

**PUBLICACION DE LAS NACIONES UNIDAS**

Núm. de venta: S. 72. II. B. 6

Precio: \$ 1,75 (EE.UU.)

(o su equivalente en la moneda del país)

## Prólogo

La industria de la construcción de máquinas-herramientas fue uno de los principales temas examinados en el Simposio Interregional sobre el Fomento de las Industrias del Metal en los Países en Desarrollo, que se celebró en Moscú, con el patrocinio de las Naciones Unidas, en 1966. Las máquinas-herramientas desempeñan un papel clave para la expansión de la industria manufacturera, dada la importancia que el trabajo de metales tiene para este sector de la economía en casi todos los países que ya cuentan con cierta producción industrial. La selección acertada y el funcionamiento y mantenimiento eficaces de las máquinas-herramientas tienen gran importancia desde las más tempranas fases de la industrialización. Aunque son relativamente pocos los países en desarrollo a los que pudicra resultar ventajosa la fabricación de máquinas-herramientas, a la mayoría de ellos les afectan estas cuestiones, puesto que son usuarios de esas máquinas.

En la publicación anterior<sup>1</sup> se trataba de la selección y de las pruebas de recepción de máquinas-herramientas. La presente publicación hace pareja con dicho volumen y trata más bien, en relación con esas máquinas, de su utilización eficaz, término este que se utiliza en su sentido más amplio, pues incluye no sólo el cuidar de que las máquinas-herramientas funcionen con la debida eficiencia técnica (lo que entraña la aplicación de procedimientos de mantenimiento correctos) sino también el ejercicio de funciones de gestión conexas relacionadas con la conveniencia de minimizar los costos de producción y de idear productos apropiados para las instalaciones manufactureras de la firma y para los mercados de ésta.

El presente estudio fue preparado en colaboración con la Secretaría de la ONUDI por tres consultores: el profesor A. O. Schmidt, del Departamento de Ingeniería de Organización Industrial de la Universidad del Estado Norteamericano de Pensilvania; el profesor Frank R. Bacon Jr., de la Escuela Superior de Organización de Empresas, de la Universidad del Estado Norteamericano de Michigan; y el Sr. Robert Krammer, Vicepresidente y copropietario de la empresa Seatech Engineering, Inc., de Southfield (Michigan, Estados Unidos). El Sr. Schmidt cuenta con muchos años de experiencia práctica en materia de proyección y utilización de máquinas-herramientas en países en que las industrias mecánicas han alcanzado diferentes grados de desarrollo. El Sr. Bacon cuenta con veinte años de experiencia, en los Estados Unidos y en otros países, en materia

<sup>1</sup> Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) 1971. *Selección y pruebas de recepción de máquinas-herramientas de corte para metales: guía práctica para los países en desarrollo* (Núm. de venta: S. 71.II.B.3).

de investigaciones de mercados, y otras conexas, relacionadas con los productos de las industrias mecánicas de empresas pequeñas y grandes. El Sr. Kramer, que durante muchos años fue ingeniero especializado en desarrollo tecnológico y luego ingeniero jefe de desarrollo en la esfera de la manutención de materiales, ha trabajado asimismo como consultor; también el Sr. Kramer ha trabajado en los Estados Unidos y en otros países.

Desearnos expresar nuestro agradecimiento a las diversas entidades que se indican a continuación, por haber nos autorizado a reproducir diversos materiales, en particular ilustraciones:

- 1) *American Industrial Hygiene Association Journal*, Smithfield, Michigan, Estados Unidos;
- 2) Bank Administration Institute (antes: National Association of Bank Auditors and Controllers), Park Ridge, Illinois, Estados Unidos, que publica *Auditgram*;
- 3) Conover-Mast Publishers, Inc., Nueva York, que publica *Mill and Factory*;
- 4) Conveyor Equipment Manufacturers Association, Washington, D.C., Estados Unidos;
- 5) Crane Manufacturers Association of America, Inc., Pittsburgh, Pensilvania, Estados Unidos;
- 6) Liberty Mutual Insurance Company, Research Centre, Hopkinton, Massachusetts, Estados Unidos;
- 7) Monorail Manufacturers Association, Pittsburgh, Pensilvania, Estados Unidos;
- 8) Morgan-Grampian, Inc., Nueva York, que publica *Factory*;
- 9) Rapistan, Inc., Grand Rapids, Michigan, Estados Unidos;
- 10) Society of Manufacturing Engineers (antes: American Society of Tool and Manufacturing Engineers (ASTME)), Dearborn, Michigan, Estados Unidos;
- 11) The American Society of Mechanical Engineers, Nueva York.

## INDICE

	<i>Página</i>
<i>Introducción</i> . . . . .	1
<b>Capítulo 1 MÁQUINAS-HERRAMIENTAS: DIFERENTES TIPOS Y APLICACIONES</b> . . . . .	5
Novedades en la esfera de las máquinas-herramientas y del utillaje . . . . .	5
Precisión y rendimiento . . . . .	8
Máquinas-herramientas para fines especiales . . . . .	10
Máquinas-herramientas programadas y de control numérico . . . . .	11
Sistemas especiales de mecanizado . . . . .	14
<b>Capítulo 2 FACTORES TÉCNICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS</b> . . . . .	17
Capacidad de mecanizado . . . . .	17
Velocidad de las muelas en las operaciones de rectificado . . . . .	22
Función de los fluidos de corte . . . . .	25
Mantenimiento y reparación . . . . .	27
<b>Capítulo 3 GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN</b> . . . . .	31
Aspectos económicos de las inversiones en equipo de producción . . . . .	31
Localización de la fábrica . . . . .	34
Construcción del edificio de la fábrica . . . . .	37
Distribución de la planta . . . . .	38
Manutención de materiales . . . . .	42
Planificación de la producción . . . . .	58
Calendario de producción . . . . .	59
Determinación de los costos de los materiales y de la mano de obra . . . . .	60
Medidas para aumentar la eficiencia de la producción . . . . .	62
Métodos de verificación . . . . .	67
<b>Capítulo 4 ASPECTOS COMERCIALES Y TÉCNICOS DE LA GESTIÓN</b> . . . . .	69
Problemas peculiares de los países en desarrollo . . . . .	69
Función del desarrollo del producto en la estrategia comercial . . . . .	70
Mercados de exportación . . . . .	74
Precisión dimensional y tolerancias . . . . .	76
<b>Anexo 1 MÉTODO PARA LA SELECCIÓN RACIONAL ENTRE DIVERSOS TIPOS DE EQUIPO DE MANUTENCIÓN DE MATERIALES</b> . . . . .	86
<b>Anexo 2 NOTA SOBRE EL CÁLCULO DE CURVAS DE APRENDIZAJE</b> . . . . .	89
<b>Bibliografía</b> . . . . .	90

## LISTA DE CUADROS

	<i>Página</i>
1. Capacidad de mecanizado en función de la potencia de régimen y velocidades de corte recomendadas para determinados materiales . . . . .	18
2. Pendientes mínimas de los transportadores de rodillos . . . . .	45
3. Peso y capacidad de carga de los rodillos . . . . .	46
4. Resistencia a la rodadura sobre superficies horizontales . . . . .	49
5. Peso máximo aceptable de elevación y descenso para diversos porcentajes de operarios industriales . . . . .	50
6. Carga máxima de trabajo aceptable en tareas de elevación y descenso, para diversos porcentajes de operarios industriales . . . . .	50
7. Velocidades del régimen de grúas motorizadas, en pies por minuto . . . . .	53
8. Relación entre los ahorros diarios de tiempo y el costo de equipo de manutención de materiales en el puesto de trabajo . . . . .	56
A-1. Cálculos para la elección de equipo . . . . .	87

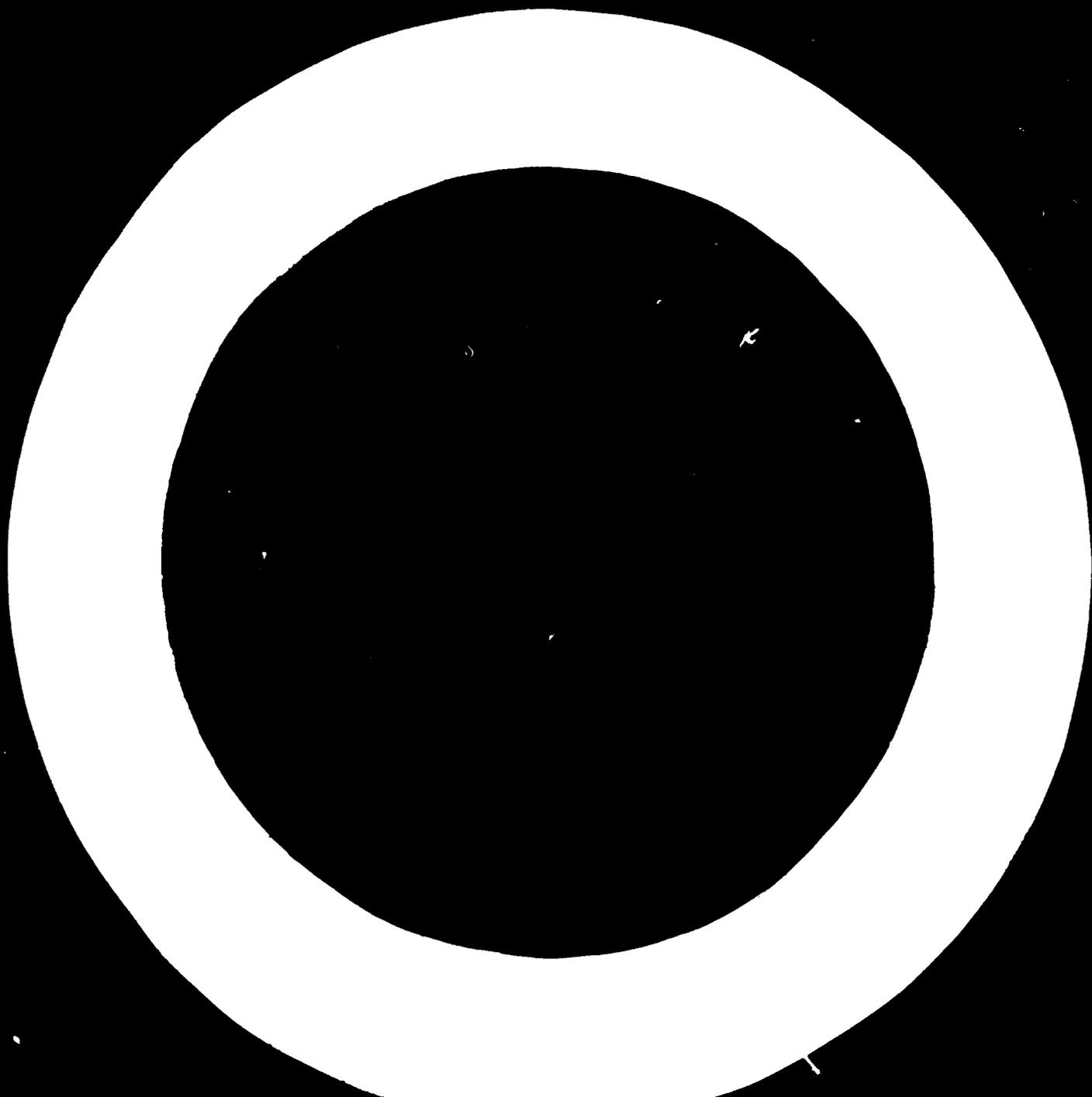
## LISTA DE FIGURAS

1. Relación entre el tipo de máquina-herramienta, el número de piezas y el costo unitario . . . . .	7
2. Deterioro y obsolescencia de las máquinas-herramientas . . . . .	33
3. Distribución corriente de una planta pequeña . . . . .	40
4. Distribución mejorada para la planta que aparece en la figura 3 . . . . .	41
5. Anchura de los transportadores de rodillos en las vueltas . . . . .	45
6. Discos sobre una vía de monocarril típica . . . . .	47
7. Método de suspensión de monocarril . . . . .	47
8. Relación entre el movimiento de la carretilla empujada a mano durante una hora, el peso y el coeficiente de rozamiento de rodadura . . . . .	49
9. Peso máximo de carga aceptable para diversos porcentajes de operarios industriales . . . . .	51
10. Algunas características de diseño de transportadores de rodillos mecánicos . . . . .	51
11. Anchura mínima del pasillo para carretillas de horquilla elevadora . . . . .	55
12. Mejora de la productividad al aumentar el número de unidades producidas . . . . .	64
13. Presentación de las curvas de aprendizaje en forma de rectas . . . . .	65
14. Agujero y eje y sus tolerancias respectivas . . . . .	79
15. Comparación entre un sistema basado en el agujero y un sistema basado en el eje . . . . .	80
16. Designación de los ajustes para sistemas basados en el agujero . . . . .	81
17. Relación entre el tiempo de rectificado y la precisión de la pieza . . . . .	83
18. Relación entre los costos y la precisión en el mecanizado, cizallado y estampado . . . . .	84

## NOTAS EXPLICATIVAS

En la presente publicación se utilizan las abreviaturas siguientes:

AR	Acero rápido
ASA	American Standards Association
HB	Cifra de dureza Brinell
HP	Caballo de vapor (sistema sajón = 1,014 CV)
ISA	Federación de Asociaciones Nacionales de Normalización
ISO	Organización Internacional de Unificación de Normas
MDE	Mecanizado por descarga eléctrica
MEQ	Mecanizado electroquímico
MPH	Millas por hora
RMC	Raíz media cuadrática
SOA	Salida en el orden de adquisición



## INTRODUCCION

En un mundo de esperanzas crecientes, todo país espera avanzar aprisa por el camino de la industrialización. En el campo de la transformación de metales, el cumplimiento de este anhelo requiere que se aprovechen al máximo los recursos disponibles, tanto de maquinaria como de personal. En todo país en desarrollo, el parque de máquinas-herramientas y otros elementos de equipo conexos existentes en las fábricas y talleres constituyen una parte sumamente valiosa del acervo global de recursos industriales, puesto que, en esos países, el factor capital no abunda. Esto no obstante, es indudable que, con bastante frecuencia, puede observarse que las instalaciones de las industrias mecánicas de esos países no funcionan a pleno rendimiento, sino con índices de utilización de la capacidad muy inferiores al 100%.

Las principales razones de este estado de cosas son las siguientes:

- Deficiencias técnicas del proceso de producción, como por ejemplo la utilización incorrecta de herramientas, matrices, plantillas y montajes;
- Falta de materiales de partida de importancia crítica, como aceros especiales, etcétera;
- Imposibilidad de importar material necesario para la producción —o bien útiles e instrumentos auxiliares para el funcionamiento de las máquinas-herramientas— debido a la escasez nacional de divisas;
- Falta de personal calificado capaz de manejar las máquinas-herramientas;
- Deficiencias en la planificación y en la gestión de las actividades de producción;
- Carácter estacional de las actividades, por su vinculación a la agricultura, con la consiguiente irregularidad del volumen de trabajos;
- Inactividad de las máquinas-herramientas por demora de la labor de reparación subsiguiente a las averías, o porque las máquinas se han quedado anticuadas y se espera sustituirlas por otras.

De estas razones, la segunda y la tercera pueden estar relacionadas con dificultades fundamentales del desarrollo económico del país, cuyo examen cae fuera del campo del presente estudio. En cuanto a las demás razones, todas ellas quedan comprendidas, directa o indirectamente, en las consideraciones que se formulan en los capítulos siguientes.

La situación de las industrias de transformación de metales en los países en desarrollo dista mucho de ser uniforme. En algunos de estos países existe ya considerable demanda de diversos tipos de equipo industrial —demanda que emana de los sectores agrícola y minero— pero son relativamente pocas las instalaciones de que se dispone para atenderla. En otros países, el problema es que se han montado instalaciones de producción —entre ellas, a veces, las de

construcción de máquinas-herramientas de capacidad superior a las exigencias del mercado interno, por lo que a las empresas del sector metalmeccánico les interesaría desarrollar las exportaciones. También existen países en desarrollo en los que, si bien la capacidad nacional de producción corresponde en general a la demanda en relación con un amplio espectro de equipo industrial, la industria no es competitiva en el plano internacional y confía en las tarifas aduaneras para protegerse de la competencia de las importaciones. La política de cada gobierno debe concebirse en función de las circunstancias efectivas del país correspondiente; ahora bien, en el presente estudio sólo cabe examinar los problemas del sector de las máquinas-herramientas en función de los principios generales involucrados.

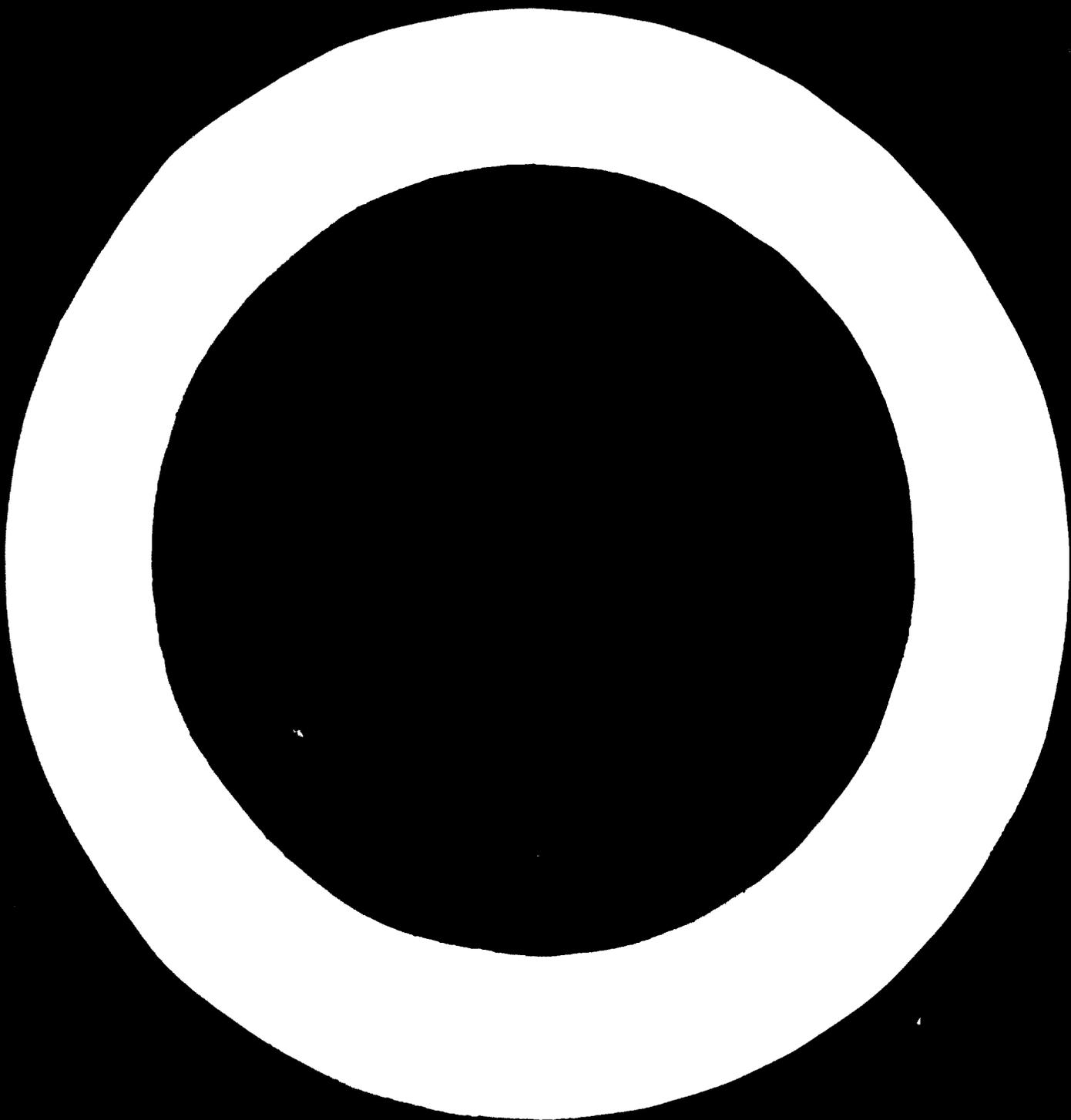
La información que se facilita en la presente publicación se aplica primordialmente a los talleres que dan empleo entre 5 a 100 personas; en todo país, la inmensa mayoría de las empresas que necesitan ayuda tienen talleres de esa magnitud.

Las empresas que utilizan exclusivamente tecnología importada —por ejemplo, la mayoría de las filiales de empresas extranjeras acreditadas, y las empresas de propiedad nacional que trabajan con licencias extranjeras— copian a menudo las operaciones manufactureras de las fábricas de la organización matriz, y pueden alcanzar iguales niveles de productividad que ellas. Para esas empresas, el presente estudio no ofrecerá probablemente gran interés; en cambio, la empresa independiente que, arrancando de un taller modesto, se transforma en una fábrica pequeña, y aun mediana, encontrará probablemente en estas líneas muchos consejos aprovechables.

Inevitablemente, casi todos los productos metálicos fabricados en un país en desarrollo se vienen fabricando ya en otros países que cuentan con décadas de experiencia manufacturera y que poseen una tecnología más avanzada. Quizá se tienda a creer que nunca se va a poder competir eficazmente en los mercados internacionales, dadas las ventajas iniciales de esos otros países, pero es el caso que las prácticas manufactureras de los países desarrollados no han surgido por arte de magia. Las mejoras que es preciso introducir en las fábricas de los países en desarrollo para que sean más competitivas pueden ser logradas por sus mandos administrativos y técnicos si tienen la debida voluntad de progreso y logran la colaboración de ese tipo de capataces y operarios de producción entusiastas que suele encontrarse en los países que empiezan a formar su economía industrial.

No debe permitirse que la atención prestada a las características técnicas de las máquinas-herramientas haga perder de vista la importancia que tienen, en la industria manufacturera, los factores humanos. En los países de gran adelanto industrial, los directivos organizan con regularidad programas de capacitación para el personal de todas las categorías, a fin de elevar la productividad de los operarios dedicados a las diferentes tareas. Y, si se quiere que, en los países en desarrollo, el músculo sea sustituido por las máquinas-herramientas —ya que, a la larga, no hay otro modo de elevar la productividad y el nivel de vida— se ha de pensar que la organización de la labor de formación del personal es, en esos países, aún más necesaria que en los demás. Y no hay que temer, como se teme a veces, que las sustitución de la energía humana por la mecánica tienda a reducir

las oportunidades de empleo. Antes bien, se eleva así la aptitud profesional de la fuerza de trabajo, con inclusión de la del personal directivo, y ello trae consigo considerables aumentos de la productividad. Así ha ocurrido en los países industrialmente avanzados. Y, en los países en desarrollo en que se han organizado bien programas similares, los resultados no han sido menos impresionantes.



## CAPITULO 1. MAQUINAS-HERRAMIENTAS: DIFERENTES TIPOS Y APLICACIONES

### NOVEDADES EN LA ESFERA DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTAS Y DEL UTILLAJE

La constante pugna por obtener mayor volumen de producción a cambio de un mismo gasto en energía humana, estimula el perfeccionamiento de los diseños y hace que se recurra cada vez más a las máquinas-herramientas. En los países industrializados, vemos cómo éstas eliminan todo esfuerzo humano innecesario. Gracias a esta mecanización, la manufactura ha cobrado mayor eficiencia. Hasta ahora, el campo primordial de aplicación de las máquinas-herramientas especiales ha sido el de los bienes producidos en gran serie; y, por lo general, las economías logradas no dejan lugar a dudas. Ahora bien, en los quince años últimos los proyectistas de máquinas-herramientas vienen orientando más bien su labor hacia la creación de máquinas-herramientas universales más automatizadas. Esta tendencia tendrá sin duda ventajosas consecuencias, ya que, aun en los países industrializados, los componentes producidos en tandas de 5 a 100 unidades y no los producidos en gran serie constituyen la mayor parte de la producción total.

En las fábricas más modernas y avanzadas de las industrias aeroespaciales lo que se necesita no es producción en gran serie, sino construcción, en número limitado, de piezas complicadas, hechas de aleaciones especiales cuyo trabajado resulta dificultoso. Para atender esta demanda, ha habido que crear máquinas-herramientas que eliminan la mayor parte del tiempo ocioso de la máquina y la fatiga del operario, que conduce a veces al error. En el contexto de esta evolución, los elementos de mando de las máquinas-herramientas han cobrado mayor importancia: mediante técnicas de control numérico y electrónico, cabe expresar los perfiles en términos matemáticos y producirlos luego automáticamente, sin previo ajuste. Y lo curioso es que, incluso estas máquinas de elevadísimo precio resultan, si se utilizan bien, más económicas que las de tipo anticuado que se vienen utilizando en muchos talleres de transformación de metales. Con todo, incluso en los Estados Unidos y en Europa, la mayoría de las máquinas-herramientas que se construyen son aún de diseño ordinario, sin control numérico. El empleo racional y rentable de todo tipo de máquina-herramienta depende de la labor detallada de planificación y utillaje. Esta observación se aplica en especial a las máquinas-herramientas de control numérico, que a menudo llevan un sistema de utillaje preajustado en el que están previstos numerosos cambios de útil, que se efectúan automáticamente durante la fabricación de una pieza de trabajo complicada.

No se puede recomendar incondicionalmente que en las fábricas de los países en desarrollo se utilicen máquinas-herramientas de control numérico. Las de más avanzado diseño requieren una excelente organización de la fábrica y servicios de programación y utillaje como rara vez se encuentran en los países en desarrollo. Ahora bien: ya se han producido muchas máquinas-herramientas con simples mandos numéricos de dos ejes que resultan fuertes y económicas para el servicio normal de taller. Antes, empero, de adquirir equipo de esta clase, conviene cerciorarse, sobre todo si el equipo va a utilizarse en un país en desarrollo, de que los mandos han sido sometidos a ensayos prácticos en condiciones climáticas similares a las de utilización.

La generalización del empleo de los útiles de abrasivos constituidos por algún carburo (denominados a veces «útiles de carburo» para abreviar) ha contribuido a que se exija a las máquinas-herramientas mayor potencia y rigidez, lo cual a su vez ha permitido mejorar la calidad de la producción obtenida con útiles de otros materiales.

A este respecto, cabe observar que, en los países en desarrollo, las máquinas-herramientas suelen tener poca potencia (3 caballos o menos). No se tiene debidamente en cuenta que también una máquina-herramienta de gran potencia sólo requiere un operario y ocupa igual espacio que una máquina poco potente, pero que su producción es varias veces mayor que la de ésta (en proporción directa a su potencia, aproximadamente) si se la equipa con útiles de carburo apropiados. Los continuos progresos alcanzados durante estos últimos decenios en la técnica del mecanizado con carburos han creado una situación en la que es frecuente que las máquinas-herramientas en uso —especialmente, en los países en desarrollo— no sean los modelos más adecuados para cumplir las exigencias de la producción.

Se ha extendido la impresión —errónea— de que, empleando útiles de carburo con ángulo de ataque negativo y grandes velocidades de corte, cabe automatizar incluso los más difíciles trabajos de mecanizado de piezas de acero. La culpa de este error reside en los muchos informes en que se exageran las excelencias de esta técnica. Esto no obstante, también se publica mucha información valiosa, basada en la experiencia directa adquirida en las naves de producción y en los experimentos de evaluación de herramientas efectuados en laboratorios industriales.

El diseño correcto de los útiles y el uso eficaz de las máquinas-herramientas están íntimamente relacionados. Si se emplea una máquina bien diseñada, de gran potencia, junto con un útil poco potente e inadecuado, o bien un útil de carburo bien diseñado junto con una máquina de poca potencia y de rigidez insuficiente, no se podrá conseguir una producción óptima.

Incluso con la máquina-herramienta más cara se pueden obtener costos muy competitivos si la máquina se emplea con los útiles adecuados y funciona continuamente en 3 tandas, 7 días por semana. Para ello se requieren:

Un programa de trabajo adecuado;

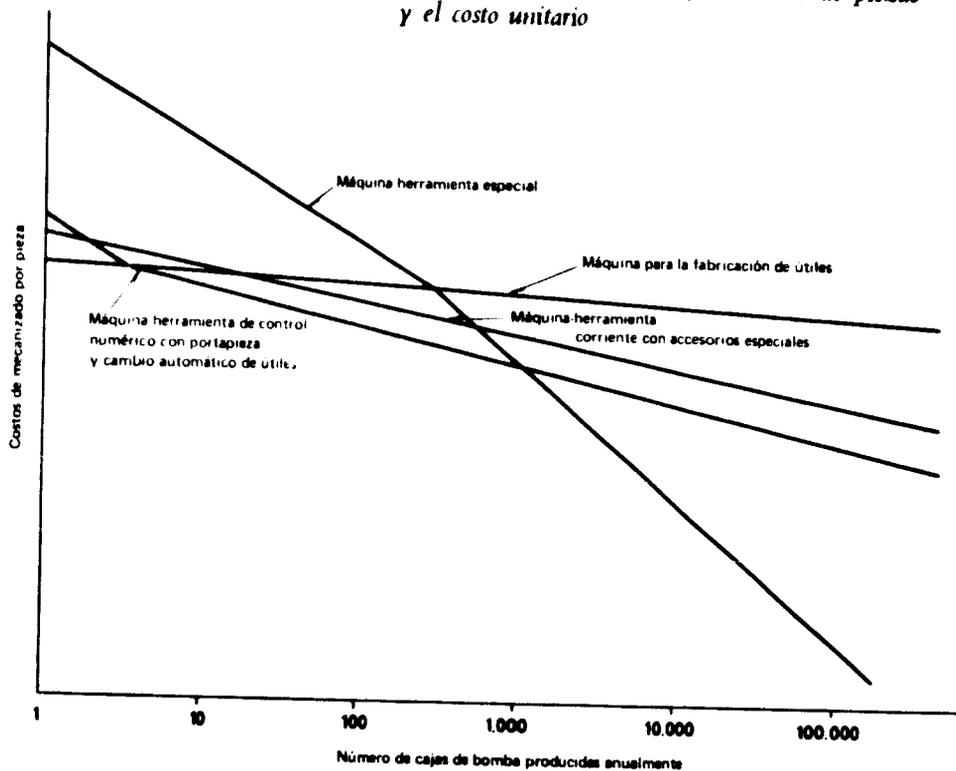
Buena organización de los talleres, inclusive en lo referente a los medios de comunicación, de control y de almacenamiento;

Buenos servicios de mantenimiento.

Ahora bien: si no se cumplen todos estos requisitos, la máquina puede resultar antieconómica.

Las ventajas relativas de los diferentes tipos de máquinas-herramientas se ilustran gráficamente en la figura 1, en la que se muestran los costos de producción por unidad de cajas de bombas. En este ejemplo, las cajas son de hierro maleable y su producción requiere operaciones de fresado, mandrinado avellanado, taladrado y roscado, en diversas posiciones y de diversas dimensiones. En total, se necesitan 30 útiles para otras tantas operaciones de fabricación.

Figura 1. Relación entre el tipo de máquina-herramienta, el número de piezas y el costo unitario



El número de piezas que se hayan de fabricar determinará cuál sea la mejor máquina en cada caso. Si sólo se han de producir una o dos cajas de bombas, los métodos de taller de utillaje, utilizando máquinas-herramientas normales, serán generalmente los más adecuados. Cabe considerar la posibilidad de proyectar y hacer accesorios especiales para las máquinas-herramientas corrientes cuando se hayan de producir 10 cajas o más. Si se dispone de una máquina de control numérico con cambio útil automático, los costos de mecanizado disminuirán cuando la serie de producción pase de 5 piezas. Si se ha de fabricar un número elevado de piezas, podría estar justificado el empleo de una máquina especial. Cuanto mayor sea el número de piezas que se produzcan anualmente, menor será el costo de mecanizado por cada pieza. Incluso empleando métodos de

taller de utillaje se irán reduciendo un poco los costos de mecanizado a medida que aumenta el número de piezas producidas, porque el operario irá aprendiendo con el tiempo a manejar mejor la máquina-herramienta y los útiles, pero los costos seguirán siendo relativamente elevados.

En cuanto el número de piezas que se hayan de producir sea suficientemente elevado para justificar la adquisición de accesorios especiales, se podrá reducir considerablemente el costo por pieza. Sin embargo, para pequeños lotes las máquinas de control numérico siguen siendo con frecuencia más económicas que las máquinas-herramientas corrientes con accesorios especiales.

Incluso si se trata de una sola pieza, cuando ésta sea de gran valor podría estar justificado utilizar una máquina de control numérico, porque este tipo de máquina elimina por completo los errores humanos y por lo tanto se evita la posibilidad de estropear la pieza. Una vez programadas todas las operaciones, quizás sea necesario controlarlas respecto a la secuencia, las dimensiones y la exactitud, utilizando una pieza falsa. Es preferible emplear este procedimiento a correr el riesgo de estropear una pieza en la que los costos de material y de mecanizado ya se hayan elevado a varios miles de dólares. Sin embargo, para producir en cantidades realmente grandes, una máquina-herramienta especial resultará la solución más económica, ya se trate de cajas de bombas o de cualquier otra clase de pieza.

#### PRECISIÓN Y RENDIMIENTO

Los numerosos tipos de máquinas-herramientas normales pueden clasificarse del modo siguiente:

- Clase 1:* Máquinas-herramientas de gran precisión para la fabricación de instrumentos y de útiles. Algunas de estas máquinas se han de colocar en habitaciones con aire acondicionado y se han de montar sobre aisladores o basamentos especiales; de otro modo sería difícil que conservaran su precisión extrema.
- Clase 2:* Máquinas-herramientas de precisión para la fabricación de útiles y para producción con tolerancias estrictas.
- Clase 3:* Máquinas-herramientas para el taller de mantenimiento y la producción auxiliar.
- Clase 4:* Máquinas-herramientas para el taller móvil de reparación y ajuste.

Máquinas-herramientas que en la clasificación indicada corresponderían a clases diferentes pueden parecer similares a primera vista y tener las mismas características y potencia. Difierían en la perfección de su construcción, así como en la calidad de su producto, y sólo habrán de emplearse dentro de sus límites específicos de precisión. Para obtener piezas muy exactas con una máquina-herramienta de la clase 4 el operario habría de tener un grado de habilidad muy poco común, y el producto seguiría siendo más costoso que si se hubiera fabricado en una máquina-herramienta de la clase 2. Por otra parte, una máquina de la clase 2 costará dos veces más que una máquina de la clase 4 del mismo tamaño y potencia y de función similar.

La necesidad de que la máquina conserve una precisión elevada exige un programa de mantenimiento específico, tanto respecto a los accesorios y al utillaje como a la máquina-herramienta misma. En el capítulo 2 se comenta la organización de las actividades de mantenimiento y reparación. También es importante tomar medidas que minimicen el desgaste. Por lo tanto, se procurará evitar el mecanizado de piezas cuyo tamaño y peso sobrepasen la capacidad de la máquina-herramienta.

La emisión incontrolada de polvo de rectificado estropea rápidamente las máquinas-herramientas. Las rectificadoras de superficies, las rectificadoras cilíndricas y las rectificadoras para útiles se instalan con frecuencia sin dispositivos para recoger el polvo de rectificado, que se va depositando en las otras máquinas del taller. Al principio no se notará ningún efecto nocivo, pero al cabo de un año todas las máquinas-herramientas de precisión quedarán afectadas, hasta el punto de que las superficies de avance se desgastarán y los cojinetes se aflojarán. Las finas partículas del polvo de rectificado se mezclan con los lubricantes y actúan como un compuesto de lapidado.

Los mismos daños pueden ocurrir cuando se sitúa un taller de precisión en una zona desértica, o incluso cuando está expuesto a vientos que proceden de un desierto distante. También en estos casos se observará que las máquinas-herramientas de precisión pueden estropearse, sin posibilidad de reparación, en un tiempo relativamente breve. Así pues, se habrá de poner un cuidado especial en que no exista ninguna apertura en las paredes, techos o ventanas, que permita la entrada del aire cargado de polvo arenoso.

Las máquinas-herramientas constituyen la inversión principal de un taller de trabajado de metales. Por lo tanto, antes de adquirir una máquina-herramienta se deberá comparar con el máximo cuidado las especificaciones de funcionamiento de los diversos modelos y se verificará que la máquina que finalmente se elija cumple las especificaciones que el fabricante haya declarado para dicha máquina<sup>2</sup>.

La producción de una máquina-herramienta se juzga principalmente por su capacidad de arranque de viruta (medida en pulgadas cúbicas por minuto) y por su precisión a pleno rendimiento. En el caso de máquinas para rectificado y para acabado, el rendimiento se puede expresar en términos del acabado obtenido (medido en micropulgadas) por minuto en una superficie de un número determinado de pulgadas cuadradas. Las especificaciones de las taladradoras de plantillas y de otras máquinas de precisión se refieren al tamaño de la pieza de trabajo y a las tolerancias que puedan observarse.

Al adquirir una máquina-herramienta nueva se deberá obtener del fabricante un informe sobre los ensayos realizados. En este informe se incluirán datos sobre la precisión de funcionamiento de los husillos y de los útiles, así como sobre el rendimiento de los útiles. Los datos de estos informes sobre los ensayos están completamente normalizados. Una buena máquina-herramienta puede soportar alguna vez una sobrecarga del 100% sin sufrir daños.

<sup>2</sup> Véase ONUDI (1971) *Selección y pruebas de recepción de máquinas-herramientas de corte para metales* (Núm. de venta S. 71 II. B. 3).

Cuando se ha instalado en la línea de producción una máquina-herramienta nueva, se la deberá someter a observación durante cierto tiempo para verificar su funcionamiento en las condiciones normales de producción. Muchas empresas no instalan inmediatamente en la línea de producción las máquinas nuevas y prefieren instalarlas durante algún tiempo en una sección experimental. De este modo se puede evaluar mejor su rendimiento y se tiene la oportunidad de mejorar los métodos de producción aprovechando las posibilidades de la máquina. Durante este período de experimentación es conveniente que se encargue del funcionamiento de la nueva máquina-herramienta el operario que haya de utilizarla más tarde en la planta de producción. Este operario deberá estar plenamente familiarizado con las instrucciones sobre funcionamiento que haya facilitado el fabricante. Si no se dispone de éstas, como ocurre con frecuencia en el caso de máquinas de segunda mano, se habrán de obtener escribiendo al fabricante.

### MÁQUINAS-HERRAMIENTAS PARA FINES ESPECIALES

Cuando el número de piezas que se haya de producir sea suficientemente grande, podría estar justificado desde el punto de vista económico invertir en una máquina-herramienta especialmente concebida para el fin de que se trate, o en un conjunto de máquinas-herramientas corrientes, que produzcan un solo tipo de piezas de trabajo en determinada secuencia de operaciones. En cualquiera de estos casos, es esencial prever un período de ensayos y de eliminación de dificultades después de instalar la máquina o máquinas. Este período de ensayos habrá de ser más largo que el que se necesita para ensayar una máquina-herramienta normal antes de empezar la producción.

Cuando un fabricante determinado haya fabricado una máquina-herramienta para un fin especial, antes de su envío será precisa una prueba de recepción muy completa, mecanizándose un número elevado de piezas como muestras. Inevitablemente, una máquina-herramienta especial tendrá algunas características nuevas, no ensayadas, al contrario de lo que ocurre con las máquinas-herramientas normales, que se deben construir únicamente con componentes cuyo buen funcionamiento se haya comprobado a lo largo de muchos años de servicio en producción. Será mucho más fácil corregir cualquier anomalía en el lugar de la fabricación, antes del envío, que aguardar hasta que la máquina se encuentre en la planta de producción del comprador.

La mayoría de los casos, el utillaje de las máquinas-herramientas para fines especiales será el normal. Si se requiere utillaje especial se deberá dedicar a las características de diseño de los útiles por lo menos tanto esfuerzo y atención como a las de la máquina. Cuando se necesiten útiles complicados o de forma, convendrá proyectar, construir y ensayar esos útiles antes de empezar a proyectar la máquina-herramienta. Ha ocurrido en ocasiones que un máquina-herramienta para fines especiales no dio los resultados esperados porque el utillaje previsto para la misma no funcionó. También se procurará empezar por los útiles en los casos en que se haya de diseñar para éstos un husillo poco corriente,

o cuando toda la máquina-herramienta esté concebida en función en un utillaje especial.

Otros puntos que se han de considerar cuidadosamente en el diseño de las máquinas-herramientas para fines especiales es que sean fáciles de lubricar y que pueda realizarse sin dificultad el mantenimiento y reparación de los servomecanismos hidráulico, neumático y eléctrico, que también deberán ser accesibles para las inspecciones periódicas. Deberá ser posible realizar los trabajos de reparación sin desmontar toda la máquina. Si no se tienen en cuenta estos requisitos en la fase de proyección, incluso las reparaciones menores resultarán muy costosas, ya que se tendrá que interrumpir el funcionamiento de toda la máquina para llevarlas a cabo.

Incluso las mejores máquinas-herramientas, ya sean corrientes o para fines especiales, pueden resultar ineficaces si no se han montado sobre el suelo correctamente. Cuando el suelo del taller descansa en una superficie sólida, probablemente será posible nivelar la máquina directamente, cimentando el suelo o por medio de pernos de estabilidad, y en general es de esperar buenos resultados. Sin embargo, se ha de recordar que las vibraciones del suelo y del edificio causadas, por ejemplo, por martillos de forja, camiones que pasan por una calle inmediata o incluso por puentes-grúas, pueden afectar la calidad del acabado y superficie y la exactitud dimensional. En estos casos, generalmente se puede mejorar la suspensión de la máquina-herramienta dotándola de una base elástica compuesta de elementos neumáticos o de caucho, de fibra de vidrio o de muelles. Será preciso un cuidado especial si el suelo de la fábrica se encuentra sobre una superficie pantanosa o de arena sin fijar. El constructor de la máquina podrá quizá hacer recomendaciones específicas respecto al tipo de basamento necesario en situaciones difíciles, a fin de que la máquina permanezca estable a pesar de las perturbaciones exteriores, así como para aislar las vibraciones originadas en la propia máquina. Sin embargo, una base especial aumentará los costos y, por lo general, restará a la máquina condiciones de movilidad que los cambios en la producción pueden hacer deseables.

Cuando se ha de utilizar un edificio de varios pisos, las máquinas más pesadas se instalan en el piso bajo, por razones obvias. Las máquinas más ligeras pueden instalarse en los pisos más altos, que siempre se curvan hasta cierto punto bajo el peso de las máquinas. Cualquier suelo corriente está sometido a vibraciones de baja frecuencia —unos 20 ciclos por segundo. Si se emplean bases elásticas, su frecuencia natural deberá ser diferente de la del suelo, a fin de eliminar la resonancia. Estas bases especiales debajo de cada máquina-herramienta permiten mayor flexibilidad en la distribución de la planta.

### MÁQUINAS-HERRAMIENTAS PROGRAMADAS Y DE CONTROL NUMÉRICO

El hecho de que actualmente la mayoría de las máquinas-herramientas sólo funcionen entre un 20 y un 50% del funcionamiento posible ha planteado un problema difícil a los proyectistas de máquinas-herramientas modernas. El uso creciente de útiles de carburo hace aún más valioso el tiempo

de funcionamiento que se pierde en el reglaje, los cambios de útiles, la manipulación de las piezas y la puesta en posición. Los proyectistas han resuelto este problema con nuevos sistemas que incluyen avance mecánico, regulación de las velocidades de husillo, tornillos antihuelgo, desplazamiento rápido y dispositivos múltiples para interrumpir y parar el funcionamiento de la máquina. Basadas en estos nuevos procedimientos surgieron las máquinas-herramientas programadas, nacidas durante la segunda guerra mundial y perfeccionadas luego. Entre las características de los primeros modelos se encontraban las siguientes: arranque y parada automáticos del husillo principal; mesas de montaje sobre plato, con un sistema de fijación movable y un desplazamiento rápido; avances controlados en las direcciones longitudinal, vertical y transversal. Generalmente, las secuencias de procesos deseadas se programaban insertando clavijas en puntos de conexión específicos del panel de programación del equipo de control de la máquina.

En años anteriores se había desarrollado con éxito otra técnica, dotar la máquina-herramienta de dispositivos trazadores, principalmente porque era preciso producir matrices cada vez mayores. En este tipo de máquina-herramienta se controla el paso del útil con un patrón o plantilla modelo. Esta técnica se desarrolló paralelamente a la industria automotriz después de la primera guerra mundial, y su aplicación se vio estimulada por la escasez relativa de operarios expertos en la fabricación de útiles y de matrices.

Durante la segunda guerra mundial y después de ésta la industria aeronáutica aumentó rápidamente en volumen y en complejidad técnica. Muchas piezas complicadas se tenían que hacer con materiales de gran resistencia y mecanizar con gran precisión. Por consiguiente, se proyectaron muchas máquinas-herramientas nuevas que podían obtener una gran precisión automáticamente, o por lo menos sin necesidad de que el operario fuera un mecánico muy experto. Este fue el origen de las máquinas-herramientas de control numérico. Al igual que ocurre con la mayoría de los avances técnicos, el principio básico de los diversos dispositivos de control no es una novedad. Controlar una máquina por medio de símbolos o valores numéricos tiene un antecedente en los telares Jacquard y en las pianolas, en las que la música se toca por medio de rollos de papel perforados. La alimentación en cartuchos y los transportadores para transferir las piezas trabajadas ya se encontraban en ciertos tipos de tornos revólveres automáticos alrededor de 1914. En aquella época también se hicieron muchos intentos para controlar durante el funcionamiento de la máquina, por medio de dispositivos automáticos y numéricos el recorrido del útil y las dimensiones de la pieza. En muchos casos no se conseguía la elevada precisión y la repetibilidad que han de tener las máquinas-herramientas, porque los servomecanismos de que se disponía entonces no podían satisfacer estos requisitos. Sin embargo, una vez que se desarrollaron con éxito servomecanismos electrohidráulicos pequeños y potentes para aviones, los fabricantes de máquinas-herramientas los adoptaron, junto con los mandos electrónicos. Los sistemas de control numérico son mecanismos que convierten los símbolos de tarjetas o cintas perforadas, o los datos de cintas magnéticas, en pulsaciones eléctricas que controlan las diversas funciones mecánicas de la máquina-herramienta. Hoy en día para la mayoría de los sistemas

de control numérico de las máquinas-herramientas se utiliza una cinta de papel normalizada de una pulgada de ancho y ocho filas de perforaciones. El control numérico es una forma de automatización que reduce el tiempo de reglaje, selecciona los útiles para las operaciones sucesivas y determina su acción. Generalmente se utiliza para producir piezas que han de ser idénticas. La cinta con la información para el control puede guardarse todo el tiempo necesario hasta que se tenga que utilizar para otros pedidos, o puede enviarse a una fábrica lejana en la que se podrá utilizar para producir piezas de la misma forma y con la misma precisión.

Todos los movimientos de la máquina-herramienta para los que el operario solía mover una manivela o un volante se pueden realizar actualmente con dispositivos mecánicos y se pueden controlar por cinta, con un mecanismo de control autónomo. Antes de que se perfore una cinta que ha de utilizarse como medio de control, un programador ha de determinar todas las operaciones que se realizarán, los útiles requeridos y su emplazamiento, así como todos los movimientos de la máquina. Los movimientos del husillo o de la mesa se producen a lo largo de uno, dos o tres ejes. Una fresadora o perforadora tiene generalmente «mandos de dos ejes», es decir, los movimientos de la mesa están controlados en la dirección longitudinal y transversal. Si el husillo de una fresadora o perforadora vertical también está controlado en lo que respecta a la profundidad del corte o de la perforación, se dice entonces que la máquina tiene «mandos de tres ejes». Respecto a estas máquinas, en las que el útil o la pieza de trabajo pueden moverse por medio de controles numéricos de una posición a otra en una secuencia determinada, para realizar operaciones en puntos dados, se dice que tienen programación para movimiento por puntos.

Existen máquinas aún más complejas, con control continuo del camino del útil, en las que cabe hacer describir al útil una curva determinada, que puede definirse matemáticamente, como por ejemplo en las levas excéntricas y contornos similares. Una máquina-herramienta también podrá controlar un movimiento circular, como por ejemplo el movimiento en torno a un eje vertical, en cuyo caso puede decirse que tiene «mandos de cuatro ejes». Si también puede controlar el movimiento de la mesa o husillo alrededor de un eje horizontal, se puede decir que tiene «mandos de cinco ejes».

En las máquinas de control numérico la preparación de los útiles ha de ser muy rigurosa. Es necesario un reglaje previo muy exacto de los útiles y los requisitos se indican en clave junto con todas las operaciones que se han de realizar, en la secuencia óptima, en una hoja de planificación a partir de la cual se perfora la cinta; los programas más difíciles se preparan con ayuda de una computadora digital. Empleando estas técnicas se puede realizar el mecanizado de piezas complicadas con más precisión, utilizando máquinas de fase continua y programas especialmente desarrollados a este fin. Las máquinas más adaptables realizan las funciones de varias máquinas-herramientas de distintos tipos: perforar, taladrar, fresar, roscar, torneare y acabar las superficies. El cambio de útiles se realiza automáticamente y los útiles empleados tendrán que estar bien proyectados y se habrán de reglar previamente. En estos casos, una sola máquina equivale, desde el punto de vista de la inversión, a todo un conjunto de máquinas,

y así ha de verlo quien piense utilizarla. Para juzgar la utilidad y el valor de una máquina-herramienta moderna, el usuario de un país en desarrollo se encuentra en una posición intrínsecamente diferente a la de su homólogo de un país industrializado. Generalmente, éste puede prever que recibirá muchos pedidos de piezas de trabajo complicadas, lo que rara vez le ocurrirá a aquél.

El control numérico no se aplica sólo a las máquinas-herramientas que trabajan por arranque de viruta. También se utiliza, por ejemplo, en las punzonaduras múltiples, las bobinadoras, las máquinas de oxicorte y las trefiladoras; incluso las máquinas de transferencia están equipadas frecuentemente con controles numéricos, y el número de aplicaciones de estos últimos aumenta diariamente.

El funcionamiento de las máquinas-herramientas de control numérico requiere algunas aptitudes nuevas que pueden desarrollarse muy eficazmente y en poco tiempo, relativamente instruyendo a personas capaces que ya estén empleadas en la línea de producción. Por regla general, el nuevo procedimiento exige menos habilidad mecánica del operario, que se convierte en el supervisor de un proceso de producción mucho mayor, en el mismo espacio físico que antes. Un buen operario que se haya encargado de máquinas-herramientas corrientes y esté familiarizado con los diversos tipos de utillaje, los materiales de los útiles y los dispositivos de sujeción, y que conozca bien los avances y velocidades, puede convertirse en un programador eficaz de máquinas de control numérico con una capacitación relativamente breve. Una vez capacitados, estos operarios representan una inversión valiosa en personal, y son difíciles de reemplazar. Por lo tanto, la empresa tendrá que procurar asegurarse de que continuarán a su servicio, pues de otro modo sufrirá pérdidas difíciles de compensar.

#### SISTEMAS ESPECIALES DE MECANIZADO

Según los métodos tradicionales o corrientes, una máquina-herramienta elimina el metal arrancando láminas finas, o virutas, de la pieza. En el último decenio se han desarrollado varios sistemas importantes que no se basan en una acción de corte mecánico, sino que dependen de acciones químicas y eléctricas. Estos nuevos procesos se pueden considerar sistemas especiales de mecanizado.

Hasta ahora, el mecanizado efectuado siguiendo estos métodos constituye una pequeña fracción del total en los países industrialmente avanzados y una fracción insignificante o nula en la mayoría de los países en desarrollo. Sin embargo, su uso va aumentando con la demanda de productos fabricados con materiales de gran resistencia y de formas complicadas. Es especialmente evidente en las industrias aeroespacial y electrónica. Estos métodos tienden a emplearse en aplicaciones en las que los útiles de corte ordinarios no funcionarían o se estropearían tan rápidamente que resultarían antieconómicos, y en algunas aplicaciones para las que no existen útiles de corte. Algunos de estos sistemas especiales de mecanizado se han desarrollado hasta el punto de ser competitivos con los métodos tradicionales de arranque de material e incluso, en ciertas circunstancias, más económicos.

El principio del mecanizado por descarga eléctrica (MDE) es muy conocido y se aplicó por primera vez en la URSS. Se mantiene una estrecha separación entre el útil (un electrodo con una corriente intermitente de alta frecuencia) y la pieza, estando ambos sumergidos en un fluido dieléctrico. La descarga de chispas entre el electrodo y la pieza de trabajo va erosionando esta última. El fluido se mantiene en circulación, a fin de eliminar los residuos. El MDE se emplea para fabricar matrices grandes, de una sola pieza, para la industria automotriz. Los electrodos se pueden hacer de diversos metales y aleaciones o de grafito. La pieza de trabajo ha de ser de un material electroconductor. Cuando ya se dispone de un punzón, se le puede dotar de una punta especial y utilizarlo para grabar la matriz. En este proceso se puede controlar el índice de arranque del metal y el acabado de superficie, y se puede alcanzar la precisión propia de un taller de utillaje.

El mecanizado electroquímico (MEQ) es un proceso similar de mecanizado electrolítico, que se aplicó por primera vez para el rectificado de material difícil de mecanizar, especialmente los útiles de carburo. La ventaja principal que ofrecía era un uso más eficaz de las muelas rectificadoras de diamante, con lo que se disminuían los costos. El abrasivo, dispuesto en un aglomerante de la muela rectificadora mantiene una separación entre el útil y la pieza de trabajo. El proceso en sí es el opuesto al electroplaqueado, y no hay desgaste del útil. Se hace circular rápidamente una corriente continua en un electrolito entre el útil (cátodo) y la pieza de trabajo (ánodo). El MEQ se usa también con frecuencia para grabar matrices de superficies curvas y para hacer otras formas especiales, como por ejemplo piezas con orificios largos, no redondos. La exactitud de la pieza de trabajo acabada depende de la precisión dimensional y la calidad superficial del útil (cátodo), que será de metal resistente a la corrosión; de la velocidad de circulación del electrolito entre el útil y la pieza de trabajo para eliminar los sedimentos que se forman; y de la capacidad corriente del equipo. Otra aplicación del MEQ es la fabricación de piezas de formas geométricas irregulares. En condiciones favorables, se puede conseguir una precisión dimensional de hasta 0,0002 pulgadas. No se producen chispas o arcos que puedan causar un calentamiento localizado en la superficie mecanizada, ni se forman rebabas. Puesto que el equipo y el utillaje son costosos, este procedimiento no suele utilizarse para producir piezas en pequeñas cantidades.

El rectificado por medios químicos se viene empleando industrialmente desde hace unos 30 años, y el equipo para este proceso se encuentra en el comercio desde hace 10 años. Se utiliza una solución ácida o alcalina para grabar el patrón prescrito en una pieza de trabajo metálica o cortando completamente la misma. Se puede obtener el patrón deseado cubriendo el resto de la pieza de trabajo con una película resistente a la sustancia química, que exponga sólo las porciones que se han de eliminar con el atacado. Hay otro proceso de grabado en el que se usa una técnica fotográfica que se conoce en inglés por diversos nombres *photoforming*, *photofabrication*, *photochemical blanking* o incluso *chemical machining*, lo cual se presta a confusiones. En este proceso se aplica a la pieza un revestimiento fotosensible, que se expone a la luz a través de un negativo; a continuación, en una solución de revelado se elimina el revestimiento de la parte que se ha de

atacar. Se pueden producir piezas pequeñas a partir de placas finas de casi cualquier metal, en grandes cantidades y con relativa rapidez, y este proceso con frecuencia es competitivo con el de estampado.

La aplicación de los ultrasonidos al mecanizado de precisión ha progresado a causa de la necesidad de taladrar o conformar a un coste económico piezas de trabajo de material no mecanizable, como por ejemplo, carburo de volfranio, material cerámico, vidrio y cuarzo. El elemento clave del equipo es un transductor de magnostricción, que convierte las vibraciones electromagnéticas de alta frecuencia en vibraciones mecánicas. El portaútiles está unido al transductor y de este modo un útil de la forma deseada se hace vibrar a alta frecuencia y baja amplitud en contacto con la pieza de trabajo, en una suspensión abrasiva. El útil suele ser de acero dulce o inoxidable y el abrasivo más corriente es el carburo de boro en polvo.

En el proceso de mecanizado por electrónicos, los electrones se aceleran y se enfocan en un haz estrecho dirigido hacia un punto determinado por medio de un campo magnético. El haz electrónico calienta, funde o vaporiza una parte localizada de la pieza de trabajo, que generalmente se coloca en una cámara de vacío. Este haz puede perforar agujeros, trazar ranuras muy finas o soldar con una línea de unión profunda y estrecha. Una de las primeras aplicaciones fue la perforación de pequeños orificios en joyas y en toberas para fabricar filamentos, y el soldeo de las vainas de los elementos combustibles de material nuclear.

Dos tipos de máquinas que emplean rayos laser se aplican industrialmente en el micromecanizado y el micro soldeo. El laser intermitente de rubí fue el primero que se puso en el comercio, y le siguió recientemente el laser de  $\text{CO}_2$  con rayos de luz continua. El rayo laser vaporiza, funde y suelda cualquiera de los materiales utilizados, en mecánica; es posible emplearlo con la pieza colocada bajo una cubierta translúcida, en lugar de en una cámara de vacío.

## CAPITULO 2. FACTORES TECNICOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS MAQUINAS-HERRAMIENTAS

### CAPACIDAD DE MECANIZADO

Al comprador de una máquina-herramienta lo que le interesa es que ésta satisfaga sus necesidades específicas de producción a un costo competitivo. Aunque en la proyección de máquinas-herramientas se advierten muchas tendencias nuevas, la mayoría de las características básicas permanecen inalteradas.

En la de proyección de las máquinas-herramientas se recoge el fruto de la experiencia adquirida en las naves de producción y en las investigaciones de laboratorio. Las principales tendencias que se advierten en esta esfera son el aumento de la potencia y la rigidez y la ampliación del campo de velocidades de avance y corte. También se ha progresado en lo que atañe a la seguridad del operario; la facilidad de manejo de las máquinas; la especialización de los mecanismos de control y de transmisión; y el acceso a las diversas partes de las máquinas, tan importante para su mantenimiento. Las velocidades de corte con útiles o herramientas de carburo son, más o menos: acero, 300-800 pies por minuto; fundición, 200-500 pies por minuto; y aluminio y magnesio, hasta 20.000 pies por minuto. Cuando se cortan metales livianos, pueden obtenerse velocidades mayores, pues requieren menos potencia por pulgada cúbica mecanizada por minuto que el acero y el hierro fundido. El mecanizado de materiales féreos calienta más el útil, con lo que éste se desgastará antes.

La potencia requerida en la herramienta para arrancar una pulgada cúbica de material por minuto depende, esencialmente, del tipo de material que se corte, particularmente de su microestructura, aunque el avance por diente y el ángulo de corte de la herramienta influyen algo. La potencia requerida no se ve grandemente afectada por el tipo de material empleado en la arista cortante de la herramienta (aceros rápidos, carburos), ni tampoco por la aplicación de un fluido de corte. Sin embargo, el empleo de estos fluidos suele prolongar la vida útil de la herramienta (número de piezas terminadas por herramienta) y puede mejorar el acabado.

La potencia necesaria para una operación de mecanizado es la suma de la potencia necesaria para el arranque de metal más la necesaria para contrarrestar la fricción en el husillo y en los mecanismos de avance. Para lograr un rendimiento óptimo, es preciso que la potencia de régimen de los motores de impulsión sea superior a la potencia requerida. Aunque tanto la máquina como los motores pueden hacerse funcionar con cargas superiores a la nominal durante breves períodos de tiempo, no es aconsejable trabajar con sobrecargas continuas. En

la mayoría de los casos, la máquina-herramienta está provista de dispositivos de seguridad (por ej., pasadores de seguridad y mecanismos de desembrague), que impiden que se produzcan daños graves debidos a una sobrecarga.

En el cuadro 1, se proporcionan algunos datos sobre la potencia requerida en la herramienta para mecanizar una gama representativa de metales, así como las velocidades de corte recomendadas. En los valores del cuadro se tienen en cuenta la eficiencia de los mecanismos de transmisión de la máquina-herramienta; esos valores se basan en un corte de 1/8 pulgadas de profundidad, efectuado con una herramienta con un ángulo de desprendimiento de cero grados y un avance (carga de viruta) de 0,010 pulgadas por revolución.

CUADRO 1. CAPACIDAD DE MECANIZADO EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA DE RÉGIMEN Y VELOCIDADES DE CORTE RECOMENDADAS PARA DETERMINADOS MATERIALES <sup>a</sup>

Material a mecanizar	Metal arrancado por minuto (pulgadas cúbicas)		Velocidades de corte recomendadas (pies por minuto)	
	Máquina de 3 HP	Máquina de 15 HP	Herramientas de acero rápido	Herramientas de carburo
Aceros blandos .....	2	12	100-150	350-750
Aceros duros .....	1,0	6	30-60	150-300
Aceros medianos .....	1,5	9	80-100	250-400
Aluminio .....	5	30	600-2.000	1.000-8.000
Bronce .....	3	18	200-300	200-800
Bronce duro .....	1,5	9	100-200	125-350
Fundición blanda .....	3	18	100-120	250-400
Fundición en coquilla .....	1,5	9	50-70	150-250
Hierro maleable .....	2	12	100-120	300-400
Latón blando .....	5	30	500-1.500	350-1.000

<sup>a</sup> Para determinar si un torno o una fresadora de 3 HP puede mecanizar convenientemente una pieza de acero con 0,20% C, HB 170, se procederá como sigue. Este material corresponde a la categoría «Acero blando», que, según el cuadro, puede mecanizarse a razón de 2 pulgadas cúbicas por minuto con una máquina-herramienta de 3 HP. En pulgadas, la profundidad de corte multiplicada por el ancho de corte y por la velocidad de avance por minuto no rebasará, pues, 2 unidades. Esta cantidad puede arrancarse en forma de virutas en el curso de una operación continua de mecanizado. Advértase que una máquina de 15 HP cortaría seis veces más material que una máquina de 3 HP, ya que el mecanismo de transmisión de la máquina-herramienta de mayor potencia es más eficiente.

Un ángulo de desprendimiento negativo de 10° en la arista cortante requiere, aproximadamente, un 10% más de potencia que un ángulo de 0°. Igualmente, la potencia necesaria disminuirá en alrededor de un 1% por cada grado de ángulo de desprendimiento positivo.

Si el avance por revolución excede de 0,010 pulgadas, la potencia necesaria por pulgada cúbica y por minuto disminuirá ligeramente; en cambio, puede aumentar en un 20% o más cuando el avance por revolución se reduce a 0,0002 ó 0,001 pulgadas. De hecho, el mecanizado que da una viruta fina suele ser el menos económico de todos, desde el punto de vista de la potencia requerida por pulgada cúbica arrancada por minuto y también desde el punto de vista del desgaste de la herramienta.

La potencia requerida por pulgada cúbica y por minuto disminuye ligeramente cuando la profundidad de corte es mayor; y aumenta ligeramente cuando el corte es menos profundo.

Hay que tener presente que las herramientas se desgastan constantemente durante el proceso de producción y acaban por desafilarse. Incluso cuando no hay rotura de dientes, la potencia requerida puede aumentar hasta en un 50% a causa del desgaste antes de la fecha prevista para el recambio de la herramienta. Por este motivo, no es aconsejable preparar una máquina-herramienta para un número relativamente elevado de piezas en forma tal que, desde el comienzo mismo, haya que aplicar excesiva potencia.

Las máquinas-herramientas modernas se construyen con bancadas rígidas, a fin de eliminar las vibraciones todo lo posible. Hay otros factores, sin embargo, que influyen en la rigidez del conjunto de las máquinas: los elementos de corte, los husillos, la posición y el soporte de la herramienta, el diseño y la posición de los montajes de sujeción de la pieza, etc. En gran parte, la influencia de estos factores puede ser regulada por el operario y el supervisor. Muchas empresas han juzgado útil capacitar a su personal clave en la utilización de máquinas-herramientas y de útiles modernos.

El rendimiento de las máquinas-herramientas viejas puede mejorarse, a veces, durante las revisiones generales, eliminando los cojinetes, carros deslizantes y engranajes que hayan adquirido excesiva holgura. Las fresadoras viejas suelen «remozarse» dotándolas de un volante, que ha de ser del tamaño apropiado y que deberá instalarse en el lugar preciso, pues de lo contrario puede dañar la máquina o provocar en sus órganos desviaciones que acortan la vida útil de las herramientas. Las fresadoras provistos de volante tienen mandos especiales para poner en marcha y parar el husillo y los mecanismos de avance.

En la actualidad, es frecuente que las herramientas de carburo se proyecten de modo tal que puedan obtenerse en la arista cortante ángulos de desprendimiento radiales positivos y pequeños ángulos de desprendimiento negativos variables. Estas herramientas de ángulo variable, que han encontrado aceptación general en la industria y son fabricadas por varias empresas, pueden adaptarse fácilmente para el labrado de aceros u otros materiales de distinta dureza, requieren menos potencia y tienen una vida útil más larga que muchos otros tipos de herramientas de corte. Como, además, ejercen menor presión, resultan convenientes para trabajar estructuras de acero soldadas, que se deforman y vibran excesivamente cuando se trabajan con herramientas de carburo ordinarias. También las herramientas con plaquitas de carburo sujetas por medios mecánicos, que pueden programarse para que cambien el borde cortante, han adquirido aceptación general, pues eliminan el costo de reafilado. Aunque se utilizan principalmente como herramientas de filo único, también se emplean en las fresas.

Las velocidades de corte y de avance de las máquinas-herramientas han aumentado tanto, que, en muchos casos, el tiempo de corte efectivo representa sólo una fracción del tiempo total de manipulación de la pieza. La reducción del tiempo necesario para cargar, centrar y sujetar la pieza, para ponerla en la posición de corte y para accionar las palancas de puesta en marcha y parada es ahora el aspecto en que más margen queda para reducir los costos de mecanizado.

La capacidad de producción de las máquinas-herramientas puede aumentarse considerablemente automatizando la operación de corte y dotando a la máquina de mandos de ciclo automático para reducir el tiempo improductivo. Con la adición de un mecanismo de ciclo automático, una máquina de tipo corriente puede adaptarse con más facilidad para la producción de grandes series, pues se eliminan los movimientos fatigosos que, de no existir ese mecanismo, ha de efectuar el operario. Dicho mecanismo determina el ritmo de la producción horaria, aun en series cortas. Mediante el control numérico de la máquina-herramienta pueden obtenerse resultados similares.

En el caso de piezas que, por su geometría, no son rígidas o que, por otras causas, no pueden sujetarse bien por los medios corrientes, hay que recurrir a dispositivos de fijación especiales. Hoy pueden obtenerse en el comercio distintos tipos de portapiezas universales intercambiables. Estos dispositivos ofrecen una amplia gama de posibilidades y permiten sujetar rígidamente y manipular con rapidez piezas de muy diferentes configuraciones.

Las herramientas de carburo, si bien permiten alcanzar ritmos de producción más elevados, tienden a desafilarse antes que las de acero rápido: no obstante, permiten fabricar mayor número de piezas por cada vez que se ajusta o monta la herramienta, que es lo principal. El número de piezas producidas por herramienta depende también del diseño de la herramienta y de la máquina. Es preciso que cada taller cuente con montadores de herramientas experimentados que determinen las velocidades de avance más adecuadas e impidan que las máquinas trabajen con accesorios no rígidos, con cojinetes y guías desajustados, etc. Si se presta la debida atención, la adopción de las herramientas de carburo comportará un aumento gradual de la producción. El manejo descuidado de estas herramientas, la elección de carburos de una dureza inapropiada, el afilado incorrecto, la utilización de las herramientas hasta que se agrieten o desportillen son los errores que suelen cometerse y que pueden hacer antieconómico este tipo de mecanizado.

En la actualidad, cuando se construyen máquinas-herramientas se tienen presentes las rigurosas exigencias propias del mecanizado con herramientas de carburo, lo que se ha traducido en una mayor potencia y rigidez y esto, a su vez, en mayores velocidades de avance y de corte con herramientas de acero rápido (AR) y, en particular, de aleaciones de cobalto, cromo y tungsteno (que no han caído, ni mucho menos, en desuso, sino que se han mejorado en los últimos años, y los hay con una amplia gama de grados de dureza). Para el fresado con fresa de forma, en particular, se prefieren herramientas de AR, incluidas las de aleaciones Co-Cr-W, ya que estas herramientas pueden perfilarse y reafilarse con más facilidad. A veces, han de utilizarse simultáneamente en una misma máquina herramientas de carburo y de AR. Se han fabricado herramientas de carburo de un grado de dureza apropiado para las velocidades de corte del AR más bajas, ya que las herramientas de carburo de dureza corriente tienden a agrietarse y desportillarse cuando se utilizan a estas velocidades.

Como, cuando se trabaja con velocidades de cortes superiores, suele obtenerse un mejor acabado superficial, las herramientas de carburo permiten mecanizar las superficies de los cojinetes con un grado suficiente de precisión. La disminución

de la velocidad de avance por revolución sirve también, hasta cierto punto, para mejorar el acabado de superficies. Al preparar una operación de mecanizado, hay que tener presente la calidad del acabado superficial que se desea. Por ejemplo, si se utiliza una fresa de refrentar de carburo para labrar una pieza de acero pesado con una velocidad de avance de 0,015 pulgadas por diente, una velocidad de corte de 350 pies por minuto y una profundidad de corte de 0,300 pulgadas, se obtendrá un acabado superficial relativamente tosco (unas 80 micropulgadas RMC del valor indicado por el rugosímetro). Con una velocidad de avance de 0,005 pulgadas por diente, una velocidad de corte de 500 pies por minuto y solamente 0,060 pulgadas de profundidad de corte, se obtendrá un mejor acabado superficial (unas 45 micropulgadas RMC del valor indicado por el rugosímetro).

La cifra de dureza del material de la pieza puede servir para hacer una estimación preliminar aproximada de las velocidades de avance y de corte que han de seleccionarse. Así, mientras que el acero de 200 HB puede labrarse económicamente con una herramienta de carburo a una velocidad de corte de 500 pies por minuto y una velocidad de avance de 0,010 pulgadas por revolución, si la dureza de ese mismo material se eleva, por tratamiento térmico, hasta un valor de 300 HB, será preciso disminuir la velocidad de corte a unos 300 pies por minuto y la de avance a unas 0,008 pulgadas por revolución. Si se aumenta la dureza hasta 400 HB, el problema del mecanizado se hace más difícil, pues, no sólo será preciso disminuir la velocidad de corte a unos 140 pies por minuto y la de avance a 0,004 pulgadas por revolución, sino, que, además, la máquina-herramienta habrá de cumplir especificaciones más rigurosas.

El reacondicionamiento de las superficies de portamatrices exige máquinas de bancada sumamente rígidas, que puedan funcionar a velocidades de avance y corte relativamente bajas.

Resulta económico reafilarse las herramientas de carburo cuando presentan un desgaste de 1/64 de pulgada en la cara de trabajo (que el operador puede medir fácilmente sirviéndose de una regla graduada). Si se emplean estas herramientas durante más tiempo, el riesgo de rotura será mayor y el reafilado más caro, lo que contrapesará con creces las ventajas de un ciclo de producción más largo por cada vez que se ajusta la herramienta.

Otra novedad reciente es la herramienta desechable, en la que la plaquita de carburo va sujeta por medios mecánicos y, cuando se desgasta el filo cortante, se gradúa y entra en acción un nuevo filo. Una fresa cuadrada postiza presenta 8 filos cortantes; y una fresa triangular, 6 filos cortantes, con ángulo de desprendimiento negativo. Con este sistema, se evita tener que interrumpir el proceso de producción para reafilarse las herramientas.

La máquina-herramienta moderna actúa de manera fundamentalmente idéntica a como lo hacían las primeras herramientas concebidas por el hombre para dar forma a los objetos de metal, es decir, arranca el metal por medio de un material más duro. Esta sigue siendo, esencialmente, la función de la mayor parte de las máquinas-herramientas. Esta función resulta hoy más difícil de realizar porque los nuevos materiales que se trabajan hoy día son muy resistentes y por exigirse velocidades de trabajo mucho mayores. La mayor parte del esfuerzo

mecánico aplicado por una máquina-herramienta en ese proceso de arranque se ejerce en la reducida zona del filo cortante, de unas pocas milésimas de pulgada de profundidad y de largo. Cuanto más duro sea el material de la pieza, tanto mayor será el esfuerzo requerido por pulgada cúbica de metal arrancado por minuto, y tanto mayor el calor generado en la herramienta, en la viruta y en la superficie de la pieza trabajada.

Son muchos los factores que contribuyen a la explotación económica de las máquinas-herramientas, entre ellos la correcta aplicación de los principios de ingeniería a la preparación del utillaje completo de las máquinas en el taller. Hasta la fecha, no se ha encontrado ningún fluido «maravilloso» para las herramientas de corte, ni ningún material para herramientas «milagroso», ni ningún «desintegrador atómico», ni ningún «ángulo mágico», que permita obtener un alto rendimiento y un mecanizado preciso y prescindir de las rigurosas condiciones exigidas actualmente para las máquinas, el utillaje y la preparación de las operaciones de mecanizado.

#### VELOCIDAD DE LAS MUELAS EN LAS OPERACIONES DE RECTIFICADO

Durante largo tiempo se pensó que el rectificado era, primordialmente, una operación de acabado. En los últimos años, sin embargo, se han aumentado las velocidades de las muelas tanto para el rectificado basto como para el de precisión, pues, en muchos casos, se puede arrancar metal de manera rápida y económica cuando las velocidades son más altas.

Actualmente, se practica mucho, en Europa, el rectificado de precisión con muelas de ligante vitrificado que operan a velocidades periféricas de 12.000 pies por minuto, o superiores. En los Estados Unidos, se ha practicado muy poco, hasta la fecha, el rectificado de producción a estas velocidades; habiéndose limitado al rectificado de roscas y de interiores a 12.000 pies por minuto, y de anillos de rodadura de cojinetes a 16.000 pies por minuto. Estas son operaciones especializadas que se realizan con máquinas convenientemente equipadas para trabajar a altas velocidades.

#### *Resistencia de las muelas*

Las muelas han de probarse a una velocidad un 50% superior a la velocidad de funcionamiento máxima admisible: por ejemplo, a 18.000 pies por minuto si la velocidad máxima admisible es de 12.000 pies por minuto.

Las muelas vitrificadas clásicas de los grados de dureza más blandos o de grano más grueso no son lo suficientemente resistentes para poder utilizarse a altas velocidades. Como la fractura debida a una velocidad excesiva se origina siempre en el orificio, que es donde las tensiones alcanzan su punto máximo, el reforzamiento de la parte de la muela adyacente al orificio podría eliminar este problema. El reforzamiento puede efectuarse impregnando la parte central de la muela con un material de refuerzo conveniente. La experiencia japonesa demuestra que las muelas de menor dureza y de grano grueso reforzadas con

resina de gran resistencia pueden utilizarse con buenos resultados para altas velocidades. De este modo, el rectificado rápido se convierte en una técnica más prometedora que si sólo se utilizaran muelas duras de grano fino.

### *Rectificado rápido*

Las ventajas principales del rectificado rápido estriban en que, si no varían las condiciones restantes, la fuerza que hay que aplicar es inversamente proporcional a la velocidad de la muela. Con el aumento de esa velocidad, se reduce el desgaste de la muela y la deformación de la pieza, con lo que se mejora el acabado superficial. Ahora bien, el rectificado rápido eleva la temperatura en la superficie de la pieza, a menos que se aumente la velocidad de ésta en igual proporción. Además el rectificado rápido exige un sistema de refrigeración muy perfeccionado, ya que, cuando se trabaja a altas velocidades, los sistemas clásicos no sirven para hacer llegar el fluido hasta la superficie de contacto.

Con velocidades de muela más altas, se puede, bien mejorar la calidad de la pieza sin reducir el ritmo de arranque de metal, bien obtener la misma calidad con mayor velocidad de arranque. Esto último se consigue aumentando la velocidad de avance hasta que los esfuerzos de corte sean tan grandes como cuando se rectificaba a menor velocidad. Esta afirmación sólo es válida en el caso de que la pieza resista las mayores temperaturas que se originan al arrancar metal a más velocidad.

A causa del mucho mayor costo del equipo, el rectificado rápido sólo se justifica cuando permite alcanzar velocidades de corte suficientemente elevadas. Si puede justificarse el empleo de este equipo por este motivo, podrá también emplearse justificadamente para mejorar la calidad, en caso necesario.

El rectificado rápido se considera muy prometedor para la industria automotriz, a juzgar por los resultados obtenidos. Su aceptación, en cuanto proceso de fabricación, dependerá de una cuidadosa evaluación de costo total que entrañe, para cada aplicación posible, la consecución de la calidad requerida en cada caso.

Para trabajar a una velocidad de 12.000 pies por minuto, se requerirá equipo nuevo, pues no se considera práctico modificar el equipo existente para poder trabajar a esas velocidades. En todo caso, si se considera justificado pasar a trabajar a altas velocidades, la transición deberá ser gradual.

### *Rectificado a bajas velocidades*

La experiencia ha demostrado que, en casos especiales en que el rectificado rápido resulta contraproducente, los mejores resultados se obtienen a velocidades inferiores a 6.000 pies por minuto.

En el rectificado con husillo vertical y mesa giratoria, la velocidad no suele exceder de 4.500 pies por minuto. El rectificado a velocidades superiores puede empastar la muela, a menos que se emplee un material mucho más blando que el normalmente empleado. En este tipo de operación, la mayor parte de la acción abrasiva se debe a granos sueltos, que son los que cortan la mayor parte de la viruta y, también, los principales causantes del desgaste de la muela, pues hacen que otros granos de ésta, queden también mal sujetos, renovando así la capa

de material abrasivo desligado. Una muela bien seleccionada funciona, en este caso, principalmente como una fuente controlada de granos sueltos. La acción abrasiva, en este tipo de operación, se diferencia mucho de la normal, y el aumento de la velocidad de la muela puede impedir su realización.

La disminución de la velocidad de la muela entraña, normalmente, un mayor desgaste de ésta y una disminución de la relación de corte — es decir, la relación entre la cantidad de metal arrancado y el desgaste de la muela —, pues se intensifica la acción de cada grano abrasivo. En cambio, en el rectificado de una superficie de acero rápido alto en vanadio (5%), como el T15, la relación de corte aumenta a medida que se reduce la velocidad de la muela de 6.000 a 3.000 pies por minuto, disminuyendo luego rápidamente a medida que se sigue reduciendo la velocidad. Las partículas extremadamente duras de carburo de vanadio contenidas por el acero parecen separarse más fácilmente por la acción de los granos abrasivos a medida que disminuye la velocidad de la muela. Este fenómeno compensa con creces el mayor desgaste que normalmente resulta de la disminución de la velocidad. Por debajo de los 3.000 pies por minuto, se vuelve a la relación normal de desgaste.

Aunque en mucho menor grado, este fenómeno se produce con los aceros rápidos ordinarios, con los cuales la relación de corte puede permanecer más o menos constante a medida que disminuye la velocidad de 6.000 a 4.000 pies por minuto, a partir de cuyo momento empieza a disminuir.

Al rectificar material de titanio y sus aleaciones, se ha comprobado que puede producirse una reacción química entre la superficie del metal y el grano abrasivo, a causa de la alta temperatura que se genera momentáneamente en el punto de contacto, que determina un elevadísimo desgaste de la muela. Otros metales que responden de manera análoga son el circonio y el uranio. La reacción puede inhibirse trabajando a una velocidad muy reducida (generalmente de 1.500 a 2.000 pies por minuto, cuando el abrasivo es óxido de aluminio) y con ciertos fluidos de corte químicamente activos, lo que hace que la relación de corte aumente en un factor de 20 o más. El fluido de corte engendra una barrera de capas iónicas en las superficies del metal y del abrasivo, reduciendo las probabilidades de contacto y, por ende, de una reacción química entre el metal y el abrasivo. Con bajas velocidades de corte, el fluido tiene tiempo de formar nuevas capas que reemplacen las dispersas durante la operación de rectificado y, además, se genera una menor temperatura de contacto, lo que contribuye a reducir la reacción química. El efecto de la menor temperatura es relativamente insignificante en ausencia de un fluido químicamente activo adecuado.

Las bajas velocidades tienden a reducir también los esfuerzos de tracción residuales ocasionados por la temperatura de corte, que merman la resistencia del metal a la fatiga. Un procedimiento comúnmente empleado en la industria aeroespacial consiste en operar a tan sólo 2.000 pies por minuto con muela blanda efectuando pasadas cada vez más ligeras a medida que se alcanzan las dimensiones finales. No está muy claro por qué se requiere una velocidad tan baja para impedir que se ocasionen esfuerzos de tracción residuales, puesto que los anillos de rodadura de cojinete de acero templado se rectifican a 16.000 pies por minuto sin que se manifiesten efectos nocivos debidos a la temperatura de corte.

Otra operación de rectificado en la que ha resultado necesario aplicar bajas velocidades es el rectificado de planchas de acero inoxidable con cinta abrasiva. En este caso, la velocidad de la cinta ha de ser de tan sólo 2.800 pies por minuto, velocidad que permite arrancar una proporción sumamente alta de metal. Las cintas abrasivas se utilizan normalmente al doble de esta velocidad, es decir, más o menos a la velocidad de las muelas vitrificadas clásicas.

Aunque el rectificado rápido ofrece indiscutibles posibilidades, estos ejemplos sirven para ilustrar las condiciones en que el empleo de velocidades bajas se ha revelado ventajoso.

### FUNCIÓN DE LOS FLUIDOS DE CORTE

La función primaria de un fluido de corte es refrigerar la herramienta, la viruta y la pieza. Al reducir la temperatura en los puntos de contacto de la herramienta y de la viruta, permite utilizar más tiempo la herramienta sin necesidad de reafilado. Además, el fluido de corte suele mejorar el acabado superficial de la pieza y arrastra la viruta. Existen muchos fluidos de corte para las distintas operaciones de mecanizado, pues no hay un solo fluido que dé un resultado óptimo para todas las operaciones.

Los fluidos más comunes son las soluciones y emulsiones acuosas, que son las más eficaces para operaciones tales como el torneado de acero con herramientas AR de filo único. El torneado con herramientas de carburo se realiza generalmente sin refrigerante, aunque, en estos casos, suele aplicarse una corriente de aire comprimido para dispersar la viruta en una dirección dada.

La adición de productos con azufre, cloro o fósforo a una emulsión acuosa aumenta sus propiedades lubricantes. Estos fluidos de corte resultan muy convenientes para taladrar, para fresar roscas y para brochar, en razón de la elevada fricción que se produce durante estas operaciones en las superficies inactivas, especialmente en el filete de la broca salomónica. En estos casos, la acción lubricante del fluido de corte puede reducir también las fuerzas de rozamiento en el proceso de corte, con la consiguiente disminución de la potencia necesaria para la herramienta. Este fenómeno no se produce en las operaciones de torneado, pues en éstas se forma una sola viruta cuando se trabaja con una presión elevada por unidad de superficie y a una velocidad relativamente alta. La acción lubricante del aceite y de las emulsiones acuosas con aditivos a base de azufre o cloro sólo se manifiesta en las operaciones de torneado a bajas velocidades de corte (de 10 a 20 pies por minuto), rara vez utilizadas en la práctica. Por ello, los fluidos de corte corrientemente empleados para el torneado actúan principalmente como refrigerantes. Puede obtenerse un buen refrigerante añadiendo al agua un agente antioxidante, como nitrato de sodio al 0,1%, y sustancias que rebajen la tensión superficial del fluido e inhiban el desarrollo de bacterias.

Utilizanse como fluidos de corte aceites minerales, animales y vegetales. A veces, se mezclan distintos aceites, en diferentes proporciones, para obtener un fluido de cierta viscosidad destinado a una operación particular o para mejorar la acción lubricante del fluido. También se agregan a los aceites de corte productos

con azufre, cloro y fósforo, con lo que se mejora la potencia lubricante a presiones y temperaturas más altas. El azufre suele incorporarse añadiendo aceite mineral sulfurado o una grasa sulfurada a un aceite mineral ordinario. El azufre tiende a decolorar el metal no férreo e incluso las superficies de acero. Por consiguiente, cuando se quiera evitar la decoloración de las piezas, los aceites que contienen azufre deberán utilizarse con precaución.

Para el fresado de roscas, el rasurado de engranajes y para algunas máquinas roscadoras automáticas, así como para trabajos pesados de brochado, empleáanse aceites de corte con alta concentración de compuestos de cloro y azufre. Para el fresado de roscas, se utiliza un aceite mineral ligero siempre que se requiera un buen acabado superficial. El queroseno es un fluido de corte eficaz para el mecanizado de aluminio y cobre. Deberá evitarse el empleo de aceites, soluciones acuosas o emulsiones para el mecanizado del magnesio, pues su empleo aumentará el riesgo de incendio debido al roce de las herramientas inactivas contra la pieza, o al arranque de viruta muy fina. (Para el mecanizado del aluminio, ha de procurarse que las herramientas arranquen una viruta gruesa y que en ningún momento pasen en vacío sobre la pieza; la remoción continua de la viruta y el polvo de la máquina-herramienta es otra medida de seguridad que hay que tener muy presente.)

Los fluidos refrigerantes se aplican en forma de neblina, especialmente para las operaciones de fresado rápido, a fin de obtener un mejor acabado superficial, o cuando no pueden aplicarse por medio del tubo, por existir el riesgo de que el líquido sea eyectado en todas las direcciones por efecto de la operación de mecanizado. Tanto en forma de neblina como en forma de líquido, el refrigerante deberá aplicarse generosamente, de modo que disipe una gran parte del calor generado durante la operación de corte.

La mayoría de las máquinas-herramientas están provistas de un tanque de fluido, con las correspondientes tuberías de circulación. Estos elementos deberán limpiarse periódicamente, a fin de eliminar los residuos y reducir al mínimo el riesgo de rancificación y de formación de moho y de malos olores. Puede instalarse un sistema de filtrado rápido para eliminar eficazmente las finas partículas —magnéticas o no— que contengan los fluidos de corte. La utilización, recuperación y eliminación eventual de los fluidos de corte —que a veces plantean un problema difícil— son un factor económico importante del labrado de metales. Muchas fábricas han estimado conveniente capacitar por lo menos a un operario en todos los aspectos de la utilización de fluidos de corte, con lo cual pueden reducirse considerablemente los costos de fabricación y se obtiene una mayor eficiencia operativa.

#### *Eliminación de fluidos de corte usados*

En la mayoría de los países en desarrollo, se desconoce aún, en gran parte, el problema de la contaminación del medio humano. Los talleres de mecanizado contribuyen a esta contaminación descargando indiscriminadamente los aceites y fluidos de corte usados, así como con el humo y polvo que producen. Si bien, en un principio, esta práctica puede no acarrear otro efecto que el de causar molestias a los trabajadores y al vecindario, con el tiempo la contaminación

puede alcanzar proporciones serias, como ha ocurrido en muchos países industrializados, poniendo en peligro la salud de los seres humanos y destruyendo los recursos naturales (las aguas, los bosques, las pesquerías y la tierra de cultivo)

Se ha descubierto que cuesta menos prevenir la contaminación que extirparla. Es preciso que las industrias de todos los países se interesen por la preservación del patrimonio natural y actúen en consecuencia, de lo contrario, provocarán su propia destrucción al cabo de cierto tiempo. Si el problema de la contaminación se acomete desde el momento mismo en que un país en desarrollo inicia su industrialización, podrán hallarse soluciones razonables antes de que sea demasiado tarde. Los peligros que, en muchos países industrializados, amenazan la salud pública como consecuencia de un control insuficiente de la contaminación deben ser una clara advertencia para los países en desarrollo. El precio que los países industrializados quizá tengan que pagar para combatir la contaminación pudiera resultar excesivamente oneroso para los países en desarrollo que un día se encontraren en igual situación.

### MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN

Las máquinas-herramientas representan una inversión importante y, por ello, es imperativo mantenerlas en buen estado. Las máquinas-herramientas bien construidas pueden tener una vida útil muy larga y no exigir sino muy poco mantenimiento, aunque esto nadie puede asegurarlo. La mayoría de las empresas pequeñas aprovechan los períodos de poca actividad para reparar y pintar las máquinas-herramientas. Incluso en estos casos, estas operaciones deberán programarse. Aparte la sustitución de piezas rotas, deberán comprobarse minuciosamente la precisión y el desgaste de los cojinetes, los carritos deslizantes, los engranajes, las correas de transmisión y los motores. Cuando los soportes de los motores están flojos y las correas de transmisión desgastadas, pueden causar vibraciones. Cuando la tensión en las correas no es suficiente ni uniforme, las máquinas-herramientas no pueden funcionar a plena capacidad.

Las máquinas-herramientas viejas que conservan sus órganos básicos en buen estado pueden, a veces, restaurarse completamente sometiénolas a una minuciosa revisión y cambiando los elementos desgastados. Antes de emprender una reparación importante en una máquina-herramienta, deberá consultarse el manual de mantenimiento del fabricante. (De haberse extraviado este manual, podrá siempre obtenerse otro del fabricante.) La restauración de las máquinas-herramientas es una tarea difícil; en los países industrialmente avanzados, hay talleres que se especializan en este complicado trabajo de precisión, y que, a menudo, venden como máquinas-herramientas nuevas, con garantía, máquinas viejas a las que se han incorporado características modernas. Estas actividades, que podrían emprenderse en talleres debidamente equipados, pudieran representar un paso importante hacia el establecimiento de una industria propia de máquinas-herramientas.

Cuando el rendimiento de una máquina-herramienta empieza a decaer, las causas pueden ser múltiples. Si se tienen presentes los siguientes consejos,

relativos al funcionamiento y mantenimiento de las máquinas-herramientas, se evitarán la mayoría de los problemas y se solucionarán muchos otros:

1. En primer lugar, asegurarse de que la máquina está perfectamente nivelada y de que no oscila sobre su base a causa del asentamiento de los cimientos. Para esto, es necesario verificar rigurosamente el nivel en los carritos transversales y en la bancada.
2. Asegurarse de que la máquina-herramienta no está sujeta a vibraciones exteriores provocadas por la circulación, por las prensas de forjar, por las grúas, etc., que pueden influir adversamente en el acabado superficial y en la precisión. En caso necesario, utilídense soportes de caucho, de resorte, de fieltro, neumáticos o de fibra de vidrio para absorber las vibraciones provenientes de las inmediaciones.
3. Lubricando periódicamente la máquina-herramienta y sus motores, se evitarán algunas roturas. Póngase cuidado en utilizar un lubricante apropiado.
4. Antes de iniciar un nuevo trabajo, cerciorarse de que la máquina-herramienta está limpia. Una vez terminado el trabajo, retírese la viruta y el polvo de la máquina, que no deberá limpiarse nunca cuando está funcionando, pues ello pudiera provocar daños materiales y personales.
5. En evitación de cortes e infecciones, no deberá retirarse la viruta con las manos desnudas, sino que deberá utilizarse un cepillo o un trapo.
6. No extender el brazo por encima de las herramientas o de las piezas cuando éstas están en movimiento.
7. Para verificar el ajuste de las herramientas y de las piezas, utilícese una galga para huelgos o un pedazo de papel.
8. Guárdense las herramientas y las piezas en un lugar en que no puedan resultar dañadas ni cubrirse de viruta y donde puedan conservarse limpias. La viruta deberá retirarse periódicamente, a fin de que no se acumule en gran cantidad cerca de la máquina.
9. Asegurarse de que no entren polvo ni viruta en el depósito ni en los tubos del refrigerante y de que no se han depositado en los carritos de precisión ni en las superficies de la máquina-herramienta. Es una buena norma cubrir todos los carritos deslizantes que no estén cubiertos.
10. El husillo y la cabeza de éste figuran entre los elementos más precisos de una máquina-herramienta. Debe velarse particularmente por que no reciban golpes de martillo ni resulten dañados por las herramientas cortantes o por la viruta.
11. Antes de fijar las herramientas a la máquina, asegurarse de que no contienen viruta, polvo ni entalladuras. La presencia de viruta fina entre las herramientas y los dispositivos que las sujetan se traduce en imprecisiones y, a veces, provoca daños permanentes.

12. Cuando se utilice un torno, procúrese que la parte sobresaliente de la herramienta y la extensión del contrapunto sean lo más cortas posible, a fin de no mermar la rigidez del conjunto y, por ende, el rendimiento del torno. Las herramientas de los tornos deberán montarse en el eje longitudinal; cuando el filo cortante esté encima o debajo del eje longitudinal influirá en el ángulo de la herramienta.
13. Al montar una fresa en el portaherramienta, colóquese lo más cerca posible de la cabeza del husillo, y la mesa junto a la columna. Asegurarse de que la fuerza cortante horizontal empuja a la herramienta hacia el husillo. Una fresa de dientes alternados trabajará mejor en ranuras profundas. Una fresa con un paso entre dientes más grande suele ser más conveniente que una fresa con muchos dientes, pues consume menos energía y saca la viruta con mayor regularidad. Es preciso que todas las fresas trabajen concéntricamente, pues, de lo contrario, algunos dientes estarán sobrecargados y otros inactivos.
14. Cuando se manipulan fresas grandes, conviene servirse de un trozo de trapo, en lugar de hacerlo con las manos desnudas, para no cortarse.
15. Asegurarse siempre de que la pieza ha sido correctamente colocada y está firmemente sujeta, de suerte que no pueda desviarse, y de que no hay interferencia entre las herramientas y los dispositivos de sujeción. Insértese chapa o cartón para proteger las superficies muy acabadas cuando se apliquen a las mismas herramientas o dispositivos de sujeción.
16. Evítese colocar piezas brutas, de moldeo o de forja, en las guías de precisión o en superficies análogas de la máquina-herramienta sin interponer previamente material de protección.
17. Cuando hayan de efectuarse ajustes menores en el posicionado de piezas de fundición o de acero, utilícese un martillo de plomo; para las piezas de aluminio o de magnesio, utilícense martillos de cuero o de plástico.
18. Antes de empezar a cortar el metal, asegurarse de que se han seleccionado las velocidades de corte y de avance correspondientes. De no tomarse esta precaución, pueden producirse daños en la pieza trabajada, romperse la herramienta de corte u obtenerse un acabado superficial deficiente.
19. Verifíquese el funcionamiento de todos los topes de avance y asegurarse de que se ha desembragado el movimiento rápido, antes de aplicar la herramienta a la pieza.
20. Si se emplea fluido refrigerante, deberá aplicarse abundantemente. Téngase presente, sin embargo, que la fundición suele trabajarse en seco.
21. Ajústense y límpiense a intervalos regulares los carritos deslizantes y los cojinetes, para asegurarse de que mantendrán la velocidad y precisión de trabajo.
22. Al preparar la máquina-herramienta para la operación siguiente, no deberán colocarse las herramientas en el suelo, sino en un bastidor, en el que no puedan resultar dañadas o del que no puedan caer sobre hormigón.

23. El buen ordenamiento y el alumbrado adecuado del taller son la garantía de un trabajo eficiente. Los acabados de precisión en máquinas y herramientas deben protegerse. Las puertas y aberturas de las máquinas-herramientas y de los armarios de control han de mantenerse cerradas mientras trabajan las máquinas, para evitar que penetre viruta.
24. Los operarios encargados de máquinas-herramientas deberán llevar siempre gafas de seguridad. Además, deberán poder efectuar ajustes y reparaciones menores en las mismas para mantenerlas en buen estado de funcionamiento. Las reparaciones y revisiones importantes deberán confiarse al servicio de mantenimiento de la planta.
25. Es preciso tomar las oportunas medidas para evitar la propagación del polvo producido por las máquinas-herramientas, ya que, además de dañar a éstas, puede penetrar en los pulmones de los operarios.

## CAPITULO 3. GESTION DE LA PRODUCCION

### ASPECTOS ECONÓMICOS DE LAS INVERSIONES EN EQUIPO DE PRODUCCIÓN

Las decisiones relacionadas con las inversiones en equipo de producción figuran entre las más difíciles en cualquier país o sistema económico, pero especialmente en los países en desarrollo. Los riesgos varían de un lugar a otro y de un país a otro. En los cálculos sobre la vida total del equipo de producción no pueden tenerse fácilmente en cuenta los efectos de las posibles inflaciones o deflaciones monetarias. La adquisición de equipo fabricado fuera del país lleva consigo gastos especiales por concepto de licencias de importación. Los derechos de importación de maquinaria y de materiales, e incluso toda la estructura fiscal, pueden cambiar durante la vida de una máquina de una manera completamente imprevisible. El valor de cambio de las llamadas divisas fuertes puede cambiar también, con resultados en algún país lejano más perjudiciales que en el país de emisión.

Cuando una máquina-herramienta se ha usado durante varios años, puede quedar anticuada. Es decir, las empresas de la competencia pueden comenzar a usar máquinas con nuevas características que permita una mayor producción de piezas similares. No siempre es fácil determinar la obsolescencia porque la tecnología de las máquinas en general se desarrolla lentamente, y no se producen aumentos repentinos en la productividad. A la larga, las operaciones deben rendir lo suficiente para permitir la adquisición de equipo que incorpore nuevos avances tecnológicos, sin lo cual puede ser imposible mantener competitivas muchas operaciones de fabricación.

En esta situación, muchas compañías alquilan máquinas-herramientas por años, en vez de comprarlas, procedimiento que permite, por otra parte, dedicar más fondos a capital de operaciones. El alquiler tiene otra ventaja: permite a una compañía juzgar el valor de un nuevo equipo de maquinaria mediante ensayos prácticos antes de decidirse a comprarlo. Si la compañía compra el equipo, en el precio se tiene normalmente en cuenta el alquiler ya pagado.

Dada la obsolescencia inevitable, aunque a veces lenta, del equipo de producción, deben tenerse en cuenta los gastos de amortización desde el momento en que una máquina entra en el taller. En los países industrializados, muchos tipos de máquinas-herramientas se consideran anticuados después de diez años de servicio. Algunas máquinas-herramientas para fines especiales pueden considerarse amortizadas en un año o dos, cuando se consigue con ellas un aumento suficientemente grande de la productividad, en comparación con la máquina normal. No puede esperarse que los servicios técnicos pronostiquen con exactitud la tasa de obsolescencia. El servicio de contabilidad intentará que sus posibles

errores tengan un considerable margen de seguridad, de modo que ninguna máquina resulte anticuada antes de su amortización completa. Esos juicios tienen gran importancia en los casos en que la obsolescencia puede producirse antes de que el equipo se haya gastado físicamente.

Un fenómeno más fácilmente determinable es el deterioro de una máquina debido a muchos años de uso y abuso. A la reducción en el rendimiento contribuyen, cada una un poco, varias causas que pueden ser fácilmente observadas y diagnosticadas por el operario o por el capataz. Por ejemplo, una máquina-herramienta puede no acabar bien las piezas y tener que usarse sólo para operaciones de desgaste; pueden ser necesarias nuevas operaciones de rectificado porque un torno no produce piezas de los tamaños exactos; puede ocurrir que sólo operarios muy calificados sean capaces de producir piezas que pasen la inspección sin necesidad de nuevas operaciones; o bien puede suceder que trabajos, a veces incluso con normas relativamente bajas de exactitud, lleven mucho tiempo de preparación y requieran ajustes especiales de la máquina-herramienta.

Otra indicación del deterioro es el que la máquina reparada se averíe después de tres semanas de uso, por ejemplo, y requiera otras tres semanas para la nueva reparación. (Ello puede suceder también con máquinas-herramientas relativamente nuevas muy recargadas o con algunos puntos débiles en la proyección.) Otras señales de peligro son que el utillaje no dure todo el tiempo previsto, debido a trepidaciones y vibraciones, o que los indicadores de los instrumentos no sean exactos, debido a tornillos desgastados o a soportes flojos.

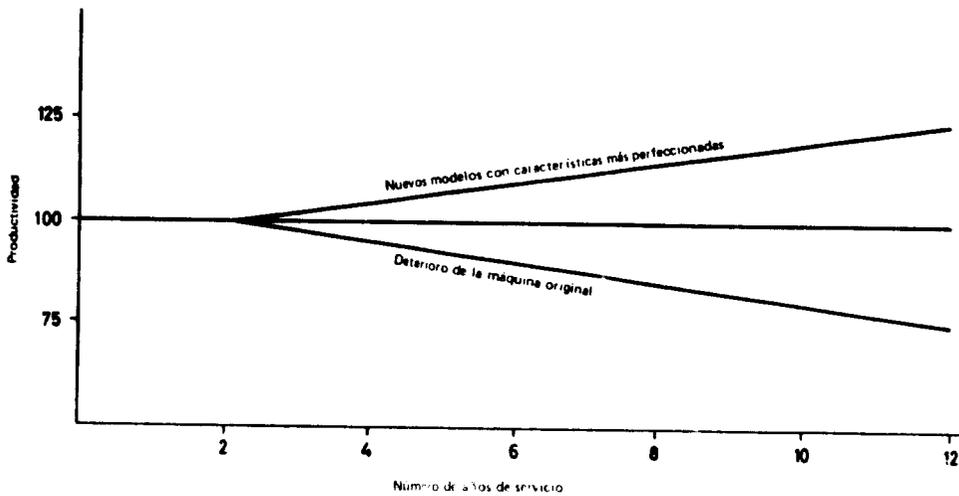
A veces, las empresas de transformación de metales pueden ser rentables con equipo viejo amortizado hace mucho, pero esas situaciones no son típicas ni competitivas por mucho tiempo.

Una máquina-herramienta bien construida debe funcionar con una eficacia del 100% durante los primeros años de trabajo. Luego comenzará a deteriorarse y su producción descenderá, o será preciso más trabajo del operario para lograr unas dimensiones exactas. En este caso, la fatiga puede reducir también la eficiencia del operario. La figura 2 es una ilustración esquemática del deterioro y la obsolescencia de una máquina-herramienta. La mayoría de las máquinas-herramientas funcionarán satisfactoriamente diez años si se las mantiene como es debido. Entonces, la obsolescencia comenzará a manifestarse claramente y será inevitable una comparación de costos con máquinas más nuevas. La obsolescencia y el deterioro son inevitables en las máquinas-herramientas y están reconocidas en las leyes fiscales de los países industrializados mediante desgravaciones a la adquisición de nuevo equipo industrial. Especiales beneficios fiscales fomentan la modernización de las máquinas-herramientas, aumentan la rentabilidad y promueven la expansión general de la capacidad manufacturera de un país.

En un programa racional de inversiones, es preciso determinar los probables ahorros de las distintas propuestas en que debe basarse un plan detallado de prioridades para las inversiones en equipo y máquinas-herramientas. Es muy raro que haya recursos para inversiones en todos los proyectos que pueden reducir los costos.

En la determinación deben incluirse todos los tipos de costos de producción, fijos y variables, no sólo los costos de la obsolescencia y el deterioro. Es difícil

Figura 2. Deterioro y obsolescencia de las máquinas-herramientas



*Nota:* La productividad de una máquina-herramienta nueva es igual a 100. Debido al desgaste, la máquina-herramienta se deteriora con el tiempo. Los nuevos modelos pueden permitir una mayor eficiencia en el manejo y causar, por lo tanto, una cierta obsolescencia en los años siguientes.

llegar a una cifra fiable de los costos, incluso en un país industrializado. Las fórmulas y los gráficos para determinar los costos corrientes de nuevo equipo de producción tienen sólo aplicación en los mercados concretos de los países industrializados para los que se preparan. Sin embargo, a pesar de todas las dificultades, los costos deben estimarse con la mayor aproximación posible.

No debe olvidarse que los costos de instalación, modificación y alteración de edificios y equipo existente deben añadirse al precio de compra del equipo nuevo, y los ingresos (si los hay) de la venta del equipo al que sustituye deben sustraerse de esa suma antes de calcular la carga financiera que representa.

Hay numerosas razones válidas para instalar nuevo equipo de producción:

- Reducir los costos del mecanizado;
- Mejorar la calidad de los productos;
- Hacer que los productos puedan competir con artículos importados;
- Aumentar la capacidad existente;
- Hacer que los productos puedan competir con los de otras plantas del país;
- Resolver el problema de la escasez de mano de obra calificada;
- Eliminar trabajo manual pesado e indeseable;
- Simplificar operaciones difíciles de mecanizado; e
- Iniciar un nuevo tipo de producción, por ejemplo, con nuevos materiales.

Las inversiones en nuevo equipo para sustituir al anticuado y desgastado deben evaluarse con varios criterios.

En primer lugar, el nuevo equipo debe permitir ahorros considerables en los costos, con respecto a la producción de la maquinaria existente, dado el margen de error inherente en las estimaciones para un futuro período largo.

En segundo lugar, la dirección de la empresa debe decidir cuáles son sus objetivos y si esos objetivos permiten la amortización de nuevo equipo en los próximos años.

Sean cuales fueran las razones para la inversión, el procedimiento más común es dividir los beneficios, antes o después de los impuestos, por la suma invertida, a fin de determinar el rendimiento del capital. (En el caso de que las instalaciones de producción hayan sido un factor limitativo del volumen de las ventas y el nuevo equipo permita un aumento de la producción, en el cálculo de los beneficios debe tenerse en cuenta la expansión de las ventas además de los cambios en el costo por unidad.) Los beneficios expresados como porcentaje de las ventas son un criterio útil para medir la eficacia de una determinada máquina usada en la empresa. Cualquiera de los dos cálculos debe indicar beneficios después de las deducciones por uso y obsolescencia de la maquinaria y el utillaje. Al seguir esos procedimientos se observa, a menudo por primera vez, que realmente no hay beneficios.

Esas indicaciones rudimentarias de los beneficios de la inversión pueden compararse con las de los posibles beneficios de otros proyectos de sustitución de la maquinaria o de otras inversiones para aumentar la capacidad. Sin embargo, tienen algunos inconvenientes. No incluyen ajustes para los futuros cambios del valor del dinero y no tienen en cuenta el factor tiempo cuando se producen ahorros. Los ahorros en los primeros años pueden reinvertirse para obtener nuevos beneficios. Puede usarse un método más complejo, denominado actualización de la corriente de efectivo, para tener en cuenta esos factores y para refinar, por lo tanto, el cálculo de los beneficios de las inversiones en nueva maquinaria o en otros proyectos.

Una empresa manufacturera debe considerarse como una operación que añade valor a materias primas como acero, arrabio, plásticos, etc. La diferencia entre el valor de su producción y el costo de los materiales, etc., usados, determina el éxito de la operación. Los ingresos netos deben aplicarse directamente al crecimiento progresivo de la compañía o ser suficientemente grandes para ofrecer incentivos a inversionistas y a organismos oficiales demostrando que la empresa puede sobrevivir e incluso prosperar.

#### LOCALIZACIÓN DE LA FÁBRICA

La construcción o adquisición de una nueva fábrica o planta puede suponer una inversión de considerable magnitud; y hay que tener cuidado al elegir emplazamiento. Si el tamaño de la operación planeada justifica una investigación detallada y esa elección, para localización o relocalización, es libre, la siguiente lista de factores puede ser una guía útil para decidir sobre la conveniencia de un lugar determinado<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Basado en «Plant site selection guide», *Factory*, mayo de 1957, copyright Morgan-Grampian, Inc., con permiso especial.

a) *Características de la mano de obra*

Residente o de paso; índice de absentismo; hábitos domésticos; aceptación del cambio tecnológico.

Estadísticas demográficas y de mano de obra relativas a la población, por edad y sexo; número de personas empleadas en la industria, la agricultura, etc.; disponibilidad de mano de obra calificada, semicalificada y no calificada; empleo estacional; desempleo; buena voluntad en relación con el trabajo en turnos. Estas estadísticas deben abarcar una zona en la que las distancias hasta el emplazamiento previsto para la fábrica permitan acudir diariamente a trabajar en ésta, es decir, contando con los llamados «trabajadores pendulares».

Evalúese la influencia de las industrias establecidas en la zona. Esta influencia afecta a los salarios, las horas de trabajo y el sistema de turnos; competencia para conseguir personal calificado, sindicación, productividad, seguridad, disposiciones sobre despido e, incluso, lo que puede considerarse como índices aceptables de accidentes industriales. Vale la pena averiguar si existe una industria local relevante con la que el nuevo establecimiento se verá forzado a competir.

b) *Posibilidades en cuanto a cuadros de mando*

Averiguar si los posibles trabajadores de la zona asumen progresivamente nuevas responsabilidades. Posibilidades de contratar mandos, y personal científico y técnico, en el plano local. Medida en que se puede capacitar al personal local.

c) *Condiciones del medio local*

Volumen y tipo de las viviendas disponibles. Instalaciones y servicios de educación, sanidad, bienestar social, cultura y recreación. Actitud de la comunidad para con los recién llegados.

d) *Impuestos, normas sobre planificación urbana y zonas industriales*

Reducciones y exenciones de impuestos para fomentar la instalación de industrias. Impuestos locales sobre la propiedad y de otra índole.

Normas locales relativas a la emisión de humos, evacuación de desechos líquidos y sólidos, edificios antiestéticos, y actividades que causan molestia a los vecinos. Legislación sobre edificación e inspección de la edificación. Disposiciones oficiales, en vigor y previsibles, para controlar la contaminación del medio, y medidas encaminadas a hacer cumplir esas disposiciones.

e) *Servicios*

Instalaciones de energía eléctrica, aceites combustibles y suministro de agua.

Servicios de transporte: cercanía del ferrocarril, existencia de apartaderos y tarifas del transporte ferroviario; horarios y tarifas del transporte por carretera y acceso al mismo, así como restricciones sobre peso y tamaño

y técnicas utilizadas en los puntos de transbordo; ubicación de un aeropuerto, líneas aéreas de enlace y facilidades para los envíos por avión.

Existencia, en el plano local, de servicios comerciales como los siguientes: un taller de reparación importante; una red de distribución industrial; servicio local de camiones; taller de mantenimiento para motores eléctricos; proveedores de lubricantes, acero, madera, diversos suministros mecánicos y artículos de papelería; arquitectos e ingenieros; contratistas.

Calidad de los servicios de correos, policía y bomberos.

f) *Suministro de materias primas*

Cercanía de las fuentes, su seguridad y grado en que están ya comprometidas con otros usuarios industriales. Precios, plazos de entrega, condiciones de venta, costo del transporte. Ritmo de agotamiento de las fuentes.

Para elementos clave, la existencia de proveedores (de preferencia, más de uno) y posibilidades de transporte rápido. Subcontratistas presentes o futuros.

g) *Consideración de un emplazamiento determinado*

Naturaleza de los terrenos; topografía y clima; superficie disponible, su disposición y orientación; desagües y posibilidades de inundación; servicios existentes; subsuelo y cimientos; existencia de zanjas, corrientes, etc; riesgos de arenas volanderas y necesidad de trabajos de nivelación y ajardinamiento; posible necesidad de modificar el tendido de las tuberías y otros servicios; existencia de disposiciones restrictivas sobre el uso de los terrenos; y, por supuesto, costo de los mismos.

Es de primordial importancia asegurarse de que se dispone de superficie suficiente para la planta, oficinas, edificios auxiliares, patios, tráfico (incluido el ferroviario) para satisfacer no sólo las necesidades inmediatas sino también las que pudiera ocasionar la ampliación de la planta que se prevea sin tener que buscarle nuevo emplazamiento. Para calcular la superficie de los terrenos se ha de proceder del modo siguiente:

*Necesidades de superficie cubierta*

1. Enumerar las actuales superficies de fabricación y almacenamiento.
2. Calcular todas las necesidades para las que no hay precedente o que se espera que surjan en una fecha futura.
3. Calcular, para los sistemas de turnos que se vengán siguiendo o que se espere seguir en lo futuro, la superficie adicional necesaria para la expansión de las operaciones.
4. Asignar una superficie adicional razonable para pasillos interiores; según el proceso y la disposición de la superficie; esta superficie adicional podría ser de hasta el 25% de las zonas de fabricación y almacenamiento.
5. Añadir superficies para servicios auxiliares: energía, aire comprimido, agua, vapor, almacenamiento de combustibles, almacenes de herramientas, almacenamiento de equipo, taller de reparaciones, tratamiento del aire, agua, gases, etc., residuales.
6. Añadir superficies para oficinas, incluida la de proyectos, y laboratorio.

7. Añadir superficies para servicios destinados a los empleados; retretes guardarrojas, comedor, primeros auxilios, etc.

#### *Necesidades correspondientes a la superficie no cubierta*

1. Establecer un sistema general de tráfico que enlace la planta con el sistema de tráfico de la zona. Por lo general, la circulación de los vehículos será dextrógira.
2. Idear sistemas detallados de tráfico para la recepción de materiales y expedición de productos. Asignar superficie suficiente para muelles de carga. En el caso de industrias pesadas, estudiar la conveniencia de rebajar el muelle de carga o elevar el suelo de las naves de fabricación hasta dejarlo a igual nivel que las cajas de los camiones.
3. Donde proceda, asignar facilidades de aparcamiento de vehículos para los empleados. En los Estados Unidos, es costumbre asignar espacio para un coche por cada 1,2-2,5 empleados. En algunos países, se destinan terrenos para tiendas de campaña y servicios de baños al aire libre, o se edifican viviendas para los trabajadores.
4. Asignar superficie para parques de almacenamiento de chatarra y de materiales clave en grandes cantidades.
5. Asignar superficie para cortafuegos, caminos de seguridad en torno a las vallas, etcétera.

Los cálculos de las superficies cubiertas y no cubiertas han de prepararse para tres tiempos por lo menos: el día de hoy; el final de la vida útil de la planta y en fechas intermedias, posiblemente cada 3 ó 5 años. Estos cálculos podrán ser una guía útil sobre la superficie necesaria para una actividad industrial, presente y futura, bien organizada y planeada.

### CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO DE LA FÁBRICA

Al proyectar el edificio de la fábrica, los criterios fundamentales son su resistencia, espacio en altura, y luz.

Si un suelo apto para la fábrica no puede realizarse ningún trabajo de precisión. Es común y recomendable disponer un suelo de hormigón con una resistencia de 1.000 a 2.500 kg/m<sup>2</sup>. Al decidir las proporciones del armazón, hay que tener en cuenta debidamente las cargas de impacto vertical, impulso lateral y choque longitudinal ocasionadas por el trabajo de las grúas. El forjado del techo ha de ser suficientemente fuerte para colgar cargas (900 kg o más por cada punto de suspensión). El resto de la cubierta ha de construirse de modo tal que proteja adecuadamente en relación con el clima a que está destinada. Las naves deben tener la altura suficiente para la manipulación aérea del material.

La luz del día es un factor importante. Por tanto, las paredes se construyen de ordinario del ladrillo sólo hasta el antepecho de las ventanas, y el resto es de cristal hasta los soportes de las vigas. Hay siempre alguna pérdida de luz por estar los cristales sucios. La orientación a levante o a poniente es causa de un

resplandor molesto por la mañana temprano o por la tarde. La orientación norte es la mejor.

### DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

La distribución de una planta industrial puede consistir simplemente en disponer en una sola fila las máquinas en las que se vaya elaborando una pieza por etapas sucesivas, desde la recepción hasta la expedición de los materiales, localizado todo ello en un edificio constituido por una sola nave de máquinas y un pasillo. El extremo opuesto podría ser una distribución compleja de la planta racionalizando la disposición de equipo universal en un taller para trabajos varios en el que se elaboran lotes pequeños con diferentes prioridades, tiempos de trabajo y necesidades de utillaje.

La distribución por posición fija resulta conveniente para los talleres pequeños, en los que, en lo esencial, la pieza se trabaja en un solo puesto como, por ejemplo, un banco o una máquina. Lo que aquí nos interesa es la manera de planear la distribución por proceso, en que la pieza va pasando, por etapas sucesivas, de un puesto a otro. La principal ventaja de una distribución adecuada de la planta es que proporciona a la dirección una garantía realista de producción eficiente y, por ende, de costos bajos. Todos los objetivos a que vamos a referirnos se aplican específicamente a las fábricas pequeñas o medianas, pero no todos ellos son de aplicación en todos y cada uno de los casos. Es evidente que el margen de flexibilidad es mayor cuando se trata de planificar una fábrica nueva que cuando se trata de modificar una fábrica ya existente.

#### *Consideraciones preliminares*

Toda la superficie cubierta ha de organizarse, proceso por proceso, para formar un sistema que se ajuste a los principios siguientes:

1. La circulación de los materiales ha de adaptarse a las necesidades del proceso de fabricación.
2. La circulación del producto ha de ser continua, de preferencia en línea recta y sin marcha atrás.
3. Las operaciones para las que se vaya a necesitar más superficie ulteriormente deben situarse junto al terreno reservado para uso futuro.
4. El equipo de procesos importante debe localizarse de modo que no sea necesario cambiarlo de sitio durante la vida útil de la planta, pero de modo tal que no perjudique a la eficiencia de la producción.

Al planificar la distribución hay que tener presente otros métodos posibles de producción, los caminos de desviación y los efectos del cambio tecnológico. Al asignar superficies y vías de tránsito dentro del taller, hay que dar prioridad a los procesos de fabricación esenciales para la producción de los artículos que son más rentables en la actualidad o que se espere lo sean en el futuro.

La agrupación de los elementos de producción por departamentos (departamento de prensa, departamento de corte, etc.) resulta valiosa a los fines de lograr la debida economía en la transformación de metales. Hay que proponerse

como objetivo clave el reducir al mínimo la labor de manutención de los materiales. Esta es la principal razón en defensa de las cadenas de producción en línea recta. El punto de descarga de una operación ha de enlazarse lógicamente con el punto de utilización siguiente combinando la manutención con las operaciones de elaboración. Cuando éstas se efectúan por tandas, hay que cuidar de que los elementos de almacenamiento entre fases de fabricación no bloqueen la circulación de los materiales.

Hay que prestar atención a la seguridad y comodidad de los empleados. Las fábricas bien iluminadas y bien ventiladas, con suficiente espacio de trabajo por empleado y acceso expedito a las zonas de trabajo, conducen a una elevada productividad. Hay que examinar con atención todos los peligros contra la seguridad y la salud y adoptar medidas correctivas.

#### *Método clásico para la distribución de plantas pequeñas*

El primer requisito esencial para preparar la distribución detallada es una planificación global. Se debe estudiar y planear la operación de modo tal que se logre activar los procesos sin elevar los costos. En los talleres que trabajan por encargos sueltos, la suma del tiempo de mecanizado dedicado a una pieza rara vez llega al 10% del tiempo que ésta pasa en el taller; con frecuencia, no llega siquiera al 1%.

Rara vez puede seguirse plenamente la circulación en línea recta, y la circulación en horquilla es una aproximación muy práctica, porque las operaciones de recepción y expedición pueden ser adyacentes o combinadas. En la figura 3 se muestra una distribución, para un taller con 20 empleados, como los que es corriente encontrar. Después de reordenar el equipo para mejorar la circulación y la manutención del material, esa distribución podría ser como se muestra en la figura 4.

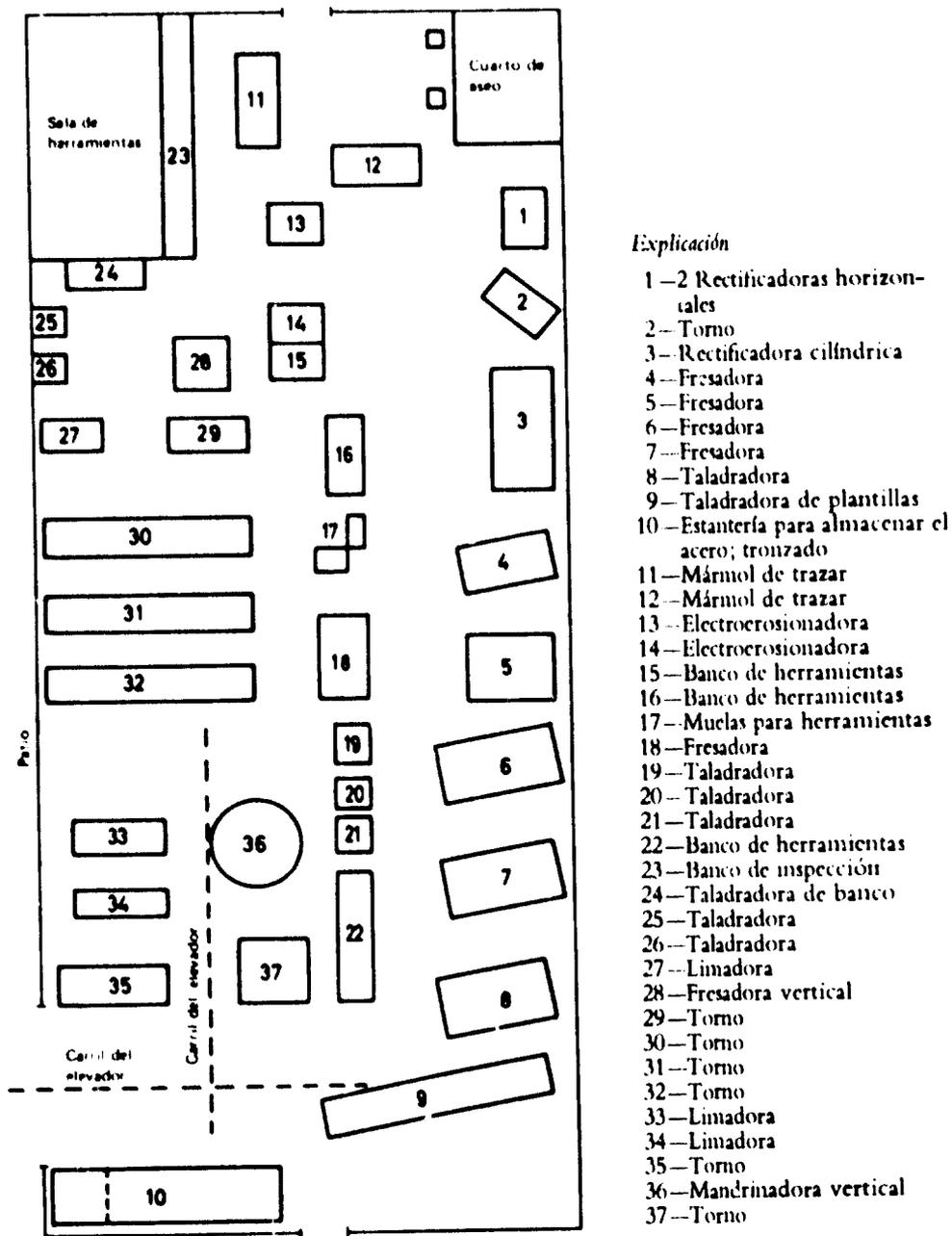
Al preparar propuestas de distribución, la planta y las máquinas deben dibujarse a la misma escala. Si no se dispone de modelos tridimensionales de las máquinas, utilíense recortes bidimensionales.

Deben estudiarse simultáneamente la localización de los pasillos y la de los departamentos. En un taller para trabajos varios, debe ser fácil el acceso a cada grupo del equipo, porque las piezas no siempre pasarán por todos los departamentos. Algunos departamentos han de estar en lugares fijos porque no son fáciles de trasladar (cimientos sólidos, canalización, etc.). Hay que tratar de planear para la posible ampliación de cada departamento por lo menos en un 25%. Hay tendencia a planear para un 40-60% de ampliación, pero esto no se recomienda, a no ser que se puedan hacer provisiones buenas y detalladas y se disponga de planificadores de primer orden.

Los pasillos principales han de permitir el tránsito en doble sentido, pero los de acceso han de tener sólo una dirección. El equipo de manutención debe estar hecho especialmente para transportar piezas entre máquinas o entre departamentos; si es necesario, debe idearse un equipo especial.

La chatarra debe retirarse de las máquinas, y recogerse, en toda la planta a la vez.

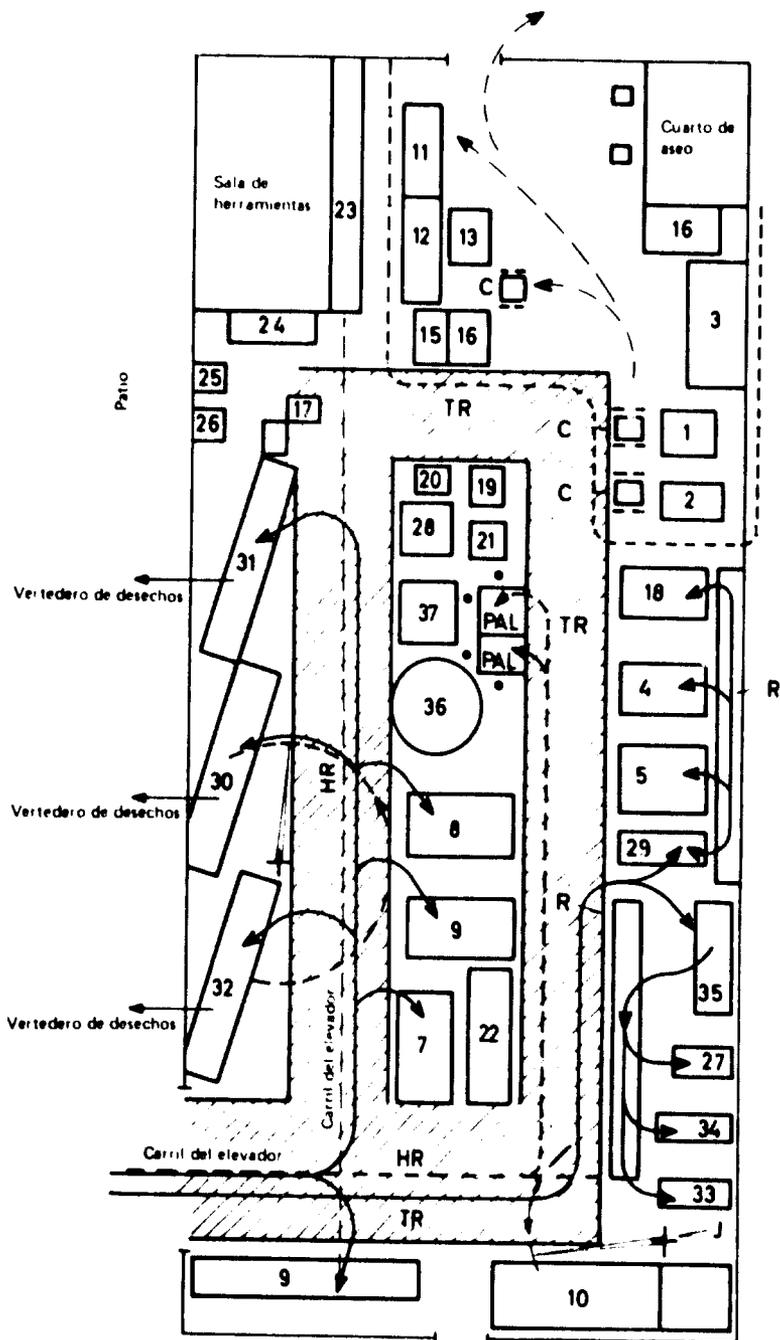
Figura 3. Distribución corriente de una planta pequeña



Deben estudiarse los puntos en que pueden producirse embotellamientos, por ejemplo cuando ocurre un fallo de las herramientas o las máquinas, y hay que prever otro itinerario o desvío.

Durante la etapa de planificación debe calcularse cuidadosamente la eficiencia del ciclo de fabricación. La utilización del espacio debe calcularse de antemano y comprobarse. Es preciso disponer de cifras sobre el coste de construcción por metro cuadrado de planta. Hay que prestar atención al espacio de pasillos de

Figura 4. Distribución mejorada para la planta que aparece en la figura 3



Explicación: C — Carretillas; R — Transportadoras de rodillos por gravedad con recipientes para piezas; J — Grúa de horca montada sobre el suelo con elevador de mano; HR — Carril aéreo del elevador con elevador de mano; PAL — Material paletizado en bandejas; TR — Pasillos de transporte para carretillas, plataforma sin motor y carretillas de horquilla elevadora.

Nota: El número de referencia de las máquinas, como en la figura 3.

que se puede disponer para la circulación de los materiales. La eficiencia de la labor de manutención de materiales se mide comparando la mano de obra total con la que se ocupa en esa labor, o las horas totales de trabajo del operario con el tiempo empleado en tareas de manutención. Finalmente, hay que calcular el índice de utilización de las máquinas que el plan supone, pues es factor importantísimo; en algunos talleres para trabajos varios, ese índice es inferior al 40% si no hay la debida planificación.

#### MANUTENCIÓN DE MATERIALES

El ejemplo más sencillo de manutención de materiales lo constituye el transporte de un solo artículo por un hombre dentro de la nave del taller. Por otra parte, la manutención puede ser tan compleja que comprenda hasta 50 movimientos durante la fabricación de una sola pieza, y en un taller mecánico de grandes proporciones puede llegar a representar el 80% del costo de producción. El movimiento de materiales en el taller mecánico debe dividirse en tres partes bien definidas:

Recogida y almacenamiento en el punto de recepción;

Manutención durante el proceso de fabricación, incluida la manutención en el puesto de trabajo;

Expedición, incluidos el embalaje en cajas o en jaulas y el almacenamiento en la nave de expediciones.

La manutención de materiales representa un costo necesario totalmente indirecto. Los objetivos de un buen sistema de manutención de materiales pueden clasificarse de la siguiente forma, partiendo del más sencillo y prosiguiendo hacia los más complejos:

- Aumento de la capacidad de producción de los pocos operarios calificados eliminando la fatigosa carga que supone el trasladar y levantar cosas. La producción aumenta porque se reduce el esfuerzo físico de los operarios y éstos pueden dedicar más tiempo al mecanizado de la pieza;
- Reducción de la chatarra y de los desperdicios. Mediante una manutención correcta se reducen al mínimo los daños a los productos y pueden conservarse los materiales que escasean. En las fases de acabado, especialmente, la manutención mecánica asegura la uniformidad y la repetibilidad, y reduce el volumen de chatarra;
- Mejora general de las condiciones de trabajo, ahorrando a todo el personal cargas excesivamente pesadas y reduciendo los peligros para la salud;
- Reducción de los costos. Como el costo del material, de la mano de obra y de los gastos generales fijos son aproximadamente iguales, la reducción del costo de manutención de los materiales supone una gran ventaja económica. En las plantas de transformación de metales muy perfeccionadas, si la mano de obra de manutención de materiales representa el 10% de la mano de obra total, la proporción es excelente, mientras que una proporción del 40% es decididamente mala. En general, las fábricas tienen problemas de espacio, y una moderna manutención de materiales permite aprovechar mejor el espacio disponible. Además, controlando y reduciendo las existen-

cias procedentes de los trabajos en curso, pueden dedicarse fondos adicionales a fines más productivos.

Al aplicar a un taller determinado los principios generales anteriormente expuestos, debe definirse, en primer lugar, la índole de los materiales objeto de mantenimiento. Tenemos, por una parte, los insumos de materiales; por otra, todo taller de transformación de metales genera tres tipos de producción: el producto propiamente dicho, la chatarra y las piezas defectuosas. En la nave de recepción, los materiales pueden consistir (según la magnitud de las operaciones) en barras de hierro, lingotes, piezas fundidas, etc., mientras que en la nave de expedición pueden ser jaulas de embalaje, bandejas para piezas, deslizadores, etc., conteniendo productos acabados.

En segundo lugar, para que la disposición de la planta pueda considerarse óptima debe determinarse el emplazamiento más idóneo de su equipo de producción y de mantenimiento. Al planificar y programar la producción ha de establecerse la mejor carga de trabajo de las máquinas y el trayecto más adecuado que deban seguir los materiales. Si no se atiende a estos requisitos, la instalación de aparatos transportadores puede dar lugar, sencillamente, a congestiones en el proceso de producción, a inactividad de las máquinas y a una excesiva inversión de tiempo en operaciones de mantenimiento que pudieran haberse evitado.

En tercer lugar, también podría ser útil la aplicación de las pautas siguientes: Reunir las piezas en grupos, si ello es posible, y manipularlas en bandejas o cajas, si su tamaño lo permite.

Trasladar un solo artículo cada vez.

Retirar fácilmente los artículos de la corriente de materiales, con preferencia sin elevarlos, por simple carga y descarga.

Aprovechar el espacio disponible para almacenamiento mediante el empleo de plataformas, estanterías, bandejas autoapilables, etc.

Procurar que los materiales salgan del almacén por el orden en que fueron adquiridos, a menos que, por razones concretas, ello no convenga.

Tratar de reducir el volumen de existencias, especialmente de piezas acabadas, ya que éstas llevan en sí mucha mano de obra, con el consiguiente costo.

No dejar lotes almacenados sin marcar.

Como la manipulación y el transporte de materiales constituye siempre una carga financiera, deberá procurarse trabajar el material mientras que se halle en movimiento (esto resulta fácil en las industrias de fabricación en serie, pero es más difícil en los talleres mecánicos). Ese tratamiento puede entrañar las siguientes operaciones: procesos de precalentado, refrigeración y acabado tales como lavado, bonderización, pintura, porcelanización y cochura.

Es importante planificar la manipulación de chatarra. Para talleres pequeños, bastará el empleo de recipientes de acero; en los talleres grandes será necesario emplear cables de arrastre o transportadores vibratorios; y trituradoras, y transportadoras de tablero articulado y de arpón en los talleres de gran producción.

Cada puesto de inspección debe contar con instalaciones para almacenar y retirar las piezas defectuosas.

### *Selección de equipo*

Puede empezar entonces la cuarta etapa, es decir, la selección de equipo. La gama de equipo, por orden creciente de complejidad, es la siguiente:

#### *Equipo accionado sólo por gravedad o manualmente*

Transportadores de rodillos y transportadores de discos

Mesas de bolas

Monocarriles accionados a mano

Rampas, plataformas, estantes

Cabrestantes de cadena de diversas grúas accionadas a mano (giratorias, de pórtico y grúas-puente)

Una gran variedad de carretillas de mano

#### *Equipo sencillo mecanizado y eléctricamente accionado sin enclavamientos ni mandos automáticos*

Transportadores de rodillos mecanizados

Transportadores de tablero articulado constituido por tablillas metálicas o de madera

Transportadores de cinta (metálica, de lona, etc.)

Transportadores aéreos

Aparatos elevadores mecanizados de diversas grúas de accionamiento manual

Carretillas de horquilla elevadora

#### *Otro equipo mecanizado y accionado por electricidad y/o aire comprimido, dotados de algunos mandos y enclavamientos*

Todos los tipos de transportadores mencionados

Transportadores vibratorios

Mesas mecanizadas

Equipo elevador mecanizado

Aparatos elevadores mecanizados de grúas mecanizadas

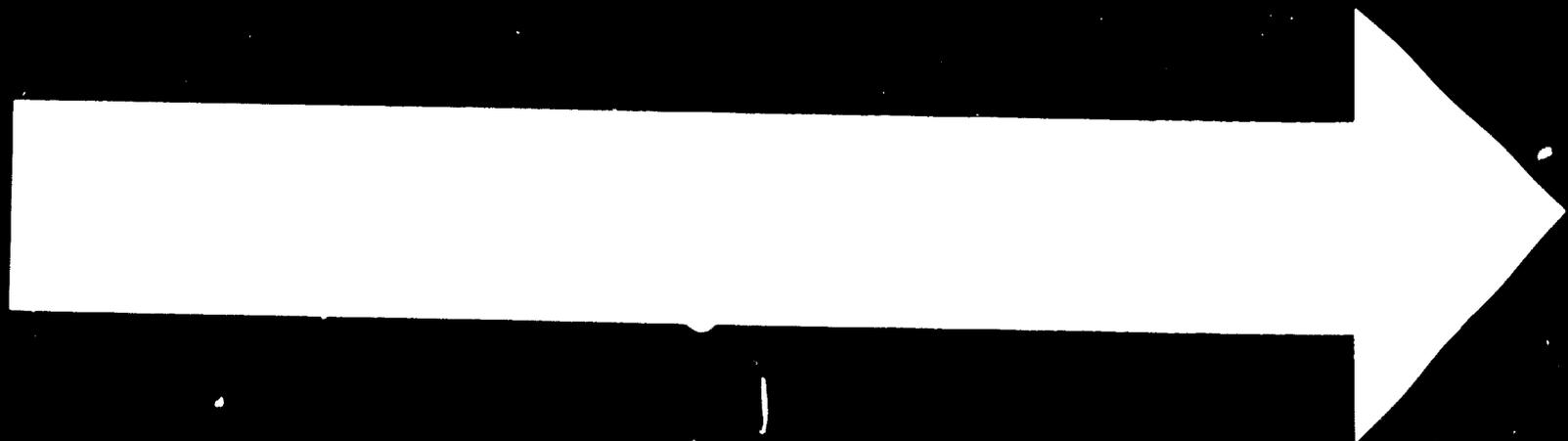
Carretillas de horquilla elevadora

Es evidente que, en esencia, la misma tarea puede realizarse mediante diferentes tipos de aparatos. En el anexo 1 se describe un método de evaluación de las diversas ventajas de cada uno de ellos, a fin de poder elegir de una manera racional entre las distintas posibilidades.

La información y las ilustraciones que seguidamente proporcionamos facilitarán la selección del equipo. Debe tenerse en cuenta la capacidad física de los trabajadores, así como las características del equipo. Empecemos por el primer grupo: equipo accionado por gravedad o manualmente.

### *Transportadores de rodillos*

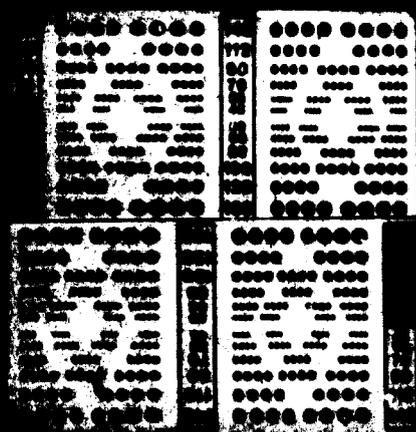
La anchura de un transportador de rodillos se determina añadiendo un espacio libre de 2 pulgadas (5 cm) a la anchura del objeto mayor que haya que



27-12-74

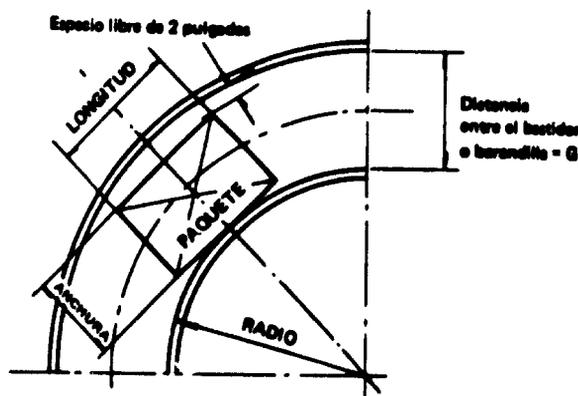
2 / 2

74 ST 00057



trasladar. Esto es aplicable a las secciones rectas; en las vueltas, la anchura debe calcularse en la forma ilustrada en la figura 5.

Figura 5. Anchura de los transportadores de rodillos en las vueltas



$$G = \sqrt{(\text{Radio} + \text{anchura del paq.})^2 + \left(\frac{\text{longitud del paq.}}{2}\right)^2} - \text{radio} + 2 \text{ pulgadas}$$

Fuente: Reproducido de Conveyor Equipment Manufacturers Association, *Standard 401-1962*.

Si los transportadores de rodillos accionados por gravedad son largos, el punto de descarga estará mucho más bajo que el punto de partida. La pendiente necesaria para una puesta en marcha automática depende del artículo que hay que trasladarse (véase el cuadro 2). En el cuadro 3 figuran los valores medios correspondientes a la capacidad de los transportadores de rodillos.

CUADRO 2. PENDIENTES MÍNIMAS DE LOS TRANSPORTADORES DE RODILLOS

Artículo a trasladar en el transportador de rodillos	Pendientes por 10 pies (pulgadas)	Pendientes por metro (cm)
Cajas metálicas para piezas .....	1½	1,25
Bandejas para piezas .....	2-5	1,7-4,2
Bidones vacíos para aceite .....	5	4,2
Bidones de más de 150 lb (70 kg) .....	3½	3,0
Bidones llenos de aceite, de hasta 250 lb (115 kg) .....	1½	1,3
Cajas de cartón de hasta 15 lb (7 kg) .....	5	4,2
Cajas de cartón de 15 a 50 lb (7 a 25 kg) .....	4	3,3
Cajones de madera de hasta 50 lb (25 kg) .....	4½	3,8
Cajones de madera de más de 50 lb (25 kg) .....	3½	3,0
Cajones zunchados con alambre o con flejes de acero ...	6	5,0
Jaulas de hasta 125 lb (55 kg) .....	4	3,2

Fuente: Rapistan, Inc.

CUADRO 3. PESO Y CAPACIDAD DE CARGA DE LOS BODELOS  
(En libras)

Longitud nominal del rodillo en pulgadas	Diámetro y calibre del rodillo															
	1,9 pulg.		calibre 16		1,9 pulg.		calibre 13		2,25 pulg.		calibre 12		2,5 pulg.		calibre 14	
	Capacidad	Peso	Capacidad	Peso	Capacidad	Peso	Capacidad	Peso	Capacidad	Peso	Capacidad	Peso	Capacidad	Peso	Capacidad	Peso
6	—	—	—	—	350	1,9	350	2,3	350	1,9	350	2,6	250	1,7	250	2,3
9	150	1,8	250	2,9	350	2,3	350	2,9	350	2,6	3,4	3,4	250	3,0	250	3,0
12	150	2,2	250	3,5	350	4,4	350	4,1	350	4,4	4,4	4,4	250	3,7	250	3,7
15	150	2,6	250	4,1	350	4,9	350	4,7	350	4,9	4,9	4,9	250	4,4	250	4,4
18	150	3,0	250	4,7	350	5,7	350	5,3	350	5,7	5,7	5,7	250	5,0	250	5,0
21	150	3,5	250	5,3	350	6,4	350	5,8	350	6,4	6,4	6,4	250	5,7	250	5,7
24	150	3,9	250	5,8	350	7,2	350	6,4	350	7,2	7,2	7,2	250	6,4	250	6,4
27	150	4,3	250	6,4	350	8,0	350	7,0	350	8,0	8,0	8,0	250	7,1	250	7,1
30	150	4,7	250	7,0	350	8,7	350	7,6	350	8,7	8,7	8,7	250	7,7	250	7,7
33	150	5,2	250	7,6	330	9,5	330	8,2	330	9,5	9,5	9,5	250	8,4	250	8,4
36	150	5,6	250	8,2	300	10,3	300	9,2	300	10,3	10,3	10,3	250	9,1	250	9,1
39	150	6,0	250	8,8	280	11,0	280	8,8	280	11,0	11,0	11,0	250	9,8	250	9,8
42	150	6,4	250	9,4	260	11,8	260	9,4	260	11,8	11,8	11,8	250	10,4	250	10,4
45	150	6,8	250	10,0	250	12,5	250	10,0	250	12,5	12,5	12,5	250	11,1	250	11,1
48	150	7,3	250	10,6	230	13,3	230	10,6	230	13,3	13,3	13,3	230	11,8	230	11,8
51	150	7,7	230	10,6	230	13,3	230	10,6	230	13,3	13,3	13,3	230	11,8	230	11,8

Fuente: Registrar, Data Book 51,5, cuadro 2, septiembre 1966.

### Monocarriles

Los recipientes movidos a mano y suspendidos de monocarriles son muy prácticos, pues pueden circular por los pasillos de tráfico y no ocupan superficie de suelo.

La selección del camino de rodadura adecuado para un sistema de monocarril depende de factores tales como: *a)* peso máximo que probablemente se concentrará entre los puntos de suspensión, *b)* distancia máxima entre los puntos de suspensión disponibles, *c)* frecuencia de tráfico, y *d)* velocidad a que circulan los recipientes. Estos factores, en unión de la resistencia estructural del edificio, determinan los tipos de accesorios que han de utilizarse para suspender el sistema de rodadura. Normalmente, estos accesorios pueden suspenderse de la estructura del mismo edificio. No obstante, si la estructura es demasiado débil será necesario instalar primero una superestructura especial. Puede darse por supuesto, como norma general, que las cargas empujadas a mano se desplazan a razón de 45 metros por minuto, y que su peso no rebasa las 3 toneladas.

Para instalaciones con grandes luces y gran capacidad se emplean a menudo caminos de rodadura tipo viga o vigueta. Consisten éstos en una vía en «T invertida» de acero templado, soldada a una viga estructural (en la que se apoya) especialmente diseñada, con alas y alma de acero suave.

Las figuras 6 y 7 representan la vía y el método de suspensión.

Figura 6. Discos sobre una vía de monocarril típica

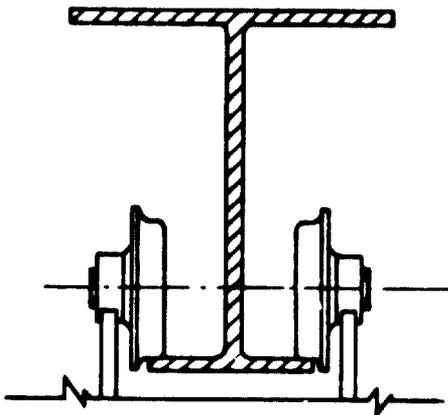
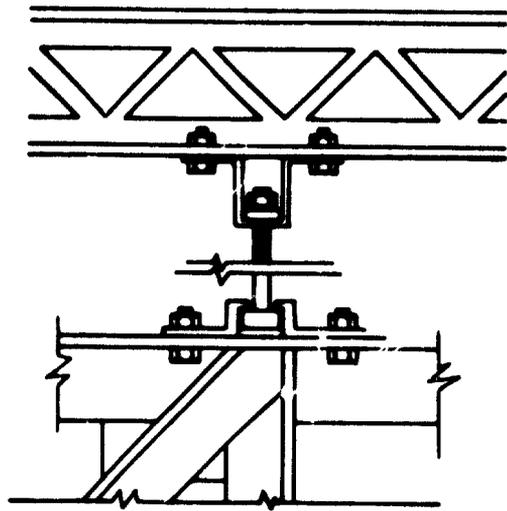


Figura 7. Método de suspensión de monocarril



Fuente: Reproducido de *Material Handling with Monorail*, de la Monorail Manufacturers Association.

### Grúas y cabrestantes de cadena

Entre las grúas de mano, los modelos suspendidos son especialmente prácticos y están integrados por muchos de los componentes del sistema de mono-

carril. (También se emplean secciones tipo viga para viguetas de grúas.) La grúa suspendida más sencilla es la de puente ligero, accionada a mano, para cargas de hasta 3 toneladas. Dotada de un mecanismo de elevación, proporciona un servicio de levantamiento barato en toda la zona del camino de rodadura. También puede utilizarse, con enclavamientos, para trasladar cargas de una vía a otra.

La grúa-puente es el tipo más común de aparatos de elevación, y consiste principalmente en una vigueta que se desplaza por un carril elevado. Las grúas de pórtico de dos pies consisten, como su nombre indica, en un puente apoyado en dos pies que corren sobre ralles dispuestos en el suelo. Las grúas de pórtico de un solo pie consisten en un puente apoyado, por un extremo, en un pie que se desplaza sobre un rallo fijado en el suelo, y, por otro, en un carril dispuesto encima de un muro del local.

Las grúas giratorias consisten en un puente apoyado en un mástil vertical o en un muro. El puente de las grúas giratorias apoyadas en mástiles puede girar hasta 360 grados. Las grúas giratorias de pared suelen proyectarse de forma que puedan ser retiradas cuando no se empleen.

### *Carretillas de mano*

Las carretillas de mano, de las que existe una gran variedad, constituyen uno de los medios más comunes de manutención. Pueden clasificarse de acuerdo con la capacidad sustentadora y con el esfuerzo necesario para moverlas.

La fuerza necesaria para impulsar una carretilla es función de su peso, del peso de la carga y del coeficiente de rozamiento de rodadura entre las ruedas y el suelo, dependiendo este último factor del diámetro de la rueda.

Para determinar las toneladas por hora-hombre que pueden manipularse con carretillas de mano, debe calcularse que el operario anda a razón de 2 ó 2½ millas por hora, es decir, aproximadamente 53 ó 66 metros de 176 a 220 pies por minuto. Se recomienda la cifra inferior porque, naturalmente, es la que menos fatiga al operario. La resistencia que oponen las carretillas al ser empujadas sobre un plano horizontal es de 18 kg (40 lb) o menos. Un aumento apreciable con respecto a esta cifra disminuirá considerablemente la eficiencia del operario. Raras veces se recomiendan valores de 23 kg (50 lb), excepto para movimientos intermitentes e infrecuentes como, por ejemplo, el ascenso por una rampa o pendiente. La resistencia óptima para un operario medio se ha fijado en 14,5 kg (32 lb).

En el cuadro 4 se indica la resistencia media a la rodadura, sobre diversas superficies, de carretillas con neumáticos moldeados.

La eficiencia del equipo accionado a mano y de la manutención manual de materiales depende de las limitaciones anatómicas y fisiológicas del cuerpo humano. Es importante no imponer a los operarios cargas superiores a lo normal. Es útil, por consiguiente, conocer los límites del rendimiento humano, a fin de poder determinar cuándo deben utilizarse aparatos mecánicos independientemente de que se disponga de mano de obra y prescindiendo de razones económicas.

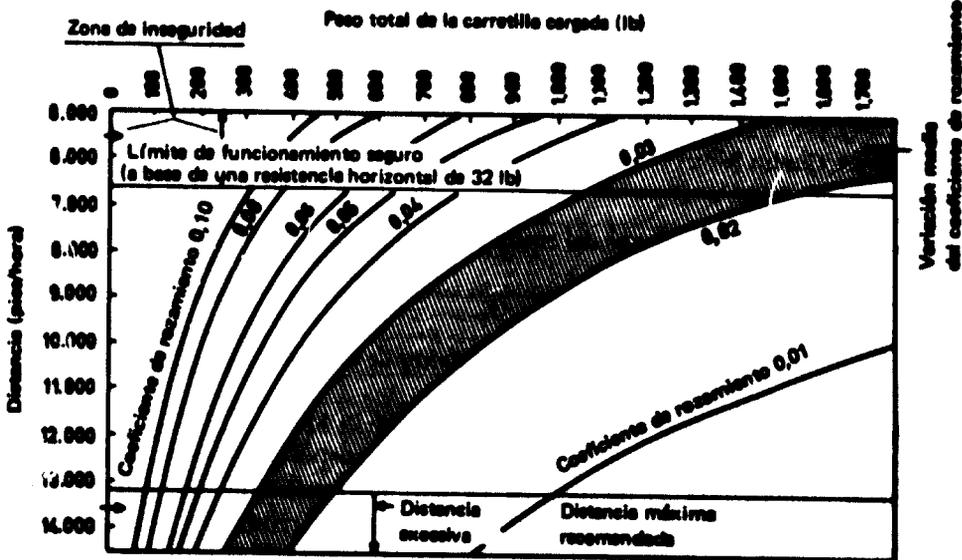
CUADRO 4. RESISTENCIA A LA RODADURA SOBRE SUPERFICIES HORIZONTALES

Superficie	Coefficiente de rozamiento	Resistencia (lb/tonelada)
Hormigón .....	0,010—0,020	20 a 40
Asfalto .....	0,010—0,025	20 a 50
Pavimento de piedra .....	0,015—0,035	30 a 70
Pavimento de madera .....	0,015—0,025	30 a 50
Arena suelta .....	0,015—0,030	30 a 60
Neumático sobre pavimento suave .....	0,020—0,030	40 a 60

Fuente: Liberty Mutual Research Center.

La figura 8 muestra la relación recomendada entre el peso y la distancia a recorrer para operarios con carretillas empujadas a mano. Como puede verse, una carretilla de 1.000 libras (peso total: carretilla más carga) puede empujarse a razón de 7.000 pies por hora cuando el coeficiente de fricción de rodamiento es de aproximadamente 0,03. No obstante, un coeficiente de fricción de rodamiento de 0,04 reduce esta distancia a 5.700 pies; es esta la zona de inseguridad que aparece en el gráfico, indicando que la resistencia al empuje horizontal rebasa la cifra recomendada de 32 libras (límite de funcionamiento seguro). La segunda línea horizontal indica la distancia máxima recomendada que una carretilla podría recorrer en una hora.

Figura 8. Relación entre el movimiento de la carretilla empujada a mano durante una hora, el peso y el coeficiente de rozamiento de rodadura



Fuente: Liberty Mutual Research Center.

Los cuadros 5 y 6 muestran los límites de peso aceptables para levantamiento y descenso manuales, y la figura 9 indica los pesos máximos de transporte aceptables a la altura de los nudillos y del codo.

CUADRO 5. PESO (LB) MÁXIMO ACEPTABLE DE ELEVACIÓN Y DESCENSO PARA DIVERSOS PORCENTAJES DE OBRARIOS INDUSTRIALES

		90%	75%	50%	25%	10%
Desde el nivel del suelo hasta la altura de los nudillos	Elevación	37,3	45,1	53,8	62,5	70,3
	Descenso	36,2	48,4	61,9	75,4	87,6
Desde la altura de los nudillos hasta la altura del hombro	Elevación	34,4	43,0	52,7	62,3	70,9
	Descenso	39,0	46,4	54,6	62,8	70,2
Desde la altura del hombro hasta donde alcance la mano	Elevación	29,4	38,6	48,8	59,1	68,3
	Descenso	28,7	36,1	44,3	52,5	59,9

Fuente: Snook, Irvine y Bass (de Liberty Mutual) (1970) «Maximum weight and work loads acceptable to male industrial workers», *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 31, número de septiembre-octubre, cuadros II y III, página 562.

CUADRO 6. CARGA MÁXIMA DE TRABAJO ACEPTABLE (PIES, LIBRAS, MINUTOS), EN TAREAS DE ELEVACIÓN Y DESCENSO, PARA DIVERSOS PORCENTAJES DE OPERARIOS INDUSTRIALES

		90%	75%	50%	25%	10%
Desde el nivel del suelo hasta la altura de los nudillos	Elevación	209	262	322	381	464
	Descenso	311	419	539	658	766
Desde la altura de los nudillos hasta la altura del hombro	Elevación	333	397	468	540	604
	Descenso	431	542	667	791	903
Desde la altura del hombro hasta donde alcance la mano	Elevación	204	283	370	458	537
	Descenso	255	357	471	564	686

Fuente: Cuadro 5.

Vamos ahora a ocuparnos del equipo mecánico de manutención de materiales no accionado manualmente.

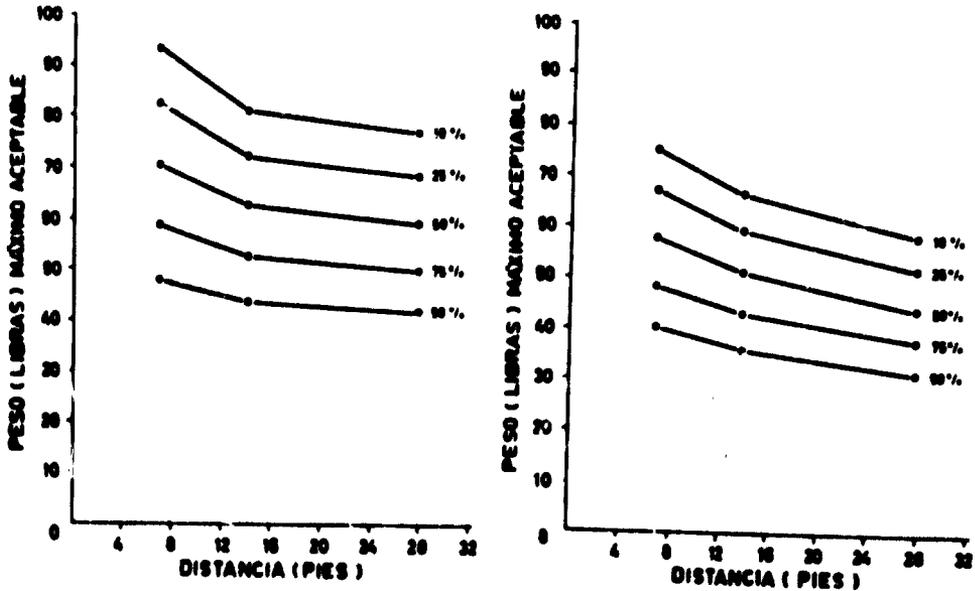
### *Transportadores mecánicos de rodillos*

La misma regla para determinar la anchura es aplicable tanto a los transportadores mecánicos de rodillos como a los transportadores de rodillos por gravedad, excepto que ha de preverse espacio adicional para una cadena transmisora de potencia. Los transportadores de rodillos accionados por correa no son prácticos en los talleres mecánicos, en donde el aceite, los líquidos cortantes, etc., pueden reducir la eficacia de los dispositivos accionados por fricción. Los

Figura 9. Peso máximo de carga aceptable para diversos porcentajes de operarios industriales

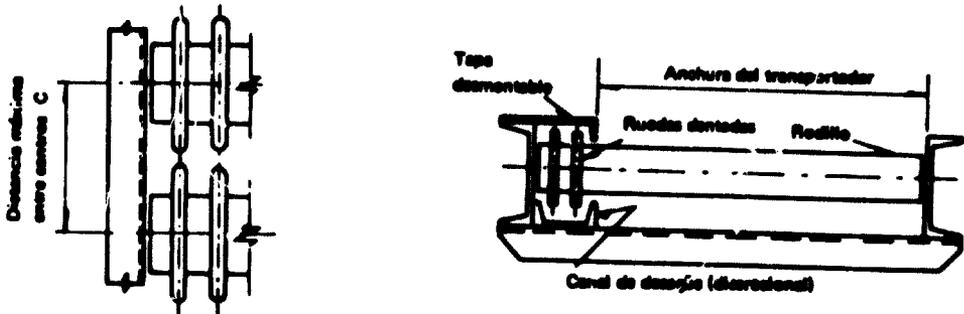
a) Hasta la altura de los nudillos

b) Hasta la altura del codo



Fuente: Reproducido de Snook, Irvine y Bass (de Liberty Mutual) (1970) «Maximum weight and work loads acceptable to male industrial workers», *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 31, número de septiembre-octubre, figura 4, página 585.

Figura 10. Algunas características de diseño de transportadores de rodillos mecánicos



Tamaño de cadena (Normas ASA)	Distancia mínima entre centros (C) (pulgadas)							
	Número de dientes							
	13	16	18	17	19	21	23	26
40			3 1/4	3 1/2	3 3/4	4		5 1/4
50		4 1/16		4 11/16			5 5/16	
60	4 1/8	4 1/2			5 5/8	5 3/8		
80	5 1/2		6 1/2					
100	6 7/8							

Fuente: Conveyor Equipment Manufacturers Association, *Standard 404-1965*.

datos sobre la capacidad que figuran en el cuadro 2 son válidos igualmente para los rodillos mecánicos. La figura 10 muestra la distancia mínima entre los centros de los rodillos, la cual limita a su vez el tamaño del artículo más pequeño a manipular.

### *Transportadores de tablero articulado y transportadores de cinta*

Los transportadores de tablero articulado se emplean generalmente en aquellos casos en que las cintas no podrían funcionar a causa de la alta temperatura o de la presencia de viruta y de lubricantes.

Las cintas de alambre tejido o de acero pueden utilizarse para ciertas aplicaciones especiales. La reducida gama, y el elevado costo, de las cintas de acero y de alambre tejido limitan el empleo de estos tipos de transportadores.

### *Transportadores aéreos*

Los monocarriles mecánicos y otros transportadores aéreos son los dispositivos más eficaces y económicos de manutención de materiales, y especialmente recomendables cuando la tecnología y la disposición del taller sean adecuadas. Estos aparatos se instalan en la parte superior de los locales, aprovechándose con ello un espacio que de otra forma no se utilizaría. Su costo de mantenimiento es bajo, su fiabilidad elevada, y consumen poca energía. A menudo se emplean estos transportadores sin cadena de transmisión como sustitutos de los monocarriles.

La rueda del carro consiste en un cojinete de bolas grandes de elevada capacidad de carga. La vía por la que circula es una viga en I de menor capacidad de carga, por lo que el tamaño de ésta determina los límites de carga del carro. Los índices de carga generalmente recomendados son los siguientes:

Tamaño de la viga en I		Carga máxima admisible del carro	
Pulgadas	Centímetros (aprox.)	Libras	Kilogramos (aprox.)
2 5/8	6,7	75	35
3	7,6	250	115
4	10,2	400	180
6	15,2	1.000	455

### *Grúas y aparatos elevadores de accionamiento mecánico*

Existen clasificaciones, cuyo empleo se ha generalizado, que facilitan a los compradores la especificación del tipo más conveniente de grúa para un fin determinado. La Crane Manufacturers Association of America ha establecido seis clases —de la A a la F— que corresponden, respectivamente, a: grúas auxiliares, para servicios ligeros, moderados, pesados, muy pesados y para acerías (grúas-puente). Nos ocuparemos aquí de las grúas para servicios moderados y pesados. Las primeras se utilizan en los siguientes tipos de talleres: mecánico, de montaje, de fundición, y de conjuntos soldados, en que las necesidades del servicio son moderadas. Las últimas se emplean en: talleres de construcción de máquinas pesadas, ciertos talleres de fundición, plantas de conjuntos soldados, plantas de estampado y almacenes de aceros.

En el cuadro 7 se indican las velocidades del régimen de equipo que puede obtenerse en el mercado.

CUADRO 7. VELOCIDADES DEL RÉGIMEN DE GRÚAS MOTORIZADAS, EN PIES POR MINUTO

Capacidad en toneladas	CABRESTANTE			CARRO			PUENTE		
	Pequeña	Media	Grande	Pequeña	Media	Grande	Pequeña	Media	Grande
3	20	35	70	125	150	200	200	300	400
5	20	35	70	125	150	200	200	300	400
7½	20	35	70	125	150	200	200	300	400
10	20	30	60	125	150	200	200	300	400
15	15	30	50	125	150	200	200	300	400
20	15	25	40	125	150	200	200	300	400

Fuente: Crane Manufacturers Association of America, Especificación Núm. 70.

El edificio debe construirse de manera que pueda instalarse en el determinado tipo de grúa, pues no siempre es económicamente viable modificar su estructura posteriormente. Teniendo en cuenta que, además de las cargas estáticas, la estructura habrá de soportar cargas dinámicas, el espacio entre el punto más elevado de la grúa y el punto más bajo del techo —previendo espacio por si se produjera una flexión de éste— debe ser de 6 pulgadas como mínimo. El espacio entre los extremos de la grúa y la obstrucción más cercana no debe ser inferior a 2 pulgadas.

Cuando se adaptan riostras angulares a la unión de las cerchas con las columnas que soportan las vías de la grúa-puente, la riostra angular y el cordón inferior de las cerchas deben estar colocados de tal forma que el carro que desplaza la grúa pueda trasladarse hasta el extremo de la vía del puente. Este requisito permite que el gancho de la grúa pueda aproximarse a las columnas que soportan la vía.

### Carretillas de horquilla elevadora

Por su gran flexibilidad, las carretillas de horquilla elevadora se emplean mucho para levantar, transportar y colocar cargas. Las más sencillas llevan los mandos en las empuñaduras y son conducidas a pie por el operario. Estas carretillas están accionadas por electricidad o por gas, y generalmente se fabrican modelos de hasta 4.000 ó 6.000 libras de capacidad.

Las carretillas de horquilla elevadora en las que el operario va subido varían de 2.000 a 60.000 libras de capacidad, hay una gran variedad de ellas y pueden accionarse mediante motor de gasolina o por gas o electricidad. Su velocidad llega a ser de hasta 15 millas por hora, pero la velocidad de régimen dentro de los locales no es superior a 5 millas por hora. El empleo de carretillas accionadas por motor de gasolina dentro de los locales únicamente es aconsejable si la ventilación es adecuada. Las carretillas accionadas eléctricamente se dividen en tres

grupos: las destinadas a lugares polvorientos y peligrosos; las que tienen motores a prueba de explosión; y las de uso general.

A fin de poder emplear eficazmente las carretillas de horquilla elevadora, los pasillos de taller deben tener suficiente amplitud para que los artículos puedan apilarse en ángulo recto. La figura 11 indica la forma de calcular la anchura mínima de los pasillos. Se señalan dos casos, de acuerdo con la relación de la anchura de las cargas con respecto a la anchura y al radio interior de giro de la carretilla.

### *Manutención de materiales en el puesto de trabajo*

En los talleres mecánicos, la manutención en el puesto de trabajo es a menudo ineficiente. La mecanización, y otros tipos de mejoras, en el puesto de trabajo constituyen una fuente de economía, cuya importancia aumenta a medida que se elevan los costos de la mano de obra.

Resulta difícil hacer un cálculo de la eficiencia general de las operaciones de mecanizado, pero en muchos casos el tiempo realmente invertido en la elaboración del metal no rebasa el 25% del tiempo total requerido para acabar determinada pieza. (Hay excepciones, por supuesto: mecanizados que entrañan cortes largos y profundos, operaciones en tornos revólver, etc.)

Debe aumentarse la eficiencia del operario eliminando de su trabajo manual corriente el mayor número posible de operaciones de levantamiento, traslado y colocación. Ello aumentará la producción y la seguridad, reduciendo al mismo tiempo la fatiga del operario y los daños al material. Todas estas ventajas se traducirán en beneficios pecuniarios generalmente superiores a los costos periódicos y la depreciación del equipo adicional necesario.

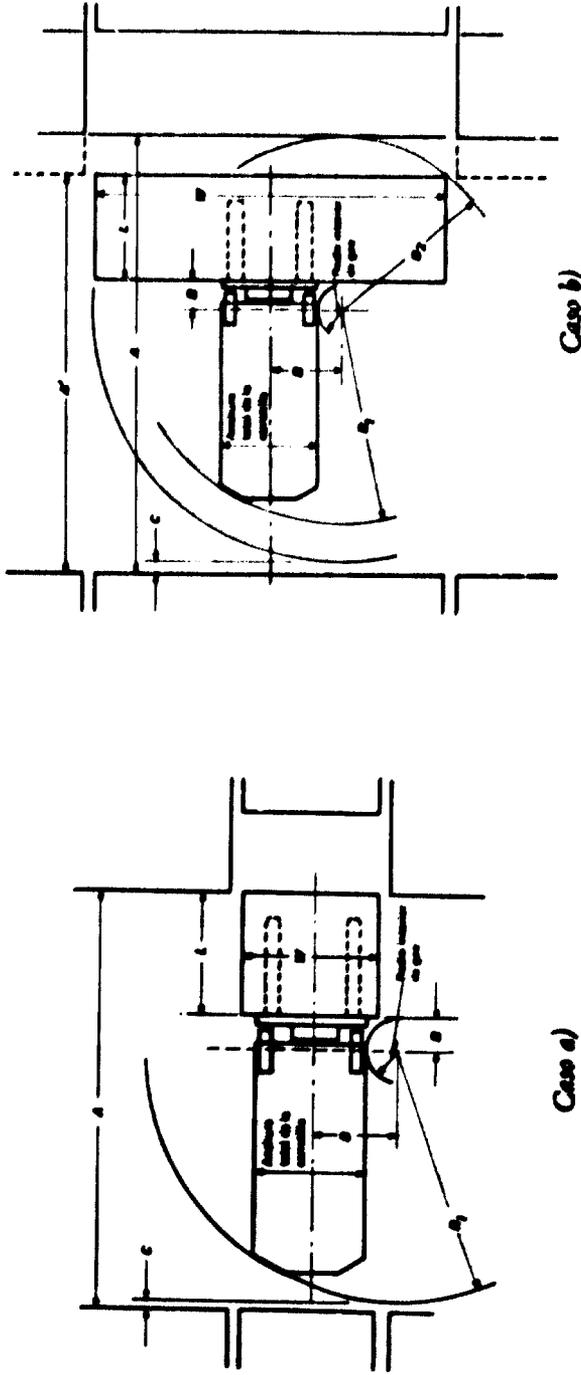
La manutención de materiales en el puesto de trabajo se efectúa mediante dispositivos para alimentar, retirar, sujetar y colocar las piezas. También se emplean máquinas de transferencia automáticas y semiautomáticas para operaciones de montaje, inspección, etcétera.

Entre los dispositivos de alimentación de piezas figuran los siguientes: alimentadores vibratorios; dispositivos combinados de alimentador y orientador; dispositivos combinados de alimentador, orientador y contador; elevadores y apiladores de láminas.

La alimentación y retirada de piezas mediante operaciones consecutivas (por ejemplo, en las prensas), requieren a menudo dispositivos especiales; pero a veces pueden emplearse piezas normales de equipo como orientadores, cintas magnéticas, apiladores y embandejadoras.

La sujeción y colocación de la pieza de trabajo se efectúa de diversas maneras, según sea la forma de ésta. Existen dispositivos normales de movimiento alternativo para avanzar y colocar una pieza cada vez. Hay asimismo en el mercado una gran variedad de posicionadores, rodillos para voltear chapas, mecanismos para colocar artículos de pie y equipo similar para situar y sujetar la pieza de trabajo en la posición deseada durante su mecanizado. Existen igualmente posicionadores que sujetan las piezas de trabajo en cualquier posición, actuando como una tercera mano mientras se trabaja la pieza. Al manejar troqueles pesados, deberán emplearse dispositivos para portarlos y elevarlos.

Figura 11. Anchura mínima del pasillo para carretillas de horquilla elevadora



**Legenda:** A ó A' — Anchura mínima del pasillo para apilamiento en ángulo recto; B — 1/2 de la anchura total de la carretilla más el radio inferior de giro; C — Espacio libre más adecuado para empleo individual y desplazamiento por ruedas orientables (consultar al fabricante); D — Distancia desde la cara de la carga hasta la línea central de transmisión o eje de carga; R<sub>1</sub> — Radio exterior de giro (carretilla vacía impulsada a poca velocidad); R<sub>2</sub> — Distancia desde el radio de giro hasta el ángulo de carga indicado —

$$\sqrt{(D + L)^2 + \left(\frac{W}{2} - B\right)^2}$$

L — Longitud de la carga; W — Anchura de la carga.

**Caso a)** cuando W no sea superior a 2B, hágase el siguiente cálculo:  $A = R_1 + D + L + C$ . **Caso b)** cuando W sea superior a 2B, pero no a  $2(R_1 - B)$  hágase el siguiente cálculo:  $A = R_1 + R_3 + C$ . Si el giro indicado por R<sub>2</sub> no requiere que se marque la zona de apilamiento con la línea punteada de la figura, el cálculo deberá ser:  $A' = R_1 + D + L + C$ .

Fuente: Reproducido de Mill and Foster, mayo de 1966.

Puede reducirse considerablemente el esfuerzo manual colocando los puestos alimentadores a la misma altura, pues de esta forma no hay necesidad de elevar y bajar cada pieza entre las distintas operaciones.

El equipo de transferencia automático y semiautomático puede proyectarse con diversos grados de complejidad. Un ejemplo sencillo lo constituyen las mesas giratorias con puestos de montaje. La línea de producción puede mecanizarse de manera que el operario disponga de tiempo suficiente para voltear, levantar, elevar y bajar la pieza de trabajo por medios mecánicos, cualquiera que sea la velocidad de la línea, pero de acuerdo con un plan horario o diario. El empleo de maquinaria de transferencia, que elimina por completo las operaciones manuales, es sólo una cuestión de justificación económica, toda vez que la tecnología actual permite proyectar y fabricar equipo capaz de satisfacer cualquier necesidad de taller.

En el cuadro 8 se indica el número de minutos que debe ahorrar diariamente un operario para que solamente las economías en el costo de la mano de obra puedan justificar la instalación de equipo automatizado.

Los cálculos se han efectuado a base de los salarios que rigen en los Estados Unidos y de 2.000 horas de trabajo por año; se estima que los gastos anuales

CUADRO 8. RELACIÓN ENTRE LOS AHORROS DIARIOS DE TIEMPO Y EL COSTO DE EQUIPO DE MANUTENCIÓN DE MATERIALES EN EL PUESTO DE TRABAJO

Salario semanal .....	\$38 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	\$48	\$58	\$68	\$77	\$87	\$96	\$106
Salario anual .....	\$2000	\$2500	\$3000	\$3500	\$4000	\$4500	\$5000	\$5500
Costo del equipo	Ahorro necesario de minutos por día para justificar los gastos de equipo							
\$100	2	2	2	1	1	1	1	1
\$200	5	4	3	3	2	2	2	2
\$300	7	6	5	4	4	3	3	3
\$400	10	8	6	6	5	4	4	4
\$500	12	10	8	7	6	5	5	4
\$600	14	12	10	8	7	6	6	5
\$700	17	13	11	10	8	8	7	6
\$800	19	15	13	11	10	9	8	7
\$900	22	17	14	12	11	10	9	8
\$1000	24	19	16	14	12	11	10	9
\$1100	26	21	18	15	13	12	11	10
\$1200	29	23	19	16	14	13	12	11
\$1300	31	25	21	18	16	14	13	11
\$1400	34	27	22	19	17	15	14	12
\$1500	36	29	24	21	18	16	14	13
\$1600	38	31	26	22	19	17	15	14
\$1700	41	33	27	23	20	18	16	15
\$1800	43	34	29	25	22	19	17	16
\$1900	46	36	30	26	23	20	18	17
\$2000	48	38	32	27	24	21	19	18

Fuente: Ampliación de un cuadro preparado por O. B. Lovell, Contralor, First National Bank, Madison, Wisc. y publicada en *Auditgram* (1958), del National Assn. of Bank Auditors and Controllers, página 32.

correspondientes al equipo son de un 10% de su costo inicial. Aunque muy simplificado, este ejemplo tiene la ventaja de que permite calcular rápidamente los órdenes de magnitud correspondientes. Este cuadro permite fácilmente hacer otros cálculos a base de supuestos que reflejen fielmente las condiciones de determinado país en desarrollo.

### *Procedimiento de mantenimiento de chatarra*

Una de las tareas más difíciles que entraña el cuidado de los talleres mecánicos, y a la vez una de las menos eficientes en la práctica, es la *mantenención y evacuación de la chatarra*. Esta tarea consta de dos partes: la primera consiste en recoger la chatarra que quede en las máquinas y en el suelo; la segunda, en tratarla, almacenarla y evacuarla.

En los talleres pequeños, la retirada de chatarra se efectúa recogiendo las virutas que quedan debajo y en torno a las máquinas-herramientas y envasándolas en cajones, barriles o cajas, que posteriormente se transportan en vehículos motorizados o empujados a mano hasta una zona colectora. Este sistema requiere una buena distribución de la planta, a fin de facilitar la labor de recogida. Los talleres mayores pueden disponerse de tal forma que la retirada de chatarra se haga mecánicamente. Esto es aconsejable, desde luego, al proyectar nuevas instalaciones.

Existe en el mercado los siguientes tipos de transportadores de *mantenención de chatarra*:

- Transportadores de tablero articulado;
- Transportadores de cinta;
- Transportadores de paletas o de cadena;
- Transportadores de arpón;
- Rampas y tolvas autovaciabiles;
- Transportadores neumáticos.

A pesar de la sencillez de los transportadores neumáticos, estos aparatos deben utilizarse con suma precaución si se decide emplearlos en lugar del equipo mecánico de recogida de chatarra.

Al recoger la chatarra en el taller, lo primero que debe hacerse es clasificarla por lo menos en los siguientes grupos:

- Virutas de acero limpio, de torno, libre de fundición de hierro o de metales no férreos, de óxido o de excesiva cantidad de aceite. En este grupo no debe excluirse materiales muy oxidados;
- Mezclas de virutas de taladro y de torno. El acero y el hierro fundido deben estar exentos de óxido, de excesiva cantidad de aceite y de metales no férreos. En este grupo no debe incluirse material muy oxidado;
- Chatarra limpia de fundición de hierro;
- Metales no férreos, acero inoxidable.

Una vez retirada la chatarra de las máquinas-herramientas hasta una zona central, generalmente el patio, debe procederse a su elaboración y almacenamiento. En los talleres mecánicos pequeños, la elaboración puede consistir simplemente en eliminar mediante drenaje el líquido cortante. En plantas grandes, la elaboración

puede consistir en triturar la chatarra, en eliminar el líquido cortante y en secar la chatarra.

Es muy conveniente poder almacenar la chatarra en la parte superior del local. Debe procurarse no almacenar más de 60 ó 70 toneladas en un departamento, a fin de que no se produzca la compactación del material. La pendiente y el tamaño de las puertas han de ser tales que impidan la formación de cavidades.

### PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Cuando de lo que se trata es de planificar la producción de una futura planta, los factores decisivos son los diversos parámetros comerciales y el nivel de tecnología previstos. Ahora bien: en el presente trabajo, no es este el caso que nos interesa considerar.

La planificación de la producción para un taller ya existente viene determinada en gran medida por los medios de producción ya instalados. Esta es la situación industrial que se da con más frecuencia en los países en desarrollo. En ese caso, los objetivos de la planificación son los siguientes:

Utilizar provechosa y eficazmente los recursos humanos mecánicos y materiales;

Lograr, mediante un sistema similar al de los circuitos de realimentación, que el personal directivo reciba a tiempo información que le permita mantener una corriente ordenada y continua de la producción en toda la planta;

Minimizar el intervalo entre la recepción de los pedidos y la expedición de los productos terminados correspondientes;

Prever la adaptación a los cambios que se produzcan en la marcha general de la actividad económica, la tecnología, los recursos materiales, el potencial humano, etcétera.

Ya asuma las funciones de planificación de la producción una sola persona o un equipo de dirección, lo esencial para empezar es contar con datos sobre la producción efectiva que, comparados con la información «realimentada» que llega de los talleres, permitan poner en marcha el mecanismo de auto-corrección que ha de aplicarse para que las decisiones suplementarias se tomen con el debido fundamento.

Al analizar la rentabilidad, los factores principales que han de considerarse son los siguientes: la capacidad del taller; si un determinado trabajo puede realizarse sin horas extraordinarias o sin diferir trabajos destinados a otros clientes importantes; y si es o no necesario y posible emplear a subcontratistas.

En los talleres para trabajos varios en lotes pequeños, los pedidos deben agruparse para su mejor ejecución y distribuirse en las tandas que resulten más económicas, a fin de mantener las máquinas plena y continuamente ocupadas, en cuanto sea posible. Al calcular la capacidad total de producción del sistema debe incluirse a los subcontratistas. Las fechas de entrega prometidas deben darse basándose en un buen conocimiento de los tiempos de espera que, en relación con cada máquina, han de transcurrir hasta que quede libre. Deben evitarse los programas intensivos, en los que se fuerza la producción sea como sea, porque resultan costosos.

Los informes escritos a mano de la actividad de cada puesto de trabajo pueden proporcionar una corriente constante de información a la dirección sobre el volumen de trabajo y el progreso del mismo en todo el taller. La dirección debe estar siempre atenta a los indicios de posible retraso en la entrega, a fin de adoptar medidas correctivas cuando todavía hay tiempo para escoger métodos menos costosos que el de decidir, a última hora, hacer horas extraordinarias.

También es un error entregar lotes para producción demasiado pronto o planear que una operación haya de terminar antes de que comience la siguiente, pues al mantener material en *stock* se inmoviliza capital y se incrementa la posibilidad de daños, corrosión, hurtos y pérdida.

La reducción de costos, y el logro de una posición más competitiva en el mercado, han de ser las metas constantes de la planificación de la producción. Para los talleres pequeños y con poco capital el mejor método es el siguiente:

Fomentar el ahorro en general modificando la disposición del equipo, reduciendo las operaciones de manutención de materiales y acortando el ciclo de fabricación;

Invertir los ahorros en aparatos de manutención sencillos de accionamiento manual (correas transportadoras, etc.), bien sean hechos en el taller —especialmente si se trata de un taller de transformación de metales— o comprados.

Con esto se logrará sin duda una reducción considerable de los costos.

En caso contrario, habrá que revisar la planificación;

El beneficio producido por la reducción de los costos debe acumularse para comprar equipo más perfeccionado de manutención y de procesos o, tal vez, nuevas instalaciones de producción, si no resulta práctico seguir mejorando las existentes.

### CALENDARIO DE PRODUCCIÓN

Un buen calendario de producción permite regular la circulación de los materiales por el taller. Esto puede hacerse lo mismo en un taller unipersonal que en una empresa grande con muchas fábricas, pues el proceso lógico sigue siendo el mismo. Todas las etapas de la producción deben consignarse por escrito, ya que, por definición, el proceso de programación fechada es la simulación sobre el papel, en un cronograma, de la actividad de fabricación.

En los talleres pequeños, algunos de los pasos descritos aquí pueden abreviarse o combinarse con otros.

El calendario comienza con la recepción del pedido del cliente, o la distribución, por un grupo de planificación, de los pedidos englobados, y termina con la expedición de los productos. Las operaciones típicas de programación fechada en un taller mediano que cuente con una oficina técnica son las siguientes:

1. Se recibe el pedido del cliente (o de los pedidos englobados).
2. a) Se envía el pedido a la oficina técnica para que lo analice;  
b) Se encargan todos los elementos, materiales o subconjuntos importantes al departamento de adquisiciones.

3. a) Se termina el estudio técnico detallado, que se pasa al departamento de fabricación;
- b) Se preparan las notas finales de pedido de materiales.
4. a) Se pasan al departamento de adquisiciones las notas de pedido de materiales;
- b) El departamento de control de materiales comprueba los *stocks*, y se encargan materiales para mantenerlos en el nivel debido.
5. Se pasan al departamento de control de la producción los datos detallados sobre el producto o pieza que se requieran a los efectos de la programación fechada.
6. El departamento de control de la producción aplica a ese efecto las normas sobre tiempos correspondientes, y determina la carga de trabajo de las máquinas y el utillaje necesario.
7. Se incluye el pedido en el calendario de producción de la fábrica, en fecha posterior a la de llegada del material y del utillaje especial que pueda ser necesario. En el caso de un trabajo largo, no se comenzará mientras no se haya acumulado material suficiente para trabajar luego sin interrupciones.
8. El progreso a través de todas las etapas sucesivas de producción antes del montaje final se programa siguiendo las normas dadas en el punto 7.
9. a) Los elementos manufacturados pasan a la zona de montaje;
- b) Los artículos comprados se programan de modo que se disponga de ellos para el montaje.
10. Montaje, ensayo e inspección.
11. a) Transporte hasta el departamento de expedición, empaquetado;
- b) Notificación al departamento de contabilidad;
- c) Notificación al cliente.
12. Expedición.

#### DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE LOS MATERIALES Y DE LA MANO DE OBRA

Una gran parte de las fábricas de la mayoría de los países en desarrollo emplean a menos de 50 personas. Estas fábricas se han formado normalmente a partir de pequeños talleres, debido a la excepcional capacidad de trabajo y conocimientos técnicos del dueño o del director, que es al mismo tiempo proyectista, oficial, administrador, vendedor y, con frecuencia, también contable. Esta última función puede no ser demasiado onerosa mientras el negocio emplee a menos de 12 personas pero, cuando se sobrepasa este número, el registro de las transacciones financieras debe estar a cargo de un contable capacitado.

La contabilidad es un servicio necesario para mostrar la situación financiera de la compañía, incluyendo las sumas pendientes de cobro o pago, en un momento determinado y un análisis detallado de los gastos. El director necesita informes completos y detallados para preparar un presupuesto o planear la coordinación de las ventas, la publicidad, las compras, los costos de la mano de obra, el volumen de producción, las actividades técnicas y de investigación,

y la renovación de la maquinaria y el equipo. Cuando los supervisores y capataces llegan a comprender la importancia de un presupuesto detallado para su propio trabajo, actúan con mayor eficacia.

Los diversos departamentos del taller preparan, de ordinario, sus propios presupuestos, para indicar los gastos generales de producción, la compra de materiales, maquinaria y equipo, los costos de mantenimiento y los sueldos y salarios de producción. La exactitud de los presupuestos aumenta con una buena planificación y puede contribuir a estabilizar los costos de producción durante períodos de menos actividad.

Los salarios que se pagan en una fábrica se clasifican normalmente en salarios para mano de obra directa y para mano de obra indirecta. Los operarios de las máquinas son siempre mano de obra directa, mientras que los servicios del taller de utillaje, de mantenimiento y de conservación de los locales se consideran de ordinario como costos de mano de obra indirecta. Todos los gastos que no pueden cargarse directamente a un producto, incluida la mano de obra indirecta, se incluyen por lo común en los gastos generales de la fábrica. La misma distinción se hace en lo que se refiere a los materiales. Los que se utilizan directamente en la fabricación de las piezas, incluidas las herramientas especiales, se consideran como materiales directos, mientras que otros como lubricantes, herramientas universales, tornillos de banco y abrazaderas se clasifican como indirectos y se incluyen en los gastos generales.

Las máquinas-herramientas, al igual que otros bienes de capital, deben figurar en los costos de producción por lo que se refiere a seguro, deterioro, obsolescencia y mantenimiento. De este modo, se acumulan fondos para sustituir una máquina gastada después de un tiempo determinado o para invertir en un nuevo proceso y su equipo correspondiente.

El presupuesto de producción se basa en un volumen planeado de producción, que a su vez se basa en estimaciones de las ventas. Si se prepara correctamente para un año, el presupuesto evita fluctuaciones costosas de la mano de obra. La estimación del costo de las compras se verá facilitada si se mantienen debidamente registros de las existencias de almacén y la dirección los utiliza. Además, los pedidos podrán hacerse con la debida anticipación, y los materiales, la maquinaria y el equipo se entregarán a tiempo para satisfacer las necesidades de la producción.

Cuando haya que ampliar o renovar los servicios de producción, será preciso determinar otros muchos factores del costo, que son aplicables a un período de tiempo más largo que los costos anuales de operación y, por tanto, aparecerán en los presupuestos correspondientes a varios ejercicios.

La inclusión en el presupuesto de un buen plan de mantenimiento preventivo asegura la reparación y cuidado de la maquinaria y los edificios a intervalos regulares, prolongando así su uso y manteniendo el valor del activo.

El servicio de contabilidad establece la base para determinar no sólo los costos de fabricación sino también los gastos de administración y de ventas. Estas dos últimas categorías de gastos deben registrarse también con exactitud, ya que una proporción adecuada ha de cargarse a cada pieza o producto que sale del taller.

## MEDIDAS PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN

*Productividad de la mano de obra*

La eficiencia de la producción depende de la utilización adecuada de los recursos humanos y la maquinaria. Estos dos aspectos de la productividad son hasta cierto punto interdependientes, y una de las funciones esenciales de la dirección es prestar atención a la acción mutua entre ambos. Comenzaremos examinando algunos aspectos de la productividad que se relacionan específicamente con la utilización de la mano de obra.

Con frecuencia, el supervisor de un taller para trabajos especiales tiene que calcular los tiempos normales antes de que se haya terminado o incluso comenzado el primer lote de piezas. Es, por tanto, más difícil determinar los costos y los tiempos en un taller de ese tipo que en un taller de producción en serie. Este último tiene normalmente datos de producción y puede emplear cronometradores para determinar periódicamente el rendimiento de los operarios de las máquinas y de los montadores.

El método más corriente para un nuevo trabajo de mecanizado es dárselo a un operario calificado que tiene experiencia previa en piezas semejantes. Con frecuencia, es necesario un período de ensayo, bajo la estrecha vigilancia del contraamaestre, antes de establecer la secuencia de las operaciones. Debe animarse al contraamaestre y al operario a idear útiles, accesorios y procedimientos especiales para la manipulación de los materiales a fin de incrementar la producción. Cuando es preciso iniciar un trabajo con obreros menos experimentados, se puede conseguir al cabo de un cierto tiempo una mayor eficiencia si se selecciona con cuidado a los operarios. Esto requiere que el operario sea capaz de lograr una mayor coordinación entre los ojos y la cabeza, por una parte, y las manos y los pies, por otra.

Para conseguir la máxima eficiencia del operario en un trabajo determinado, se requieren ciertas condiciones, en particular las siguientes:

No deben alterarse mucho las dimensiones y las tolerancias durante la producción; Deben planificarse eficientemente el suministro y la manipulación de los materiales para una operación continua, eliminando así todo tiempo de espera para los operarios o montadores;

El afilado y reajuste del utillaje debe realizarse a intervalos regulares, especificados de antemano;

Las máquinas deben revisarse y repararse conforme a un plan;

Los recortes y virutas deben retirarse periódicamente y no permitir nunca que se acumulen en torno a las máquinas-herramientas, pues reducen la eficiencia de la operación;

No debe cambiarse la composición y propiedades físicas de los materiales de las piezas, salvo en circunstancias excepcionales. Esos cambios podrían exigir alteraciones en la velocidad y en el avance de las máquinas así como en el utillaje o incluso en el tipo de máquinas-herramientas utilizadas. Sin embargo, la dirección debe siempre buscar materiales con mejores propiedades para el mecanizado o mayor duración en el servicio.

Para conseguir un elevado nivel de rendimiento y eficiencia en cualquier operación repetitiva de taller, se necesitará siempre capacitar al operario, sobre todo en el caso de obreros nuevos y no calificados. El período de capacitación depende de los métodos de instrucción utilizados. Según el trabajo, el tiempo de aprendizaje puede variar entre unos días y un período de años. Cuando se trata de trabajos más difíciles que requieren una mayor habilidad del trabajador los programas de capacitación deben incluir materias educativas para el desarrollo mental y medidas para incrementar la aptitud manual.

Los factores siguientes determinan el tiempo de capacitación necesario para trabajos en un taller mecánico:

Siempre se requerirá un cierto grado de exactitud. La mayoría de las operaciones del taller de utillaje necesitan un período de aprendizaje de 3 a 4 años, debido a la gran precisión que se requiere;

Es preciso dar, si no se posee, el nivel de educación necesario para un trabajo determinado. Incluso los operarios de tornos sencillos y presas taladradoras, no sólo de las afiladoras de herramientas, deben familiarizarse con la lectura de escalas, micrómetros y calibradores de cuadrante. No basta, en general, capacitar a un operario sólo para copiar una pieza con ayuda de calibradores;

La instrucción no debe ser solamente verbal sino también impresa y todos los operarios deben poder leer dibujos con alguna facilidad;

El manejo de las máquinas-herramientas, y la carga y descarga de piezas en la máquina requiere destreza manual a niveles que van desde los sencillos movimientos de la mano y el brazo hasta los que requieren coordinación y ritmo entre el ojo que lee los instrumentos y la mano para alterar la posición de una herramienta;

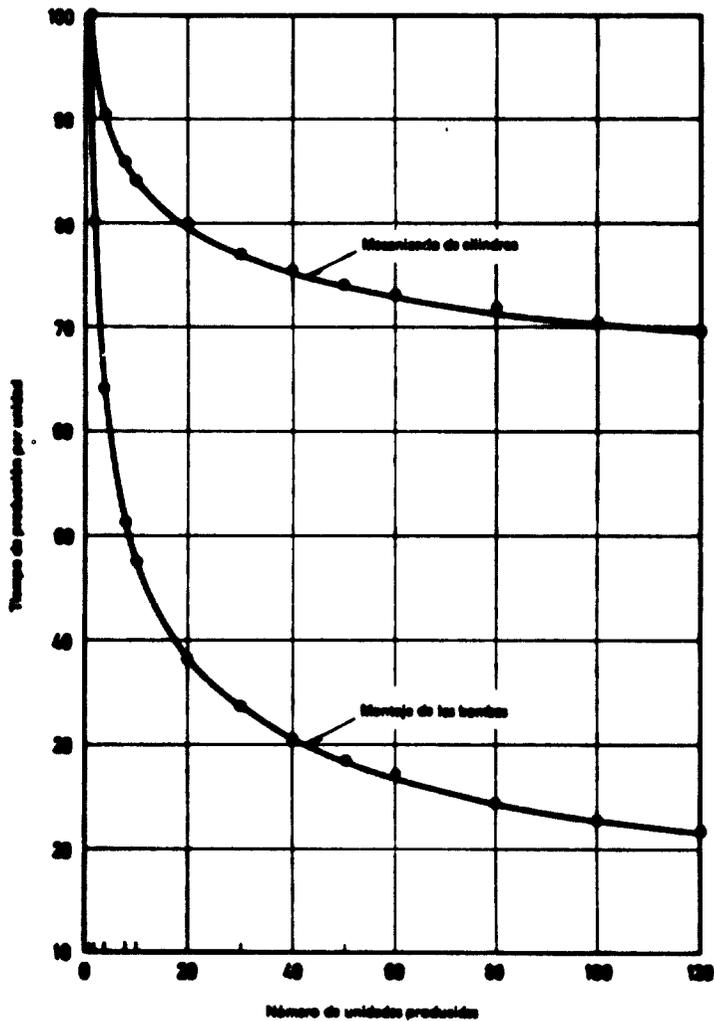
Algunas máquinas-herramientas automáticas exigen un grado menor de habilidad manual que otras, pero con frecuencia exigen una mayor agilidad mental así como buen oído, fino sentido del olfato y buena vista. Un sonido especial de la herramienta puede indicar desgaste o rotura anormales; el olor a aceite quemado puede indicar una carga excesiva; y la vibración de una herramienta o una pieza puede ser causa de un accidente grave si no se advierte a tiempo;

La resistencia física es una de las principales cualidades que se exige a los trabajadores en la mayoría de los países en desarrollo. Debe ser el primer factor que hay que considerar cuando se trata de levantar o colocar piezas pesadas. Procedimientos y equipos adecuados para la manipulación de los materiales no sólo acortarán el período de aprendizaje sino que mejorarán el rendimiento global de los operarios y de las máquinas.

Los nuevos operarios, aunque sean calificados, rara vez alcanzarán su rendimiento máximo en el primer día. Sin embargo, su rendimiento mejorará constantemente hasta alcanzar el nivel requerido, si la organización del taller es eficiente. Si el taller está desorganizado por cambios frecuentes de los contra-maestres y los operarios, sucederá lo contrario. La operación rentable de un taller mecánico es sobre todo una actividad de dirección y no es precisamente sencilla.

Si un determinado trabajo se repite con frecuencia, se conseguirá una mayor eficiencia en la operación, pero esto sucede únicamente en talleres bien dirigidos. El fenómeno ha sido documentado en numerosas publicaciones y los resultados se han generalizado en el teorema de la curva de aprendizaje: siempre que se dobla la cantidad producida, el tiempo medio de producción por unidad se reduce en una proporción que es contante para la operación o serie de operaciones de que se trata. Esta proporción, expresada como porcentaje, se denomina curva de aprendizaje y los ingenieros de organización industrial han establecido a lo largo de los años valores típicos. Se ha descubierto que, para el aprendizaje, el trabajo mejor es el de montaje, en el que la curva de aprendizaje puede ser del 75 al 80%. Estas cifras indican, por ejemplo, que si diez grandes unidades estructurales han sido montadas en diez días (un promedio de un día por unidad),

Figura 12. Mejora de la productividad al aumentar el número de unidades producidas



Nota: La escala de tiempo podría representar minutos para el mecanizado y horas para el montaje de las bombas.

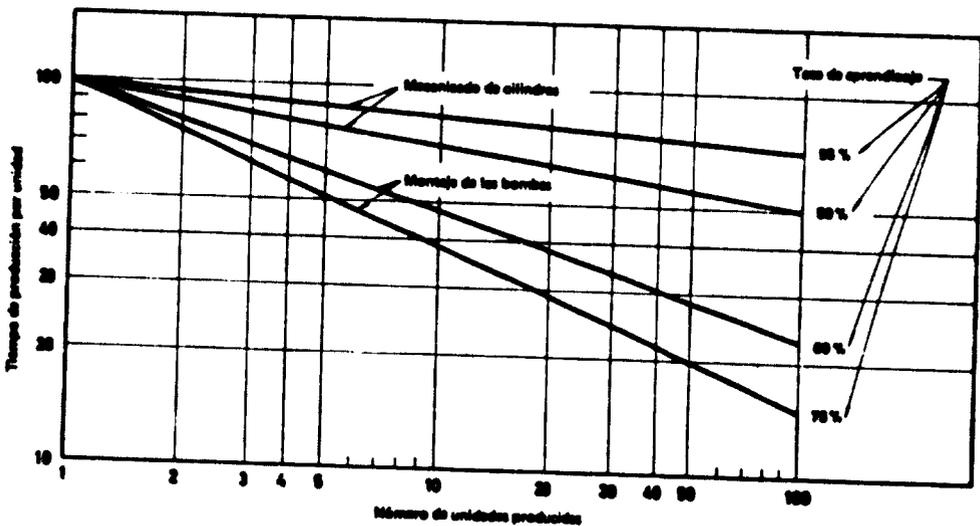
20 unidades requerirán 15 ó 16 días (un promedio de 0,75 ó 0,80 días por unidad). Para la soldadura, se han fijado curvas de aprendizaje del 80 al 90% y para el mecanizado del 90 al 95%.

La figura 12 muestra una curva de aprendizaje del 95% para el torneado de cilindros de bomba y una curva del 80% para el montaje de las bombas. Puede verse que la pendiente de esas curvas disminuye a medida que aumenta el número de unidades producidas. Esto significa que, pasado cierto punto, la reducción del tiempo de producción por unidad será insignificante.

En la figura 13 se han trazado diversas curvas de aprendizaje, empleando escalas logarítmicas dobles. Esto transforma las curvas en líneas rectas, lo que facilita en cierto modo su empleo. Corrientemente, se emplean para calcular los costos de lotes repetidos después de un período inicial de ensayo. Si no se obtiene la mejora esperada en el rendimiento, hay que averiguar las causas y adoptar las medidas correctivas necesarias (a veces, la razón es que los tiempos iniciales no eran típicos). La fijación de tiempos arbitrarios de trabajo basados en vagas suposiciones causarán de ordinario más daño que provecho y harán que los trabajadores pierdan la confianza en la dirección.

En el anexo 2 se presenta un tratamiento algebraico general del teorema de la curva de aprendizaje.

Figura 13. Presentación de las curvas de aprendizaje en forma de rectas



### Productividad de la maquinaria

Un análisis de los costos de las operaciones de fabricación permite a la dirección decidir el número de piezas que constituye el lote más económico en determinadas condiciones del taller. A medida que aumenta el tamaño del lote, el costo por unidad disminuye al principio, en parte (como hemos visto) porque los costos de la mano de obra pueden disminuir y, en parte, porque el tiempo de preparación de la máquina puede distribuirse entre un número mayor de

piezas. Sin embargo, cuando la producción de grandes lotes exige mayores inventarios, aumentan las cargas financieras y otros costos de ese inventario. A medida que sigue aumentando el tamaño del lote, se llega a un punto en el que el espacio de almacenamiento o el capital de operaciones se convierten en un factor limitativo. Posibles cambios de la demanda en el mercado, debidos a causas estacionales o de otra índole, introducen un nuevo riesgo en el mantenimiento de inventarios mayores.

En general, la dirección analiza minuciosamente las operaciones de las máquinas-herramientas. Por lo que se refiere a los tiempos totales de mecanizado o los tiempos desde que se toma una pieza del suelo hasta que se la vuelve a dejar en el suelo, se supone que los tiempos de corte han sido ya medidos en estudios de tiempo para cada pieza, y para los distintos materiales y configuraciones de la herramienta. Estos estudios dan para la velocidad y profundidad del corte y el avance de la máquina valores definitivos que cambiarán poco durante el curso de la producción. El tiempo de corte sólo puede, pues, reducirse utilizando herramientas hechas de un material que permita mayores velocidades o mayor profundidad de corte, o un mayor avance de la máquina, pero que al mismo tiempo dé el acabado superficial y la precisión deseados. Este cambio de herramientas requiere también más voltaje y, por tanto, puede exigir también el uso de una máquina-herramienta más potente. Si la mayor eficiencia permite atender nuevos pedidos, el tiempo de manipulación y preparación de la máquina debe disminuir del 10 al 20% de conformidad con una curva de aprendizaje, con tal de que el tamaño de cada lote sea suficientemente grande. Sin embargo, la tasa de aprendizaje puede no ser tan elevada si pasa mucho tiempo entre los pedidos o la máquina es atendida por un nuevo operario.

### *Participación de los trabajadores*

No puede conseguirse la capacitación de los trabajadores y su participación en los esfuerzos para mejorar la eficiencia de la producción con sólo dar órdenes. Como en todas las empresas, los mejores resultados se obtienen cuando la dirección crea una actitud favorable en el personal de todos los niveles. Cuando reina la confianza mutua en la organización, hay muchas probabilidades de que los trabajadores aprendan, incluso de sus errores, sin necesidad de ser castigados. La actitud del contramaestre del taller debe indicar claramente que apoya a los trabajadores y que se interesa por enseñar y mostrar a cada trabajador el mejor modo de realizar su trabajo. Cuando los miembros de una organización se identifican realmente con ella y con sus objetivos, tienen interés en eliminar pérdidas de tiempo y materiales y en mejorar los procesos y la producción. La atmósfera del taller debe ser tal que cada individuo sienta que tiene la posibilidad de demostrar su valía personal y profesional mediante el trabajo que realiza día tras día. Este sentimiento, junto con la estabilidad del empleo y de los emolumentos, hará que el trabajador encuentre satisfacción al aumentar su producción y, si las líneas de comunicación entre la dirección y el personal transmiten toda la información que éste necesita a este respecto, aumentará la eficiencia del proceso. Se reducirá mucho el desplazamiento de los trabajadores a otras empresas y el

absentismo, disminuirán los desperdicios y desechos, bajarán los costos y se creará un sentimiento de lealtad. Es rentable, incluso para un taller pequeño, organizar cursos especiales de capacitación para los empleados a fin de mejorar su nivel profesional. Muchas compañías progresivas dan a cada miembro del personal la oportunidad de intervenir en las decisiones sobre la organización de su trabajo. Esas compañías han descubierto que ello permite una eficiencia de la producción mayor que la conseguida por el viejo método de vigilancia y de castigo de los trabajadores por sus errores.

### *Tecnología de grupo*

La tecnología de grupo es otro instrumento poderoso para mejorar la eficiencia de la producción. Esta técnica consiste en el análisis sistemático de todos los tipos de piezas producidas por una firma, a fin de determinar cuáles son lo bastante parecidas en forma y en condiciones de producción para poder programarlas juntas, sin dificultades, en un lote más grande. La primera medida es, pues, clasificar las piezas con arreglo a los principales procesos de mecanizado que deben aplicarse. La segunda medida es agrupar las operaciones, cuando sea posible, por ejemplo, torneado, perforado, rectificado cilíndrico, taladro y las operaciones de fresa conexas. De este modo, pueden agruparse piezas diferentes para programarlas como un solo lote que puede mecanizarse con la misma disposición fundamental de la máquina.

Aunque no se trata de una idea nueva, la tecnología de grupo permite sacar el mayor partido de ella, gracias a un análisis completo y cuidadoso de los elementos, complementado con una simplificación planificada y uniforme del diseño. Las piezas de configuración diferente pero que requieren operaciones semejantes de mecanizado se agrupan también para su acabado con una preparación única de la máquina. Se trata de un proceso selectivo que puede producir grandes ahorros. Los proyectistas e ingenieros de producción cooperan desde el principio del proceso de planificación, agrupando las piezas y suprimiendo o dando un orden diferente a las operaciones que sean incompatibles con este sistema. Las plantillas y los soportes pueden diseñarse de modo que se adapten a las variaciones de tamaño y dimensiones de las piezas, permitiendo así agruparlas en el mismo orden de trabajo. El resultado es que la tecnología de grupo permite una programación más rápida de los pedidos y unos tiempos de entrega más cortos.

### MÉTODOS DE VERIFICACIÓN

Los instrumentos y procedimientos de verificación en talleres de producción sirven para comprobar la precisión de las piezas producidas midiendo una o varias dimensiones que deben hallarse comprendidas entre determinadas tolerancias. Cuanto mayor sea la coincidencia entre los valores reales y los especificados, mayor será la precisión de la pieza verificada. No hay que perder de vista que los valores obtenidos pueden diferir de los valores reales debido a errores de medición. Para reducir al mínimo estos errores, los métodos e instrumentos de verificación

tienen que ser mantenidos constantemente en buen estado y sometidos a un examen crítico durante el uso, con la aprobación y activa cooperación de la oficina técnica.

Sería muy costoso mecanizar piezas con un grado de precisión superior al funcionalmente necesario. El montaje sólo es posible si las variaciones de las piezas no exceden los límites y tolerancias establecidos. Suelen fijarse límites para los diversos tipos de ajuste (holgados, inciertos y con apriete)<sup>4</sup>.

El tipo de piezas que deba producirse determinará en gran parte el sistema de verificación necesario. Cuando el operario es muy calificado y tiene una idea clara de las condiciones de servicio de la pieza, es posible que no se requiera más verificación. En el caso contrario, incluso una verificación exhaustiva después de cada operación quizá no asegure necesariamente que se ha obtenido la calidad especificada. En la mayoría de los talleres de transformación de metales se producen lotes de 20 piezas o menos, para las cuales no pueden utilizarse fácilmente técnicas de muestreo estadístico. (En la producción en serie en gran escala, los métodos de muestreo estadístico pueden asegurar una calidad constante del producto. Por ejemplo, los tornillos para metales pueden comprobarse verificando la primera pieza y después, a intervalos, mediante muestreo estadístico.) Una pieza que requiere varias operaciones puede pasar a una zona central de verificación antes del montaje o el almacenamiento. La verificación da a la dirección de la empresa la seguridad de que las piezas producidas se ajustan a las especificaciones, y luego al cliente la prueba de que el producto que ha adquirido tiene la calidad garantizada.

La mayoría de los talleres tienen tres juegos de medidas. El operario utiliza un juego en su puesto de trabajo, otro juego se utiliza para la verificación y el tercero se guarda, con frecuencia en una sala con temperatura controlada, para referencia como patrón.

Los cuatro medios principales de medición con graduaciones son la escala, el nonio, el micrómetro y el calibre de indicador. Hay versiones de estos instrumentos para usos generales y para usos especiales. Para mediciones de alta precisión se utilizan microscopios e instrumentos que emplean la luz de una longitud de onda determinada. Los instrumentos ópticos de medición y de comparación, así como los comparadores neumáticos y electrónicos de diverso diseño permiten hacer comparaciones con determinados grados de precisión. Para comprobar o poner en funcionamiento diversos tipos de comparadores, la referencia más útil en los talleres mecánicos es un juego de bloques de calibres patrones.

Para medir la aspereza superficial se utilizan instrumentos especiales. La mayoría de los modelos tienen una aguja de diamante que sigue las irregularidades superficiales, y el instrumento da un valor numérico medio correspondiente a la altura de los salientes y la profundidad de las concavidades encontradas por la aguja al atravesar una parte de la superficie de la pieza. Si la aspereza, las irregularidades superficiales y la forma tienen que mantenerse dentro de límites especificados, el operario de la máquina debería tener un modelo o muestra que presente todos los valores críticos para comparación visual.

<sup>4</sup> Las tolerancias y los ajustes se tratan en el capítulo 4.

## CAPITULO 4. ASPECTOS COMERCIALES Y TECNICOS DE LA GESTION

### PROBLEMAS PECULIARES DE LOS PAÍSES EN DESARROLLO

Como elementos centrales del problema de aumentar la rentabilidad de la industria de transformación de metales en los países en desarrollo, podemos indicar cinco factores fundamentales.

1. En comparación con los Estados Unidos y Europa, los métodos de producción de esta industria en los países en desarrollo requieren, en general, más mano de obra y son menos eficientes.

2. Lo limitado del mercado nacional y la falta de un poder fuerte de organización impiden a menudo las economías de producción que pueden lograrse mediante concentraciones regionales de la industria.

La industria de los países en desarrollo está formada sobre todo por pequeñas plantas, muchas de las cuales están geográficamente separadas. Hay muy pocas empresas grandes que pueden contribuir a organizar la capacidad productiva de las plantas pequeñas y actuar como mercado principal de la producción de éstas. Algunos gobiernos, como parte de su política económica, ofrecen incentivos a la industria para que se instale en zonas poco desarrolladas del país, lo cual influye adversamente en el desarrollo de complejos regionales de industrias afines.

3. Parece indudable que en la mayoría de los casos hay dificultades para financiar el nuevo equipo de producción y el utillaje necesarios para lanzar productos con un diseño nuevo.

La mayoría de los métodos de amortización (por ejemplo, la amortización durante diez años con un porcentaje anual constante) no fomentan una modernización regular de las instalaciones y del equipo. Además, los tipos elevados de interés desalientan la renovación del capital fijo y el lanzamiento de nuevos productos.

4. En la mayoría de los países en desarrollo, hay pocas personas capacitadas para la proyección original de un producto. La práctica general de fabricar nuevos productos copiando, con o sin acuerdos de licencia o de transmisión de conocimientos técnicos, los de las empresas extranjeras, ha restringido las oportunidades para el desarrollo de la capacidad de proyección. El mercado nacional ofrece a menudo pocos incentivos para mejorar los productos que ya se fabrican o para desarrollar otros nuevos, mientras que el acceso a los mercados extranjeros parece virtualmente imposible, por lo que no se intenta diseñar productos para la exportación.

5. En general, los industriales de los países en desarrollo no parecen tener una idea muy clara de la función de la comercialización en una economía competitiva. Como producen para un mercado interno protegido, no se han visto normalmente obligados a prestar mucha atención a actividades de comercialización que tienen gran importancia en otras partes. Así pues, no ha sido preciso la investigación de mercados para determinar las necesidades y estimar la demanda de nuevos productos, ha habido poca presión para decidir los métodos más adecuados de comercialización de los productos y para establecer canales de distribución, y pocos incentivos para capacitar vendedores y experimentar métodos de comercialización, antes de lanzarse a la fabricación en gran escala de nuevos productos.

La política de precios, una variable fundamental de la comercialización, ha tropezado en general con restricciones debidas a la política oficial.

No se ha hecho sentir mucho la necesidad de descubrir una gama adecuada de actividades de comercialización para el mercado interno: elección de canales de distribución, planes de promoción, proyección del producto y política de precios.

Para dar solución a largo plazo al problema básico de ampliar la industria de transformación de metales en los países en desarrollo, hay que tener debidamente en cuenta, cualquiera que sea el tipo de solución previsto, todas las dimensiones indicadas del problema. A fin de competir eficazmente en los mercados nacionales y extranjeros, la industria debe: 1) modernizar su equipo y métodos de producción; 2) desarrollar nuevos productos y comercializarlos eficazmente; 3) organizar industrias auxiliares; y 4) allegar los recursos financieros adecuados para esas tareas.

#### FUNCIÓN DEL DESARROLLO DEL PRODUCTO EN LA ESTRATEGIA COMERCIAL

En general, se reconoce la gran importancia de la función que desempeñan los nuevos productos y las innovaciones tecnológicas para impulsar el crecimiento industrial, tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. El establecimiento de nuevas fábricas y la continuación y expansión de las empresas establecidas dependen considerablemente del desarrollo tecnológico de los productos y de la elevación del nivel tecnológico. Sin embargo, para lograr resultados tangibles, la necesidad de las innovaciones y los problemas particulares que surgen al respecto, deben ser debidamente reconocidos por la dirección de las empresas, que es la única que puede decidir qué tipo de productos se fabricarán. Esos productos pueden ser artículos que se han importado hasta el momento o artículos especiales que necesita una industria ya establecida en el país. Otras posibilidades son: un pequeño producto para el que puede haber una demanda relativamente grande si se presenta en un envase atractivo y se vende por conducto de distribuidores generales; y máquinas relativamente grandes y complicadas que requerirán por parte de la empresa la contratación de personal técnico para las ventas, y probablemente también para las actividades de servicio.

Sea cualquiera el tipo de producto que se elija, la dirección de la empresa deberá tomar varias medidas para su desarrollo tecnológico, a saber:

Sistematizar la idea y determinar los análisis y ensayos exploratorios de mercados y los trabajos técnicos necesarios para darle forma concreta;

Realizar actividades de desarrollo tecnológico, incluyendo la proyección y el ensayo de prototipos;

Lograr fondos para la financiación de nuevos tipos de productos, de los cuales pueden obtenerse a su debido tiempo fondos para posterior desarrollo tecnológico del producto;

Organizar la planificación de la producción, para lo cual pueden ser necesarias nuevas máquinas-herramientas, utillaje especial, o plantillas, monturas y matrices;

Poner a punto las disposiciones de comercialización, teniendo en cuenta los resultados de los ensayos de mercados, elegir los mejores métodos de distribución y apoyar continuamente a los distribuidores, mediante una labor de publicidad y de promoción.

Así pues, la dirección de la empresa debe tener un plan para el desarrollo tecnológico del producto, incluidos los objetivos de crecimiento y el control de los costos, plan que debe ponerse regularmente al día. En la expresión desarrollo tecnológico de productos se incluyen nuevos productos, nuevos procesos y nuevos usos de los productos existentes.

El primer paso —sistematizar la idea— lleva consigo el examen de los varios procedimientos posibles para ampliar la gama de productos.

En lo que se refiere a los nuevos productos, la innovación más elemental puede apenas reducirse a un cambio en el precio de los productos existentes (el método más sencillo de cambiar las características económicas de un producto). El cambio puede ir acompañado del uso de colores más atractivos o algún otro medio de atraer más la atención sobre el producto. Otra innovación, basada también en el producto existente, puede ser la modificación del diseño o la extensión de la gama del producto mediante otros tamaños. Por último, puede lanzarse un nuevo producto de una línea nueva en la empresa; esto podría denominarse estrategia de diversificación.

En cuanto al desarrollo del proceso, las posibles soluciones son:

Modificación de un proceso existente para reducir los costos de producción;

Adopción de una integración regresiva en la producción: por ejemplo, si la calidad de las piezas de fundición producidas localmente hace necesaria la importación, una solución es establecer una fundición propia para producir piezas de calidad aceptable;

Adopción de una integración progresiva; por ejemplo, estableciendo dependencias de venta y de servicio donde los sistemas de distribución existentes no sean satisfactorios.

Dentro de los nuevos usos (o nuevos mercados) es necesario considerar nuevas zonas geográficas, ventas a una nueva industria, exportación a países vecinos, etcétera.

Cualquier compañía, prescindiendo de su tamaño, puede realizar este tipo de examen de las posibilidades, pero la aplicación práctica no es nunca fácil, sobre todo para una empresa pequeña.

La comercialización incluye la publicidad y otras actividades de promoción que estimulan las ventas y ponen a los clientes potenciales en contacto con los productos actuales o nuevos de una compañía. La investigación de mercados, que a menudo debe llevar consigo pronósticos tecnológicos, puede aconsejar la modificación de productos existentes o la proyección de otros nuevos.

Para investigar la necesidad de un cambio de producto en una determinada compañía, lo primero que debe hacerse es determinar los objetivos de la compañía en cuanto al volumen presente y futuro de las ventas y los beneficios. Las ventajas e inconvenientes del producto actual deben compararse con la de los productos de la competencia. El paso siguiente es analizar las ventas según la industria, la localización, el volumen, el uso final, los canales de distribución y el potencial de expansión, y tabular los costos de producción, el porcentaje de valor añadido y el margen de beneficios de cada producto. Con esta información, puede determinarse la estrategia adecuada a la situación competitiva del producto, y apropiada para lograr los objetivos de crecimiento de la compañía. Además, pueden definirse las características específicas que deben tener los nuevos productos para que puedan incluirse en el campo de actividades de la compañía y satisfacer las necesidades del mercado. Ello reducirá la búsqueda de productos nuevos o perfeccionados, para lo cual se necesita un personal especializado y procedimientos de selección y evaluación.

Se plantea la pregunta de cómo las empresas pequeñas de los países en desarrollo pueden permitirse esas actividades de investigación de mercados. Pueden adoptarse varias medidas para llevar a la práctica las recomendaciones anteriores.

1. Uso de fuentes secundarias, como publicaciones técnicas, para determinar y observar de cerca las fuerzas ambientales y técnicas básicas que producen cambios en el mercado que se pretende abastecer.
2. Asignación regular de algunos recursos a la evaluación de las tendencias técnicas y comerciales que pueden influir en el programa de desarrollo técnico de la empresa.
3. Uso ocasional de un grupo técnicamente calificado de consultores para complementar al personal técnico y de gestión de la empresa.
4. Evaluación minuciosa de los métodos técnicos usados o propuestos para los productos existentes o nuevos.
5. Instalación de una gran variedad de canales de información sobre las amenazas tecnológicas a los productos existentes y sobre las posibilidades de crecimiento.
6. Determinación precisa de las necesidades técnicas dentro de la empresa y búsqueda de recursos humanos y de maquinaria para satisfacer las necesidades a las que no pueda atenderse con el personal y el equipo propios.

Para resumir, se da una lista de lo que no debe y de lo que debe hacerse, válida para empresas grandes y pequeñas.

## LO QUE NO DEBE HACERSE

1. No debe esperarse encontrar soluciones ya preparadas de antemano para las necesidades que plantean los nuevos productos.
2. No debe considerarse que ninguna empresa es demasiado pequeña para mantenerse al día en cuanto al desarrollo técnico en la esfera correspondiente.
3. No debe renunciarse de antemano a la idea de conseguir contratos del sector público.
4. No debe considerarse la investigación y el desarrollo tecnológico como un juego de azar, sino como una oportunidad de adquirir conocimientos sobre adelantos técnicos.
5. No debe prescindirse de las instituciones universitarias; su personal técnico y científico está generalmente dispuesto a prestar ayuda a todos los que la soliciten.
6. No hay que esperar milagros.
7. No debe esperarse hasta llegar a la disyuntiva de hallar un nuevo producto en seis meses o cerrar la empresa.

## LO QUE DEBE HACERSE

1. Debe intentarse determinar, con una perspectiva de tres a cinco años, los puntos siguientes:
  - a) Demanda de los productos actuales;
  - b) Novedades tecnológicas que pueden afectar a los productos actuales;
  - c) Productos de posible demanda, compatibles con los intereses y capacidad básicos de la empresa;
  - d) Actividades permanentes de planificación necesarias para el desarrollo tecnológico de los productos a fin de lograr los objetivos del crecimiento.
2. Debe intentarse contar con los servicios de una persona con excelentes calificaciones técnicas, al menos como consultor, pero de ser posible como miembro de la plantilla permanente.
3. Debe intentarse conocer al personal de la esfera técnica correspondiente en todas las universidades o institutos que se hallen cerca de la empresa para estar al corriente del tipo de investigación que realizan esas instituciones.
4. Deben determinarse los productos que el Gobierno compra y cuya fabricación es compatible con los intereses básicos y objetivos futuros de la empresa. Para ello, deben contratarse los servicios de un consultor, y en caso necesario, de departamentos de investigación de universidades. Además, debe leerse la literatura comercial y técnica corriente, incluyendo revistas técnicas extranjeras y bien ilustradas.
5. Debe iniciarse la planificación con tiempo, cuando la buena situación de la empresa permite el desarrollo tecnológico de nuevos productos.

## MERCADOS DE EXPORTACIÓN

Esperar que otras empresas, además de las pocas relativamente importantes que hay en los países en desarrollo, puedan a corto plazo competir directamente en los mercados mundiales, incluso en el caso de que modernizasen sus métodos de producción, equivale a abandonar el terreno de la realidad. Puede observarse que la mayoría de las empresas de transformación de metales de países en desarrollo, si acaso intentan realizar exportaciones, buscan mercados para colocar los productos que actualmente fabrican, que muy difícilmente podrán ser adecuados a las necesidades de los países industrialmente avanzados si no se los modifica o se los vuelve a diseñar. En cualquier caso, la continuidad en las ventas de exportación depende de la realización periódica de análisis de mercados extranjeros, con el objeto de diseñar y desarrollar productos que se ajusten a sus necesidades. Las empresas pequeñas no están en condiciones de emprender por sí solas la necesaria labor de desarrollo de productos y comercialización. Por eso, el problema clave consiste en establecer de qué manera las empresas pequeñas pueden llegar a valerse de esos medios para penetrar en los mercados internacionales.

En el futuro inmediato, las posibilidades al alcance de la mayoría de las empresas pequeñas son, al parecer, muy limitadas. La más promisorias consiste en encontrar otras empresas que estén en condiciones de emprender una labor de desarrollo y comercialización de productos orientados al mercado internacional pero cuya capacidad de producción sea insuficiente y, por ello, estén dispuestos a utilizar los servicios de empresas pequeñas que actúen como subcontratistas.

Teniendo en cuenta los métodos de producción utilizados en los países en desarrollo, hay dos situaciones en las que algunas empresas podrían quizá obtener pedidos de producción de empresas de los Estados Unidos o de Europa occidental:

Cuando los métodos de fabricación y montaje del producto requieren mucha mano de obra; y

Cuando se requiere que los lotes de producción sean pequeños.

Así, una empresa pequeña de un país en desarrollo podría encargarse de la fabricación o el montaje de uno o dos artículos de limitada demanda de la línea de productos de una empresa extranjera, que se ocuparía de la comercialización. Este arreglo podría asegurar a una empresa pequeña una actividad estable y lucrativa.

Probablemente, no hay una fórmula única que permita a las empresas pequeñas encontrar tales oportunidades comerciales. Las empresas que deseen penetrar así en mercados extranjeros deberían poner mayor empeño del que actualmente demuestran. Sería adecuado que los gobiernos de los países en desarrollo, por su parte, prestasen su apoyo para la necesaria intensificación de esas actividades de sondeo del mercado. Por ejemplo, podrían establecer incentivos económicos para que los industriales viajasen al extranjero con esa finalidad.

En segundo lugar, dada la posibilidad de que haya varias empresas pequeñas en condiciones de atender pedidos de producción de empresas extranjeras, sería conveniente que los gobiernos de los países en desarrollo proporcionasen mejores

servicios de información sobre posibilidades de comercialización, especialmente en Europa y en los Estados Unidos, para que las empresas se pusiesen en contacto con compañías extranjeras adecuadas y viceversa. El núcleo de este tipo de servicio tal vez exista ya en los ministerios de relaciones exteriores, y en las embajadas y consulados radicados en países industrialmente avanzados; o en la oficina de investigación de mercados del Ministerio de comercio e industria; o en institutos que se ocupan de la exportación y la comercialización, cuyas actividades podrían ampliarse ventajosamente recurriendo a empresas especializadas en sondeos de mercados extranjeros y en consultoría técnica.

Independientemente de estas actividades, los poderes públicos podrían orientar su labor en las dos direcciones principales siguientes:

Búsqueda activa y permanente, mediante contactos personales en los principales países que al efecto revistan interés, a fin de identificar productos que las empresas nacionales interesadas pudiesen fabricar por subcontrata, en lugar de buscar mercados en dichos países para productos que ya viniesen fabricando las empresas nacionales;

Análisis del concepto en que se tiene al país en los principales mercados de exportación potenciales; e implantación de programas adecuados de publicidad institucional para contribuir a que los fabricantes logren acceso a los mercados de países vecinos.

En resumen, las medidas adicionales propuestas son las siguientes:

Dar mayor importancia a la búsqueda activa y personal de oportunidades en vez de limitarse a tomar pedidos;

Intensificar considerablemente la actividad que despliegan los servicios exteriores y perfeccionarla empleando recursos más variados y modernos;

Utilizar en mayor medida los servicios de consultores nacionales o extranjeros especializados en investigaciones industriales y de mercado a fin de localizar oportunidades para diversos productos;

Intensificar el contacto personal entre directores de empresas industriales y posibles compradores extranjeros.

Si estas medidas —que sólo deben considerarse como un programa provisional para encarar el problema a corto plazo— se aplican con éxito, las empresas locales que fabrican para mercados extranjeros obtienen al mismo tiempo valiosa experiencia y recursos financieros para modernizar su planta y equipo.

El objetivo nacional a largo plazo consiste por lo general en lograr que las empresas de transformación de metales lleguen a ser perfectamente capaces de efectuar una labor de proyección, desarrollo tecnológico, fabricación y comercialización de nuevos productos de exportación. De este modo, las empresas y la nación cosecharán los beneficios del valor añadido en todas las etapas del proceso de creación de valor: proyección, fabricación y comercialización. De especial importancia para las pequeñas empresas es el aumento de sus ventas locales a industrias conexas y auxiliares, que resulta posible cuando éstas han adquirido una capacidad de proyección original.

Ahora bien, cabe preguntarse cómo en un país en desarrollo, con sus muchas empresas pequeñas, limitados mercados internos, poca organización general en la industria y escasos servicios de proyección y comercialización de productos,

pueden desarrollarse empresas orientadas hacia la exportación con las características bosquejadas. Cabría quizá aplicar la estrategia de concentrar el esfuerzo nacional, en lo que respecta a la investigación y a las instalaciones de fabricación conexas, en unas pocas ramas principales de la industria de transformación de metales y promover la concentración regional de industrias auxiliares para esas ramas, modernizándolas y mejorando su productividad simultáneamente. Mediante ese esfuerzo concentrado, un país podría llegar a constituir, en el lapso de un decenio, una fuerza importante en los mercados mundiales en una de las ramas principales de la industria de transformación de metales (o tal vez en varias), tal como lo han logrado los suizos en materia de instrumentos de precisión y máquinas-herramientas. En otras palabras, cabe concebir que esa estrategia podría traer consigo la necesaria organización interna de la industria, con las ventajas económicas derivadas de la concentración; y que podría dar origen a las economías de escala externas necesarias para dar apoyo a las actividades de comercialización de las exportaciones.

Sería necesario aplicar un mayor esfuerzo nacional de investigación tecnocómica del mercado para identificar los productos más promisorios de la industria de transformación de metales a los que podría aplicarse esa estrategia. Esos artículos se caracterizan por el elevado índice de valor añadido en la proyección y fabricación, y por el bajo costo de transporte en relación con el valor bruto de producción. En los mercados de exportación —que, si bien están sometidos a las fluctuaciones del ciclo económico, tienen una estructura bastante estable— se observa siempre una tendencia al rápido crecimiento del volumen global de las operaciones.

#### PRECISIÓN DIMENSIONAL Y TOLERANCIAS

La variedad de productos que se fabrican en pequeños talleres de la industria del metal es tan grande que es imposible revisar completamente en esta monografía la tecnología de su producción. En esta sección nos limitaremos a señalar unos cuantos principios generales que siempre se pueden aplicar cuando se proyectan productos. Dichos principios se refieren a la precisión dimensional y a las tolerancias, y a su relación con los resultados obtenidos, con la intercambiabilidad de los productos y con los costos de producción.

¿Qué es precisión? Según una definición, es la cuantificación exacta de una dimensión en función de las unidades de los instrumentos de medida empleados. Cuando se repite la medición de una dimensión en una serie de productos iguales y los valores obtenidos son casi idénticos, se ha conseguido esta precisión. Puesto que es imposible obtener una precisión absoluta, las dimensiones industriales tienen tolerancias, que son las variaciones permisibles a partir de la dimensión básica del diseño. Cuando las variaciones en la dimensión sólo se permiten en un sentido, debido a las exigencias del diseño, estas tolerancias se llaman unilaterales. Pero, en general, las tolerancias son bilaterales, o sea que se permiten variaciones de igual valor, en más o en menos, a partir de una dimensión básica prescrita.

Actualmente, en el trabajado de metales se acostumbra especificar las tolerancias respecto al tamaño, y se han establecido normas para las mismas en todos los países industrializados. Cuando unas piezas que van acopladas han de funcionar sin trabas y se pretende reemplazarlas sólo después de un tiempo de servicio determinado o cuando se hayan desgastado, es especialmente importante contar con normas en las que se especifiquen las tolerancias para dichas piezas.

En las operaciones mecánicas y otras operaciones de fabricación se pueden especificar tolerancias no sólo respecto al tamaño, sino también a la forma geométrica, la posición, el estado de la superficie, la dureza, la composición y la microestructura.

#### *Desarrollo de la normalización*

Desde los comienzos de la industria del metal, el control de la precisión de las piezas mecanizadas ha constituido un problema en todos los países. Gradualmente, las fábricas, a medida que se iban haciendo mayores, empezaron a introducir sus propias normas respecto a las dimensiones y los ajustes, a fin de facilitar la intercambiabilidad de las piezas producidas en diversos lugares. La subcontratación, que resulta necesaria en los momentos de mayor demanda y en tiempo de guerra, aumentó la necesidad de normas nacionales sobre tolerancias y ajustes. Con el tiempo, se procuró unificar internacionalmente los diversos sistemas nacionales, principalmente en los países de Europa continental que utilizaban el sistema métrico de medidas y cuyas economías dependían unas de otras. Las normas unificadas, siempre que se observen, evitan por completo las dudas y los malentendidos respecto a la forma en que se ajustan dos piezas, por muy lejos que se encuentren uno de otro los talleres en que se fabriquen e independientemente de las diferencias de idioma entre los interesados. Después de algunas negociaciones, la Federación de Asociaciones Nacionales de Normalización (ISA) creó el sistema ISA de tolerancias, que posteriormente adoptaron como sistema nacional de normas muchos países, incluido la Unión Soviética, el Japón y la China.

Aunque los Estados Unidos y el Reino Unido eran miembros de la ISA no adoptaron al principio el sistema ISA, principalmente porque en éste se utilizaba como unidad básica de longitud el metro, en lugar de la pulgada. Sin embargo, durante la segunda guerra mundial se patentizó la necesidad urgente de la normalización internacional de las tolerancias y ajustes, a pesar de la coexistencia de los sistemas basados en el metro y en la pulgada.

La experiencia obtenida durante el período de la guerra, se reflejó en el sistema de normas estadounidenses «Limits and Fits for Engineering and Manufacturing (Límites y ajustes para mecánica y fabricación) (Parte I), ASA B4. 1—1947<sup>5</sup>. En el prefacio de dicho documento se declaraba que las reuniones de los países ABC —denominación derivada de las iniciales en inglés de los países participantes, Estados Unidos, Reino Unido y Canadá— originaron un

<sup>5</sup> El Instituto estadounidense de normalización publicó la última revisión de estas normas, preparadas por la American Society of Mechanical Engineers con la referencia USAS B4. 1—1967.

acuerdo sobre cinco principios básicos. Puesto que los cuatro primeros de estos principios, con ciertas modificaciones obvias y poco importantes, se incorporaron en el sistema de normas estadounidenses citado, podría ser conveniente repetirlos aquí. En primer lugar, debe existir un lenguaje común (definiciones) por medio del cual los datos se pueden archivar y transmitir. En segundo lugar, se debe establecer un cuadro de tamaños básicos normales, que permita reducir el número de diámetros diferentes que se utilizan comúnmente en una gama determinada de tamaños. En tercer lugar, la normalización de las tolerancias y ajustes es un complemento lógico de la normalización de los tamaños, y facilita al proyectista la selección de las tolerancias tipo. En cuarto lugar, es esencial uniformizar los métodos de aplicación de las tolerancias.

En el pasado, faltaban especificaciones normalizadas respecto a los ajustes, y los sistemas de tolerancias recomendadas eran poco flexibles, lo que fue sin duda la razón principal de que, hasta 1950 por lo menos, no tuviera mucho éxito el establecimiento de normas nacionales en esta esfera, incluso en países industrialmente desarrollados. Visitas realizadas a cientos de talleres mecánicos en los países en desarrollo han puesto de manifiesto que en dichos países ninguno de estos sistemas es de empleo general. En la mayoría de los casos, las tolerancias y los ajustes se indican en los diseños con cifras arbitrarias, en milésimas de milímetros o en diezmilésimas de pulgadas. Sin embargo, la mayoría de las personas familiarizadas con esta cuestión comprenden la conveniencia de normalizar las medidas en esta esfera, y en general se prefiere expresar las dimensiones en el sistema métrico.

#### *El sistema ISO de límites y ajustes*

La Organización Internacional de Unificación de Normas (ISO), organismo sucesor de la ISA, ha continuado la labor de establecer normas internacionales. Sus recomendaciones se han incorporado en el sistema ISO de límites y ajustes<sup>6</sup> que se utiliza especialmente para los ajustes entre partes cilíndricas designadas en términos generales como «agujeros» y «ejes», pero también se puede utilizar para partes acopladas no cilíndricas, como por ejemplo chavetas y chaveteros.

En el sistema ISO la temperatura de referencia es de 20° C (68° F), al igual que en las normas de los Estados Unidos y de muchos otros países industrializados.

Los grados de calidad del sistema ISO definen la precisión con que una pieza se fabrica de una dimensión determinada, es decir la tolerancia permitida en la fabricación para una dimensión dada. El sistema ISO tiene 18 graduaciones designadas IT 01, IT 0, IT 1, hasta IT 16, de las que el grado IT 01 indica la calidad más elevada, con las tolerancias menores<sup>7</sup>. Las calidades IT 01 a IT 4 se aplican casi exclusivamente a galgas, y no se examinarán en esta sección. Empezando con la calidad IT 5, las tolerancias básicas de cada calidad son múltiplos redondos de la unidad de tolerancia I, que a su vez se define como una fracción del tamaño nominal D de la pieza de trabajo.

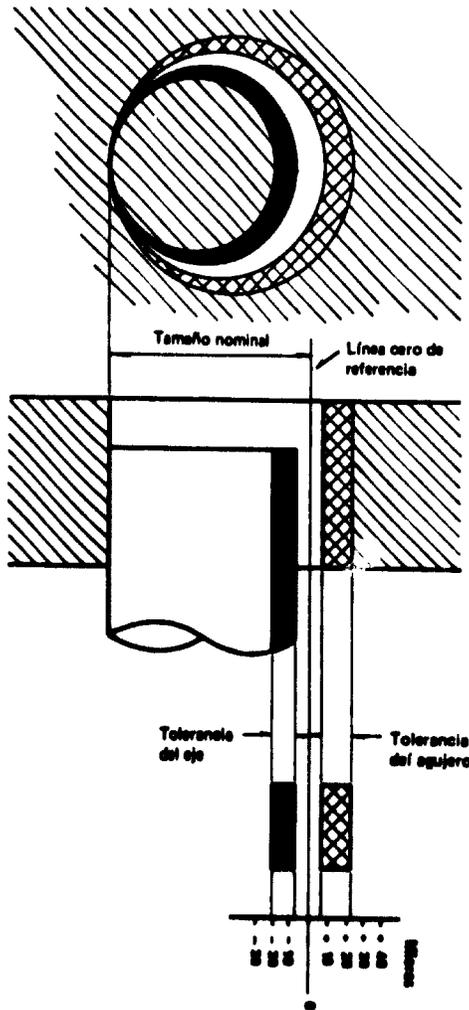
<sup>6</sup> Véase International Standard Organization (1962) *ISO Recommendation R 286: ISO System of Limits and Fits, Part 1: General Tolerances and Deviations*, Ginebra.

<sup>7</sup> Los grados IT 1 a IT 16 se tomaron del sistema ISA, pero se añadieron dos grados que indican calidades mejores.

Ajustes<sup>8</sup>

En la figura 14 se ilustran los requisitos generales que han de tenerse en cuenta para seleccionar un ajuste.

Figura 14. Agujero y eje y sus tolerancias respectivas



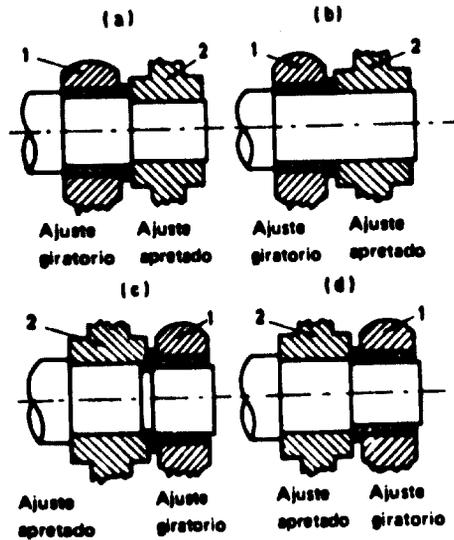
Fuente: Tom H. Vogel (1950) «Accuracy in Machining», (La precisión en el mecanizado) *The Tool Engineer*, número de noviembre, página 17.

<sup>8</sup> El texto de esta sección se basa en gran parte en la obra del Sr. Tom H. Vogel (1950) «Accuracy in machining — its standardization and cost», (La precisión en el mecanizado — su normalización y costo), *The Tool Engineer*, números de noviembre y diciembre. Puesto que dicho artículo es anterior al establecimiento del sistema ISO, el autor se refiere al anterior sistema ISA. No existe ninguna diferencia fundamental de principio entre ambos sistemas, y los argumentos aducidos en el artículo siguen siendo válidos. Sin embargo, en la práctica se deberá hacer referencia a las recomendaciones detalladas del sistema ISO o a la norma nacional pertinente.

Aunque, según el sistema ISO, se permite asociar libremente los diferentes tipos de eje y de agujero y no se exige seguir estrictamente ningún sistema determinado, cuando se estableció dicho sistema ISO se tuvo en cuenta un sistema de ajustes basado en el agujero y un sistema basado en el eje. Ambos sistemas se emplean igualmente, y no se deberá dar preferencia especial a ninguno de ellos. En cada aplicación se habrá de decidir cuál de los dos sistemas permite la fabricación en mejores condiciones.

Como se muestra en la figura 15, en casos fundamentalmente iguales se puede utilizar una tolerancia basada en el agujero o una tolerancia basada en el eje, dependiendo meramente en detalles de la construcción. En los dibujos (a) y (b) se muestra la rueda en posición exterior. En el sistema (a), basado en el agujero, el eje tendrá un diámetro escalonado, para que se pueda insertar en el manguito. En el sistema (b), basado en el eje, es posible utilizar un eje liso, porque se puede sacar de la rueda sin perjuicio.

Figura 15. Comparación entre un sistema basado en el agujero y un sistema basado en el eje



Fuente: Tom H. Vogel (1950) «Accuracy in machining», (La precisión en el mecanizado), *The Tool Engineer*, número de noviembre, página 18.

Nota: El eje gira en el manguito 1, y tiene un ajuste apretado en la rueda 2. Los dibujos (a) y (c) ilustran el sistema basado en el agujero; y los dibujos (b) y (d), el sistema basado en el eje.

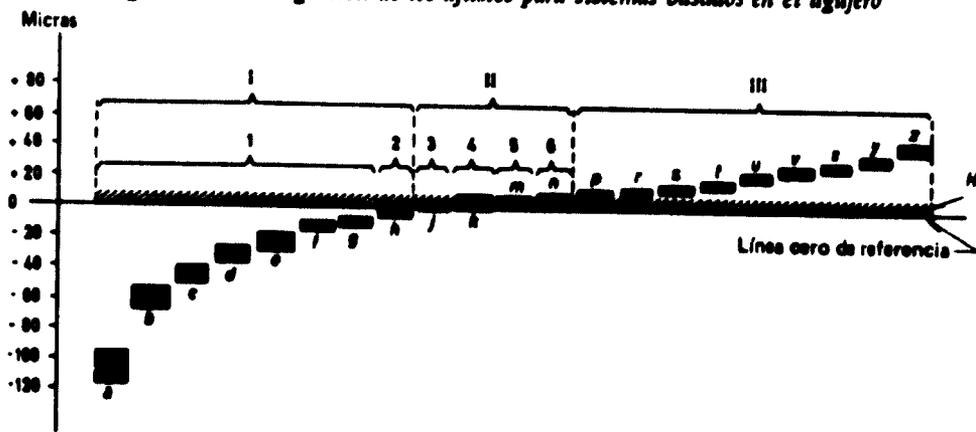
En los dibujos (c) y (d) se muestra la rueda en posición interior. En el sistema (c), basado en el agujero, el eje puede ser liso; en el sistema (d), basado en el eje, es preciso que sea de diámetro escalonado para que pueda pasar por la rueda sin perjuicio.

La relación que resulta de la diferencia entre los tamaños de dos piezas antes de su montaje se llama el ajuste. Las posiciones de las zonas de tolerancia del agujero y del eje en relación con la línea 0 (que representa el tamaño básico) determina cuál de los tres tipos de ajuste se producirá:

- Un ajuste deslizante (giratorio), en el que las dos piezas acopladas están siempre algo separadas y cada una es libre en relación con la otra;
- Un ajuste medio, intermedio entre el ajuste deslizante y el ajuste forzado, en el que entre las piezas acopladas no hay juego ni interferencia;
- Un ajuste de interferencia, en el que, por el tamaño relativo de las piezas, no queda juego alguno, y después del montaje la posición de cada pieza es fija en relación con la de la otra.

En la figura 16 se muestra la designación de los ajustes según la ISA, para el sistema basado en el agujero, más comúnmente utilizado. Las letras *a* hasta *h* se refieren a las zonas de tolerancia por debajo de la línea de referencia, de desviación 0 (es decir, desviaciones negativas) en las que *a* corresponde a la distancia mayor; las letras *k* hasta *z* se refieren a las zonas de tolerancia por encima de la línea de referencia (es decir, desviaciones positivas), en las que *z* corresponde a la distancia mayor<sup>9</sup>. Esto representa una serie de graduaciones desde la posición máxima por debajo de la línea de referencia hasta la posición máxima por encima. Independientemente del grado de calidad, estas letras indican siempre la menor distancia posible de la zona de tolerancia a la línea de referencia y, por lo tanto, determinan el huelgo mínimo o la interferencia mínima entre piezas acopladas. Esto se refiere tanto a los ejes como a los agujeros, con pocas excepciones.

Figura 16. Designación de los ajustes para sistemas basados en el agujero



Fuente: Tom H. Vogel (1950) «Accuracy in machining» (La precisión en el mecanizado), *The Tool Engineer*, número de noviembre, página 18.

Nota: La zona H sombreada indica la tolerancia del agujero básico; *a* a *z* son las tolerancias de los ejes correspondientes.

El proyectista de un producto quizá tenga la posibilidad de prescribir cualquier grado de precisión, cualquier grado de calidad, comprendido en el

<sup>9</sup> El sistema ISO comprende, respecto al agujero, las desviaciones adicionales siguientes: *cd* (entre *c* y *d*), *ef* y *fg* (intermedias entre *e*, *f* y *g*) sólo hasta 10 mm, para mecanismos finos y de relojería; *js*, que representa una gama completa de desviaciones simétricas para todos los escalones de diámetros y todos los grados; *za*, *zb*, *zc*, para los ajustes de gran interferencia.

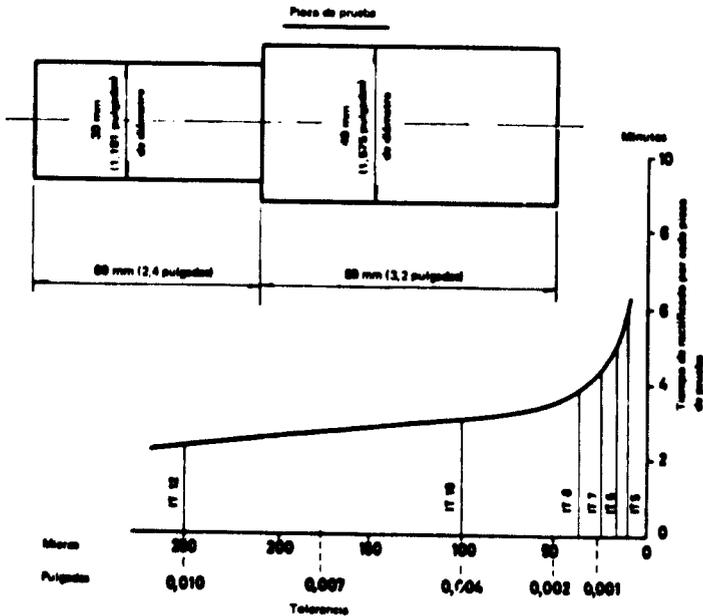
sistema de tolerancias, que considere necesario. En su preocupación por que su diseño funcione realmente bien, tal vez elija una calidad demasiado elevada, aumentando de este modo considerablemente los costos de fabricación, en la mayoría de los casos sin percatarse de ello.

Investigaciones muy exhaustivas han probado que, dentro de ciertos límites, una vez que se tiene en un taller el equipo adecuado y la capacitación del personal se ha realizado apropiadamente, se puede conseguir un grado de precisión determinado con un esfuerzo adicional relativamente pequeño. Sin embargo, la producción de una calidad determinada será menos costosa en un taller que tenga un equipo específico para producir esta calidad, no un equipo mejor o peor, y cuyo personal esté acostumbrado a ese grado de precisión, no a otro grado mayor o menor. En términos absolutos, un trabajo de alta precisión es indudablemente más caro, puesto que requiere maquinaria más costosa y personal más capacitado. Si se producen piezas de baja precisión en un taller equipado para trabajos de alta precisión, éstas resultarán caras en proporción. Los salarios son más elevados cuando se trabaja con maquinaria costosa y los operarios no están acostumbrados a producir trabajo de baja calidad. Existe una relación estrecha entre la precisión, los costos de producción, la maquinaria disponible y la habilidad de los operarios. Si pedimos una precisión mayor de la necesaria, no solamente la pieza de que se trata resultará más cara, sino que también aumentarán los costos de producción de piezas que hayan de hacerse en las mismas máquinas y por los mismos operarios, y para las que se haya especificado una precisión más baja. Por lo tanto, un buen proyectista nunca especificará una precisión mayor de la que sea absolutamente necesaria. En cuestión de tolerancias, seleccionará una calidad de ajuste tal que si se aplicase la tolerancia mayor inmediata la pieza no sería satisfactoria.

Muchas fábricas han descubierto que, con frecuencia, en lo que respecta al personal, es más fácil reducir las tolerancias que aumentarlas. Cuando la dirección decide fabricar un producto menos caro aumentando las tolerancias, los ingenieros y el personal de producción tienden a protestar, porque este cambio puede significar «resultados inferiores», una reducción en la habilidad necesaria para realizar su trabajo.

Las investigaciones sobre la relación entre la precisión y los costos se consideran generalmente secretos profesionales, pero se han publicado algunos resultados. Una serie de pruebas realizadas en un taller de máquinas de precisión consistió en rectificar 10 piezas hasta alcanzar cada uno de los 6 grados ISA de calidad. Limitando el número a 10, se redujo probablemente la influencia de la rutina sobre los resultados obtenidos. Todas las demás condiciones se mantuvieron iguales dentro de lo posible; se utilizó material idéntico y se empleó al mismo operario. En la figura 17 se muestra el diseño de la pieza de prueba y los resultados. Se estableció una secuencia de operaciones por la que los distintos lotes de piezas se rectificaron hasta alcanzar las calidades IT 6, 10, 8, 5, 12 y 7, respectivamente. En estas operaciones de rectificado, el factor humano puede causar grandes fluctuaciones en el tiempo requerido. Por lo tanto, se eligió para hacer el trabajo un operario acostumbrado al mismo, y especialmente seguro.

Figura 17. Relación entre el tiempo de rectificado y la precisión de la pieza



Fuente: Tom H. Vogel (1950) «Accuracy in machining», (La precisión en el mecanizado) *The Tool Engineer*, número de diciembre, página 29.

En la figura 18 se muestra información similar, pero expresada en términos de los costos relativos, en lugar del tiempo, para el mecanizado, cizallado y estampado, aplicando distintas tolerancias. Las tolerancias en el mecanizado se refieren a piezas de tamaño medio. Con una cizalla de escuadrar moderna y sus accesorios, incluso hojas grandes pueden cortarse al tamaño correcto,  $\pm 0,005$  pulgadas, con poco aumento de los costos. Con prensas y estampas de carburo en buenas condiciones se pueden producir piezas estampadas con tolerancias de  $\pm 0,001$  pulgadas.

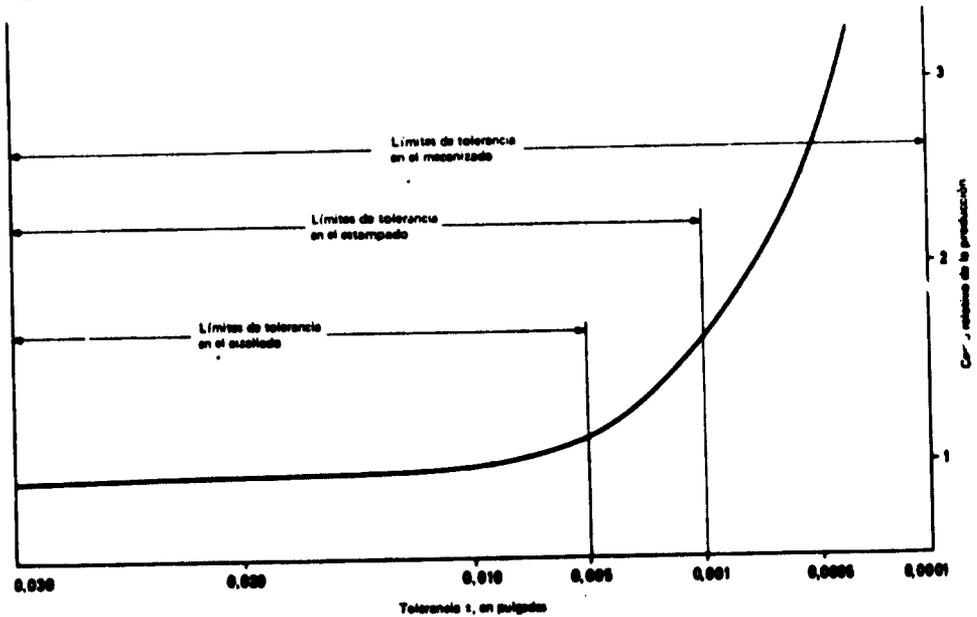
Esas son cuestiones de las que deberían preocuparse los fabricantes de los países en desarrollo, cuanto antes mejor. Si quieren participar en el mundo industrial, sus normas nacionales y de fábrica deberán ser compatibles en líneas generales, con las recomendaciones de la ISO, cuyo valor reconocen plenamente los países industrializados.

Existe una tendencia general a adoptar el sistema métrico en el Reino Unido y los Estados Unidos, a pesar de la multitud de problemas difíciles que supone este cambio. En el Reino Unido ya se ha tomado la decisión, en principio, de adoptar el sistema métrico y se ha empezado a hacerlo. El Congreso de los Estados Unidos aprobó una ley estableciendo un grupo de estudio para

«... investigar y evaluar las ventajas y desventajas, para el comercio internacional de los Estados Unidos ... de un sistema de pesos y medidas normalizado internacionalmente»

y se recibió un informe detallado en agosto de 1971. Más adelante se presentó un proyecto de ley en el Senado de los Estados Unidos que, de entrar en vigor,

Figura 18. Relación entre los costos y la precisión en el mecanizado, cizallado y estampado



originará un programa según el cual los Estados Unidos irían adoptando el sistema métrico, o *Système International (SI)*, en el margen de diez años.

El Gobierno del Canadá, por su parte, ha publicado un Libro Blanco indicando su intención de cambiar asimismo de sistema.

Existe cierto número de casos en que productos definidos en el sistema de pulgadas han encontrado gran aceptación en países en que rige el sistema métrico de medidas.

El ejemplo más importante lo ofrece el Sistema Unificado para las roscas de tornillo. Las reuniones de los países ABC, a las que ya se ha hecho referencia, dieron como resultado, en 1948, una declaración de acuerdo para establecer dicho sistema que, entre los conjuntos de normas para roscas de tornillo, es el de mayor complejidad y perfección técnica de todos los establecidos. La ISO lo ha adoptado como alternativa distinta a su serie de roscas métricas. Existe una gran producción de tornillos según estas normas en pulgadas, no sólo en los países ABC sino en todo el mundo. Su uso predomina en un automóvil extranjero muy popular, importado en los Estados Unidos, fabricado en un país que utiliza el sistema métrico. En el Concorde, el avión supersónico anglo-francés, se utilizan dispositivos de sujeción que siguen el Sistema Unificado, a causa de su superioridad técnica. Este podría muy bien ser otro caso en el que los tamaños expresados en pulgadas continuarán utilizándose en los Estados Unidos, incluso si en este país se va adoptando progresivamente el sistema métrico.

En la esfera de las máquinas-herramientas existen muchas otras normas expresadas en dimensiones métricas o en pulgadas, que son de vieja raigambre y han tenido una aceptación internacional, por ejemplo las normas relativas a las cabezas de husillo y a las espigas cónicas. No tener en cuenta estas normas y utilizar un diseño diferente, aunque sea original, es una manera segura y costosa

de reducir la aceptación del producto en el mercado. Es de señalar que adoptar tolerancias mayores de las que se observan internacionalmente puede obligar a realizar muchos trabajos especiales de montaje y ajuste, lo que haría aumentar considerablemente los costos de producción; además, las piezas con tolerancias mayores pueden tener una vida útil más corta.

Con todo esto, se ha dicho ya bastante para dar idea de la complejidad de los problemas que se han de resolver al procurar la adopción universal de una norma recomendada internacionalmente, en los casos en que en el pasado hayan sido de uso común varias normas diferentes.

## Anexo 1

### METODO PARA LA SELECCION RACIONAL ENTRE DIVERSOS TIPOS DE EQUIPO DE MANUTENCION DE MATERIALES

Hay muchos elementos de equipo de manutención de materiales que, si bien funcionan de modo distinto, cumplen, esencialmente, una tarea análoga. Llegado el caso de tener que elegir racionalmente entre distintos elementos, cabe aplicar el método siguiente:

Prepárese un cuadro sinóptico en el que, para cada uno de los elementos de equipo que haya de compararse se dispondrán dos columnas, a las cuales precederán otras dos cuyo contenido —aplicable en general a todos los elementos comparados— será el siguiente:

- 1) Todos los atributos (rendimiento, seguridad de manejo, costo inicial, etc.) que deben considerarse en la elección; y
- 2) Los coeficientes de ponderación —del 1 al 10— que se asignan a cada atributo para indicar su importancia; por lo general, los atributos a que se asignan coeficientes de ponderación más elevados son el rendimiento, la fiabilidad, la seguridad de manejo y el costo inicial.

En la primera de las dos columnas asignadas específicamente a cada uno de los elementos de equipo considerados se indica qué posición o rango se le asigna, en relación con los demás elementos considerados, por lo que respecta a determinado atributo. Se aplica el rango 1 al elemento de equipo que, en lo tocante a ese atributo, sea el menos conveniente de todos los elementos considerados; el rango 2 al elemento que le siga en orden creciente de conveniencia, etcétera.

En la segunda de las dos columnas asignadas específicamente a cada uno de los elementos de equipo considerados se pone el producto resultante de multiplicar el rango indicado en la primera columna por el coeficiente de ponderación correspondiente. Al pie de la columna, se suman estos productos.

El elemento de equipo en el que esa cifra total que figura al pie de la segunda columna alcance un valor más alto es el que procede elegir para la aplicación prevista.

Para formarse más clara idea del procedimiento, puede recurrirse al ejemplo siguiente:

Se monta una fábrica de bombas. El edificio —de acero liviano, con columnas cada 12 metros, cerchas cada 6 y cargas de 680 kg en los extremos del panel— se asienta sobre terrenos no muy buenos; y la losa de base aguanta 2.440 kg/m<sup>2</sup>. Esencialmente, lo que se hace en la fábrica es aplicar un proceso en el que se

Cuadro A-1. Cálculos para la elección de equipo

Atributo	Coeficiente de ponderación		Crisis		Cavetilla de horquilla		Transparencia		Medios para de transferencia	
	Range	Producto	Range	Producto	Range	Producto	Range	Producto	Range	Producto
Rendimiento .....	10	40	4	40	3	30	2	20	1	10
Flexibilidad .....	7	28	4	28	3	21	2	14	1	7
Adaptabilidad .....	3	6	2	6	1	3	4	12	3	9
Ampliación de las operaciones .....	5	15	3	15	4	20	2	10	1	5
Efecto en la estructura .....	5	15	3	15	1	5	2	10	4	20
Efecto en el edificio .....	7	14	2	14	1	7	3	21	4	28
Efecto en los terrenos .....	3	12	4	12	2	6	3	9	1	3
Fiabilidad .....	10	30	3	30	2	20	4	40	1	10
Facilidad de manejo .....	9	27	3	27	2	18	4	36	1	9
Disponibilidad de repuestos .....	8	16	2	16	3	27	4	32	1	8
Costo inicial .....	10	40	4	40	2	20	3	30	1	10
Vida útil .....	5	15	3	15	2	10	4	20	1	5
Valor residual .....	3	12	4	12	3	9	2	6	1	3
Economías que permite .....	9	18	2	18	1	9	4	32	3	27
Costo de explotación .....	3	6	2	6	1	3	4	12	3	9
Costo de mantenimiento .....	2	6	3	6	2	4	4	8	1	2
Mano de obra necesaria .....	10	20	2	20	3	30	4	40	1	10
Necesidad de operarios calificados .....	8	16	2	16	3	24	4	32	1	8
Seguridad de manejo .....	10	10	1	10	3	30	4	40	2	20
Contaminación .....	8	32	4	32	1	8	2	16	3	24
<b>Total</b>		<b>378</b>				<b>304</b>		<b>440</b>		<b>227</b>

trabajan metales en tandas de diversos tamaños, y por lo tanto se requiere la máxima flexibilidad. Las cargas, que son de distinta magnitud, llegan hasta los 270 kg, y se producen a razón de unas 30 por hora. No hay planes de ulterior ampliación, al menos durante cierto número de años, y se cuenta con que, si algún día se opta por la ampliación, ésta será ordenada, y el edificio se ampliará mediante la construcción de nuevas naves. La mano de obra de que se dispone en la comarca es, en su mayoría, no calificada; escasea el personal preparado para la labor de mantenimiento, y en la zona no se dispone de repuestos para las máquinas y otros elementos de equipo. Cabe en lo posible que la línea de productos se modifique al cabo de cierto número de años. El equipo debe ser adaptable a la manutención de piezas mecanizadas. El edificio tiene unos corredores excelentes, anchos y rectos, y las zonas de trabajo están en general bastante despejadas.

Se desea efectuar una elección racional entre las posibilidades siguientes: puente-grúa, transportador aéreo maniobrado a mano, carretilla elevadora de horquilla o maquinaria de transferencia montada en el suelo. En el cuadro A-1 puede verse cómo se efectúan los cálculos que llevan a la conclusión de que, en este caso, las soluciones más aconsejables son, en primer lugar, el transportador y, como solución segunda, por orden de conveniencia, la grúa.

## Anexo 2

### NOTA SOBRE EL CALCULO DE CURVAS DE APRENDIZAJE

Sea  $t(n)$  el promedio de horas-hombre por unidad cuando se producen  $n$  unidades. Sea  $L$  la curva de aprendizaje.

Si suponemos que  $t(n) = kn^d$ , donde  $k$  y  $d$  son constantes correspondientes a cualquier operación dada de producción o montaje, entonces tendremos:

$$L = \frac{t(2n)}{t(n)} = 2^d \quad (1)$$

$$t(1) = k \quad (2)$$

Representemos la curva de aprendizaje en papel con abscisas y ordenadas logarítmicas. Tomando logaritmos en ambos miembros de la ecuación de partida enunciada más arriba, y teniendo en cuenta la ecuación (2), se deduce lo siguiente:

$$\begin{aligned} \log t(n) &= \log k + d \log n \\ &= \log t(1) + d \log n \end{aligned} \quad (3)$$

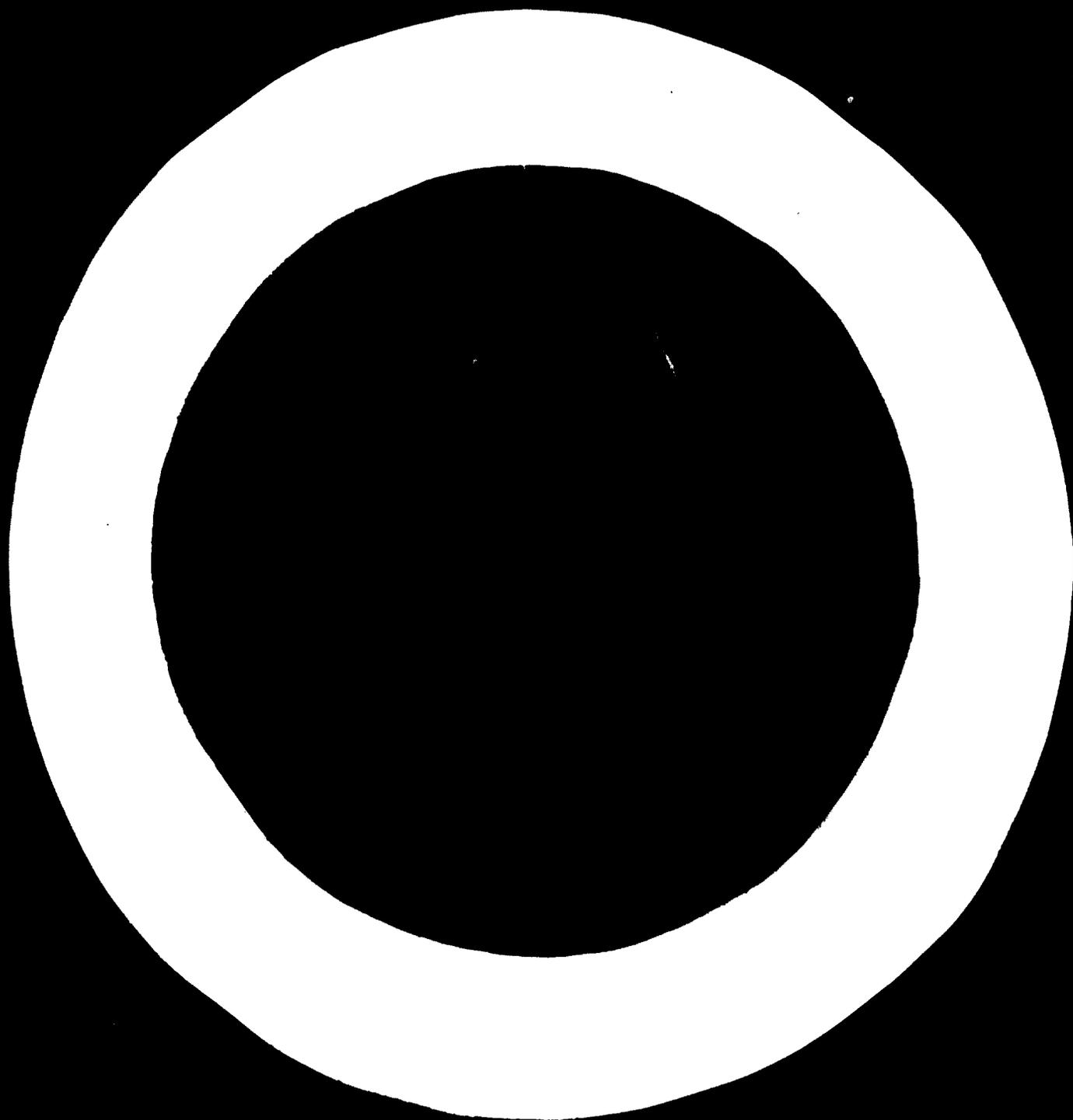
La ecuación (3) es la de una línea recta. Si  $\log n$  se representa en el eje de abscisas, la pendiente de esa recta es  $d$  y la ordenada en el origen es  $\log t(1)$ .

Si se determina el promedio de horas-hombre por unidad para dos (o, lo que es preferible, para más) valores de  $n$ , se puede obtener una línea recta y deducir a partir de ella el valor de  $d$ . En virtud de la ecuación (1),  $d \log 2 = \log L$ , y, por lo tanto, resulta fácil determinar la curva de aprendizaje.

Por otra parte, si conocemos la curva de aprendizaje  $L$  y el número de horas-hombre necesarias para producir la primera unidad,  $t(1)$ , podemos calcular  $d = \log L / \log 2$ , trazar la línea recta cuya ecuación es (3), y entonces deducir el promedio de horas-hombre por unidad para cualquier número de unidades de producción.

## BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (1967) *American Standard Preferred Limits and Fits for Cylindrical Parts*, USA Standard No. B4.1, New York.
- AMERICAN SOCIETY OF TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS (ASTME) (1968) *Cutting Machining Processes, Manufacturing Data Series*, Dearborn, Michigan.
- AMERICAN SOCIETY OF TOOL AND MANUFACTURING ENGINEERS (ASTME) (1967) *Non-traditional Machining Processes, Manufacturing Data Series*, Dearborn, Michigan.
- BACON, FRANK R., JR. (1963) *Growth through New Product Development*, The University of Michigan, Industrial Development Research Program, Ann Arbor, Michigan.
- BACON, FRANK R., JR. and REMPP, KATHERINE A. (1967) *Electronics in Michigan*, The University of Michigan, Institute of Science and Technology, Ann Arbor, Michigan.
- BACON, FRANK R., JR. and SPARROW, FREDERICK T. (1962) *Research on Product Development Capabilities of Michigan Firms*, The University of Michigan, Industrial Development Research Program, Ann Arbor, Michigan.
- BHATTACHARYYA, AMITABHA and HAM, INYONG (1969) *Design of Cutting Tools, Manufacturing Data Series*, American Society of Tool and Manufacturing Engineers (ASTME), Dearborn, Michigan.
- FULLERTON, BAXTER T. (1961) «Machine replacement for the shop manager», *Tooling and Production*, March issue, págs. 49-54.
- GOSLIN, LEWIS N. (1967) *The Product Planning System*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Ill.
- GREVE, JOHN W. (Ed.) (1967) *Handbook of Industrial Metrology, ASTME (American Society of Tool and Manufacturing Engineers) Manufacturing Engineering Series*, Prentice-Hall, New York.
- KHOL, RONALD (1970) «Chemical fabrication processes», *Machine Design*, 12 February issue.
- MITROFANOW, S. P. (1960) *Wissenschaftliche Grundlagen der Gruppentechnologie*, VEB Verlag Technik, Berlin, German Democrat Republic.
- NACIONES UNIDAS, CENTRO DE DESARROLLO INDUSTRIAL (1967) *Informe del Grupo de Expertos en mantenimiento y reparación de equipo industrial en los países en desarrollo*, Nueva York, diciembre 1966, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Viena (documento ID/1 de la ONUDI (mimeografiado).
- NEWBROUGH, E. TRUETT (1967) *Effective Maintenance Management*, McGraw-Hill, New York.
- NIEBEL, BENJAMIN W. (1967) *Motion and Time Study*, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Ill.
- NISSLEY, HAROLD R. (1949) «The importance of learning curves in setting job shop standards», *Mill and Factory*, May issue, págs. 119-122.
- ODOM, J. V. (1969) «Problems of metric conversion», *ASTME (American Society of Tool and Manufacturing Engineers) Vectors*, No. 4, Dearborn, Michigan, págs. 17-19.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL (1971) *Selección y pruebas de recepción de las máquinas-herramientas para corte de metales en los países en desarrollo: guía práctica para los países en desarrollo*: (Núm. de venta: S.71. II. B.3).
- PENTLAND, WILLIAM (1968) «Economic machining optimizes profit», *The Tool and Manufacturing Engineer*, Vol. 61, No. 4 (October issue), págs. 36-40.
- TARASOV, LEO (1969) «Role of wheel speed in grinding operations», *Machinery (New York)*, May issue, págs. 153-155.
- VOGEL, TOM H. (1950) «Accuracy in machining its standardization and cost», *The Tool Engineer*, November and December issues.



### HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

### COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

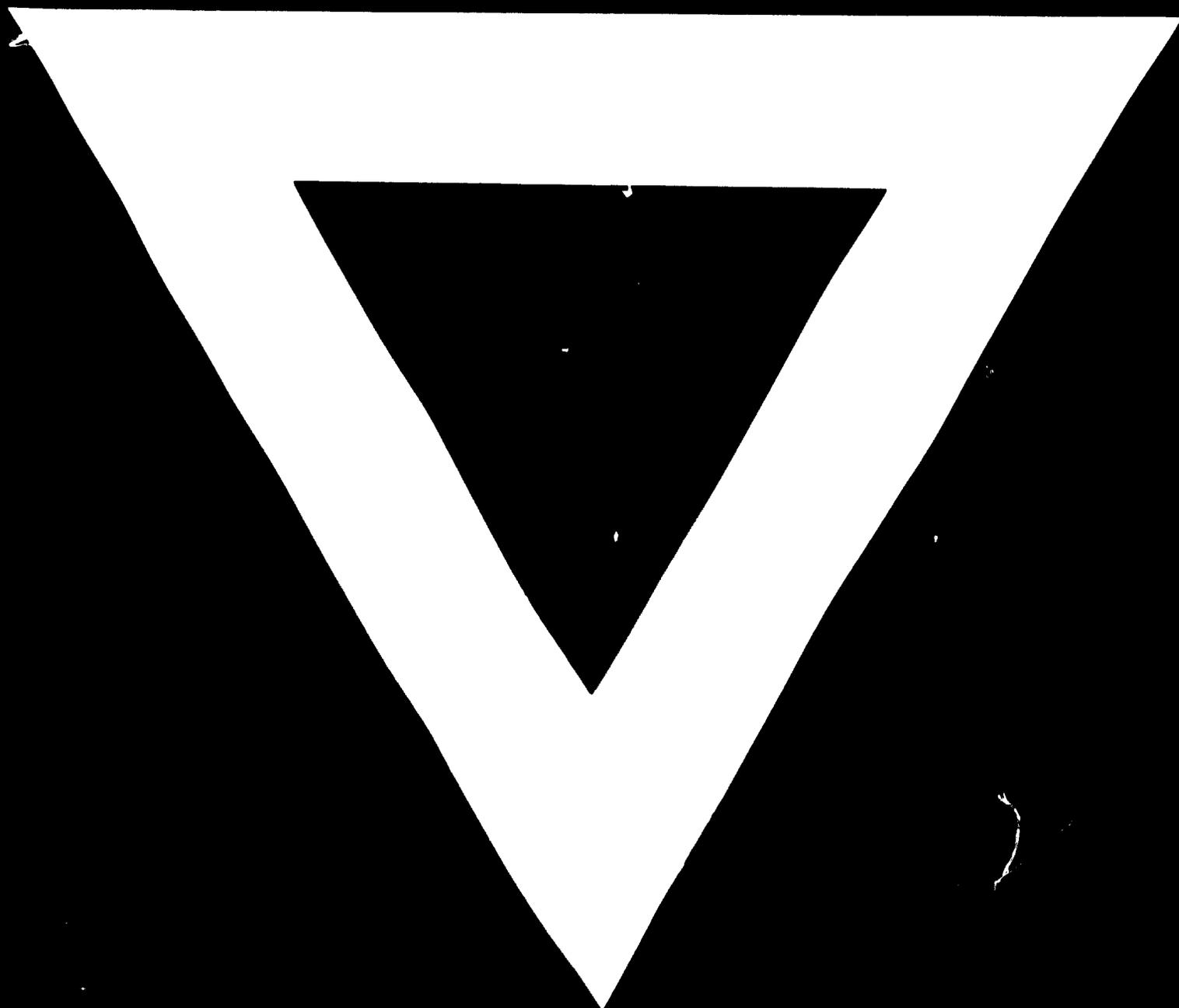
Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre librairie ou adressez-vous à: Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

### КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наведите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

### COMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.



**27-12-74**