

Importancia de las máquinas en el progreso de la humanidad

POR EL INGENIERO SEÑOR CARLOS HOERNING

He elegido una materia que me es familiar y grata por haberle dedicado muchas horas de mi vida de profesor, de ingeniero y de industrial. Me refiero a las *máquinas*. Mi propósito es destacar a grandes rasgos, sin entrar en detalles fatigosos, su desarrollo y su decisiva importancia para el progreso de la humanidad.

La Biblia nos dice que el hombre fué condenado a ganarse el pan con el sudor de su frente, o sea, con un trabajo muscular duro y penoso. Pero el hombre desde los albores de la civilización ha tratado de aliviarse esta tarea y de acometer otras, superiores a sus fuerzas físicas aplicadas directamente. El don que Dios le dió y que lo diferencia de los demás seres vivientes: la imaginación creativa, le sirvió junto con las facultades de observación y de raciocinio, para inventar herramientas y máquinas sencillas que movidas por el hombre, le permitieran realizar en mejor forma y con más alivio las duras tareas para satisfacer sus necesidades más imperiosas, defenderse de sus enemigos, darse comodidades y atender la expresión material de su sentido artístico y de sus sentimientos religiosos. Los utensilios, vestidos, herramientas, armas, vehículos y construcciones fueron perfeccionándose a medida que la experiencia iba indicando las ventajas de un material, de un dispositivo o de un procedimiento sobre otro. El método de experimentar, ensayar o comprobar soluciones es, pues, muy antiguo. En cambio, la formulación de leyes de la naturaleza y de teorías en el orden material, es reciente.

A la par que el hombre inventaba herramientas que le facilitaran su trabajo manual, ganando en tiempo y precisión, buscaba otros agentes que se lo aliviaran o que, siendo más fuertes que él, pudieran sin embargo quedar bajo su dominio. Lo más sencillo era encargarle a otros hombres las tareas más pesadas y así vemos que hasta nuestros días aún existe en ciertas regiones la esclavitud como fuente de fuerza relativamente abundante y barata. También algunos animales domésticos fueron puestos a efectuar trabajo para el hombre, especialmente en las labores agrícolas para arrastrar el arado, en los molinos de harina y en la elevación de aguas, actuando esos animales sobre malacótes. Para el transporte de carga y de pasajeros, todavía quedan vastas regiones donde el animal es la única o principal solución.

El hombre primitivo ya observó en la naturaleza fuerzas que le podían ser provechosas: el viento y las aguas corrientes, en que se manifiesta lo que nosotros llamamos energía cinética. El viento se aplicó a la navegación a la vela y mucho después a los «molinos de viento» para elevar agua o para moler cereales. Las corrientes de

agua se utilizaron para mover ruedas hidráulicas destinadas a estos fins. El aprovechamiento de la energía potencial del agua en ruedas de cangilones es más reciente y en turbinas data apenas de un siglo.

Se ha dicho que el invento más importante es el de la producción del fuego. Todos los pueblos lo han utilizado durante miles de años para cocer alimentos, calentar el hogar y trabajar metales. Pero su empleo para obtener trabajo mecánico por medio del vapor adquiere importancia sólo a fines del siglo XVIII.

El uso del fuego es lo que diferencia más visiblemente al hombre del animal. Hay algunos de ellos, como los monos, que usan herramientas primitivas, pero ninguno es capaz de producir fuego o de utilizarlo. La mitología griega atribuía a Prometeo, un semidiós, el haber obsequiado a los mortales con el fuego divino, lo que los dioses nunca le perdonaron.

En su propia mano encontró el hombre la clave para las herramientas y las armas que necesitaba. Produjo herramientas para golpear, como el martillo y el mazo; para cortar, como el cuchillo y el hacha; para lanzar, como la honda y el arco; para levantar, como la palanca, el torno y el polipasto; para transportar, como la angarilla, la rueda y la vela.

Sin herramientas, la vida humana es posible, pero sin ellas el progreso del bienestar material habría sido imposible. Puede decirse que la historia de este progreso coincide con la del perfeccionamiento de las herramientas.

La aplicación de movimientos o funciones naturales a las armas y herramientas ha sido llamada «proyección orgánica». Se suele decir que todas las herramientas y armas inventadas por el hombre no son sino una copia ampliada de órganos o movimientos empleados por la naturaleza. Esto puede ser cierto para los inventos de los tiempos más remotos y no puede negarse que esta idea ha influenciado algunos de la época moderna. Pero en la naturaleza no se encuentra el movimiento circular continuo y su invento puede señalarse como uno de los progresos más importante para el futuro desarrollo de las máquinas. La primera aplicación de este movimiento se halla en la producción artificial del fuego por rozamiento entre dos trozos de madera, uno de los cuales se hace girar entre las manos o con ayuda de una cuerda, procedimiento que aún se usa entre algunos pueblos primitivos.

Al hablar de máquinas debemos distinguir entre el motor, la herramienta y la transmisión que conecta el primero con la segunda. El motor, en el verdadero sentido de la palabra, es el dispositivo para transformar una fuente de energía natural en trabajo mecánico. Son motores propiamente tales el hombre y los animales domesticados, los receptores hidráulicos, los de viento y los motores térmicos, pero no lo es el motor eléctrico, pues éste no recibe energía eléctrica proveniente de una fuente natural, sino la producida por un llamado generador eléctrico, que a su vez es movido por un verdadero motor que por lo general es hidráulico o térmico. Pero la costumbre es difícil de modificar y no pretendemos hacerlo. Nuestra observación está destinada a justificar que más adelante, al hablar de motores, no incluyamos a esas máquinas eléctricas, lo que de ninguna manera significa desconocer la enorme importancia de ellas y su influencia para el desarrollo de las plantas hidro o termoelectricas.

Las fuentes de energía pueden dividirse en continuas y en discontinuas, o en otros términos, en permanentes y en perecederas, por lo menos en apariencia y en cuanto a efectos útiles para el hombre, pues según el principio de la conservación de la energía,

ésta se puede transformar, pero no se pierde ni se crea. Un autor moderno menciona nueve fuentes de energía continua: 1) la energía solar; 2) las caídas de agua; 3) el calor de la tierra; 4) la vegetación; 5) las aguas tropicales; 6) las mareas; 7) la electricidad atmosférica; 8) el viento, y 9) la bomba de calor. De todas estas fuentes de energía inagotables, solamente una —las caídas de agua— tiene importancia práctica. Las demás, aunque sean gratuitas, tienen el defecto de la escasa densidad de la energía en ellas, que exigiría grandes y costosas instalaciones para obtener aún así potencias relativamente pequeñas, lo que no les permite competir, salvo en casos excepcionales, con otras soluciones para producir energía mecánica. Además, la radiación solar y el viento varían de intensidad según las condiciones atmosféricas y horas del día, y para compensar su irregularidad, necesitan dispositivos de acumulación que encarecen las instalaciones.

Pero por suerte para el hombre, cuyas fuerzas son muy débiles, además de discontinuas, existen otras fuentes de energía que si bien pueden llegar a agotarse en el transcurso de los siglos, todavía proporcionarán a la humanidad por muchos años una cantidad de energía incomparablemente superior a la fuerza muscular proveniente de todos los habitantes de este planeta y de todos los animales domésticos. Me refiero a los combustibles que se encuentran en la naturaleza en forma sólida, líquida y gaseosa, y también a la energía atómica. La energía hidráulica, además de su continuidad, tiene la ventaja de ser transformable directamente en energía mecánica, lo que no sucede con la energía química de los combustibles, que necesita valerse de un intermediario como es el vapor o el gas, para poder actuar sobre un émbolo o una paleta.

Una desventaja de la energía hidráulica con respecto a los combustibles sólidos y líquidos, es que su aprovechamiento está más ligado a la región en que se obtiene, aunque hoy día el transporte de la energía hidráulica llega a grandes distancias gracias a la transmisión eléctrica, y su distribución se ha hecho muy cómoda. Otro defecto de que adolece la energía hidráulica es su poca concentración por unidad de volumen, en comparación con la térmica. En efecto, con 1 m³ de carbón se puede producir en una máquina a vapor un trabajo mil veces mayor que el que desarrolla una turbina hidráulica con 1 m³ de agua y una altura de caída de 75 m. que ya sería una planta importante.

El trabajo muscular que puede efectuar el hombre depende de su robustez, del clima, de la manera, tiempo y velocidad para actuar. Moviendo una manivela puede desarrollar unos 10 kg. durante unas 8 horas diarias, con períodos de descanso intermedios, lo que equivale más o menos a 1 caballo-hora diario. Ya que hemos usado esta expresión, es del caso recordar que Watt quiso relacionar la potencia de su máquina a vapor con la desarrollada por caballos percherones y estimó que cada uno de ellos podía efectuar un trabajo por segundo de 75 kilográmetros, que el denominó horse-power o sea caballo-vapor. En realidad se equivocó Watt, pues ese animal no alcanza a desarrollar sino las $\frac{3}{4}$ partes del trabajo que le supuso. Con esta aclaración, puede estimarse la potencia del hombre en 1/8 de caballo-vapor. Para trabajar continuamente durante 24 horas se necesitarían 3 turnos, de modo que para esta continuidad, la potencia de un hombre no valdría más que 1/24 de HP. Algunos investigadores la estiman en mucho menos, en sólo 1/60 de HP.

Los antiguos realizaron obras monumentales empleando verdaderos ejércitos de esclavos. Según Herodoto, en la construcción de la pirámide de Cheops trabajaron

100,000 esclavos. Los egipcios disponían solamente de mecanismos elementales, como la palanca, la cuña, el rodillo, el polipasto y el plano inclinado. Con ellos y el trabajo de los esclavos, levantaron pirámides y obeliscos. Uno de éstos fué transportado a Roma, y Fontana lo levantó en 4 meses con 40 malacates, 140 caballos y 800 obreros. En tiempos modernos se excavaron en el canal de Suez 14 millones de m³ con 30,000 peones, en tanto que en el canal de Panamá los norteamericanos extrajeron 200 millones de m³ con solo 35,000 obreros, o sea 13 veces más por obrero, gracias al empleo de abundante y poderosa maquinaria.

El hombre como máquina de trabajo es débil, lento y caro. Además, no pueden actuar simultáneamente grandes masas de operarios. Una galera podía moverse por un reducido número de remeros. Un gran transatlántico moderno con una potencia de 60,000 caballos necesitaría unos 200,000 hombres que no cabrían en el barco. La máquina no sólo ha aliviado el trabajo humano sino que ha permitido realizaciones que no podría obtenerse con el solo esfuerzo muscular del hombre. Hoy día se calcula que en Estados Unidos se dispone de una potencia de 3 HP por habitante, o sea que cada hombre, mujer y niño cuenta con una ayuda mecánica equivalente a la de unos 100 esclavos. La maquinaria movida por motores en ese solo país está haciendo más trabajo diario del que podría ser realizado ocupando como obreros en la industria a todos los hombres válidos existentes en el mundo.

La obra más antigua conocida sobre máquinas es la de Aristóteles, nacido 384 A. C., titulada «Problemas Mecánicos». En ella describe la palanca, la cuña, la balanza, la manivela, la rueda de carro, el rodillo, el polipasto y ruedas metálicas para invertir el movimiento. De todas ellas habla como de cosas conocidas, pero no menciona el tornillo. Arquímedes, cien años después, aplica este mecanismo para levantar agua y se inmortaliza con su célebre frase referente a la palanca: dadme un punto de apoyo y levantaré el mundo. El más prolífico inventor de la antigüedad es Herón de Alejandría, 120 A. C., que inventa o describe el sifón, aparatos hidráulicos y neumáticos, bombas de incendio de émbolo, engranajes de clavijas para transmitir en ángulo recto, el tornillo sin fin combinado con la rueda, juegos de engranajes, la primera caldera y su famosa aeropila, precursora de la turbina a vapor de reacción. Sin embargo, la aplicación de sus inventos fué más bien a juguetes o aparatos de poca importancia, que a usos industriales. En esa época y durante los primeros siglos del cristianismo, los dispositivos mecánicos encontraron su mayor empleo en máquinas de guerra, algunas de las cuales han vuelto a revivir en nuestros tiempos. Así, la catapulta que se dice fué inventada 400 años A. C., se usa hoy día para el lanzamiento de aeroplanos desde un barco porta-aviones. El principio es el mismo, pero la diferencia de potencia es enorme. Una de estas catapultas modernas puede desrrollar durante un breve tiempo hasta 12,000 kilowatts, con un motor eléctrico de apenas 2,000, pero utilizando un volante de 24 toneladas.

En la Edad Media, Leonardo da Vinci aplicó su genio también a una serie de inventos, entre ellos el aeroplano, pero casi todos quedaron en el papel. En el siglo XVII el italiano Branca ideó una rueda con paletas que sería movida por un chorro de vapor, dando así el principio para una turbina a vapor de acción; el holandés Huyghens procuró aplicar la pólvora a un motor de émbolo y el francés Papin, conocido por su marmita, trató infructuosamente de realizar un motor a vapor en que el agua se ha-

bría de vaporizar por calentamiento directo del mismo cilindro. En esa época, Gerike en Alemania demostró los efectos del vacío.

La máquina a vapor vino a tomar forma práctica cuando se agudizó la necesidad de suplir el motor animado, hombre o animal, por otro más potente. El caso se presentó en las minas de carbón de Inglaterra que habían llegado ya a gran profundidad, y en que el bombeo de las filtraciones de agua se hacía cada vez más difícil. Se dice que en una de esas minas estuvieron trabajando 500 caballos, actuando sobre malacates que a su vez movían las bombas. Savery, empleado de una de esas minas, logró elevar agua utilizando el vacío producido por condensación de vapor de agua alternativamente en dos cilindros en que no había émbolos, dispositivo semejante al del pulsómetro, que requería un consumo enorme de vapor, pero que resolvía el problema aunque fuera en forma antieconómica.

Alrededor del año 1700, Newcomen empleó un cilindro vertical en que un émbolo era levantado por la presión de vapor de agua y descendía por la acción de la presión atmosférica al producirse la condensación del vapor con una inyección de agua. El movimiento del émbolo se transmitía por una cadena a un balancín, que operaba el vástago de una bomba. Las llaves para el vapor y para el agua se hacían funcionar a mano, pero luego se buscó la manera de hacerlas operar por el balancín, realizando así el primer sistema mecánico de distribución de estos flúidos.

En aquellos años, los sensacionales inventos del cálculo diferencial e integral y la formulación de la ley de la gravitación por Newton tenían tan ocupados a todos los sabios de la época, que poco interés prestaron a otros campos. Así se explica que la máquina de vapor no hiciera progresos durante más de medio siglo.

Por el año 1765, Santiago Watt que estaba ocupado en trabajos de mecánica fina en la Universidad de Glasgow, recibió el encargo de arreglar un modelo de la máquina de Newcomen. Su inclinación por los problemas científicos y su habilidad como mecánico, le permitieron introducir tan importantes modificaciones a esa máquina primitiva, que con razón se le considera como el padre de la moderna máquina a vapor. Watt obtuvo varias patentes y su vida siguió el camino trágico de casi todos los inventores, de lucha contra el medio ambiente, de falta de recursos para realizar sus ideas, de pleitos por privilegio de invención y otros contratiempos, entre ellos el mal estado de su salud; pero por fin vió coronados sus esfuerzos con el título de Doctor Honoris Causa de la citada Universidad y con la realización de su sueño de dejar a la humanidad un motor eficiente y útil. Entre los inventos de Watt se encuentran el condensador separado del cilindro de la máquina, la bomba para extraer el aire del condensador, la camisa de vapor para conservar la temperatura en el cilindro, la expansión del vapor, la doble acción del vapor sobre el émbolo, el balancín y el paralelogramo para transformar un movimiento circular en rectilíneo, el volante, el regulador, el indicador para registrar gráficamente las presiones en el interior del cilindro, el indicador del nivel del agua en la caldera, etc. Las únicas cuestiones importantes para la máquina a vapor en que se descuidó Watt, fueron el movimiento de biela y manivela y la doble expansión que se patentaron por otros inventores. A Watt debemos también la unidad de potencia denominada «caballo-vapor» que todavía está en uso, y que ya hemos mencionado.

Simultáneamente con los inventos de Watt, se hacen otros en Inglaterra que tienen influencia trascendental para la industria textil en particular, pero que fueron

el punto de partida de la mecanización de las industrias en general. Me refiero a las llamadas «cuatro grandes invenciones» realizadas entre 1770 y 1785: la máquina de retorcer hilos, la máquina de hilar movida por fuerza hidráulica, el selfactor que combinaba los buenos dispositivos de las dos anteriores y el telar mecánico inventado por el párroco Cartwright.

Estos inventos, junto con la máquina a vapor que era capaz de suministrar una cantidad ilimitada de energía y permitía elegir la ubicación más conveniente de las fábricas, dieron origen a la sustitución de la producción manual de artículos, por la fabril, con creciente empleo de máquinas para proporcionar la energía y para ejecutar los trabajos. Fue esa época el comienzo de la llamada «revolución industrial» sobre la cual volveremos más adelante.

El siglo XIX señala progresos espectaculares en la aplicación de la máquina a vapor al transporte terrestre y a la navegación, en el invento de nuevos motores, en el perfeccionamiento de ellos, en la metalurgia, etc. Al mismo tiempo avanzan la ciencia y la teoría, se crean laboratorios de ensaye de materiales y de máquinas y se llega a una feliz combinación de la teoría y de la práctica.

Un breve resumen por orden cronológico de los principales inventos y de las teorías formuladas en relación con las máquinas en ese siglo, es el siguiente:

En 1807 Roberto Fulton abre la navegación a vapor en el río Hudson con un recorrido entre Nueva York y Albany. En 1824 Sadi Carnot formula el ciclo para motores térmicos que lleva su nombre y que involucra lo que más tarde se designa como el segundo principio de la termodinámica. Luego, después, Stirling inventa su motor de aire caliente que está nuevamente de actualidad con los perfeccionamientos introducidos por la fábrica Philips de renombre mundial. En 1829 Jorge Stephenson, llamado el padre de los ferrocarriles, logra desarrollar con su famosa locomotora «Rocket» una velocidad de 45 km. por hora. Su hijo Roberto la perfecciona en tal forma que contiene casi todos los elementos de una locomotora moderna; a él se debe la colisa que lleva su nombre y que permite invertir la marcha y variar la admisión del vapor. Poco antes, Fourneyron inventa la turbina hidráulica de reacción y doce años después, Fontaine construye una turbina de acción. En 1842 el médico Roberto Meyer de Heilbronn publica sus célebres «Observaciones sobre las fuerzas de la naturaleza inanimada» en que establece la equivalencia entre calor y trabajo, que constituye el primer principio de la termodinámica. Al año siguiente, Joule determina el equivalente mecánico del calor con una aproximación asombrosa, considerando los instrumentos rudimentarios de esa época. En seguida Clausius, Rankine, Lord Kelvin, Zeuner y otros formulan la teoría completa de la termodinámica. En 1849 el norteamericano Francis construye una turbina hidráulica a reacción que andando los años llega a ser la de empleo más frecuente entre esta clase de máquinas. En 1860 Lenoir construye el primer motor a gas. Diecisiete años más tarde Otto presenta en la exposición de París su «nuevo motor» con el ciclo de cuatro tiempos y compresión de la mezcla de aire y gas de alumbrado. Al año siguiente Dawson construye el primer gasógeno para alimentar un motor a gas. En 1880 el norteamericano Pelton fabrica la rueda hidráulica que lleva su nombre y que en realidad es una turbina de acción. En 1884 Parsons inventa la turbina a vapor de reacción, en 1885 Daimler fabrica el primer automóvil y tres años más tarde de Laval, la turbina a vapor de acción. En 1897 se construye el primer motor Diesel.

En nuestro siglo se desarrollan y se perfeccionan esos inventos. El motor de explosión se aplica por millones al automóvil, al camión, al tractor y al avión. El motor Diesel adquiere cada vez más importancia y va desplazando a aquél en esos usos y a la máquina a vapor en instalaciones fijas y en locomotoras, gracias a su buen rendimiento y al empleo de combustibles baratos. La turbina a vapor pasa a ocupar el primer puesto para unidades de gran potencia y la turbina a gas llega a ser una realidad. La turbina hidráulica Francis encuentra un competidor para alturas de caída pequeñas en la turbina Kaplan y en la de hélice. En la aviación, la propulsión a chorro permite obtener velocidades fantásticas y el helicóptero promete solucionar el problema de elevarse y descender verticalmente y de mantenerse en una misma posición en el aire.

En la mayoría de los motores, el invento y el desarrollo experimental preceden a la teoría, pero hay ejemplos notables del camino inverso. El genio de Euler había formulado ya en 1754 la teoría de las turbinas hidráulicas, anticipándose casi en un siglo a su construcción. Diesel buscó por el camino de la teoría la realización de un motor térmico cuyo rendimiento se acercara lo más posible al del ciclo de Carnot. La turbina a gas había sido estudiada bajo diversos aspectos teóricos mucho antes de que la obtención de materiales resistentes a altas temperaturas y el perfeccionamiento del compresor centrífugo permitieran su realización.

Analicemos las mejoras que se han ido introduciendo en los motores térmicos y en los hidráulicos que según ya lo hemos dicho, son los únicos que tienen importancia práctica. Algunos de estos perfeccionamientos son comunes a todos los motores, otros corresponden a un cierto tipo en particular.

Cuando nació la máquina a vapor en Inglaterra, en tiempos en que el carbón era barato, lo más importante era tener un motor que desarrollara mayor potencia que la que podrían proporcionar numerosos seres humanos o animales domésticos. Además se pedía que el trabajo resultara más barato que el de los motores animados, lo que no era difícil de obtener contando con un combustible de poco costo. Puede decirse que desde los comienzos de la era industrial, la cuestión del costo comparativo del trabajo realizado, utilizando una u otra fuente de energía y tal o cual máquina, siempre estuvo presente en la mente de los constructores y de los consumidores, sin perjuicio de prestar debida consideración a la seguridad de funcionamiento.

El costo de producción de la unidad de trabajo que generalmente es el caballo-hora o el kilowatt-hora, depende principalmente de tres factores: el consumo de combustible, si lo hay; los gastos de explotación y conservación, y los intereses y la amortización de la maquinaria. En caso de haber transmisión eléctrica sus gastos deben agregarse a los de la planta de fuerza motriz.

El consumo de combustible en un cierto período corresponde principalmente al número de kilowatt-horas producidas, y el gasto en dinero que ocasiona, es el producto del costo del combustible en la planta por la cantidad consumida. Los gastos de explotación y especialmente los intereses y la amortización, en cambio, permanecen casi constantes para ese mismo período y su incidencia en el costo de la unidad de energía, resulta de su repartición sobre el número de kilowatt-horas producidas, o sea, es función del factor de utilización de la planta. Mientras los intereses y la amortización corren día y noche, por lo general las máquinas funcionan sólo de día y es raro el caso de que trabajen a plena potencia. Cuanto más perfecta es una máquina, más cara

resulta, y su empleo sólo se justifica si se puede aprovechar debidamente. Para un uso intermitente o eventual, otro motor menos perfecto, aunque consuma más combustible por unidad de trabajo, puede resultar más económico.

Como no es posible dentro de los límites de esta disertación entrar en detalles, no profundizaremos las consideraciones sobre economía y pasaremos a exponer los adelantos principales de las máquinas motrices.

La tendencia más marcada para abaratar el costo de las máquinas consiste en el aumento del número de revoluciones por minuto. El movimiento rectilíneo alternativo de los motores a pistón, especialmente en grandes motores, fija un límite práctico bastante bajo para ese número, pues las reacciones de inercia aumentan considerablemente con la velocidad y conducen a construcciones y a fundaciones pesadas. De ahí la ventaja indiscutible de la turbina a vapor de gran potencia sobre la máquina a vapor, y de la turbina de gas sobre el motor Diesel, a tal punto que en instalaciones de más de 1,000 caballos en una sola unidad, la turbina a vapor domina el campo, tanto para plantas fijas como para la navegación, aunque en ésta el número de revoluciones obligadamente bajo de la hélice es un inconveniente para un alto número de revoluciones de la turbina; además, ella no se presta para la inversión del movimiento. En locomotoras todavía predomina el empleo de motores de émbolo, con tendencia marcada hacia el motor Diesel. En automóviles y en aviones continúa el uso preferente de motores de bencina de alto número de revoluciones. Los motores Diesel se aplican a camiones y a tractores. La turbina a gas se emplea cada vez más en la aviación y también ha llegado al automóvil. El coche inglés Rover, recientemente lanzado al mercado, lleva una turbina a gas con compresor rotatorio; las revoluciones varían entre 7,000 por minuto hasta la cifra fantástica de 40,000.

En las turbinas hidráulicas no es posible todavía llegar a muy altos números de revoluciones, pero se procura elevarlos. La turbina Kaplan y la de hélice se prestan especialmente para pequeñas alturas de caída por tener una gran velocidad específica y ellas se usan hoy día para alturas hasta de 60 metros con la consiguiente elevación del número de revoluciones. Las turbinas Francis se instalan hasta con 400 metros de caída y 1,000 revoluciones por minuto. La economía en las dimensiones y en el material que se obtiene con mayores revoluciones, favorece también a los generadores eléctricos acoplados a las turbinas.

Las altas revoluciones crean problemas serios para los descansos de los ejes, para su lubricación y enfriamiento, de modo que estas dificultades tienen que ser resueltas junto con otras inherentes a la construcción de estas máquinas.

Otra tendencia notable es el aumento de potencia en una sola unidad, lo que conduce a diversas economías. Desde luego, el costo de máquinas de un mismo tipo y el de plantas semejantes con sus edificios y accesorios, no crece en proporción directa con el aumento de la potencia instalada, sino muy aproximadamente con el coeficiente de aumento elevado a 0,6. Así una máquina o una planta de potencia doble a la de otra, no cuesta sino una y media veces más. Por otra parte, el rendimiento mecánico mejora con el incremento de la potencia, y los consumos unitarios de combustible y de lubricante decrecen. El personal de servicio es casi el mismo para una instalación grande como para una pequeña. De ahí que en grandes centrales termo o hidroeléctricas se empleen unidades cada vez mayores. En turbinas a vapor ya hay colosos de 150,000 KW y existen turbinas hidráulicas de más de 70,000 KW. Pero considera-

ciones de orden práctico limitan las dimensiones de piezas individuales y de las plantas completas. Además, el suministro de energía resulta más afectado en caso de alguna falla en el funcionamiento de un motor de gran potencia que en el de uno pequeño que junto con otros estuviera proporcionando la misma energía que aquél, de modo que desde el punto de vista de la seguridad y del costo de las máquinas de reserva que habría que instalar, puede ser mejor solución tener varios motores más pequeños que unos pocos muy grandes. También, si las fluctuaciones de la carga en la planta son considerables y el rendimiento del motor decae con la potencia, como sucede generalmente, es posible obviar en parte este inconveniente empleando diversas unidades más pequeñas que se van poniendo en servicio según la demanda y en forma que trabajen en su mayoría en condiciones correspondientes a su mejor rendimiento.

En contraste a esta tendencia, hacia las grandes unidades, se observa la de construir motores de muy escasa potencia, pero generalmente ella se manifiesta más en forma de motorcitos eléctricos que en los motores primarios de que venimos ocupándonos. Entre éstos, el motor de explosión portátil permite una fácil aplicación a herramientas como perforadoras y sierras, o a pequeños compresores, bombas, generadores de luz eléctrica, motocicletas, etc.

En cuanto a fabricación de máquinas, tanto motrices como otras, hay que distinguir entre unidades muy importantes y entre modelos de uso corriente. Las primeras se fabrican sobre pedido y para las condiciones exactas de éste, pues no es probable que haya pedidos frecuentes de esos tipos; en cambio, las máquinas de uso corriente se construyen repitiendo muchas veces el mismo modelo, lo que permite al fabricante entrar en gastos considerables de experimentación antes de lanzarlo al mercado, asegurando así que las dimensiones y los materiales de las piezas darán junto con un buen rendimiento, una explotación segura y una duración conveniente. La disminución de costos y el perfeccionamiento que produce la fabricación en serie, compensan al comprador del inconveniente de que sólo por rara coincidencia un modelo que figura en los catálogos de los fabricantes calce exactamente con las condiciones de su problema particular y que por eso el modelo más próximo no será de funcionamiento óptimo. La fabricación en serie permite al fabricante y al comerciante local, mantener un stock para entrega inmediata. Además de la construcción repetida de un reducido número de tipos de máquinas, pero bien elegidos para satisfacer las situaciones que se presentan con más frecuencia, los fabricantes se dedican al negocio de piezas de repuesto. El ejemplo sobradamente conocido del automóvil me ahorra mayores explicaciones. Basta decir que la facilidad de obtener repuestos decide muchas veces la elección de una máquina entre otras marcas competidoras. La construcción de elementos y de piezas de respuestos se realiza frecuentemente por firmas especialistas, distintas del fabricante de la máquina completa. Un ejemplo notable se tiene en los descansos con rodamientos de bolitas. Para que sea posible que otro fabricante suministre piezas que calcen en la máquina en cuestión, ha sido necesario que se desarrolle la normalización, en que productores y consumidores convienen en limitar el número de modelos y adoptar medidas tendientes a la uniformidad de dimensiones y tipos intercambiables. La enorme trascendencia de este criterio de fijar normas se evidenció especialmente durante la última guerra mundial y desde entonces ha progresado rápidamente. Es de lamentar que la subsistencia del

sistema de medidas inglesas al lado del sistema métrico haya impedido la adopción de normas universales.

En las grandes instalaciones destinadas a generar electricidad, las fluctuaciones de consumo son muy fuertes y para no tener que recargar los costos de instalaciones con motores que satisfagan en todo momento la potencia requerida, aun la máxima, se ha buscado compensar los excesos y defectos respecto de la potencia media, haciendo uso de acumuladores que según el caso son acumuladores de calor para plantas a vapor o estanques de agua a que se bombea cierta cantidad de ésta a mayor altura que la caída de la planta hidroeléctrica.

En las plantas térmicas se observa la tendencia de aprovechar al máximo el calor residual, ya sea el de los humos o del agua de condensación en las plantas a vapor, o el calor del agua de refrigeración y el de los gases de escape en los motores de combustión.

Más importante que el aprovechamiento de esas calorías es el del calor latente de vaporización del agua en las plantas de vapor. Como es sabido, este calor se pierde al escapar el vapor a la atmósfera o al condensador, después de haber trabajado en la máquina o en la turbina. Si hay posibilidad de combinar la producción de trabajo con la de calor para fines industriales, como calentamiento de líquidos, secamiento o simple calefacción de locales, caso frecuente en muchas industrias, esta combinación mejora considerablemente el rendimiento del conjunto en cuanto a calorías aprovechadas en relación a las gastadas, pues la pérdida de ese calor de vaporización es la razón principal del bajo rendimiento térmico de la máquina y de la turbina de vapor. Hay industrias como la refinería de azúcar en que se necesitan más calorías para los procesos de elaboración que para la generación de energía mecánica, a tal punto que la producción de esta energía viene a ser un subproducto de la industria y el excedente puede venderse en forma de energía eléctrica. En otras industrias la situación no es tan favorable para este fin, pero en general se procura hoy en muchas plantas industriales combinar la producción de calor con la de energía con lo cual mejora el rendimiento térmico de la instalación. La turbina de vapor se presta mejor para este objeto que la máquina, por cuanto en aquélla el vapor no sale arrastrando partículas de aceite que en ésta provienen de la lubricación del émbolo.

Las calderas también han progresado considerablemente. Se logra obtener hoy día presiones muy altas, habiéndose llegado hasta el punto crítico en que el líquido pasa bruscamente al estado gaseoso, y que corresponde a 225 atmósferas y 374°. Presiones vecinas a 100 atmósferas ya no constituyen novedad, ni lo es el recalentamiento del vapor hasta 500°. También las dimensiones de las calderas han crecido para poder servir las grandes turbinas.

El empleo del vapor recalentado fué introducido por Schmidt a fines del siglo pasado. Su uso mejora el rendimiento tanto de la máquina como de la turbina de vapor, pero en la primera no se puede llegar a temperaturas muy altas de recalentamiento en atención a que no las resiste el aceite lubricante que se requiere para el movimiento del émbolo dentro del cilindro. En las turbinas el empleo del vapor recalentado no sólo es una economía, sino una necesidad, pues es preciso evitar que el vapor se humedezca durante la expansión, ya que las gotitas de agua lanzadas a gran velocidad desgastarían las paletas.

En los motores térmicos puede observarse el esfuerzo de los proyectistas y constructores por acercarse a la realización del ciclo de Carnot cuyo rendimiento es el mayor que podría alcanzarse y que depende de la diferencia de las temperaturas extremas. Puede decirse que ya se ha llegado al límite inferior prácticamente realizable para la temperatura del ciclo de la máquina y de la turbina de vapor, pues está fijado por el agua de refrigeración del condensador. En cuanto a la temperatura más alta, su límite puede subir considerablemente si se mejoran los materiales resistentes a altas temperaturas. Que ello es posible, lo demuestra la turbina a gas en que se usan aleaciones especiales para las paletas y aun el revestimiento de ellas con cerámica refractaria. Esta clase de turbina se ha perfeccionado durante la última guerra en su aplicación a la aviación, pero también se emplea con éxito para grandes centrales de energía. En 1949 se instaló una turbina de gas de 27,000 KW. y en el presente año, otra de 20,000 KW.

Se puede apreciar el mejoramiento del rendimiento térmico de la máquina de vapor a través de su evolución, con las siguientes cifras de consumo aproximado en kilogramos de carbón por caballo-hora: máquina de Savery del año 1700, 12 kg.; motor de Newcomen 8, máquina de Watt del año 1782, 3 kg.; máquina de expansión múltiple del año 1900, 0,6 kg. y una turbina a vapor moderna, 0,3 kg.

Entre otros progresos de la máquina a vapor, cabe recordar la máquina de corriente continua desarrollada por el profesor Stumpf en 1908, que permite realizar en un solo cilindro, potencias mayores que las que se logran económicamente en la máquina del tipo usual.

En turbinas a vapor, se han introducido en el presente siglo los sistemas de escalonamientos de velocidad y de presión, y también la combinación entre ellos y con turbinas de reacción, a fin de obtener números de revoluciones adecuados para permitir el acoplamiento directo con el generador eléctrico.

También es de aplicación práctica bastante reciente la idea de aprovechar el calor de vaporización que aún contiene un fluido después de haber efectuado en una turbina trabajo por expansión, para vaporizar otro fluido que actúe en una segunda turbina. Máquinas de este tipo se llaman de dos fluidos o binarias. Se han propuesto varias combinaciones, como agua y anhídrido sulfuroso, pero la que se emplea hoy día es mercurio y agua. Desde 1933 funciona en Estados Unidos una turbina de vapor de mercurio que desarrolla 20,000 KW. y el mismo fabricante acaba de instalar en otra central tres unidades de 7,500 KW. cada una.

Entre las innovaciones importantes en motores de combustión, figuran el ciclo de dos tiempos en vez de cuatro y el doble efecto del émbolo. Se ha propuesto la combinación en un mismo cilindro de un motor de explosión y de una máquina de vapor, que fué publicada en Inglaterra por Still en 1919. En ese mismo país, Walker ideó en 1920 un nuevo ciclo para un motor de combustión que consiste en una combinación de los ciclos de Brayton, Djesel y Otto. Aunque no se ha construido un motor que funcione según este ciclo, el buen rendimiento térmico que arrojan los cálculos permite esperar que llegue a realizarse.

Comparando la máquina y la turbina de vapor con el motor y la turbina de combustión, aquéllas tienen el inconveniente de que el combustible no puede quemarse en el mismo cilindro de la máquina o en la carcasa de la turbina, sino que se requiere un hogar y una caldera para producir el vapor de agua que actuará en el motor. Pero

el inconveniente es más aparente que real, salvo para máquinas que han de ser livianas como las de automóviles y particularmente las de aviones, pues la complicación que significa la caldera y la tubería queda compensada con la posibilidad de quemar combustibles sólidos, lo que no se ha logrado en los motores de combustión a pesar de los intentos de usar carbón pulverizado en el motor Diesel. Los combustibles sólidos, leña y especialmente carbón de diversas clases, tamaños y poder calorífico, por lo general son más baratos que los líquidos y gaseosos, pero el petróleo ha ido ganando terreno y el gas natural o, el de altos hornos donde existe, es un fuerte competidor del carbón. Desde el punto de vista de la buena combustión, el gas es la mejor solución; le sigue el combustible líquido, después el carbón pulverizado y finalmente el carbón en trozos. En realidad es un derroche quemar todo el carbón, pues él contiene substancias valiosas que pueden destinarse a otros usos.

Los economistas insisten en la necesidad de economizar el carbón y no desperdiciar calorías y también en no quemarlo sin haberle extraído antes los referidos productos de alto valor, pero la instalación de aparatos de destilación para cada planta de calderas significaría un desembolso tan grande, que no es fácil financiarlo.

Aun efectuando en todos los hogares y en todas las centrales de fuerza la máxima economía de calorías, existe el peligro del agotamiento a plazo relativamente breve de los depósitos de carbón y de petróleo en el mundo. Felizmente, la energía atómica nos permite encarar el futuro con más confianza en cuanto a reservas de combustibles. Basta considerar que 1 kg. de uranio o de torio equivalen a 2,5 millones de kg. de carbón. Arturo H. Compton, Premio Nobel de Física y uno de los colaboradores más destacados en la producción de la bomba atómica, ha escrito hace pocas semanas lo siguiente, con respecto a la energía nuclearia:

«Entre sus usos evidentes se destaca el de obtener de ella calor y fuerza. Ya las fábricas de plutonio de Hanford, en el noroeste de los Estados Unidos, se aprovechan para calentar las aguas del río Columbia con un costo no mayor que el del carbón. Aunque no existen plantas generadoras de energía nuclearia para usos civiles, lo importante, en mi concepto, es que ya no ha de quitarnos el sueño la amenaza de un posible agotamiento del carbón y el petróleo. Contamos hoy con una fuente de energía prácticamente inagotable».

Podríamos agregar que en materia de aprovechamiento de la energía hidráulica queda todavía mucho por hacer y que si ella se obtiene a bajo costo, también puede servir para suministrar calor, como se hace extensamente en Noruega, para citar un ejemplo. Los autores que han tratado de hacer un inventario de la potencia hidráulica disponible en el planeta, considerando los caudales medios de los saltos de agua, estiman que en la actualidad sólo se utiliza un pequeño porcentaje, alrededor del 4% de ese total estimado en 600 millones de caballos. Es cierto que muchas grandes caídas quedan distantes de los centros de consumo, pero la técnica de la transmisión eléctrica irá progresando y si es necesario, las industrias se ubicarán en la cercanía de las plantas hidroeléctricas.

El consumo de energía es diverso según las industrias. Mientras la industria metalúrgica requiere entre 5 y 6,5 caballos por operario ocupado en ella y la industria química 3 HP, la mayoría necesita menos de 2 HP. En la construcción no se utilizan más de 0,3 y en la industria del vestuario sólo 0,1 HP por operario. Estos datos son anteriores a la última guerra y corresponden a países industrializados. La industria

que más energía consume es la del aluminio que gasta 35 HP horas por kg. de metal producido.

Hemos procurado exponer en líneas generales el notable progreso alcanzado por los motores inanimados. Los rendimientos mecánicos y térmicos ya se van acercando a los máximos que teóricamente podrían obtenerse. Los perfeccionamientos del futuro son más promisorios desde el punto de vista de una mejor utilización de los combustibles, del aumento del número de revoluciones y de la reducción del volumen y peso de las máquinas, que de mejoras en los rendimientos.

El número de tipos de estos motores primarios es reducido, pero sus aplicaciones son múltiples y su influencia en el progreso de la humanidad en los últimos 200 años ha sido enorme porque ha proporcionado energía abundante y barata que no solamente ha reemplazado el trabajo muscular del hombre, sino que ha permitido realizaciones que no podrían obtenerse ni con verdaderos ejércitos de trabajadores.

Pero el solo suministro de energía mecánica no basta para la ejecución de trabajos útiles para la humanidad. Para ello se necesitan herramientas y otras máquinas, como las que trabajan en las diversas industrias, en la minería, en la agricultura, en la construcción, en el transporte de carga y de pasajeros por tierra, agua y aire, en usos domésticos y miles más.

El progreso de la civilización puede medirse por el carácter de las herramientas que el hombre ha desarrollado. Así se habla de la edad de piedra, de la del bronce, del hierro, del acero y ahora, de la era de las máquinas.

Analizando el progreso de las máquinas, puede observarse que se ha desarrollado en tres direcciones principales: maquinaria para economizar trabajo, maquinaria para economizar tiempo y maquinaria para transmitir ideas. Los motores corresponden al primer grupo, las herramientas y máquinas operadoras al segundo. Los límites de esta disertación nos obligan a prescindir de las máquinas que pertenecen al tercer grupo. Diremos solamente que mientras las maquinarias de los otros dos grupos sirven principalmente para aliviar y mejorar el trabajo muscular del hombre, algunas de las de este grupo le ayudan en el trabajo mental.

Las máquinas-herramientas ejecutan las operaciones que antes se efectuaban a mano con ayuda de una herramienta, tales como forjar, cortar, aserrar, perforar, torneear, acepillar, rectificar, afilar y algunas más. Los materiales que se trabajan con esta clase de maquinaria son principalmente metales, pero también se usan para elaborar madera y otras materias.

Con estas máquinas herramientas se fabrican las piezas que forman los motores de que hemos hablado y la infinita variedad de maquinarias ingeniosas para toda clase de industrias, algunas de las cuales ya hemos mencionado. Entre las industrias fabriles citaremos unas pocas: la metalúrgica, la maderera, la textil, la química, la del papel, cerámica, vidrio, cuero, alimentos y bebidas.

Las máquinas-herramientas modernas ejecutan las referidas operaciones con una exactitud admirable que con frecuencia es controlada totalmente por mecanismos automáticos y con una velocidad que ha ido aumentando a medida que se obtenían aceros más y más resistentes. Además de esta última tendencia que ya habíamos anotado para las revoluciones de los motores, se observa en las máquinas-herramientas también la evolución hacia grandes unidades manejadas por escaso personal y a la vez, hacia máquinas de reducido tamaño para trabajo en pequeños

talleres. El accionamiento preferido para todas ellas es el directo por medio de motores eléctricos.

En cuanto a las máquinas operadoras para efectuar los trabajos en las industrias, también se constata su evolución hacia grandes unidades, con un alto número de revoluciones, si ello lo permite la índole de la industria o la clase de materia prima por elaborar. Además, se observa la disposición de controles automáticos, tanto para la exactitud de la fabricación, como para la seguridad del personal. El accionamiento eléctrico también tiende a generalizarse en ellas. Las piezas de repuesto muchas veces son proporcionadas por fabricantes distintos, especialistas en su construcción, tal como sucede para los motores.

Estas maquinarias disminuyen el trabajo del hombre, ahorran tiempo, permiten repetir las operaciones en la misma forma y con igual precisión, y reducen los costos de producción de los artículos. El consiguiente abaratamiento que ha puesto los productos al alcance de las clases populares, ha traído consigo un aumento del consumo y éste, a su vez, un incremento de la producción. Por eso las máquinas son el fundamento de la llamada «revolución industrial».

El empleo de la maquinaria de precisión, que por lo general es complicada y cara, obliga a que su trabajo quede entregado a obreros especializados. En cambio, otras máquinas sencillas o de funcionamiento automático pueden ser atendidas por operarios de escasa preparación y por mujeres.

La fuerte inversión de capitales que significa la instalación de esas máquinas, hace necesario que se mantengan en plena producción, para poder repartir los intereses y la amortización en el mayor número de unidades y reducir así su influencia en los costos. Con frecuencia la amortización que hay que consultar es mayor que la correspondiente a la vida de la máquina, por cuanto los perfeccionamientos que de año en año se van introduciendo, llegan a producir una situación que aconseja reemplazar una máquina que todavía se encuentra en buen estado, por otra de último modelo, que produce mejor y más rápidamente que aquella y así reduce los costos, aunque tenga que hacerse una mayor inversión de capital.

Los obreros especializados perciben salarios subidos, pero las máquinas modernas necesitan de poco personal para su atención, de modo que si hay una gran producción, los altos salarios repartidos entre numerosas unidades representan un ítem relativamente bajo del costo total del producto. Así se explica que la industria norteamericana que paga los salarios máximos, pueda competir sin embargo en el mercado mundial con artículos y maquinarias que fabrica en enormes cantidades, como por ejemplo, automóviles.

Además de la fabricación de piezas, se presenta con frecuencia la necesidad de unir las entre sí para formar el conjunto que se quiere construir. También se requiere muchas veces embalar el artículo para su transporte y venta. En estas operaciones se emplean mecanismos transportadores que arrastran lentamente las piezas a fin de dejar tiempo al operario para efectuar el trabajo que se le ha encomendado y así intervienen sucesivamente otros obreros hasta que al final sale el producto totalmente terminado.

Esta carrera de los industriales en que se trata de producir más y más en el menor tiempo posible para bajar los costos y poder sobrevivir frente a los competidores dentro y fuera del país, debiendo mantener a la vez una adecuada calidad de los pro-

ductos, ha conducido a la organización científica del trabajo en que se hace uso de todos los recursos de las ciencias y de la técnica para obtener el máximo rendimiento de las máquinas y de los operarios y el mejor aprovechamiento de los materiales. Para que ello sea posible, es requisito indispensable el funcionamiento armónico del conjunto de la industria, que abarca también las buenas relaciones entre dirigentes y dirigidos, campo en que el ingeniero puede desempeñar un papel decisivo, gracias a su preparación técnica y a su cultura general.

Con las máquinas modernas la exactitud del trabajo depende más de la precisión de la herramienta que de la habilidad del operador. La habilidad ha sido transferida del operario a la máquina, que no sufre de decaimiento por cansancio físico o moral y que permite repetir las operaciones siempre con igual exactitud. Se ha llegado a tener máquinas completamente automáticas en que el operario no tiene más intervención que vigilarlas, reajustarlas o reemplazar piezas desgastadas.

Al disponerse de abundante energía mecánica y de herramientas y maquinarias movidas por ella, el obrero dejó de trabajar en su casa, donde no contaba más que con su propia energía y efectuó sus labores en los talleres de las fábricas. Al comienzo de la revolución industrial, los edificios dejaban mucho que desear, según los conceptos actuales de higiene, seguridad, alumbrado, calefacción y confort. Hoy día el obrero encuentra en la fábrica condiciones de salubridad y de agrado a menudo superiores a las de que puede disponer en su propio hogar.

Al transformarse el artesano que trabajaba solamente con su energía corporal, en el operario industrial que efectúa sus labores con ayuda de máquinas, se ha elevado el nivel intelectual de la gran masa obrera. Para muchos, ha significado el ascenso de la calidad de operario manual, a la de vigilante del buen funcionamiento de una máquina y aún, el paso de la categoría de obrero a la de empleado. Las estadísticas comprueban el crecimiento continuado de la proporción entre empleados y obreros en las industrias.

La mayor preparación técnica que se requiere para manejar una máquina en vez de una herramienta un tanto primitiva, ha hecho necesaria también una mayor ilustración general del obrero de la ciudad y del campo; para adquirirla se precisa una permanencia más prolongada de los jóvenes en los establecimientos educacionales o su asistencia a escuelas nocturnas. La repugnante explotación de niños en las fábricas, que desprestigió algunas ramas de la industrial fabril en sus comienzos, prácticamente ha desaparecido. Las leyes sociales protegen la salud de los obreros con la limitación de las horas de trabajo y con exigencias de higiene en las fábricas y de dispositivos contra accidentes. Para la mujer que trabaja, la protección se extiende a su estado de madre. En todos los países industriales existen seguros para atender las enfermedades y proveer para la vejez de los obreros. Campos de deportes, salas de lectura, teatros y casinos, como asimismo poblaciones obreras, se encuentran anexas a las grandes y medianas industrias, procurando formar al obrero una mente sana en un cuerpo sano. Las vacaciones pagadas y viajes de recreo y de ilustración figuran entre las medidas que favorecen a la clase obrera.

La máquina con ayuda de la ciencia y de la técnica, ha permitido que dispongamos hoy día a bajo precio de innumerables artículos y de comodidades que no se conocían antes de la revolución industrial, de rápidos y baratos medios de transporte y de locomoción, de grandes facilidades para la transmisión de la palabra escrita y

hablada, en fin, de casi todo lo que constituye el aspecto material de nuestra moderna civilización. Si bien es cierto que ha habido civilizaciones anteriores que alcanzaron un alto nivel cultural y artístico sin disponer de los beneficios de la máquina, hay que recordar que esa cultura superior llegaba solamente a las clases privilegiadas y que la gran mayoría de la población permanecía en un estado de miseria y de incultura vecino a la esclavitud. Con razón se dice que la máquina ha sido y es el factor más importante para el progreso de la humanidad, no solamente de una minoría selecta, sino también de todo el conglomerado humano de los países que se han industrializado. Desgraciadamente, debemos reconocer que de los 2,300 millones de habitantes del mundo, población que es tres veces la que existía dos siglos atrás, 1,600 millones corresponden a zonas poco desarrolladas que ocupan las dos terceras partes de la tierra habitada. Es un imperativo impostergable mejorar las condiciones de vida de sus numerosos pobladores, pues de ellos dependen el orden y la paz permanente y aún nuestra supervivencia. Solamente la máquina en sus diversas formas puede producir un progreso suficientemente rápido para que la velocidad de crecimiento de la población de dichas zonas no cause en el futuro un desequilibrio aún mayor y más peligroso que el actual entre la parte de la humanidad que calificamos de civilizada y la que no incluimos en este concepto.

Los modernos métodos industriales han hecho posible una civilización más elevada mental y moralmente, eliminando las limitaciones que pesaban sobre las edades primitivas. Si el hombre civilizado ha podido abolir la esclavitud, también podrá con un propósito firme y coordinado, atenuar y hasta eliminar la pobreza.

En todo el universo hay luz y sombra. Las ventajas indiscutibles de la máquina para el progreso del mundo han traído inevitablemente algunos inconvenientes. A pesar de que la máquina ha beneficiado a la clase obrera más que a ninguna otra, los principales ataques contra ella han salido de este campo en que se miraba como enemigos a las máquinas y a sus inventores. Se temía que con el empleo de máquinas que reemplazan en gran parte las labores del hombre, muchos obreros quedarían sin ocupación y que bajaría el salario para los que continuasen trabajando. El célebre inventor de la máquina de hilar, Arkwright, fué perseguido en Manchester; la casa de Hargreaves fué asaltada y su primera máquina destruída. Igual suerte corrieron otros inventores. Aun en nuestros días la introducción de telares automáticos en las tejedurías de algodón, que son tan perfectos que un solo hombre puede atender hasta 32 de ellos, ha provocado huelgas en Inglaterra.

Hay que reconocer que en el primer momento de su instalación, las máquinas ocasionan la pérdida de trabajo para un determinado número de obreros manuales. Pero el mal es sólo pasajero, pues la experiencia prueba que a no mediar una crisis económica que produzca una depresión local o mundial, el crecimiento constante de las industrias y el establecimiento de nuevas, permite una rápida absorción de los cesantes, dándoles trabajo en otras actividades. En cuanto a los salarios, tampoco se ha producido el efecto que se temía. Lejos de bajar, han subido en la industria y a la vez han disminuído las horas de trabajo. Hoy día ya se acepta como verdad comprobada por los hechos, que la elevación del standard de vida de las masas obreras se debe a la industria y a su mecanización. La máquina ha probado ser un auxiliar eficaz del hombre y no su enemigo.

Las cifras estadísticas son más convincentes que las palabras, pero su lectura resulta árida. Mencionaré solamente unas pocas que se refieren al país más industrializado del mundo, Estados Unidos. Mientras el número de obreros industriales aumentó en 88% entre los años 1899 y 1929, las horas de trabajo por hombre disminuyeron en 38%; el volumen de los artículos fabricados se duplicó y la potencia de las máquinas para la industria aumentó más de tres veces en ese mismo período.

Otro dato convincente es que para un incremento de la población entre los años 1870 y 1930 de 218%, el número de personas ocupadas en actividades remunerativas subió en 290%, lo que quiere decir que cuanto más contribuía la máquina a hacer el trabajo más liviano y más fácil, mayor cantidad de gente encontraba empleo.

Además de aumentar con los años la relación entre obreros y empleados con respecto a la población total, subió también en ese país el número de ingenieros por cada millón de habitantes. En 1890 era de 600; en 1940 alcanzaba a 2,500. Como se ve, en 50 años, la proporción se había cuadruplicado.

Más justificación tiene la protesta de los obreros sobre la monotonía del trabajo mecánico. Ellos rechazan que el operario llegue a ser una máquina que hay que alimentar con pan y carne en vez de hulla. Este aspecto del desarrollo industrial ha sido ridiculizado por un célebre actor de la pantalla y ha contribuido a que muchas personas continúen sintiendo antipatía por las máquinas. Pero hay que distinguir. Nadie se queja de los motores que suministran la energía que ha liberado al hombre del pesado trabajo muscular, o cuando más, protestan del humo de las chimeneas. Nadie niega la conveniencia del alumbrado eléctrico o de la rapidez del transporte mecanizado. La discusión acerca de las ventajas de los tiempos pasados del artesano y de sus ayudantes, sobre los modernos en que actúan ingenieros, técnicos y obreros especializados, se refiere a las herramientas y a las máquinas operadoras. Se dice, por ejemplo, que antes un zapatero hacía por sí mismo o con un ayudante todas las operaciones para fabricar calzado sobre medida y tenía así la visión del artículo que iba a producir, la satisfacción de verlo realizado y hasta el orgullo de su buena ejecución; y que como en la fábula, cantaba durante el trabajo. Es decir, que mientras el artesano sentía interés y amor por su trabajo y encontraba en él la felicidad, el obrero de una fábrica de calzado hace sólo una pieza o una parte de las que van a constituir un zapato, y repite la misma operación, sin tener opción a variar de trabajo y sin la sensación de estar colaborando en la fabricación de un artículo completo, deseado y apreciado por el consumidor. Es efectivo que la monotonía de efectuar siempre una misma labor trae consigo aburrimiento, fatiga y falta de atención. Por eso en fábricas modernas se usan procedimientos para atenuar esos inconvenientes, como interrupción del trabajo con períodos de gimnasia u otro ejercicio físico, audición de música en esos recreos o aun durante el trabajo, programas de radio, etc. Lo que se olvida cuando se hace esta comparación, es que en otros tiempos, por cada maestro artesano que dominaba el oficio y era capaz de ejecutar todas las operaciones necesarias, había varios ayudantes que también tenían que hacer un trabajo monótono de detalle. Tampoco se dice que la semana de trabajo ha disminuído de 60 horas a 48 y a 40 y aun a menos según el país, y que después de un día mucho más corto en horas de labor que antaño, el obrero moderno tiene a su disposición locales y medios para ilustrarse, distraerse o vigorizarse con que no contaba su abuelo, y percibe a pesar de la jornada más corta, un salario mucho más alto que le permite satisfacer necesidades

y darse gustos que compensan sobradamente el cansancio que puede producirle su labor, tanto más si esa fatiga no es corporal ni mental, sino que es causada solamente por la monotonía.

El progreso de las máquinas, que ha sido el factor decisivo para el adelanto de las industrias, se debe principalmente a la inspiración genial de unos pocos, pero el perfeccionamiento de ellas es el fruto de la experiencia acumulada por millones de personas, de los avances de la ciencia en numerosos ramos, del desarrollo de procesos metalúrgicos y de otras técnicas, y de la experimentación e investigación sobre bases científicas.

Hémos recordado los nombres de algunos inventores que tuvieron la suerte de poder marcar una etapa en ese progreso y de recoger en recompensa por sus desvelos, su fe y su constancia, la incomparable satisfacción de constatar que la máquina concebida en su mente, no sólo se había realizado en forma tangible, sino que además se movía como si tuviera vida, como si el hombre hubiera sido capaz de imitar al Creador insuflándole a la máquina el soplo divino con que Él formó al hombre a imagen de su ser.

Así como se recuerda al soldado desconocido que ha hecho posible que alcancen la gloria los generales que ganaron las batallas, quisiera, al terminar este discurso, rendir un homenaje de gratitud al inventor desconocido que en abnegada lucha ha contribuido al progreso y al bienestar de la humanidad, factores que nos permiten abrigar la esperanza de que algún día la civilización ganará la más importante de las batallas: la de la Paz.