

PROYECTO DE MAQUINAS

27.49

CAPITULO II

EDICIONES SIGMA σ
ESTADOS UNIDOS 381

Ing. J. GILL

Conceptos de Máquina y Aparato

Las definiciones de los términos "máquina" y "aparato" tomadas de los diccionarios de la lengua española no son suficientemente satisfactorias para el uso de la técnica especializada, por lo tanto para el mejor entendimiento, es conveniente formular los conceptos convencionales apropiados.

Máquina : Es un conjunto de órganos mecánicos estática y cinemáticamente organizados para poder producir energía mecánica, o para recibirla y transformarla, o para transmitirla, con la finalidad de cumplir una función útil, simple o compleja.

Aparato : Es un conjunto de órganos mecánicos dispuestos convenientemente para producir efectos determinados.

Evidentemente todas las máquinas son ante todo también aparatos. El concepto de aparato comprende al concepto de máquina, el cual es más restringido que el primero. La diferencia fundamental es que en la máquina los elementos deben estar organizados cinemáticamente para poder conducir un flujo de energía mecánica, en cambio en el aparato, si bien pueden existir elementos móviles, estos no están afectados a la función de conducir energía mecánica en cantidad mensurable por medios comunes.

Un tratadista altamente calificado como el Ing. P. Tedeschi sostiene que en relación a los métodos de cálculo de máquinas en lo referente a proyecto es conveniente distinguir dos clases de máquinas: las máquinas de base racional y las máquinas de base empírica. A continuación se exponen sintéticamente los conceptos de cada una de dichas clases.

Máquina de base racional

Máquinas de base racional son aquellas cuyas dimensiones fundamentales se determinan sobre la base de leyes físicas funcionales independientes de la resistencia de los materiales.

Por ejemplo, la bomba centrífuga, el ventilador centrífugo, en general todas las turbomáquinas de fluido. Las propiedades de los materiales constitutivos no afectan las dimensiones fundamentales de dichas máquinas.

Máquina de base empírica

Máquinas de base empírica son aquellas cuyas dimensiones fundamentales se determinan sobre la base de las propiedades físicas de los materiales constitutivos de las partes.

Por ejemplo: el reductor de velocidad. A igual potencia transmitida, velocidad de entrada, relación de transmisión y condiciones de servicio, la dimensión fundamental, distancia entre ejes (de árboles), depende de la nobleza de los materiales de las ruedas dentadas, cuanto más resistentes sean estos menor será dicha distancia.

(11)

5

Resulta útil, sobre todo al estudiante, distinguir las máquinas desde el punto de vista de las dificultades proyectísticas. Con tal propósito las máquinas podrían clasificarse en especies, del mismo modo como se clasifican los animales en zoología. Dentro de cada especie cabrían todas ^(las) variantes típicas de características diferenciables. Por ejemplo, tendríamos las especies siguientes: bombas centrífugas, reductores de velocidad, fresadoras, etc. Las bombas centrífugas podrían dividirse en los siguientes tipos: de una etapa, de dos etapas, multi etapa, con rodete en voladizo, de cuerpo partido horizontalmente, de desarme axial, etc. Los reductores de velocidad podrían dividirse en los siguientes tipos: de una etapa, de dos etapas, de tres etapas, de ejes paralelos, de ejes perpendiculares, de engranajes helicoidales, de engranajes bihelicoidales, etc. La cantidad de especies es inmensa y casi siempre muy grande la variedad de tipos dentro de cada especie.

Cada especie surge a la existencia generalmente bajo la forma de un prototipo de verificación y ensayo de un invento. Si se cumplen satisfactoriamente las pruebas que demuestran su utilidad comienza su difusión y conocimiento por todo el mundo siguiendo el curso de la historia. Simultáneamente también comienza el proceso de su transformación gradual debido al aporte de muchas inteligencias.

I

6

proyectísticas, con espíritu innovador que incorporan la idea básica del invento, nuevos materiales, modificaciones para lograr mejor con acabamientos y cambios estéticos. Al cabo de apenas algunas décadas los ejemplares más característicos de la especie suelen presentar muchas y muy notables diferencias con respecto a los modelos iniciales, no obstante conservan inmutables sus principios básicos. Por ejemplo, se perfecciona la función operativa principal agregando funciones complementarias, se automatizan los mandos internos, se agregan controles, etc. de todo lo cual resulta una mayor complejidad constitutiva. Este es el incesante proceso de desarrollo y evolución histórica de la técnica que ya no ^{se} detendrá jamás. Este proceso de transformación en algunas especies de máquinas es más rápido, en otras es más lento y en muchas llega a un grado tal de lentitud que ante el observador desprevenido aparenta haberse detenido. El distanciamiento formal entre los modelos históricos iniciales y los modelos actuales dependería objetivamente hablando de la frecuencia con que ocurren las innovaciones y del tiempo transcurrido desde el momento ~~de la~~ de la invención de la especie.

Volviendo a la conveniencia inicialmente señalada y teniendo en cuenta los conceptos que anteceden, podrán considerarse las máquinas clasificadas en especies y estas divididas en tres grupos: máquinas de especie ALTAMENTE DESARROLLADA, MEDIANAMENTE DESARROLLADA

II

7

MÁQUINAS PROTOTÍPICAS
Máquinas de especie altamente desarrollada

Máquinas de especie altamente desarrollada son aquellas que a partir del momento de su invención han sufrido a través de los tiempos históricos un proceso de transformación y perfeccionamiento hasta llegar a un grado de complejidad sumamente elevado.

Ejemplos de esta clase son: los telares; las rotativas impresoras de periódicos; los trenes de laminación de acero ^{el avión.}; los trenes de conformación de tuños; El proyecto de máquinas de esta especie no puede ser encarado por proyectistas principiantes como no sea bajo la dirección de otros especializados y con mucha experiencia.

Máquinas de especie medianamente desarrollada

Máquinas de especie medianamente desarrollada son aquellas que no han alcanzado a complejizarse no obstante los cambios inherentes a la evolución histórica, pudiendo deberse esto a la simplicidad de principio o a su reciente creación.

Ejemplos de esta clase son: el torno paralelo; la fresadora universal; el puente grúa; la locomotora; el motor de combustión interna a piston; el motor eléctrico.

Máquinas prototípicas

Máquinas prototípicas son aquellas que constituyen el primer modelo realizado para verificar el valor de una nueva o diferente concepción mecánica. Obviamente de un prototipo no cabe hablar todavía de grado de desarrollo. Si la verificación resulta afirmativa el prototipo será el punto de partida de una nueva especie de máquinas.

Grado de Originalidad del Proyecto

La originalidad de una creación es la cualidad que tiene la obra de no ser copia o imitación de otra. Con referencia a la creación mecánica honestamente concebida no existe proyecto que no presente aspectos de originalidad por mínima que esta sea, como así tampoco no existe proyecto que sea absoluta y estrictamente original en su totalidad. Entre ambos extremos pueden encontrarse todos los grados intermedios concebibles de originalidad, debiendo no perderse de vista que se trata de una cualidad de apreciación subjetiva difícilmente cuantificable. No obstante, con la finalidad de una mejor comprensión y evaluación de la calidad de los proyectos es conveniente determinar tres tipos claramente diferenciados que prácticamente cubren todo el campo de las posibilidades proyectísticas. Estos tres tipos son los siguientes:

- a) Proyectos de carácter fundamentalmente imitativos
- b) Proyectos de carácter fundamentalmente evolutivo
- c) Proyectos de carácter fundamentalmente inventivo

Proyecto de carácter fundamentalmente imitativo

Por proyecto de carácter fundamentalmente imitativo debe entenderse aquel en que la funcionalidad de la máquina o aparato es enteramente similar a la de otro existente, no presentando tampoco innovaciones en la configuración geométrica general, salvo las que derivan forzosamente de las diferencias dimensionales.

11

9

En este tipo de proyecto se aplican los conocimientos básicos de la ingeniería de diseño de conjunto y de detalle ateniéndose a un modelo existente elegido que limita el desarrollo de la originalidad creativa del proyectista circunscribiéndola a los aspectos de menor significación. La labor de diseño de detalle, es decir, la elaboración de la configuración particular geométrica de cada pieza mantiene el sello personal del diseñador, no obstante la falta de originalidad fundamental del proyecto. La prueba de ello es el hecho conocido de que partiendo de idénticas condiciones de proyecto distintos proyectistas llegan a resultados fácilmente diferenciables a primera vista y perfectamente identificables con la personalidad del autor.

No debe caerse en el error de menospreciar este tipo de proyecto por no presentar innovaciones significativas y ser de poca originalidad. Se realizan así por necesidad de la industria y el comercio y estadísticamente constituyen el grueso del trabajo proyectístico del conjunto de todas las oficinas técnicas de fábrica.

En este campo conviene que hagan sus primeras armas los proyectistas debutantes.

Proyecto de carácter fundamentalmente evolutivo

Por proyecto de carácter fundamentalmente evolutivo debe entenderse aquel en que la máquina o aparato, no obstante basarse sobre principios funcionales conocidos, presenta cambios estructurales notables con respecto de las máquinas o aparatos existentes, tendiendo a servir mejor su finalidad o simplemente adaptarse constructivamente

mejor a nuevas condiciones tecnológicas y económicas.

(E)
10

Este tipo de proyecto puede contener muchas innovaciones, algunas de ellas técnicamente patentables dentro de la calificación legal de "mejoras" o de "nueva aplicación de medios conocidos para la obtención de un resultado". La labor proyectística se realiza en toda su plenitud permitiendo la manifestación del talento y la ingeniosidad del creador, tanto en la ingeniería de conjunto como en la ingeniería de detalle, pudiendo incluir en ciertos casos en que la importancia de la futura producción lo requiere,

trabajos en el campo específico del "diseño industrial". Generalmente se trabaja en equipo formado por ingenieros y dibujantes proyectistas, el cuál puede pertenecer al personal estable de la empresa, o bien constituir una sociedad de profesionales independientes organizada como oficina técnica o ~~una~~ consultoría.

No obstante que este tipo de proyecto solamente puede ser encarado por proyectistas avezados cuya experiencia constituye una garantía de los resultados, siempre existe algún grado de incertidumbre acerca del éxito de las innovaciones y conviene, de ser posible, realizar primeramente un prototipo experimental o por lo menos planear la producción de una primera lote de corto número de unidades, que si bien sería destinado a la comercialización al mismo tiempo tendría carácter de prueba. En los casos en que solamente se construirá una sola máquina o muy pocas unidades no cabe la realización de un prototipo que elevaría ^{costo} mucho

Proyecto de carácter fundamentalmente inventivo

(E)
11

Por proyecto de carácter fundamentalmente inventivo debe entenderse aquel en que el principio funcional de la máquina o aparato es completamente distinto de los aplicados sobre máquinas/existentes de igual finalidad, o también puede tratarse de nuevas especies mecánicas destinadas a una finalidad hasta entonces no servida por medios mecánicos.

Este tipo de proyecto es motivado por la creación de una invención importante referente a un nuevo principio funcional, o bien a una idea mecánica enteramente novedosa por su concepción y aplicación. En él se desenvuelve todo el genio inventivo, todo el talento perfeccionista y toda la originalidad de que son capaces los componentes del equipo de proyectistas, cuyo objetivo final será la construcción de un prototipo de verificación y ensayo, tarea esta última que ordinariamente queda bajo la dirección del mismo equipo.

El prototipo será ensayado, sus resultados estudiados y sus consecuencias aplicadas a la modificación del proyecto incorporándole los nuevos conocimientos experimentales obtenidos para dejarlo listo en condiciones de servir para la construcción del modelo definitivo de máquina.

ASPECTOS ECONÓMICOS EN EL PROYECTO DE MÁQUINAS

Rentabilidad de la máquina

La rentabilidad de la máquina se determina por la relación entre producción C_p (expresada en unidades monetarias) durante un determinado período de tiempo, y la suma de los gastos G de explotación durante el mismo período de tiempo:

$$\text{rentabilidad } q = \frac{C_p}{G} \quad (1)$$

La suma de los gastos consta de:

Aa: amortización del coste de la máquina

Ec: energía consumida

Mc: materiales consumidos en la producción

Mo: mano de obra de producción

Mn: mano de obra de mantenimiento

Re: gastos de reparación

Ga: gastos generales

Af: amortización de la fábrica (parte proporcional)

La rentabilidad q debe ser mayor que la unidad, de lo contrario la máquina trabajara con pérdidas y no tendría sentido su existencia.

Efecto económico de la máquina

El efecto económico anual de la máquina es igual a la diferencia entre el producido anual y los gastos anuales

$$Q = C_p - G = C_p \left(1 - \frac{G}{C_p}\right) = C_p \left(1 - \frac{1}{q}\right) \quad (2)$$

El efecto económico sumario $\sum Q$ en todo el período de servicio de la máquina es igual a la diferencia entre el producido total $\sum C_p$ y la magnitud total de los gastos durante el período $\sum G$

$$\sum Q = \sum C_p - \sum G \quad (3)$$

El aspecto económico debe desempeñar un papel primordial en el proyecto. El objetivo fundamental de los rediseños es el aumento del efecto económico de la máquina.

Muchos proyectistas consideran que diseñar económicamente significa disminuir el coste de fabricación de la máquina, evitar soluciones complejas y caras, emplear los materiales más baratos y los procedimientos de fabricación más simples. Esto es solamente un aspecto parcial del problema. El efecto económico se determina por la capacidad productiva de la máquina y por la suma de los gastos de explotación durante TODO el período de trabajo de la misma. El coste de adquisición es solo un componente y no siempre el principal de esta suma.

El proyecto económicamente bien orientado debe tener en cuenta todos los complejos factores que determinan el efecto económico de la máquina y sobre todo evaluar la interdependencia relativa de estos factores. Esta regla frecuentemente se ignora. Tendiendo al abaratamiento de la producción el proyectista frecuentemente consigue ventajas en una dirección

II

14

pasando por alto otros aspectos mucho mas efectivos en el logro del máximo efecto económico. Es más, la economía que se consigue sin tener en cuenta debidamente TODOS los factores que determinan el efecto económico frecuentemente conducen a la disminución de la rentabilidad. Los factores principales que determinan el efecto económico de las máquinas son : la capacidad de producción; la duración, la confiabilidad; el coste de la mano de obra; el coste del mantenimiento y de las reparaciones; el coste de la fabricación e. El aumento del efecto económico de las máquinas repercute positivamente en la economía global de la sociedad.

La magnitud del producido sumario $\sum Q$ depende de la duración de la explotación. En relación con dicha magnitud conviene determinar el llamado coeficiente de utilización de la máquina v_{ut}

Sea H el plazo total previsto para el servicio de la máquina hasta llegar a su obsolescencia; h el tiempo del funcionamiento real o sea su duración

La relación

$$v_{ut} = \frac{h}{H} \quad (4)$$

representa el coeficiente de utilización de la máquina que caracteriza la intensidad de su aprovechamiento durante el servicio. Este valor es siempre menor que 1, pero cuanto mayor sea, mayor será la magnitud del producido

I

15

Resumiendo los conceptos expuestos puede expresarse el efecto económico sumario como sigue. Designemos con C' los gastos proporcionales a la duración h de la máquina, y con G'' los gastos proporcionales al plazo de funcionamiento H. En consecuencia puede escribirse:

$$\sum Q = h (C_p - G' - \frac{G''}{H}) - C \quad (5)$$

siendo C el coste inicial de la máquina

La anterior puede transformarse en función del plazo de funcionamiento H, quedando:

$$\sum Q = H \left[v_{ut} (C_p - G') - G'' \right] - C \quad (6)$$

Del analisis de las ecuaciones (5) o de la (6), surgen las siguientes consecuencias.

El efecto económico sumario, es decir el ingreso bruto total durante toda la vida de la máquina es proporcional a la duración h, y es tanto mayor cuanto mayor es la capacidad productiva anual C_p y tanto menor cuanto mayores sean los gastos G' y G'' , y el coste C.

La disminución del coste de la máquina influye perceptiblemente en el efecto económico solamente para plazos relativamente pequeños de servicio. El aumento del coste de la máquina se refleja muy poco en el efecto económico para grandes plazos de servicio. Por consiguiente el aumento del coste de la máquina orientado a elevar su duración está plenamente justificado, ya que la ventaja del aumento de la duración supera en mucho la reducción del efecto económica debido al aumento del coste de la máquina

La reducción del consumo de energía generalmente influye insignifican- mente sobre el efecto económico.

La reducción del coste de mano de obra que se consigue por medio de la automatización o del trabajo simultáneo en varias máquinas, etc., aumenta intensamente el efecto económico.

El aumento de la capacidad productiva de la máquina ejerce un efecto directo sobre el aumento del efecto económico constituyendo un factor decisivo.

Como regla general el efecto económico depende principalmente de la capacidad de producción, de la duración, y de la confiabilidad. Esta determina la frecuencia y la importancia de las reparaciones.

En la actualidad el problema de turno es el diseño que permita la "explotación sin reparaciones".

Por explotación sin reparaciones se entiende convencionalmente:

- 1º Eliminación de la reparación general.
- 2º Eliminación de la reparación de restauración de partes y su sustitución por el cambio de módulos usados por módulos nuevos (piezas, grupos de piezas, accesorios).
- 3º Eliminación de las reparaciones de emergencia por roturas o desgastes anormales mediante la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo.

El paso al funcionamiento "sin reparaciones" es

premisas básicas para lograr este objetivo serían:

- a) el aumento de la vida de servicio útil de las piezas que se desgastan: b) El diseño por el principio del agrupamiento de subconjuntos permitiendo la sustitución fácil de los mismos. dentro de la unidad máquina
- c) La creación superficies de fijación indeseables para incorporar piezas, accesorios y subconjuntos

Finalmente corresponde aclarar que de lo anterior de ningún modo debe deducirse que el proyectista ^{siempre} puede prestar menos atención a la disminución del coste de fabricación que a los demás factores intervinientes en la formación del efecto económico. Tal deducción sería profundamente errónea. La importancia del coste depende de la categoría o especie de máquinas y puede llegar a ser muy importante en máquinas con pequeño consumo de energía y mano de obra de explotación, como así también en máquinas con un plazo de servicio relativamente breve.

I

13

Duración

La duración^(h) de la máquina es el tiempo^(neto) total que esta puede funcionar a un régimen nominal en condiciones normales de explotación y sin reducción significativa de la productividad.

No debe confundirse este concepto con el de plazo de funcionamiento H que es el tiempo^(bruto) total durante el cual la máquina está instalada en su lugar de funcionamiento, en condiciones o no, de producir. El plazo de funcionamiento es un tiempo corrido de calendario. La duración resulta de descontar del plazo de funcionamiento el tiempo en que la máquina está detenida ya sea por descanso del personal o por trabajos de mantenimiento.

Los factores principales que limitan la duración de las máquinas son los siguientes: ruptura de las piezas; desgaste de las superficies de rozamiento; deterioro de las superficies por presiones de contacto; deformaciones plásticas debidas a tensiones variables en altas temperaturas; corrosión.

En las máquinas industriales ordinarias la resistencia mecánica no constituye actualmente un límite para la duración. Con el surgido de materiales disponibles, con los métodos de fabricación actuales y con el estado actual de la ciencia de la resistencia de los materiales, en esta clase de máquinas no hay piezas a la que no pueda llegar a dársele una duración ilimitada.

II

19

En máquina de clase sumamente exigida como las máquinas de transporte (vehículos) el problema es más difícil de resolver. Las limitaciones del peso del vehículo y de sus dimensiones exteriores obligan a cuantificar hasta el límite las tensiones teóricas de trabajo de los materiales ocasionando una mayor probabilidad de roturas por fatiga.

En la peor situación se encuentran las máquinas térmicas teniendo en cuenta que la resistencia de los materiales metálicos baja sensiblemente con el aumento de la temperatura. Su duración depende en primer lugar de la duración de las piezas esenciales sometidas a elevadas temperaturas como ser: émbolos; aros de émbolo; válvulas y asientos de válvula; álabes de rotores; cámaras de combustión; toberas de flujo; etc. Además a elevadas temperaturas aparece el fenómeno de "arrastre" (fluencia del material a tensiones comparativamente bajas) que ocasiona un sensible cambio de dimensiones que puede llegar frecuentemente a dejar la pieza inutilizada. Las piezas que trabajan a dichas temperaturas se calculan para una duración limitada.

En la generalidad de las máquinas la duración queda determinada por el desgaste de las piezas. El desgaste que se desarrolla gradualmente conduce a un empeoramiento de los índices de funcionamiento de la máquina; disminuye la precisión de las operaciones, disminuye el rendimiento mecánico (energético) y disminuye la confiabilidad. El desgaste de ciertas piezas importantes ocasiona el

deterioro de otras mecanicamente vinculadas.

El tipo principal de desgaste en las maquinas sea el desgaste mecanico, que se subdivide en desgaste abrasivo (por rozamiento deslizante), desgaste de rodadura y desgaste por percusion. Algunas piezas sufren desgaste quimico (deterioro por corrosion), otras sufren desgaste termico (deterioro por excesivo calentamiento) y tambien puede ocurrir el desgaste por cavitacion y erosion de fluidos.

Los procedimientos disponibles para aumentar la resistencia al desgaste mecanico son: el aumento de la dureza de las superficies en rozamiento; la disminucion de la presion entre las mismas; la seleccion de los materiales formando el par de rozamiento; el mejoramiento de la terminacion superficial y la correcta lubricacion. En la

Otra manera de reducir el desgaste consiste en mejorar las propiedades antifriccion de las superficies por medio de la precipitacion de peliculas de fosfatos (fosfatacion), la saturacion de la capa superficial con azufre (sulfinizacion), con grafito (grafitacion), con disulfuro de molibdeno, etc. Con una dureza moderada estas superficies adquieren un muy bajo coeficiente de rozamiento y una elevada resistencia al engrane. Estos tratamientos, particularmente la sulfinizacion

71
21
y el tratamiento con disulfuro de molibdeno, aumentan de diez a doce veces la resistencia al desgaste de las piezas de acero. Se aplica tambien la combinacion de ambos procedimientos. aumento de dureza y aumento de las propiedades antifriccion, como por ejemplo la sulfocianuracion.

Es muy importante la correcta combinacion de la dureza de ambas superficies (pares de rozamiento). Para un movimiento de bajas velocidades y altas cargas es mejor elevar al maximo la dureza de ambas superficies y para un movimiento con altas velocidades con buena lubricacion es mejor la combinacion de una superficie dura con otra blanda que posea elevadas propiedades antifriccion.

Un procedimiento efectivo para disminuir el desgaste consiste en disminuir la carga especifica (presion) sobre las superficies en movimiento relativo. En el diseño esto se consigue aumentando el area de contacto, o tratando de disminuir la magnitud de las cargas. En lo posible el contacto puntual debe substituirse por el contacto lineal; el lineal por el superficial; el rozamiento de deslizamiento por el rozamiento de rodadura.

Siempre que se pueda y que economicamente se justifique que debe disenarse un sistema de compensacion del desgaste que puede realizarse manualmente en forma periodica o en forma automatica.

Ejemplo de compensacion manual periodica del desgaste son los cojinetes de rodamiento conicos por medio

II

22

gufas rectilíneas con la ayuda de cuñas y listones ajustables.

Más perfeccionados son los sistemas de compensación automática como por ejemplo los cojinetes de rodamiento precargados axialmente por medio de resortes y la compensación hidráulica del huelgo acumulado por combinaciones de palancas.

Una importancia decisiva en cuanto al desgaste tiene la correcta lubricación de los puntos de rozamiento. En todos los sitios donde sea posible conviene instalar lubricación automática centralizada, ya sea con aceite o con grasa. En cuanto a los cojinetes de deslizamiento ya es sabido que debe en lo posible preferirse la lubricación hidrodinámica.

Conviene evitar los mecanismos abiertos a los que llegan el polvo y la suciedad. Todas las piezas con rozamiento deben ubicarse en cajas bien cerradas por empaquetaduras o retenes, provistas interiormente con un sistema de suministro forzado de aceite a presión distribuido continuamente a todos los puntos de rozamiento. En los elementos que trabajan bajo altas cargas periódicas de contacto sin rozamiento (cojinetes de rodadura, ruedas dentadas de engranaje) conviene evitar el exceso de lubricación. Tales elementos es mejor lubricarlos con suministro dosificado de aceite (chorro dirigido) y en el caso de muy altas velocidades de rotación con niebla de aceite. La viscosidad y el índice

II

23

de viscosidad (variación de la viscosidad con el tiempo y la temperatura) deben elegirse de acuerdo con las condiciones de trabajo de la máquina.

La efectividad del lubricante se puede aumentar con la introducción de aditivos como por ejemplo: grafito y azufre coloidales; disulfuro de molibdeno; ácidos oléico y palmítico; compuestos organosilícicos, etc. En el comercio se obtienen ya preparados estos lubricantes especiales.

En condiciones tales que no es posible emplear lubricantes líquidos como por ejemplo trabajo en altas temperaturas, en medios químicos agresivos, o simplemente que por contacto de alta frecuencia el lubricante líquido no es efectivo, se emplean lubricantes sólidos. Estos pueden ser, por ejemplo, grafito, disulfuro de molibdeno, nitrato de plomo, nitrato de calcio, yoduro de plomo, yoduro de calcio, sulfuro de plomo. Se aplica en forma de películas mezcladas con polvo de níquel o plata.

La corrosión es una de las causas más frecuentes de que las máquinas queden prematuramente fuera de servicio. En las máquinas destinadas a trabajar a cielo abierto o en ambientes de elevada humedad o en ambientes químicamente activos, conviene prever las medidas efectivas de protección aplicando recubrimientos galvánicos (cromado, níquelado, cobreado), o aplicando películas de compuestos químicos (fosfatización), o aplicando

cando películas de materiales plásticos polímeros.

La mejor solución consiste en elegir el material básico anticorrosivo; aceros inoxidable, aleaciones a base de titanio. Las piezas poco exigidas tensionalmente pero que pueden estar en contacto con elementos químicamente activos conviene hacerlas de materiales plásticos adecuados a cada caso.

Tomando todas las medidas tecnológicas y constructivas señaladas hasta aquí es posible elevar el plazo de funcionamiento de la mayoría de las máquinas industriales prácticamente hasta cualquier magnitud.

Hay, sin embargo, excepciones a esta regla. Es muy difícil garantizar la duración de piezas que trabajan en contacto directo y necesario con un medio abrasivo, como por ejemplo: álabes de rodetes de bombas para líquidos con material pulverulento en suspensión; cuchillas de arados; dientes o uñas de las excavadoras; eslabones de los vehículos oruga; mandíbulas de las trituradoras de minerales; cadenas y accionamientos de transporte de cemento, hulla y similares; etc. El plazo de funcionamiento de tales elementos es muy breve, en ciertos casos solamente llega a decenas de horas.

Las medidas para elevar la duración de las máquinas encarecen su coste. Es necesario emplear materiales menos comunes y por consiguiente de mayor precio, organizar en la fábrica nuevos procesos tecnológicos que requieren inversiones de capital complementarias, todo

lo cual desanima a los directivos de las empresas que tienen la natural y respetable tendencia a resolver la cuestión desde el punto de vista del interés inmediato

de la empresa. Lograr a toda costa un precio de venta

lo más bajo posible es generalmente el objetivo de los

esfuerzos de la gerencia, que imparte las directivas consiguientes a la oficina de proyectos. No se intenta aquí poner en tela de juicio la corrección de este proceder, sino solamente señalar una discrepancia con el interés futuro de la empresa y con el interés global de la comunidad.

Analizando la cuestión del aumento de la duración de la máquina desde el punto de vista global, es decir desde el punto de vista del interés de la comunidad, están plenamente justificados los gastos tendientes a aumentar el plazo de funcionamiento del producto. Por una parte el coste de fabricación de las piezas que determinan la duración de la máquina es relativamente pequeño comparado con el coste del resto de la máquina. Por otra parte el valor o precio de venta de la máquina es relativamente bajo con respecto a la suma total de los gastos de explotación (tomados de la manera que convencionalmente se ha definido) durante todo el período del plazo de funcionamiento. La consideración de estas dos circunstancias del problema conducen directamente a la conclusión de que el interés del usuario y por consecuencia el de la comunidad es no escatimar los gastos que demandan la fabricación de las

na. Estos gastos dan a largo plazo, pero seguramente
enormes beneficios

Muchos proyectistas de maquinaria siguen exclusiv-
mente la regla de aplicar los materiales mas baratos y
los diseños más sencillos realizables por la tecnología
utilizable. Sin embargo, aún reconociendo que en muchos
casos esta es la mejor actitud, esta regla no puede
aceptarse sin hacer algunos reparos. La cuestión acerca
de la elección de los materiales y los diseños básicos
hay que resolverla después de haber hecho la confronta-
ción de la importancia de los gastos de fabricación con
respecto a los gastos totales de explotación durante
toda la vida útil de la máquina. Aplicando lo antedi-
cho en muchos casos se descubre con toda evidencia
que para la fabricación de las piezas que determinan la
duración y la confiabilidad es necesario y conveniente
emplear materiales de la mas alta calidad sin reparar
en el costo y elaborarlos por los procedimientos mas
perfeccionados de la tecnología.

Obsolescencia

Obsolescencia es la desvalorización de las máquinas

y aparatos que componen un sistema productivo aún en con-
dición técnica de seguir utilizándose, a causa del
descenso ^{relativo} de sus índices de eficiencia hasta que/
dar por debajo de los exigidos por un mercado competitivo,
o a causa de la aparición de nuevos
procesos tecnológicos de eficiencia superior desplazan/
do a los vigentes hasta el momento.

Los índices de eficiencia están principalmente cons-
tituidos por: la confiabilidad; la productividad; la ca-
lidad de la producción; el coste de la mano de obra direc-
ta; el gasto de energía por unidad de producción; el cos-
te de las reparaciones y el mantenimiento. Estos índices
tienden inevitablemente a empeorar con el uso de la
maquinaria, en cambio los valores exigidos para mantener
la competitividad del producto tienden continuamente a au-
mentar por obra del progreso tecnológico y de otros facto-
res concurrentes, pudiendo dar como consecuencia un descen-
so antes de lo esperado de la rentabilidad del sistema. Las
condiciones del mercado determinan cuál es el punto crí-
tico por debajo del cual la empresa no puede sopor-
tar que siga descendiendo la rentabilidad del proceso.
Ese será el momento de declarar obsoleta la máquina/
ria que lo compone, independientemente de que se haya
agotado o no el tiempo de duración previsto de sus
componentes. Esta es la forma gradual de la obsolescencia.

No obstante, la obsolescencia suele ocurrir en
forma repentina e imprevista. Esto es cuando por
causa del desarrollo incesante de nuevos procesos tec-
nológicos irrumpen en el mercado de maquinaria nuevas
unidades con tal grado de innovaciones e invenciones
incorporadas que logran superar holgadamente los índices

de eficiencia de los sistemas en uso. Estos últimos se vuelven repentinamente obsoletos, aún estando en perfectas condiciones de utilización desde el punto de vista del desgaste. Los ejemplos de este tipo de obsolescencia son numerosos, pudiéndose citar la revolución técnica producida en la aeronáutica por la aparición del motor de propulsión por reacción directa que desplazó de la aviación comercial a los motores de pistón en muy breve tiempo.

Sin embargo semejantes cambios tan radicales y que suceden con mucha rapidez no ocurren con frecuencia, son más bien una excepción. En la mayoría de los campos de la técnica el perfeccionamiento es gradual y el problema de la obsolescencia se plantea distintamente, pudiendo generalmente prevenirse desde la concepción misma de la máquina, es decir desde el proyecto.

La prevención de la obsolescencia en el proyecto de la máquina se hace teniendo en cuenta la dinámica del desarrollo futuro de la rama industrial en que se aplica. Sobre la base de las tendencias observadas, en el modelo inicial se deben prever reservas que posibiliten su desarrollo en capacidad, eficiencia y gama de operaciones ejecutables. Esto permitirá en el futuro modernizar el modelo por etapas sucesivas manteniendo sus índices de eficiencia al nivel exigido

es posible encarar la transformación de las máquinas que estén en funcionamiento para elevar sus características al nivel del nuevo modelo, lo cual las hace sumamente interesantes para el adquirente.

Otro modo de prevenir la obsolescencia en el proyecto es el aumento de la intensidad de explotación de la máquina. Esto conduce al acortamiento del plazo de funcionamiento sin disminuir para nada la duración prevista total. Acortando el plazo de funcionamiento hasta 3 o 4 años se previene casi con certeza que la máquina caiga en la obsolescencia. El acercamiento del plazo de ^{funcionamiento} $\frac{t}{H}$ a la duración h implica un aumento del coeficiente de utilización $\eta = \frac{t}{H}$, lo cual significa que deben reducirse los tiempos de detención planificados para el mantenimiento y también los imprevistos aumentando la confiabilidad de la máquina, llegando si es preciso a trabajar en dos y hasta tres turnos diarios.

En las grandes empresas de un nivel técnico de vanguardia con gran volumen de producción se tiende al perfeccionamiento incesante, tanto en el producto como en la tecnología de la producción y las máquinas llegan más rápidamente a la obsolescencia que en las empresas medianas y pequeñas con gastos generales más reducidos. Las máquinas que se consideran obsoletas en las empresas de vanguardia y se retiran del uso todavía pueden ser excelentemente aprovechadas por estas empresas menores dando una rentabilidad aceptable.

II

30

La obsolescencia no debe servir de pretexto a los proyectistas para desentenderse de la duración de la máquina. El bien de la comunidad exige axiomáticamente que las máquinas sean lo más durables que sea posible hacerlas y junto con el aumento de la duración el proyectista deberá esforzarse por tomar todas las medidas que su ingenio ^{le} de a entender para alejar el peligro de una pronta obsolescencia. Proyectar para una duración arbitrariamente limitada es generalmente contrario a los intereses de la economía global de una nación. Es forzoso reconocer que existen excepciones a esta regla, pero estas deberían ser el resultado de estudios seriamente realizados y no, como sucede demasiado frecuentemente, resultado de intereses particulares y circunstanciales.

Un diseño que reduzca deliberadamente la duración de lo que deberá ser un bien de capital, so pretexto de fomentar el consumo y promover el comercio, contribuye lamentablemente al despilfarro de los recursos humanos y naturales perjudicando a la comunidad.

PRODUCTIVIDAD

II

31

La productividad de una máquina es el número de operaciones, o el número de unidades elaboradas que produce en la unidad de tiempo. Es un concepto análogo al de velocidad, referido a la capacidad de producción de una máquina.

El aumento de la productividad es un objetivo permanentemente perseguido por los técnicos de la producción y consecuentemente también por los diseñadores de máquinas elaboradoras. El aumento de la productividad conduce del modo más directo al aumento del efecto económico suario. A la máquina se le debe dar la mayor productividad posible concordante con las exigencias de las necesidades del volumen de producción y con las perspectivas de su futuro desarrollo.

Los procedimientos principales para aumentar la productividad de las máquinas son:

- a) Aumento del número de operaciones realizadas simultáneamente sobre la pieza
- b) Aumento del número de piezas simultáneamente elaboradas en la máquina.
- c) Automatización del proceso tecnológico

El primer procedimiento se observa del modo más extendido en las máquinas para elaborar metales (máquinas herramientas) con operaciones múltiples, que permiten elaborar una pieza al mismo tiempo sobre varias superficies.

distintas, por ejemplo los tornos automáticos de porta-herramientas múltiples.

El segundo procedimiento da origen a las máquinas rotativas o de carrusel, en las que se elaboran en forma continua un gran número de piezas. Se llaman máquinas del tipo de carrusel aquellas en las que cada pieza u objeto se fija en uno de los múltiples soportes de una plataforma giratoria y se va elaborando por etapas a medida que la pieza va pasando por distintos puestos fijos al borde de la plataforma. La pieza que se elabora en el curso de una revolución completa de la plataforma, después de lo cual es retirada.

Las máquinas de carrusel se adaptan bien a las líneas de producción automáticas, son de alta productividad, compactas y económicas.

El tercer procedimiento, aplicado a la elaboración de los metales, da origen a las máquinas transferidoras (transfer). La máquina transferidora está integrada por componentes normalizados. Por estudios muy elaborados de la normalización se ha conseguido que los componentes y elementos funcionales; bloques autónomos de trabajo; dispositivos de mando o de translación; soportes y equipos eléctricos, se puedan utilizar en diferentes fabricaciones. Se pasa de una fabricación a otra con poco gasto, disponiendo de modo diferente los distintos componentes de la máquina. Para ello es indispensable

que el proyectista de la máquina realice un estudio analítico y funcional del producto a fabricar efectuando todos los cambios de diseño necesarios incluyendo el producto mismo.

Las piezas pasan de un puesto de trabajo a otro por transferencia, sobre un montaje ^(soporte) de formas y dimensiones convenientes o directamente cada vez que resulte posible asegurar un posicionamiento riguroso en los puestos de trabajo. Desde el punto de vista de la precisión dimensional cada puesto de trabajo es independiente de los otros. La máquina transferidora en su conjunto está por sí misma bajo control automático. Control de funcionamiento y regulación estadística muy desarrollado.

Confiabilidad de explotación

II

34

La confiabilidad de explotación de una máquina la define un conjunto de características que pueden definirse como sigue: larga duración; prolongado funcionamiento sin fallas; estabilidad de los índices de eficiencia; resistencia a la fatiga y a sobrecargas eventuales; reducidos trabajos de mantenimiento; vitalidad (capacidad de continuar trabajando cierto tiempo en el caso de averías ligeras aunque sea con reducidos índices de eficiencia); reducido volumen de los trabajos de reparación.

Debido a la gran diversidad de características que implica la confiabilidad es dificultoso establecer un criterio cuantitativo que pueda contener a todas. Lo más simple es determinar la confiabilidad partiendo del concepto de "falla" de la máquina, es decir, cualquier detención forzada e imprevista, excluyendo las detenciones previstas para el servicio de mantenimiento preventivo.

La confiabilidad de la máquina puede caracterizarse por:

- a) La frecuencia con que se producen las fallas.
- b) La duración relativa de los tiempos de detención por fallas con relación al tiempo total de trabajo disponible
- c) La regularidad de variación de la frecuencia de fallas durante todo el plazo de funcionamiento de la máquina
- d) La importancia, el costo y la duración de los trabajos necesarios para eliminar las fallas.

I

La frecuencia con que se producen las fallas es un concepto muy simple. Consiste en expresar la cantidad de fallas ocurridas en un período determinado, por ejemplo un mes, un año, etc.

La duración relativa de los tiempos de detención por fallas con relación al tiempo total de trabajo disponible se puede expresar del siguiente modo cuantitativamente:

$$\eta_{des} = \frac{h_{det}}{h_{det} + h_{tr}}$$

siendo η_{des} el llamado coeficiente de desarreglo; h_{det} el tiempo en que la máquina está detenida pudiendo haber trabajado a no ser por la falla; h_{tr} el tiempo que efectivamente la máquina ha trabajado. El tiempo total disponible es la suma de h_{det} y h_{tr} . Para que el coeficiente de desarreglo tenga significación se lo debe calcular sobre un período suficientemente prolongado como para abarcar un número de fallas tal que tenga representatividad estadística.

Si se lo prefiere, en vez de calcular el coeficiente de desarreglo se puede calcular el llamado coeficiente de buen estado, por la siguiente expresión:

$$\eta_{b.e.} = \frac{h_{tr}}{h_{det} + h_{tr}}$$

$$\eta_{b.e.} = 1 - \eta_{des}$$

Normalmente la frecuencia de producción de fallas debe ir aumentando con el uso de la máquina. Si el aumento es gradual significa que las fallas son principalmente debidas al desgaste natural, siendo esto lo que debe esperarse de una máquina bien concebida y bien construida.

La irregularidad en la frecuencia de producción de fallas constituye una anomalía que debe ser investigada si es que se quieren mantener los índices de eficiencia.

La importancia, el costo y la duración de los trabajos necesarios para eliminar las fallas son aspectos del comportamiento de la máquina que no necesitan mayores comentarios para destacar la importancia que merecen para formarse un juicio.

Por su importancia las fallas se clasifican en leves; medianas; y graves.

Son fallas leves los pequeños desarreglos que pueden ser eliminados inmediatamente por el personal que atiende la producción de la máquina utilizando herramientas elementales.

Son fallas medianas los desarreglos y deterioros que obligan a detener la máquina por un tiempo considerable (con relación a la producción no realizada), para que el personal de servicio de mantenimiento proceda a eliminar el desperfecto.

Son fallas graves las averías que afectan órganos importantes y principales de la máquina y que exigen una prolongada detención para su reparación o cambio y nueva puesta a punto.

servicio de mantenimiento pueda efectuar su reparación o reposición y nueva puesta a punto.

Las fallas pueden clasificarse por su origen. Conviniendo deliberadamente ^{no} tomar como origen de fallas las mejoras en el diseño y en los materiales que el proyectista habría omitido aparentemente. Las fallas pueden clasificarse por su origen como sigue:

- a) Fallas del material. (El material no corresponde a la calidad prevista en el proyecto)
- b) Fallas en la construcción de las piezas.
- c) Fallas en el montaje y puesta a punto.
- d) Fallas por empleo de la máquina fuera de los límites operacionales previstos o en condiciones anormales (sobrecargas mecánicas, baja tensión de la corriente eléctrica, etc.)
- e) Fallas por impericia o imprudencia del operario encargado de conducir o vigilar el proceso que ejecuta la máquina.
- f) Fallas por deficiencias del servicio de mantenimiento preventivo.
- g) Fallas ^{por} deficiencias de la calidad de las reparaciones.
- h) Fallas por excesivo desgaste generalizado en toda las partes importantes de la máquina.
- i) Fallas de origen accidental externo no imputables a la máquina o al personal que la atiende.
- j) Fallas de origen dudoso o imprecisable.

II

38

Con la finalidad de crear máquinas confiables y durables es necesario estudiar minuciosamente la experiencia de la explotación. El trabajo de las oficinas de proyectos no debe terminar con los ensayos del prototipo y con la entrega de los planos de producción del modelo comercial. La puesta a punto del diseño comienza verdaderamente después que se pone en servicio el primer lote de unidades. La comprobación de su funcionamiento permite mejor que nada descubrir y eliminar los puntos débiles del diseño y de la construcción.

Las insuficiencias de la máquina se revelan sobre todo claramente durante su reparación. Por eso es obligatorio que el proyectista tenga relación estrecha y continua con el personal de reparaciones. Resulta muy conveniente que las fábricas constructoras tengan un departamento de reparaciones con la finalidad de servir como escuelas para elevar la calidad del proyecto.

Al estudiar los defectos es necesario distinguir los defectos casuales de los defectos sistemáticos. Los defectos casuales resultan generalmente de un control de calidad defectuoso y de la mala disciplina tecnológica de la fábrica constructora. Los defectos sistemáticos indican generalmente fallas de diseño imputables a la oficina de proyectos. Estos exigen una corrección urgente.

La observación del funcionamiento de la máquina en explotación debe incluirse en el plan de los trabajos de la

II

39

oficina técnica de proyectos. Estando alejado de los problemas de la explotación el proyectista no puede perfeccionarse y nunca alcanzará la maestría en su oficio.

Unificación

La unificación de los elementos constructivos consiste en el empleo reiterado del mismo accesorio, de la misma pieza, de la misma forma, del mismo detalle, en un proyecto o en proyectos afines de una empresa. Cuanto más reiteraciones pueden lograrse mayor será el grado de unificación del proyecto.

La unificación reduce la cantidad de piezas distintas de una máquina, reduce la cantidad de dispositivos de fabricación ("jigs" y "fixtures"), reduce la cantidad de herramientas de trabajo y de instrumentos de comprobación y medición.

La tendencia hacia la unificación debe ser una de las premisas más importantes del diseño. De su aplicación se obtienen importantes reducciones del costo de fabricación y de explotación.

La unificación puede aplicarse por ejemplo a los siguientes elementos constructivos: tornillería y afines; chavetas; uniones estriadas; agujeros de paso; uniones rosadas; tolerancias de superficies libres; ajustes; pernos pasadores; etc.

No debe confundirse unificación con normalización que es un concepto diferente.

Normalización

En su plena acepción gramatical podemos considerar comprendida dentro del concepto de norma toda definición, regla, pauta, o exposición de método a seguir para precisar un concepto, o conseguir un fin determinado.

Normalizar es "codificar" el procedimiento para resolver un problema que se repite con frecuencia, ordenando sus datos con un criterio "unificado" lógico y garantizando la solución.

En relación al proyecto mecánico normalización es la "replimentación" de la construcción y las dimensiones tipo de las piezas y subconjuntos accesorios comúnmente empleados en la maquinaria. En la creación de las normas se aplica invariablemente el criterio de unificación respecto a dimensiones, materiales y procedimientos.

(I)

42

Formación de máquinas derivadas sobre la base del principio de la unificación

La unificación constituye un procedimiento eficaz y sobre todo económico de creación a partir de un modelo inicial, de una serie de máquinas derivadas de igual función, pero de distintas características externas cuantitativas (distinta potencia, productividad, etc). A continuación se da una clasificación convencional de los distintos métodos que pueden emplearse para obtener máquinas derivadas por el principio de la unificación.

Método del seccionamiento - Consiste en dividir la máquina original en secciones y formar otras máquinas derivadas mediante la composición de secciones unificadas. Ejemplo: máquinas transportadoras de cinta, decadena, decadena con conjilones.

Método de variación de una dimensión lineal - Consiste en modificar la longitud de la máquina original conservando la forma de la sección transversal. Ejemplo: bombas de engranajes, rotativas de paletas, etc/

Método del grupo básico - Consiste en la unificación de un conjunto de elementos comunes a máquinas de distinta designación, que se convierte según la necesidad agregándole un equipo especial. Ejemplo: vehículos automotores especializados, máquinas agrícolas, etc.

(II)

43

Método de conversión - Consiste en aprovechar la máquina básica o sus elementos principales para crear otra máquina de distinta designación mediante la sustitución de los elementos necesarios a la nueva función. Ejemplo: conversión del motor de gasolina en motor de gas.

Método de compoundaje (de simultaneidad paralela) - Consiste en el acoplamiento en paralelo de dos o más máquinas o equipos idénticos al original con el fin de elevar la productividad de la unidad. Ejemplo: instalación en pareja de motores marinos de propulsión instalación sobre una bancada común de dos o más equipos de producción.

Método de modificación - Consiste en la transformación de la máquina con la finalidad de adaptarla a otras condiciones trabajo, operaciones de producción etc. sin variar la construcción fundamental. En este concepto queda comprendida la modernización y el mejoramiento.

Método de agrupamiento - Consiste en crear máquinas mediante la combinación de conjuntos unificados (módulos) que representan grupos independientes colocados en distinto número y combinaciones sobre una bancada común. Ejemplo: máquinas herramientas especiales para la producción en masa.

Serios paramétricas de máquinas - Se llama serie paramétrica de máquinas a un conjunto de máquinas de la misma denominación y tipo constructivo, dentro del cual las características externas de utilización de cada unidad (tamaño) encaja dentro de un ordenamiento planificado previamente a su construcción.

Al proyectar las series paramétricas tiene gran importancia la correcta planificación de la serie en lo que respecta a los intervalos entre cada elemento (unidad de tamaño). En cambio la fijación del primer elemento y del último de la serie en cuanto a tamaño tiene mucho menor importancia. Generalmente es fácil agregar uno o más elementos en ambos sentidos con posterioridad a la planificación original.

Serios paramétricas homotéticas de máquinas - La serie paramétrica homotética tiene la particularidad de que las dimensiones principales de las piezas de un elemento de la serie y las piezas homónimas de otro elemento guardan ^(todas) la misma relación de homotecia. Todos los elementos de esta serie son proyectados teniendo especialmente en cuenta las leyes matemáticas que vinculan las dimensiones lineales con las características externas de utilización y también con las leyes físicas funcionales y estructurales internas.

Definición y necesidad

Serie: Un grupo de máquinas semejantes de igual clase, estructura, función y aplicación, proyectadas de acuerdo a un plan que establece los tipos mínimo y máximo, y el escalonamiento de tamaño y capacidad de los modelos intermedios.

Homotéticas: semejanza esquemática, semejanza geométrica
Evitar acumular modelos según como vengan los pedidos: inconvenientes de este proceder; zonas muy tupidas y zonas muy vacías, pérdida de ventas a corto plazo.

Límites y número de tipos

Es importante determinar el tamaño máximo y mínimo, pero no es limitante puesto que la serie puede eventualmente ser prolongada en ambos sentidos.

Es de mayor importancia determinar el número de elementos que cubran el campo determinado entre los tamaños máximo y mínimo. La técnica pura pide el mayor número de elementos posible. La economía se opone. Hay que buscar una solución conciliatoria.

Cual es la cantidad de elementos óptima y como deben estar distanciados en cada zona de la serie.

Indices característicos

Condición necesaria para que un grupo de máquinas pertenezca a una misma serie es que sean comparables entre sí.

La teoría de la semejanza generalizada permite encontrar la manera de distinguir cuando esto se cumple. Por ejemplo para las bombas centrífugas, turbinas hidráulicas, ventiladores centrífugos y afines se usa el número de revoluciones específico. Esta cifra condensa en un solo valor toda la información acerca de la fisonomía funcional

Las máquinas de base empírica parecen sustraerse a esta posibilidad de tratamiento.

Módulos dimensionales

Una serie es un ordenamiento de ^(racional) elementos. Cada elemento se halla representado por dos cifras o módulos: el módulo funcional; y el módulo geométrico.

II

46

máquina con referencia a su característica o conjunto de características externas de utilización más adecuada al caso (potencia, caudal, etc)

El módulo geométrico expresa directamente el tamaño de la máquina con referencia a su dimensión más adecuada al caso (lineal, superficial, volumétrica, etc).

Entre el módulo funcional y el módulo geométrico debe haber una correspondencia biunívoca, en forma tal que una vez planificada la serie de uno de ellos resulte necesariamente determinada la serie del otro

A primera vista el modulo funcional mas lógico sería
motores: caballos o kilowat
bombas: caudal en metros cúbicos
intercambiadores de calor: calorías por hora

Pero no siempre la capacidad de una máquina puede representarse con una sola dimensión física, por ejemplo en la bombas el caudal debe estar relacionado con la altura generada y el modulo funcional más adecuado es el caudal específico $c_e = \frac{\text{caudal}}{\sqrt{\text{altura}}}$ referido a valores normales o sea sobre el punto normal de funcionamiento (rendimiento total máximo)

Relación genral de los módulos

En la mayoría de los casos la relación entre los módulos puede expresarse por:

$$C = k L^\epsilon$$

- C modulo funcional
- L modulo geométrico
- k constante para toda la serie (entre los límites fijados)
- ϵ constante para toda la serie (entre los límites fijados)

Trazado intuitivo de una serie

Sea el caso trazar una serie de motores eléctricos entre potencias comprendidas entre 1 y 100 cv aproximadamente.

II

47

Por progresiones aritméticas:

Razón 2, (50 términos)

1, 3 - 5 - 7 - 9 - 11 - 13 - 87 - 89 - 91 - 93 - 95 - 97 - 99.

Solamente serían aceptables los términos del 3 hasta el 11. Desde el 1 al 3 estarían demasiado separados, y desde el 11 hasta el 99 estarían demasiado cercanos.

Razón 5, (20 términos)

1 - 6 - 11 - 16 - 21 - 26 - 31 - 36 - 41 - 46 - 51 - 56 - 61 - 66 - 71 - 76 - 81 - 86 - 91 - 96 -

Solamente serían aceptables los términos del 21 hasta el 61. Desde el 1 al 21 estarían demasiado separados y desde el 61 al 96 estarían demasiado cercanos.

Razón 8, (13 términos)

1 - 9 - 17 - 25 - 33 - 41 - 49 - 57 - 65 - 73 - 81 - 89 - 97 -

Solamente serían aceptables los últimos cuatro términos. De los tres ejemplos dados cabe destacar el desplazamiento de la zona aceptable hacia los valores superiores a medida que la razón aumenta. Una serie de razón constante solamente se puede cubrir una zona de valores extremos poco distantes.

El problema planteado puede tratar de resolverse por una serie compuesta por una sucesión de progresiones aritméticas de razón creciente:

Razones: 0,5 - 1 - 2,5 - 5 - 10 - 15 - (17 términos)

~~1 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 3,5 - 4 - 4,5 - 5 - 5,5 - 6 - 6,5 - 7 - 7,5 - 8 - 8,5 - 9 - 9,5 - 10 - 10,5 - 11 - 11,5 - 12 - 12,5 - 13 - 13,5 - 14 - 14,5 - 15 - 15,5 - 16 - 16,5 - 17~~

1 - 1,5 - 2 - 3 - 4 - 5 - 7,5 - 10 - 12,5 - 15 - 20

~~25 - 30 - 35 - 40 - 45 - 50 - 55 - 60 - 65 - 70 - 75 - 80 - 85 - 90 - 95 - 100~~

25 30 40 50 60 75 90 105

Solamente serían aceptables los términos iniciales hasta el valor 20. Los siguientes estarían demasiado separados. Este tipo de serie tampoco es aplicable en general a todos los casos.

Puede probarse con una serie de progresión geométrica de razón constante:

Razón 1,25 (21 términos)

1 - 1,25 - 1,6 - 2 - 2,5 - 3,2 - 4 - 5 - 6,3 - 8 - 10 -

12,5 - 16 - 20 - 25 - 32 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100 -

Parecen aceptables los términos del 4 hasta el 63. Los demás se descartan por las mismas razones ya dichas anteriormente para los otros casos. Sin embargo esta serie parece ser mas satisfactoria en cuanto a la extensión del campo de aplicación.

Puede probarse con una serie compuesta por una sucesión de progresiones geométricas de razones decrecientes

Razones : 1,6 - 1,25 - 1,12 - (20 términos)

← --- 1,6 --- ← --- 1,25 --- ← ---

1 - 1,6 - 2,5 - 4 - 6 - 9,3 - 14 - 21 - 32 - 48 - 71 - 107 - 160 - 240 - 360 - 540 - 810 - 1215 - 1822 - 2733 - 4099 - 6149 - 9224 - 13836 - 20754 - 31131 - 46697 - 70045 - 105068 - 157602 - 236403 - 354604 - 531906 - 797859 - 1196789 - 1795183 - 2692774 - 4039161 - 6058742 - 9088113 - 13632170 - 20448255 - 30672383 - 46008574 - 68812861 - 103219292 - 154828938 - 232243407 - 348365111 - 522547666 - 783821500 - 1175732250 - 1763598375 - 2645397563 - 3968096344 - 5952144516 - 8827716774 - 13241575161 - 19862362742 - 29793544113 - 44690316170 - 67035474255 - 100553211883 - 150830067825 - 226245101738 - 344367652607 - 516551478911 - 774827218366 - 1162240777550 - 1743361171325 - 2615041756988 - 3922562635482 - 5883843953223 - 8825765929835 - 13238648894753 - 19857973342130 - 29786960013195 - 44680440019783 - 67020660029674 - 100530990044511 - 150796485066767 - 226194727590150 - 344292091385225 - 516438137077838 - 774657198616757 - 1161985797925135 - 1742978696887703 - 2614468045331555 - 3921702068001333 - 5882553102002000 - 8823829653003000 - 13235744479504500 - 19853616719256750 - 29780425078885125 - 44695137568327688 - 67032706352491532 - 100549059528737298 - 150823589293105947 - 226199383939658921 - 344349075909488382 - 516523613864232573 - 774815420796348860 - 1162240777550123290 - 1743361171325184935 - 2614468045331277403 - 3921702068001916105 - 5882553102002874158 - 8823829653004311237 - 13235744479506466855 - 19853616719259690283 - 29780425078884535425 - 44695137568326803188 - 67032706352491532932 - 100549059528737298298 - 150823589293105947447 - 226199383939658921703 - 344349075909488382573 - 516523613864232573860 - 774815420796348860935 - 1162240777550123290935 - 1743361171325184935443 - 2614468045331277403703 - 3921702068001916105405 - 5882553102002874158608 - 8823829653004311237163 - 13235744479506466855238 - 19853616719259690283203 - 29780425078884535425293 - 44695137568326803188348 - 67032706352491532932932 - 100549059528737298298298 - 150823589293105947447447 - 226199383939658921703703 - 344349075909488382573860 - 516523613864232573860935 - 774815420796348860935443 - 1162240777550123290935443 - 1743361171325184935443703 - 2614468045331277403703703 - 3921702068001916105405405 - 5882553102002874158608608 - 8823829653004311237163163 - 13235744479506466855238238 - 19853616719259690283203203 - 29780425078884535425293293 - 44695137568326803188348348 - 6703270635249153293293293 - 100549059528737298298298298 - 150823589293105947447447447 - 226199383939658921703703703 - 344349075909488382573860860 - 516523613864232573860935935 - 774815420796348860935443443 - 1162240777550123290935443703 - 1743361171325184935443703703 - 2614468045331277403703703703 - 3921702068001916105405405405 - 5882553102002874158608608608 - 8823829653004311237163163163 - 13235744479506466855238238238 - 19853616719259690283203203203 - 29780425078884535425293293293 - 44695137568326803188348348348 - 6703270635249153293293293293 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2614468045331277403703703703703 - 392170206800191610540540540540 - 588255310200287415860860860860 - 882382965300431123716316316316 - 132357444795064668552382382382 - 198536167192596902832032032032 - 297804250788845354252932932932 - 44695137568326803188348348348 - 67032706352491532932932932932 - 100549059528737298298298298298 - 150823589293105947447447447447 - 226199383939658921703703703703 - 344349075909488382573860860860 - 516523613864232573860935935935 - 774815420796348860935443443443 - 1162240777550123290935443703703 - 1743361171325184935443703703703 - 2

50

Estética de la máquina

Se puede hablar de estética mecánica solamente partiendo desde la primera revolución industrial ocurrida en los principios del siglo XIX. La primera revolución industrial estaría determinada por la aparición de la máquina de vapor, la segunda por la energía eléctrica y la tercera por la electrónica y la cibernética. No obstante es conveniente considerar como precursores los esfuerzos hechos para tratar de disimular la naturaleza de ciertas máquinas del siglo XVIII, por medio del agregado superfluo de elementos decorativos tomados de la arquitectura usual en aquellos tiempos.

Las primeras máquinas de la revolución industrial tuvieron formas escuetamente funcionales, pero prontamente se empezó a tratar de cuidar su estética adoptando lamentablemente formas de la arquitectura de la misma época que era exclusivamente eclecticista ya que consistía en la imitación de formas pretéritas, desde los tres órdenes clásicos (dórico, jónico y corintio) hasta las verticalidades del gótico. El resultado fué pues, por ejemplo, el diseño de máquinas de vapor con bastidor en forma de templete dórico. Se injertaban formas de varios siglos de antigüedad, dando resultados completamente faltos de sinceridad. Se consideraba que las formas engendradas por las leyes mecánicas eran feas y que había que disfrazarlas por medio de ornamentaciones.

Pero llegó el momento en que se inició una reacción contra esta falta de sinceridad en los diseños pidiéndose un retorno a la verdad que exigía una armonía

51

entre la forma y la función. Las formas del diseño comenzaron a obedecer a las necesidades funcionales y se dejó de lado el prejuicio de la fealdad mecánica. Así nació una corriente de ideas que posteriormente se desarrolló llegando hasta nuestros días con el nombre de "diseño industrial"

Diseño Industrial

Tomamos la definición del Ing. P. Tedeschi.

"El diseño industrial es el estudio previo de la forma de objetos, aparatos, máquinas y vehículos destinados a ser fabricados en lotes o en serie y consiste en procedimientos en los cuales concurren en proporción relativa variable en los distintos casos, factores antropométricos, tecnológicos, económicos, sociales, para conciliar las exigencias funcionales con la estética del producto y para tomar en cuenta las relaciones entre el producto y el hombre en su condición de comprador o usuario".

Como el mismo autor así lo reconoce, más que una definición ésta es una trabajosa descripción, pero justamente por eso aquí la damos.

En la definición dada surge que el "diseño industrial" se refiere solamente a objetos que deben ser producidos en masa. No obstante se aplica corrientemente en casos de fabricaciones únicas o de cortísimo número de unidades. Ocurre que los casos más relevantes de aplicación de los conocimientos que trata el "diseño industrial

Se refieren a objetos que han de fabricarse en masa puesto que los altísimos gastos de preparación para el lanzamiento del producto determinan en el diseñador industrial una gran responsabilidad profesional.

El "diseño industrial" propiamente dicho excluye los objetos especiales producto de las artesanías. Se refiere a todos los objetos que pueden fabricarse en masa como por ejemplo los siguientes:

Vajilla ; cubiertos de mesa ; envases ; marcas y etiquetas ; lapiceras ; lápices ; llaveros ; encendedores ; pipas ; ceniceros ; polveras ; dispositivos de maquillaje ; muebles ; manijas ; herrajes de muebles ; grifería ; bañaderas ; lavatorios ; inodoros ; bidets ; cortaplumas ; llaves mecánicas ; destornilladores ; martillos ; pinzas ; tenazas ; herramientas de cocina ; herramientas de dibujo ; heladeras ; cocinas ; aspiradoras ; lustradoras ; acondicionadores de aire ; tocadiscos ; grabadores ; radios ; televisores ; lavarrepas ; máquinas de coser ; máquinas de café ; molinillos ; planchas ; relojes ; aparatos fotográficos ; artefactos de iluminación ; filmadoras ; largavistas ; calculadores electrónicos ; registradoras de contabilidad ; postes de alumbrado ; buzones ; teléfonos públicos ; carteleras de anuncios ; bicicletas ; motonetas ; automóviles ; motocicletas ; autobuses ; camiones ; locomotoras ; vagones ; surtidores de nafta ; lanchas ; aviones ; armas de fuego ; armas blancas ; aparatos deportivos ; máquinas industriales . Esta lista necesariamente incompleta se da al solo efecto de poder apreciar la inmensidad del campo de aplicación del I.D.

El mejoramiento general y estético que la aplicación del "diseño industrial" produce sobre los objetos ocasiona siempre un aumento notable de las ventas . Es lo que los norteamericanos llaman "sales appeal" . A ello se debe que en muchos casos se haya aplicado el diseño buscando solamente atraer al público comprador con la apariencia , desdénando todas las otras cualidades que debe reunir el verdadero diseño profesional . En el mercado norteamericano todavía se encuentran muchos objetos de diseño falso .

La teoría del diseño industrial nació en Alemania en 1907 con una agrupación denominada Deutscher Werkbund, que en los años sucesivos tuvo imitadores en Austria, Suecia e Inglaterra. Con medios, orientaciones e intentos semejantes a los que lo guían actualmente, el diseño pasó por obra de Van de Velde en la Escuela de Arte de Weimar y por obra de Bruno Zevi en la Escuela de Artes y Oficios de Berlín. En 1914 Walter Gropius inició la reorganización de la Escuela de Weimar y no bien terminada la guerra fundó en la misma ciudad de Weimar el Staatliches Bauhaus. Esta institución constituyó el núcleo del diseño europeo hasta el advenimiento de la dictadura nazi. Hitler no simpatizó con los integrantes del Bauhaus y los hostigó hasta finalmente obligarlos a exiliarse.

Pocos años antes, en Norteamérica, frente a la histórica recesión que había comenzado en octubre de 1929 los dirigentes de ventas se dieron cuenta de que

54

en cada categoría de objetos había algunos que atraían el favor del público comprador que aún quedaba. Esos objetos tenían "algo" que los distinguía entre los demás y era precisamente un diseño mejor logrado por ser más evidentemente conexo con su función o por ser sencillamente más atractivo. Se comprendió que un mejor diseño podía lograr mayores ventas. Rápidamente los industriales se abocaron a la tarea de hacer rediseñar sus productos y así se formó lo que llamamos "industrial design" (I. D.). Este, aun en nuestros días, no ha perdido en aquel país el carácter netamente comercial que le dio origen.

La diferencia fundamental entre el diseño norteamericano y el europeo se debe probablemente a la diferencia que los respectivos diseñadores dan a las posiciones recíprocas del diseño y del consumidor. Por su origen el diseñador europeo trató desde el principio de imponerse al público y de educarlo hacia el buen diseño, mientras que el norteamericano comenzó intentando descubrir y preveer los deseos del público sin importarle si ello lo obligaba a crear insignificancias estéticas o aplicar lo que se llama "arte popular". Este realce de lo insustancial obedeciendo a la moda imperante, independientemente de los principios funcionales se llamó "styling"

Forma y función

Las máquinas nacieron con formas escuetas y directamente obtenidas de la necesidad funcional que las

55

originaba. La falta de acostunbramiento a verlas creó el sentimiento de su fealdad y prontamente se trató de remediar esta deficiencia agregándoles ornamentaciones y decoraciones tomadas de la arquitectura de la época que era notoriamente eclectista. Los ojos de esa época se acostumbraron a tales alianzas y durante toda la primera fase del desarrollo industrial, hasta casi el umbral de nuestro siglo siguieron diseñándose máquinas con líneas y detalles inspirados en la arquitectura eclectista contemporánea.

Un arquitecto llamado Louis Henry Sullivan fue el primero que públicamente reaccionó vigorosamente contra el eclecticismo imperante proclamando su famosa sentencia: "form follows función" (la forma sigue a la función). Es decir que la forma debe ser deducida de las necesidades funcionales, entendiéndose por necesidades funcionales la expresión de las múltiples relaciones entre el objeto y el hombre. Esta posición se llamó y se sigue llamando en la actualidad "funcionalismo".

El funcionalismo constituye un firme punto de apoyo para reaccionar contra tendencias desviadoras, como lo fuera antaño el eclecticismo y lo son hoy otras tendencias o modas igualmente insinceras que a menudo se oponen a la creación de la buena forma, como el "maquillaje" realizado con superposiciones no integradas con la forma dominante.

Pero corresponde destacar especialmente que los aspectos funcionales de un problema de diseño no son capaces de determinar por sí solos la forma del objeto. Si

Así fuera el diseño industrial no tendría razón de existir, pues todos los objetos de igual función habrían alcanzado rápidamente una forma estable, cosa que ha ocurrido en tan poquísimos casos que constituyen notabilísimas excepciones. Uno de estos casos lo constituye tal vez la bicicleta, que ha alcanzado una forma estable sin variaciones substanciales desde hace más de cincuenta años.

El diseñador, cada vez que enfrenta un problema debe preguntarse si hasta ese momento el factor funcional ha sido debidamente examinado en profundidad. Tal procedimiento de ahondar lo funcional es capaz de marcar rumbos de acción pero no de determinar completamente la forma, que en definitiva depende de la particular sensibilidad del diseñador. La obra del diseñador es de fondo subjetivo.

Ergonomía

La ergonomía es la ciencia que trata de la óptima utilización de los atributos humanos de los trabajadores que integran el proceso productivo moderno.

Afortunadamente, tanto para diseñadores como para ingenieros, el cuerpo humano no está construido y concebido rígidamente sino que por el contrario posee grandes adaptabilidad, es decir que posee grandes tolerancias. Esta adaptabilidad ha permitido que bajo presiones de diversa naturaleza el hombre haya debido colocarse en situaciones laborales demasiado exigidas con el natural detrimento de su bienestar y rendimiento.

El ser humano reclama su lugar adecuado en el mundo productivo, esto es un lugar humanizado. La producción reclama una utilización adecuada de las aptitudes del ser humano. La ergonomía trata de suministrar tanto al técnico como al diseñador la información clasificada que le permitiera satisfacer ambos aspectos de estas exigencias paralelas.

La ergonomía trata de los siguientes temas:

Estudio de los puestos de trabajo humano ante la máquina y ante los procesos de montaje y control. Estudio del ser humano normal como fuente de energía complementaria en los puestos de trabajo. Niveles soportables del ruido y las maneras de reducirlo. Estudio de la iluminación de los puestos de trabajo en relación a la fatiga. Estudio de los requerimientos microclimáticos en los puestos de trabajo. Comunicación visual, auditiva, y táctil. Diseño apropiado de diales y otros indicadores. Diseño de tableros de control, paneles de instrumentos y puestos de mando y control. Diseño de botoneras, palancas de accionamiento y pedaleras. Diseño de volantes y perillas.

Tecnología de fabricación

La tecnología y la forma están en relación recíproca, en el sentido de que hay formas que limitan la elección del material y procedimiento y hay materiales y procedimientos que dejan amplia libertad de elección, mientras que otros permiten la elección de las formas solamente en una determinada categoría geométrica. Tales limitaciones son:

58

En las industrias las influencias recíprocas entre lo puramente físico del objeto y lo exclusivamente geométrico del otro, influyen en la organización industrial de la producción, ya que por cada procedimiento tecnológico existe un cierto volumen mínimo de producción por debajo del cual ese procedimiento se vuelve demasiado costoso. A través de esa cadena de influencias pueden haber casos en los cuales las formas están condicionadas por el volumen previsible de producción y por la previsible capacidad de absorción del mercado, o por otras circunstancias ligadas a ese volumen.

Psicología

Entre las cosas que el diseño industrial se propone hacer es educar el gusto del público y enseñarle a reconocer el buen diseño distinguiéndolo del falso, contando para ello con los recursos de los medios de difusión, efectuando exposiciones de objetos recomendados y premiados y dando conferencias en los ambientes técnico-comerciales. Sin embargo, mientras no se alcance el logro quizás utópico - de este modo, los diseñadores deben tener en cuenta la realidad y evitar diseñar objetos como si estuvieran destinados a hombres ideales, sordos a otras influencias que no sean las del buen diseño.

El diseñador debe considerar atentamente la existencia de ciertas tendencias y prejuicios del público consumidor que inevitablemente se traducen en factores heterodoxos de diseño. La evolución hacia el buen diseño generalmente avanza mucho más rápido que la capacidad del público para asimilarlo.

59

La profesión de diseñador industrial

El diseñador industrial debe tener indefectiblemente algún grado de preparación en los siguientes asuntos, debe ser comerciante, ingeniero, artista, sociólogo, hombre de negocios y vendedor. Naturalmente, es imposible que sea fuerte en todos. Sin embargo un diseño bueno debe abarcar el tratamiento de todos los aspectos mencionados por igual. En consecuencia el diseñador inevitablemente incompleto debe compensar sus falencias con la colaboración o asesoramiento de otros especialistas. Si su formación básica es ingenieril, requerirá la colaboración de un artista y si su formación básica es artística requerirá la colaboración de un tecnólogo y en ambos casos tal vez requiera la colaboración de un analista de mercados.

En el campo de las máquinas se podría creer que la colaboración entre el ingeniero proyectista y el diseñador podría realizarse en dos fases sucesivas: agotando primero el proyectista todas las determinaciones dimensionales y constructivas determinadas por los factores funcionales y tecnológicos; y recién después pidiendo la intervención del diseñador industrial. Ello es prácticamente posible en una infima minoría de casos; en todos los otros el diseñador se vería obligado a pedir al ingeniero la revisión y modificación del proyecto, porque la disposición que el ingeniero ha conferido al conjunto o bien a ciertos detalles que lo integran traban su libertad de

La mayoría de los casos corrientes requieren organizar la colaboración entre el equipo de proyectistas y el diseñador industrial desde el primer croquis, desde las primeras consideraciones generales. Esto agrega a la larga suma de cualidades que debe poseer el diseñador industrial el "don de gentes" en el trato y una buena dosis de habilidades diplomáticas.

Universalización de las máquinas

La universalización persigue el fin de ampliar las funciones de las máquinas, de aumentar el número de operaciones distintas que ejecutan. La universalización aumenta la adaptabilidad de las máquinas a las exigencias de producción. Una máquina universal substituye a varias máquinas especializadas que ejecutan distintas operaciones.

Lo importante es determinar el grado racional más conveniente de universalización que debe poseer la máquina. Las máquinas diseñadas para la producción de una diversidad demasiado grande de productos o para la realización de un número demasiado grande de operaciones tecnológicas distintas son de concepción muy complicada, pesadas voluminosas, difíciles de mantener y atender. A veces es más racional proyectar una serie de máquinas cada una de las cuales tenga un moderado grado de universalización. En otros casos las máquinas universales pueden ser complementadas con dos o tres máquinas especializadas.

Debe tenerse en cuenta que las máquinas universales suelen tener menor productividad que las máquinas especializadas. El volumen de producción es un elemento de juicio principal en la decisión de volcarse hacia un tipo u otro. También debe tenerse en cuenta el tiempo necesario para la conversión de una tarea a otra distinta.

Preceptiva del Proyecto Mecánico

II

62

A continuación se dan reglas de carácter general por las que puede guiarse el proyectista para realizar mejor su cometido.

- 1) Tratar de que la máquina produzca el máximo efecto económico por la elevación de su productividad.
- 2) Tratar de reducir los gastos de explotación disminuyendo el consumo de energía, el costo del mantenimiento y las reparaciones.
- 3) Tratar de aumentar todo lo posible la duración de la máquina en servicio.
- 4) Tratar de prolongar todo lo posible el plazo de funcionamiento previendo reservas para futuras modificaciones acordes con las perspectivas del desarrollo previsible.
- 5) Tratar en todo lo posible de automatizar las diversas funciones para aumentar la productividad e independizar la calidad del producto de la máquina de la intervención humana.
- 6) Prever la posibilidad de proyectar máquinas derivadas con el empleo del mayor número posible de elementos de la máquina original o básica.
- 7) Planificar cuidadosamente la serie de tamaños posibles y necesarios y elegir acertadamente el tamaño del prototipo de prueba y ensayo.

II

63

- 8) Diseñar en la posición para una explotación sin reparaciones generales, incluyendo en el mantenimiento la sustitución rápida de subconjuntos previamente montados en forma independiente.
- 9) Diseñar formando subconjuntos que se puedan incorporar a la máquina previamente armados, o sea mantener el principio de la formación de grupos.
- 10) No diseñar superficies de rozamiento que puedan sufrir desgaste directamente sobre las partes del bastidor; interponer piezas recambiables.
- 11) Diseñar de modo que se reduzcan al mínimo las operaciones de ajuste de piezas y subconjuntos en el montaje final.
- 12) Diseñar las piezas y las uniones de los subconjuntos de modo tal que se excluya toda posibilidad de montaje erróneo.
- 13) Diseñar de modo que todas las operaciones de montaje puedan ser efectuadas con herramientas comunes, admitiéndose solamente por excepción muy justificada que tenga que emplearse herramientas especiales.
- 14) No escatimar estudios analíticos aplicando teorías avanzadas a las piezas de importancia crítica, como asimismo considerar atentamente las posibilidades de mejorar los materiales.
- 15) Diseñar siempre tendiendo al menor costo, pero sin limitarse sobre las piezas que son claves para prolongar la duración y aumentar la confiabilidad.

- 16) Introducir reguladores automáticos, dispositivos de seguridad y de límite que prevengan contra una sobrecarga mayor de la prevista en los cálculos.
- 17) Introducir bloqueos en los mandos para impedir su manejo ilógico por el cuál pudieran ocurrir roturas o averías.
- 18) Tender hacia la lubricación centralizada y en lo posible automática.
- 19) Estudiar especialmente la seguridad del personal de servicio automatizando al máximo las operaciones de trabajo de la máquina, incorporando bloqueos y cercados para impedir las intervenciones manuales peligrosas y utilizando mecanismos cerrados.
- 20) Concentrar los órganos de mando y control en un lugar conveniente para la mejor manipulación y comunicación visual.
- 21) Prevenir la corrosión de las piezas, en particular en las máquinas que trabajan a cielo abierto o que tienen contacto con medios químicos activos, por medio de la aplicación de pinturas y otros recubrimientos, o por el empleo de materiales resistentes al ataque químico.
- 22) Aplicar el principio de unificación y aprovechar todo lo que sea posible los materiales normalizados.
- 23) Estudiar cuidadosamente la seguridad de las uniones por tornillo en lo que respecta a su reversibilidad.
- 24) Aplicar hasta donde sea posible las reglas del "diseño industrial".

Las tres fases de la ingeniería de proyecto

En el estudio de las etapas de la creación de la máquina se examinan en particular todos los distintos trabajos que deben ser efectuados para realizar un proyecto desde el principio hasta el fin. Pero ese mismo conjunto de trabajos es muy conveniente mostrarlo desde el punto de vista de los grupos de disciplinas de la ingeniería que involucran. En la realización de un proyecto de máquina pueden distinguirse tres aspectos claramente diferenciables de la labor de ingeniería que podrían denominarse del siguiente modo: "ingeniería del proceso"; "ingeniería del conjunto"; e "ingeniería de detalles". A continuación se intenta explicar brevemente el alcance de cada una de estas denominaciones.

Ingeniería del proceso

La máquina se crea con la finalidad de que ejecute una función útil que en terminos generales puede calificarse de proceso tecnológico, aunque en los casos más sencillos el proceso quede reducido a una simple operación tecnológica. En una máquina de especie medianamente desarrollada, como por ejemplo una perforadora de suelos, la realización del proceso tecnológico en todas sus etapas es suficientemente complejo como para constituir una verdadera especialidad de la ingeniería. Los diversos útiles de perforación en relación con la constitución del terreno; las velocidades de rotación del útil combinadas con los avances por vuelta, el control operativo, las maniobras de aconchamiento de los cables, el retiro

II

56

del taladro y muchas otras fases operativas más que sería seguir indistinto nombrado deben ser dirigidas por técnicos especializados cuyos conocimientos y experiencia no pueden improvisarse. Todo ese conjunto de saber constituye lo que se denominaría "ingeniería del proceso de perforación" con referencia a la especialidad en particular y en general, simplemente "ingeniería del proceso".

En la mayoría de los casos que se presentan al proyectista mecánico la ingeniería del proceso no le es suficientemente conocida como para poder tomar con seguridad decisiones sobre alternativas de diseño que puedan afectar aspectos de la explotación de la máquina. Es imprescindible entonces que el proyectista o el equipo de proyectistas cuente con el asesoramiento de un técnico especializado en la ingeniería del proceso tecnológico que deberá realizar la máquina. Este especialista en el proceso, que no es un proyectista salvo por rarísima casualidad, tendrá participación como asesor en todo el desarrollo del proyecto con la responsabilidad consecuente ^{con} el grado de su intervención.

Una vez establecido el anteproyecto y las especificaciones básicas de diseño, la búsqueda de ideas y las decisiones pasan a ser del dominio exclusivo del proyectista y su equipo. Este será el responsable del buen funcionamiento de la máquina desde el punto de vista estrictamente mecanicista, independientemente del mayor o menor adecuación de ésta a las necesidades del proceso

12

67

tecnológico que deberá cumplir. El grado de adecuación dependerá del acierto que haya tenido el técnico responsable de la ingeniería de proceso en el establecimiento de las premisas fundamentales de las especificaciones de diseño y también en el asesoramiento posterior durante el desarrollo del proyecto. Cuando se trata de máquinas de especie altamente desarrollada la ingeniería del proceso adquiere una importancia tal que el proyecto debe ser casi inevitablemente realizado por personas que también dominan la ingeniería del proceso, es decir que debe ser realizado por proyectistas especializados en una determinada especie de máquinas.

En todas las máquinas, cualquiera que sea la especie a la cual pertenezcan, existe una ingeniería de proceso, aún en aquellas en que aparentemente el proceso presenta características tan específicas que a primera vista podría no reconocerse, como, por ejemplo, las bombas centrifugas. Con respecto a este aspecto de máquinas (de una inmensa variedad de tipos) la ingeniería del proceso sería el conjunto de conocimientos de tecnología y economía del transporte de fluidos, al que inexorablemente hay que agregarle el conocimiento de la mecánica de fluidos aplicada a las turbomáquinas. A pesar de tratarse de máquinas de especie medianamente desarrolladas, su proyecto, por excepción, no puede ser abordado por proyectistas que no dominan la parte de ingeniería de proceso constituida por la mecánica de los fluidos aplicada a las turbomáquinas.

Ingeniería de conjunto

Una vez establecidas las características externas de utilización y las principales especificaciones de diseño empieza la labor proyectística propiamente dicha. Se comienza tratando de establecer los diversos componentes particulares que la integran con sus formas y dimensiones, formando un conjunto homogéneo y armonizado, apto para cumplir con la finalidad de la máquina. De las leyes físicas que rigen el funcionamiento interno de la máquina se obtendrán las dimensiones fundamentales y de las leyes de la resistencia de materiales se obtendrán las dimensiones complementarias. Agregando a estas las dimensiones impuestas por la ingeniería de proceso se construye el llamado "croquis de primera aproximación" que servirá para comprobar gráficamente si los componentes elegidos armonizan lo suficiente como para autorizar que se continúe desarrollando el proyecto. Si durante esta verificación se encontrasen inconvenientes habrá que introducir los cambios necesarios para eliminarlos. La labor descrita puede llamarse de "ingeniería de conjunto".

La realización del "croquis de primera aproximación" marca el fin de la labor de "ingeniería de conjunto", sino simplemente un estado mínimo de desenvolvimiento del proyecto en el que se logra visualizar la configuración general de la máquina, tomándola en forma provisoria y sujeta a confirmación. Debe proseguirse el cálculo hasta tener suficientes determinaciones y verificaciones como para

iniciar un segundo replanteo gráfico definitivo denominado "dibujo de composición mecánica", o "borrador de diseño".

Este es un segundo replanteo de la configuración general de la máquina sobre cuya base se tratará de determinar del modo más acabado posible las formas de la mayoría de las piezas importantes. Durante esta tarea frecuentemente se vuelve atrás para verificar o volver a confirmar desde un nuevo punto de vista algún valor que se había determinado antes. Es prácticamente imposible fijar netamente cuando acaba la ingeniería de conjunto, o lo que es lo mismo, cuando empieza la fase de elaboración de detalles. Pero esto no tiene importancia alguna.

Ingeniería de detalles

Esta fase de la labor proyectística consiste en la determinación de las formas de cada una de las piezas, incluyendo dimensiones, tolerancias y ajustes, tratamientos térmicos, terminación superficial, dureza, etc. Comienza durante la ejecución del dibujo de composición mecánica, en el cual quedan determinadas las dimensiones más importantes de las piezas principales, pero no todas las necesarias para su representación ortodoxa. El completamiento deberá ser realizado posteriormente durante la confección de los planos de pieza, tarea que generalmente se delega a los dibujantes, pero naturalmente bajo la supervisión y responsabilidad del proyectista.

(11)

73

Después de la confección de los planos de pieza corresponden realizar los planos de subconjuntos y el plano de conjunto general, labor que pradojalmente entra dentro de la ingeniería de detalle. No debe confundirse la labor de realización manual de estos planos con la labor de creación intelectual de la máquina.

Finalmente habrá que agregar la confección de la "lista de piezas, planos y materiales", que es el instrumento de correlación del sistema de planos y de completamiento de la información.

Grado de Responsabilidad del Ingeniero Mecánico

Llevado el caso de que un ingeniero mecánico proyectista de máquinas debe considerar el ofrecimiento de encargarse de dirigir la ejecución de un proyecto, la decisión se tomará naturalmente estudiando todos los aspectos de la propuesta, entre ellos principalmente el aspecto técnico profesional. Desde este punto de vista pueden presentarse dos casos: 1º) que el proyectista conozca plenamente la ingeniería del proceso que deberá realizar la máquina; 2º) que desconozca dicha ingeniería, o que la conozca superficialmente. En el primer caso no se plantea ningún problema de decisión pues se supone que el proyectista está suficientemente capacitado para evaluar y determinar las especificaciones del proyecto, no mereciendo mayores comentarios. En el segundo caso, el insuficiente conocimiento de la ingeniería del proceso coloca al proyectista en una posición delicada que conviene analizar cuidadosamente, sobre todo por ser una caso que se presenta muy frecuentemente.

Aún admitiendo que el proyectista tenga algún grado de preparación inicial sobre la ingeniería de proceso no es aconsejable que aborde dichos aspectos intentando actualizar y completar apresuradamente sus conocimientos. Tal procedimiento raramente será rentable debido al tiempo insumido, muy peligroso actuar como experto sin realmente serlo y tal vez profesionalmente deshonesto en algún grado. Es mejor siempre reconocer y aceptar esta

la propuesta de proyecto habiéndose la, previamente planteado al comitente, y estando este de acuerdo.

Es innecesario insistir más acerca de la influencia que tiene el conocimiento profundo de la ingeniería del proceso en el desarrollo del proyecto, sobre todo en lo referente a la determinación de las especificaciones de diseño. Alguno, en, necesariamente deberá hacerse cargo de esta parte de la labor aceptando la responsabilidad consecuente. Tal es el problema que enfrenta un ingeniero proyectista cuando se le ofrece hacerse cargo del proyecto de una máquina cuya ingeniería de proceso escapa a su pleno dominio. La solución ideal más conveniente puede consistir en que el comitente designe una persona de su confianza que se adscribirá al equipo de proyectistas con la misión de asesorar en todo lo referente a la ingeniería de proceso, fijando las especificaciones de diseño, tomando decisiones cuando le fueran solicitadas y aceptando plenamente su responsabilidad.

Procediendo en la forma antedicha la responsabilidad del director del proyecto quedaría limitada exclusivamente al correcto funcionamiento mecánico de la máquina, quedando absolutamente desligado de responder por el mayor o menor grado de adecuación a las necesidades emergentes de la explotación de la máquina.