

Historia de la Ingeniería

La historia de la civilización es en cierto modo, la de la ingeniería: largo y arduo esfuerzo para hacer que las fuerzas de la naturaleza trabajen en bien del hombre.

Los primeros hombres utilizaron algunos principios de la ingeniería para conseguir sus alimentos, pieles y construir armas de defensa como hachas, puntas de lanzas, martillos etc..

Pero el desarrollo de la ingeniería como tal, comenzó con la revolución agrícola (año 8000 A.C.), cuando los hombres dejaron de ser nómadas, y vivieron en un lugar fijo para poder cultivar sus



productos y criar animales comestibles. Hacia el año 4000 A.C., con los asentamientos al rededor de los ríos Nilo, Éufrates e Indo, se centralizó la población y se inicio la civilización con escritura y gobierno. Con el tiempo en esta civilización aparecería la ciencia.

Los primeros ingenieros fueron arquitectos, que construyeron muros para proteger las ciudades, y construyeron los primeros edificios para lo cual utilizaron algunas habilidades de ingeniería.



Seguidos por los especialistas en irrigación, estos se encargaron de

facilitar el riego de las cosechas, pero como las mejores zonas para cosechar eran frecuentemente atacadas, aparecen los ingenieros Militares encargados de defender las zonas de cosecha y las ciudades. Se destaca la importancia que la comunicación a tenido en el desarrollo. Así las poblaciones ubicadas a lo largo de rutas comerciales desde China a España progresaron mas

rápidamente por que a estas les llegaba el conocimiento de innovaciones realizadas en otros lugares.

En los últimos tres siglos la ciencia y la ingeniería han avanzado a grandes pasos, en tanto que antes del siglo XVIII era muy lento su avance.

Los campos mas importantes de la ingeniería aparecieron así: militar, civil, mecánica, eléctrica, química, industrial, producción y de sistemas, siendo la ingeniería de sistemas uno de los campos mas nuevo .

Fue la necesidad quien hizo a los primeros ingenieros. La primera disciplina de ingeniería fue: la ingeniería militar se desarrollo para ayudar a satisfacer una necesidad básica de supervivencia. Cada periodo de la historia ha tenido distintos climas sociales y económicos, así como presiones que han influido grandemente tanto el sentido como el progreso de la ciencia y de la ingeniería. Es preciso recordar que durante nuestro crecimiento aprendemos a considerar normal quizá no sea más que una moda pasajera social o económica que representa un punto en el tiempo.

A continuación se presenta la historia de la ingeniería según las culturas: (Ingeniería Egipcia, Ingeniería Mesopotámica, Ingeniería Griega, Ingeniería Romana, Ingeniería Oriental e Ingeniería Europea).

INGENIERÍA EGIPCIA

Los egipcios han realizaron algunas de las obras más grandiosas de la ingeniería de todos los tiempos, como el muro de la ciudad de Menfis. Esta antigua capital estaba aproximadamente a 19 Km. al norte de donde está El Cairo en la actualidad. Tiempo después de construir el muro, Kanofer, arquitecto real de Menfis, tuvo un hijo a quien llamó Imhotep, a quien los historiadores consideran como el primer ingeniero conocido. Fue su fama más como arquitecto que como ingeniero, aunque en sus realizaciones entran elementos de la ingeniería.



1 La creencia religiosa contemporánea de que para poder disfrutar de la eternidad era necesario conservar intacto el cadáver de un individuo.

2 El suministro casi ilimitado de mano de obra de esclavos.

3 La actitud paciente de quienes controlaban los recursos de

entonces. El reinado del Rey Joser fue propicio para el invento de Imhotep: la pirámide. Las habilidades técnicas requeridas para el diseño, organización y control de un proyecto de esta magnitud lo distinguen como una de las proezas más grandes y antiguas de todos los tiempos.

De todas las pirámides, la del faraón Keops fue la mayor. La Gran Pirámide, como se le conoce ahora, tenía 230.4 m por lado en la base cuadrada y originalmente medía 146.3 m de altura. Contenía unos 2 300 000 bloques de piedra, de cerca de 1.1 toneladas en promedio.. Teniendo en cuenta el conocimiento limitado de la geometría y la falta de instrumentos de ese tiempo, fue una proeza notable. Al día siguiente de su muerte, se honró a Imhotep por su obra, inscribiendo su nombre en la lista de dioses egipcios. Es interesante que la construcción de pirámides, que comenzó alrededor de 3000 a. de J.C., duró solamente unos cien años. Sin embargo, estas estructuras masivas de ingeniería sólo son superadas por la Gran Muralla China, entre las obras de la antigüedad.

La exactitud con que se orientó la base con respecto a la alineación norte sur, este oeste fue de aproximadamente 6 minutos de arco como error máximo, en tanto que la base distaba de ser un cuadrado perfecto por menos de 17.78 cm.

La construcción de pirámides realmente era algo notable, si se considera que no se conocían ni el tomillo ni la polea. No había otro mecanismo que la palanca. Sin embargo, se usaba el plano inclinado, al grado de que una de las

teorías predominantes de cómo se erigieron las pirámides es que se construyeron planos inclinados o rampas alrededor de la pirámide, hasta soterrarla. Al llegar a la cúspide, siguió la tarea de desenterrar la pirámide, lo que explica que con métodos simples, más una fuerza laboral ilimitada,



produjeron resultados difíciles de creer. Aunque otras teorías afirman que construir esas pirámides con esa exactitud, actualmente con nuestros adelantos tecnológicos es imposible por lo que se cree que en aquel entonces recibieron ayuda de tecnologías más avanzadas que las que existen hoy. Aunque construyeron estructuras impresionantes, sólo produjeron pocas innovaciones significativas en la construcción con piedra; su fuerte fue la fuerza bruta y el tamaño.

También construyeron diques y canales, y contaban con sistemas complejos de irrigación. Cuando la tierra de regadío era más alta que el nivel del río, utilizaban un dispositivo denominado cigueñal "shaduf" para elevar el agua hasta un nivel desde el cual se dirigía hacia la tierra. El aparato consiste en una cubeta unida mediante una cuerda al extremo largo de un palo apoyado, con un contrapeso en su extremo corto. El operador hacía fuerza en el contrapeso para levantar la cubeta y balancear el palo sobre su fulcro. Lo que parece sorprendente hoy día es que muchos de esos antiguos dispositivos sigan en uso cotidiano en Egipto.

INGENIERÍA MESOPOTÁMICA

Otra gran cultura que floreció junto al agua se desarrolló en el norte de Irán, entre el río Tigris y el Eufrates. Los griegos llamaron a esta tierra Mesopotamia "la tierra entre los ríos". Aunque los egipcios destacaron en el arte de construir con piedra, gran parte de la ciencia, ingeniería, religión y comercio actuales

proviene tanto de Irán como de Egipto.

Al inicio de la historia, un pueblo de origen desconocido, los sumerios, construyó murallas para ciudades y templos y excavó acequias que pueden haber sido los primeros logros de ingeniería del mundo. Los sumerios fueron gradualmente superados por considerable inmigración de nómadas árabes, que pasaron a ser campesinos y moradores de la ciudad. La ciudad de Babilonia, que así se formó, fue la sede de una cantidad de imperios de poca duración, hasta ser conquistada posteriormente por los asirios.

Como en Egipto, la vigilancia de las riberas de barro de los canales era un menester importante. Durante cuatro mil años, esos canales sirvieron a una población más densa de la que hay allí hoy día. Cuando los habitantes de Mesopotamia aprendieron a irrigar sus tierras y a amurallar sus ciudades, volvieron su atención a la construcción de templos.

Los historiadores indican que en Mesopotamia se inició la tradición de que un político inaugure la construcción de un edificio público con una palada de tierra.

Los asirios eran un pueblo guerrero, y entonces como ahora, la guerra pareció ser un catalizador de las invenciones. Los asirios fueron los primeros en emplear armas de hierro. Ya se conocía la manufactura del hierro desde siete u ocho siglos antes, pues la había descubierto la tribu de los chalibas en Asia Menor. Los asirios también inventaron la torre de asalto, que se convirtió en una pieza estándar del equipo militar durante los dos mil años siguientes, hasta que la invención del cañón la hizo obsoleta. En distintas épocas también se llamó "castillete" o "helépolis" el dispositivo. Una mejora asiria fue agregarle el ariete.

Alrededor de 2000 a. de J.C., los asirios lograron un avance significativo en el transporte. Aprendieron que el caballo se podía domesticar y servía para cabalgar, lo que les produjo una ventaja militar considerable: inventaron la caballería.

INGENIERÍA GRIEGA

Hacia 1400 a de J C., el centro del saber pasó, primero a la isla de Creta y luego a la antigua ciudad de Micenas, Grecia. Sus sistemas de distribución de agua e irrigación siguieron el patrón de los egipcios, pero mejoraron materiales y labor.

Los ingenieros de este periodo se conocían mejor por el uso y desarrollo de ideas ajenas que por su creatividad e inventiva.

La historia griega comienza hacia el año 700 a. de J.C., y al periodo desde aproximadamente 500 hasta 400 a. de J.C., se le llama “Edad de Oro de Grecia”. Una cantidad sorprendente de logros significativos en las áreas del arte, filosofía, ciencia, literatura y gobierno fue la razón para que esta pequeña porción del tiempo en la historia humana ameritara nombre propio.

Aproximadamente en 440 a. de J.C., Pendes contrató arquitectos para que construyeran templos en la Acrópolis, monte rocoso que miraba a la ciudad de Atenas. Un sendero por la ladera occidental llevaba a través de un inmenso portal conocido como Los Propóleos, hasta la cima. Las vigas de mármol del cielo raso de esta estructura estaban reforzadas con hierro forjado, lo que constituye el primer uso conocido del metal como componente en el diseño de un edificio.

Las escalinatas de acceso al Partenón, otro de los edificios clásicos de la antigua Grecia, no son horizontales. Los escalones se curvan hacia arriba, al centro, para dar la ilusión óptica de ser horizontales. En la construcción actual de puentes se toma en cuenta generalmente el hecho de que los que se curvan hacia arriba dan impresión de seguridad, en tanto que los horizontales parecen pandearse por el centro.

Quienes dirigieron la construcción de esas antiguas estructuras no tenían un título que se pudiera traducir como “ingeniero”. Se les llamaba “arquitekton”, que quiere decir el que había cumplido un periodo como aprendiz en los

métodos estándar de construcción de edificios públicos. Los arquitectos recibían aproximadamente un tercio más de remuneración que los albañiles. No se adiestraban en el salón de clases, de manera que su aprendizaje lo hacían en la práctica. Era íntegramente un adiestramiento “práctico”, como se llama ahora a este proceso de aprendizaje.

Hay poca duda de que Aristóteles de Estagira fue uno de los grandes genios de la historia de la humanidad. Sus contribuciones han sido algunas de las más significativas en la historia de la ciencia. Entre los historiadores hay cierta discrepancia acerca de quién fue el autor de un breve artículo intitulado “Mecánica”; aunque la mayoría de los historiadores dan el crédito a Estratón de Lámpsakos, otros lo acreditan a Aristóteles. Esta incertidumbre acerca de quién fue el autor es desafortunada, debido a que por lo general se acepta que la Mecánica fue el primer texto conocido de ingeniería. En este artículo se estudiaban conceptos tan fundamentales de la ingeniería como la teoría de la palanca. También contiene un diagrama que ilustra un tren de tres engranes mostrados como círculos, lo que constituye la primera descripción conocida de engranajes. Es más que probable que éstos no tuvieran dientes, por lo que tuvo que ocurrir mucho deslizamiento antes de que se conociera la ventaja de los dientes y la manera de producirlos.

Se puede imaginar un poco las dificultades bajo las que trabajarían los ingenieros, debido a su ignorancia técnica, por el esquema fundamental del reloj de agua de Ctesibio, en Alejandría, aproximadamente en 270 a. de J.C. Se suponía que el tiempo entre el amanecer y el ocaso era de 12 h, por lo que una hora era variable, en función de la época del año: más larga a medio verano y más corta a medio invierno.

La mayor aportación de los griegos a la ingeniería fue el descubrimiento de la propia ciencia. Platón y su alumno Aristóteles quizás sean los más conocidos de los griegos por su doctrina de que hay un orden congruente en la naturaleza que se puede conocer. Para la existencia de la ciencia es necesario creer en un orden consistente, repetible en la naturaleza, en forma de las leyes



naturales. Probablemente Aristóteles el físico más grande de este periodo de la historia; su obra constituyó cimiento de la ciencia durante los 2000 años últimos. Es probable que no se haya superado desde entonces el razonamiento abstracto de Platón, Aristóteles y Arquímedes. Sin embargo, es necesario establecer una distinción entre sus ideas en la filosofía de la ciencia y la innovación en la ingeniería. En tanto que destacan en el

razonamiento abstracto, se puede decir que sus aportaciones a la ingeniería fueron modestas. La búsqueda filosófica por la verdad, especialmente en Platón y Aristóteles, se efectuaba con un desdén olímpico para la experimentación o invención, que por su mera esencia comprendían el trabajo manual. Aristóteles creía que ese tipo de trabajo debían de hacerlo los esclavos o mecánicos básicos, a los que no se les debería otorgar la ciudadanía. A juzgar por algunos profesores de ingeniería de los Estados Unidos, esta actitud esnobista parece existir también en las facultades de matemáticas. Sin embargo, realmente tienen distintas metas, que no se pueden ignorar. Los matemáticos continuamente están demostrando de nuevo verdades antiguas y buscando nuevas verdades, en tanto que los ingenieros están ansiosos por aprender las matemáticas que existen, de manera que las puedan aplicar al mundo abitual. Este doble papel de la ciencia e ingeniería aparece ya en Grecia.

Los griegos, específicamente el tirano Dionisio, fueron los primeros que se sepa que contrataron personas para que les inventaran Máquinas bélicas. Esta práctica se ha transmitido a través del tiempo hasta la actualidad, hasta países como Estados Unidos, en que buena parte del presupuesto federal se asigna anualmente a la defensa. Todavía no se ha visto, desde el tiempo de Dionisio, una nación pueda desentenderse de los desembolsos para la defensa.

Otra razón por la que Grecia no pudo producir estructuras de ingeniería cuyas magnitudes fueran comparables a las de las sociedades de las cuencas hidrográficas fue la disminución en el uso de la fuerza laboral de esclavos para lograr tales hazañas. Los griegos desarrollaron un estudio llamado “hybris” (orgullo), que era una creencia en la necesidad de leyes morales y físicas restrictivas en la aplicación de una técnica dominada. Llegaron a creer que forzar a humanos y bestias más allá del límite para reunir y transportar monolitos de varias toneladas era inhumano e innecesario. Esos ejercicios deshumanizasteis habían llegado al máximo en Egipto, y aparecen en diversas fechas más adelante en la historia, por ejemplo en Stonehenge en Inglaterra, mil años después. Sin embargo, lo que los griegos no tuvieron en realizaciones de ingeniería lo compensaron con creces en los campos del arte, literatura, filosofía, lógica y política. Es interesante notar que la topografía, como la desarrollaron los griegos y luego los romanos, se considera como la primera ciencia aplicada en la ingeniería, y será prácticamente la única como ciencia aplicada durante los veinte siglos siguientes.

Los griegos intentaron emplear el orden disciplinado en las empresas militares. Sus ejércitos marchaban a la guerra con todas sus tropas debidamente uniformadas y llevando el paso marcado por flautas. Estaban convencidos de que un frente sólido de lanzas y escudos era superior a la precipitación de una turba. En la actualidad es difícil juzgar si fue el orden disciplinado o el



armamento de acero de sus soldados, por primera vez, lo que los hizo superiores en las batallas. Obviamente, en comparación con las armas de entonces de hierro forjado o de bronce, las armas de acero ofrecían una ventaja considerable.

En 305 a. de J.C., Demetrio había producido la máquina de guerra más temible de la época: el castillete, diseñado por el ingeniero Eplmaco, de nueve pisos, con una base cuadrada que medía entre 15 y 22.5 m por lado y una altura total entre los 30 y los 45 m. Todo el equipo pesaba cerca de 82 toneladas, tenía ocho inmensas ruedas con aros de hierro y lo empujaban y jalaban 3 400 soldados (acarreadores del castillete). Cada uno de los nueve pisos contenía un tanque de agua y cubetas para apagar los fuegos que lo incendiaran. Una de las defensas en contra de esa torre parece ahora haber sido bastante perspicaz, consistente en prever la trayectoria que seguiría la máquina y reunir aguas negras y de lavar, e incluso la escasa agua de beber si era necesario, para vaciarla durante la noche frente al camino. Estos castilletes eran monstruos muy poco maniobrables, de tal manera que si se arrojaba suficiente líquido a la tierra y se daba tiempo para que penetrara el agua, la torre se atascaba inevitablemente. Este es un ejemplo antiguo de la creencia común en los círculos militares contemporáneos de que para cada arma ofensiva hay al menos un arma defensiva potencialmente efectiva. El castillete fue un arma ofensiva muy usada durante años, hasta que la invención del cañón hizo que las murallas perdieran su efectividad como una línea de defensa.

Aunque a Arquímedes se le conoce mejor por lo que ahora se llama el “principio de Arquímedes”, también era un matemático y hábil ingeniero. Realizó muchos descubrimientos importantes en las áreas de la geometría plana y sólida, tal como una estimación más exacta de y leyes para encontrar los centros de gravedad de las figuras planas. También determinó la ley de las palancas y la demostró matemáticamente. Mientras estuvo en Egipto, inventó lo que se conoce como «el tornillo de Arquímedes», que consiste en una hélice encerrada dentro de un tubo y que se hace girar para levantar agua. Este dispositivo se usó extensamente siglos después en los sistemas hidráulicos y en la minería. Arquímedes también fue constructor de barcos y astrónomo. Típica de su inventiva fue una grúa que instaló en uno de sus mayores barcos,

con un gancho para levantar la proa de pequeños barcos de ataque hasta vaciarlos de su contenido, para después echarlos al agua de popa. Arquímedes fue una de las grandes mentes de todos los tiempos.

INGENIERÍA ROMANA

Los ingenieros romanos tenían más en común con sus colegas de las antiguas sociedades de las cuencas hidrográficas de Egipto y Mesopotámia, que con los ingenieros griegos, sus predecesores. Los romanos utilizaron principios simples, el trabajo de los esclavos y tiempo para producir extensas mejoras prácticas para el beneficio del Imperio Romano. En comparación con las de los griegos, las contribuciones romanas a la ciencia fueron limitadas; sin embargo, sí abundaron en soldados, dirigentes, administradores y juristas notables. Los romanos aplicaron mucho de lo que les había precedido, y quizá se les puede juzgar como los mejores ingenieros de la antigüedad. Lo que les faltaba en originalidad lo compensaron en la vasta aplicación en todo un imperio en expansión.

En su mayor parte, la ingeniería romana era civil, especialmente en el diseño y construcción de obras permanentes tales como acueductos, carreteras, puentes y edificios públicos. Una excepción fue la ingeniería militar, y otra menor, por ejemplo, la galvanización. La profesión de "architectus" era respetada y popular; en efecto, Druso, hijo del emperador Tiberio, era arquitecto.

Una innovación interesante de los arquitectos de esa época fue la reinención de la calefacción doméstica central indirecta, que se había usado originalmente cerca de 1200 a. de J.C., en Beycesultan, Turquía. La invención original ocurrió 'cuando debido a la falta de comunicaciones y de protección a las patentes, a veces tenían que reinventarse los inventos importantes antes de que formaran parte permanente de la tecnología. Pero, es bastante extraño que después de

la caída del Imperio Romano no volviera a aparecer la calefacción doméstica central indirecta sino hasta tiempos modernos.

Uno de los grandes triunfos de la construcción pública durante este periodo fue el Coliseo, que fue el mayor lugar de reunión pública hasta la construcción del Yale Bowl en 1914.

Los ingenieros romanos aportaron mejoras significativas en la construcción de carreteras, principalmente por dos razones: una, que se creía que la comunicación era esencial para conservar un imperio en expansión, y la otra, porque se creía que una carretera bien construida duraría mucho tiempo con un mínimo de mantenimiento. Se sabe que las carreteras romanas duraban hasta cien años antes de que necesitaran reparaciones mayores. Es apenas hasta fechas recientes que la construcción de carreteras ha vuelto a la base de “alto costo inicial - poco mantenimiento”.

Quizá el triunfo más conocido en la construcción de carreteras de la antigüedad es la Vía Apia, que se inició en 312 a. de J.C., y fue la primera carretera importante recubierta de Europa. Al principio, la carretera medía 260 km e iba desde Roma hasta Capua, pero en 244 a. de J.C., se extendió hasta Brindisi, siendo entonces una obra tan prestigiada, que ambos lados del camino a la salida de Capua estaban flanqueados por los monumentos funerarios de los aristócratas.

En Roma había tráfico pesado por aquellas fechas. En una ocasión, Julio César ordenó que ningún vehículo de cuatro ruedas circulara por las calles de la ciudad, con la esperanza de proporcionar una solución parcial a los problemas del tránsito. En los mejores tiempos del Imperio Romano, el sistema de carreteras tenía aproximadamente 29 000 Km., entre el Valle del Eufrates y la Gran Bretaña. En comparación con los anteriores, los acueductos romanos eran mayores y más numerosos. Casi todo lo que se sabe actualmente del sistema romano de distribución de aguas proviene del libro *De Aquis Urbis Romae* de Sexto Julio Frontino, quien fue *Autor Aquarum de Roma*, de 97 a 104 a. de J.C., Frontino llevaba registros de la utilización del agua, que indican que el emperador usaba el 17% , el 39% se usaba en forma privada, y el 44%

en forma pública. Se calcula que en Roma diariamente se consumían entre 380 y 1 100 millones de litros de agua. La fracción del 44% para uso público estaba subdividida adicionalmente en 3% para los cuarteles, el 24% para los edificios públicos, incluidos once baños públicos, 4% para los teatros, y 13% para las fuentes. Había 856 baños privados a la fecha del informe. En todo caso, la administración del agua en Roma era una tarea considerable e importante. Gran parte del agua que supuestamente debería entrar a la ciudad jamás lo hizo, debido a las derivaciones que tenían escondidas los usuarios privados. Ya desde los tiempos de los romanos, las tomas de agua eran un problema.

Los acueductos romanos se construyeron siguiendo esencialmente el mismo diseño, que usaba arcos semicirculares de piedra montados sobre una hilera de pilares. Cuando un acueducto cruzaba una cañada, con frecuencia requería niveles múltiples de arcos. Uno de los mejor conservados de la actualidad es el Pont du Gard en Nimes, Francia, que tiene tres niveles. El nivel inferior también tenía una carretera.

Los romanos usaron tubería de plomo y luego comenzaron a sospechar que no eran salubre. Sin embargo, el envenenamiento por plomo no se diagnosticó específicamente sino hasta que Benjamín Franklin escribió una carta en 1768 relativa a su uso.

El emperador Claudio hizo que sus ingenieros intentaran en 40 d. de J.C., drenar el lago Facino a través de un túnel, usando el desagüe para irrigación. En el segundo intento por vaciar el lago, el flujo de salida fue mucho mayor que lo esperado, con el resultado de que se perdieran unas cuantas mesas de picnic con sus comensales correspondientes, lo que hizo enojar mucho a la esposa del emperador. Más tarde, pensando en que el emperador podría castigarla por su arranque de enojo, decidió envenenarlo con excremento de sapo.

Se cree que una de las primeras alquimistas de la era, 'una mujer conocida como Maria la Judía, fue quien inventó el filtro. En todo caso, ofreció la primera descripción registrada del brebaje.

Un libro de Atenaios, intitulado Mecánikos, estudia las máquinas de asedio, puentes colgantes, arietes, testudos, torres y otros dispositivos semejantes. Eran mejoras en el arsenal militar de su tiempo. Hacia 100 d. de J.C., uno de los mejores autores técnicos de todos los tiempos, Herón de Alejandría, produjo manuscritos de ingeniería intitulados Mecánica, Neumática, Arte del asedio, Fabricación de autómatas, El tránsito del topógrafo, y Medición y espejos. Fue un escritor técnico prolífico. También desarrolló una máquina de vapor, o «eolipila», que funcionaba en base al principio de la reacción, semejante al de un rociador giratorio de jardín.

Aproximadamente en 200 d. de J.C., se inventó un ariete llamado “ingenium” para atacar las murallas. Muchos años después se llamó al operador del ingenium, “ingeniator”, que muchos historiadores creen que fue el origen de la palabra ingeniero.



La ingeniería romana declinó después de 100 d. de J.C., y sus avances fueron modestos. Un factor que se cree que contribuyó a la caída del Imperio Romano, aproximadamente en 476 d. de J.C., fue que en tanto que la ciencia e ingeniería romanas se

habían estancado durante este periodo, no sucedía igual con los bárbaros del norte. Otro factor que retrasó el crecimiento en la ciencia e ingeniería fueron unas leyes puestas en vigor cerca de 301 d. de J.C., y que Diocleciano pretendía que fueran reformas al control de precios y salarios, y leyes que obligaban a todo hombre del imperio a seguir el oficio de su padre. Esto se hizo, al menos en parte, con la esperanza de proporcionar estabilidad económica.

Una innovación durante este periodo fue la invención del alumbrado público en la ciudad de Antioquía, aproximadamente hacia el año 3~0 d. de J.C.

La caída de Roma es sinónimo del fin de los tiempos antiguos. En el tiempo que siguió, el periodo medieval, la legislación de castas y la influencia religiosa retardaron considerablemente el desarrollo de la ingeniería. Muchos historiadores llaman «El Oscurantismo» al periodo de 600 a 100 d. de J.C. Durante este lapso dejaron de existir la ingeniería y arquitectura como profesiones.

En el siglo XIII, Santo Tomás de Aquino argumentó que ciencia y religión eran compatibles. Ghazzali, erudito en ciencia y filosofía griegas, llegó a la conclusión de que la ciencia alejaba a las personas de Dios, por lo que era mala. Los europeos siguieron a Santo Tomás, en tanto que el Islam siguió a Ghazzali. En medida, esta diferencia en filosofía es la que subyace al tan distinto desarrollo técnico en estas dos culturas. En la actualidad no se acepta universalmente que ninguno de esos grandes estudiosos tuviera la razón. Sin embargo, es indudable que durante siglos Europa ha disfrutado de superioridad técnica en el mundo, con las ventajas que ello supone, en tanto que el desarrollo técnico en la cultura del Islam ha sido limitado.

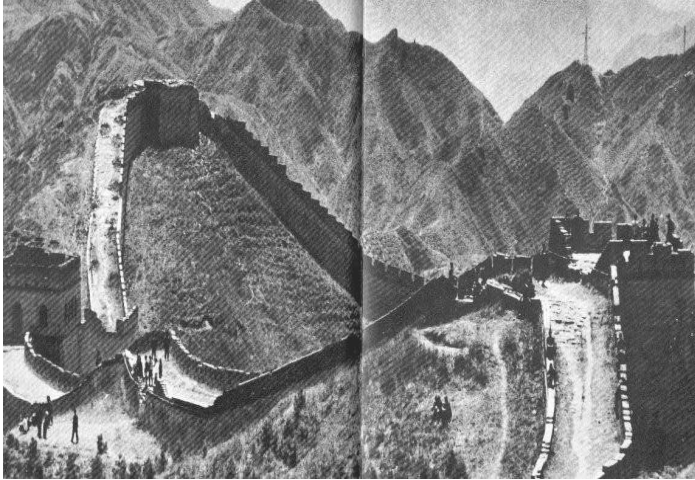
En los años que siguieron de inmediato a la caída del Imperio Romano, el liderazgo técnico pasó a la capital bizantina de Estambul. Durante los diez siglos siguientes fue con elevadas murallas hasta de 13 metros de altura en algunos lugares como se mantuvo a raya a los bárbaros.

INGENIERÍA ORIENTAL

Después de la caída del Imperio Romano, el desarrollo ingenieril se trasladó a India y China. Los antiguos hindúes eran diestros en el manejo del hierro y poseían el secreto para fabricar buen acero desde antes de los tiempos de los romanos. Austria e India fueron los dos centros siderúrgicos principales cuando estaba en su apogeo el Imperio Romano. Más tarde, los forjadores sirios usaron lingotes de acero indio en Damasco para forjar las hojas de espadas damasquinas. Era uno de los pocos aceros verdaderamente superiores de entonces. Durante unos dos siglos, la capital mundial de la ciencia fue

Jundishapur, India.

Aproximadamente en 700 d. de J.C., un monje de Mesopotámica llamado Severo Sebokht dio a conocer a la civilización occidental el sistema numérico indio, que desde entonces hemos llamado números arábigos.



Una de las más grandes realizaciones de todos los tiempos fue la Gran Muralla de China. La distancia de un extremo a otro del muro es de aproximadamente 2 240 Km.; sin embargo, hay más de 4 080 Km. de muro en total. Casi toda la muralla tiene

aproximadamente 10 m de altura, 8 m de espesor en la base, y se reduce hasta aproximadamente 5 m en la parte superior. A lo largo de esta parte corre un camino pavimentado.

La muralla tiene 25 000 torres en su parte principal y otras 15 000 torres separadas de la muralla principal. Su altura no era suficiente para evitar que la escalaran los invasores, pero tenían que dejar sus caballos frente a la misma. Sin caballos, no podían hacer frente a los guardianes locales que iban montados, por lo que más frecuentemente, los invasores ya se sentían contentos de poder regresar hasta donde los esperaban sus monturas. China ha tenido canales desde hace miles de años. La mayoría de ellos tiene el tamaño adecuado para la irrigación, pero no para la navegación, además de que en ese tiempo no se conocían las esclusas. Sí utilizaban compuertas, pero tenían valor limitado. Después de 3000 años, la longitud del sistema de irrigación chino es de más de 320 000 km. El canal más largo, el Yunho o Gran Canal, tiene 1 920 Km. y corre desde Tientsin hasta Hangchow; su construcción requirió de mil años. Este es uno de esos ejemplos de determinación y paciencia orientales sin límite de tiempo.

Los chinos fueron de los primeros constructores de puentes, con características únicas. Algunos de sus puentes más antiguos fueron de suspensión, con

cables hechos de fibra de bambú; lograron uno de los inventos más importante de todos los tiempos, el papel. Aproximadamente en 105 d. de J.C., Tsai Lun escribió un informe a su emperador sobre un procedimiento para hacer papel, y se le reconoció el mérito. El bloque de grabado se usó posteriormente en el siglo X, en el reinado de Shu, para producir el primer papel moneda del mundo.

Se cree que los chinos inventaron la pólvora. Es irónico que esta invención china, junto con el cañón, eliminara las murallas.

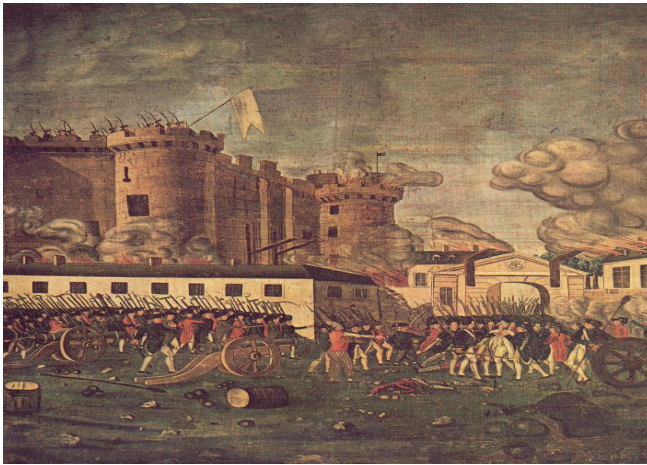
Los chinos desarrollaron maquinaria de engranaje desde fechas muy antiguas. Algunos historiadores creen que hacia el año 400 a. de J.C., había engranajes en China. Los chinos fueron los primeros en inventar mecanismos de escape para los relojes. Hacia 1500 d. de J.C., Peter Henlein de Nuremberg, Alemania, inventó el reloj de cuerda. Maximiliano I de Baviera bromeaba hacia 1800: "Si queréis pasar apuros, comprad un reloj." Los primeros relojes pequeños medían aproximadamente lo que un despertador actual, colgaban de una cadena y sólo tenían una manecilla.

Otro descubrimiento importante de los chinos fue la brújula, que rápidamente se extendió, para ser de uso común alrededor de 1200 d. de J.C.

Luego los árabes aprendieron de los chinos el método de fabricación del papel, y lo produjeron en grandes cantidades. A partir de entonces aumentó notablemente la comunicación de las ideas. La química progresó mucho como ciencia en Arabia y también se aprendió y extendió con rapidez el proceso para hacer pólvora. El invento de Gutenberg del tipo móvil en Alemania fue otro paso gigantesco en las mejores comunicaciones. A partir de entonces, fue posible diseminar el conocimiento sin tener que hacer la copia a mano. La extensión de la diseminación del conocimiento permitida por la imprenta fue una condición necesaria preliminar para los múltiples avances que han seguido.

INGENIERIA EUROPEA

La Edad Media, a la que a veces se le conoce como el periodo medieval, abarcó desde aproximadamente 500 hasta 1500 d. de J.C., pero por lo general se denomina Oscurantismo al periodo que media entre el año 600 y el 1000 d. de J.C. Durante este periodo no existieron las profesiones de ingeniero o arquitecto, de manera que esas actividades quedaron en manos de los artesanos, tales como los albañiles maestros. La literatura del Oscurantismo era predominantemente de naturaleza religiosa, y quienes tenían el poder no daban importancia a la ciencia e ingeniería. Los gobernantes feudales eran conservadores, y sobre todo trataban de mantener el estado de las cosas .



la mayoría de las personas debía tener el mismo oficio de sus padres. Sin embargo, en la década de 1500 ocurrió una serie de descubrimientos científicos importantes en la ingeniería y matemáticas, lo que sugiere que aunque se había restado importancia a la ciencia, estaba

ocurriendo una revolución en el razonamiento con relación a la naturaleza y actividad de la materia. El movimiento, fuerza y gravedad recibieron considerable atención en plena Edad Media y más adelante.

Un invento que contribuyó a la terminación de la forma de vida con castillos rodeados de murallas fue el cañón, que apareció en Alemania en el siglo XIV, y para el siglo XV los castillos ya no se podían defender.

El Renacimiento, que literalmente significa "volver a nacer", comenzó en Italia durante el siglo XV. El redescubrimiento de los clásicos y el resurgimiento en el aprendizaje llevan a una reevaluación de los conceptos científicos de la antigüedad.

Uno de los límites obvios del desarrollo de la ingeniería ha sido la facilidad con

que se podían comunicar y comparar los pensamientos.

La invención de los anteojos en 1286, y el incremento considerable en las obras impresas en Europa en el siglo XV, fueron dos acontecimientos trascendentales en la expansión del pensamiento

ingenieril. Desde luego, otro factor importante en todo momento es la actitud de una sociedad hacia una profesión. Durante el Renacimiento, los ingenieros nuevamente fueron miembros de una profesión respetada e incluso algunos de ellos recibieron buena paga. Filippo Brunelleschi fue un ingeniero bien conocido de principios de 1400, y como la mayoría de los ingenieros bien conocidos del Renacimiento, era ingeniero militar y civil, al igual que arquitecto y artista. Uno de sus aportes fue el dibujo de perspectiva.

La República de Venecia estableció en 1474 la primera ley de patentes, y en 1594 se dio a Galileo una patente sobre un dispositivo para elevar agua.

Aunque la antigua ley de patentes promulgada en Venecia necesitaba muchas mejoras antes de que pudiera ofrecer protección efectiva, fue el primer intento

por estimular las invenciones al proteger la comercialización de los inventos. Sin embargo, el costo actual de adquirir una patente y las demoras en el funcionamiento del sistema de patentes ciertamente limita su efectividad como incentivo para el ciudadano promedio.

En 1514, el Papa Paulo III tuvo que resolver el problema de sustituir al arquitecto Bramante después de su muerte, ocurrida

durante la reconstrucción de la Basílica de San Pedro. Se eligió a un artista e ingeniero llamado Miguel Ángel Buonarroti, al que se le conoce simplemente como Miguel Angel, para concluir el proyecto. Es bien conocida su obra en la

terminación de dicha basílica. Sin embargo, es menos conocido que se le llamó en Florencia, y nuevamente en Roma, para que diseñara fortificaciones para esas ciudades. Después de construirlas, se convenció de que éstas no resistirían, debido a la incompetencia de los defensores, individualista testarudo al grado de que un colega escultor le rompió la nariz en una riña.

Otro de los muchos enemigos de Miguel Ángel fue Leonardo de Vinci. Al igual que Miguel Ángel, a de Vinci se le conoce mejor por sus logros artísticos. Sin embargo, era un estudioso activo, casi absorto continuamente. Dominó la astronomía, anatomía, aeronáutica, botánica, geología, geografía, genética y física. Sus estudios de física abarcaron todo lo que se conocía en su tiempo. Tenía una curiosidad científica que alguna vez le causó problemas. El Papa León X lo despidió cuando supo que aprendía anatomía humana disecando cadáveres. Desde el punto de vista puramente científico, ¿existe mejor manera de aprender la anatomía humana?

En 1483, de Vinci se trasladó a Milán y presentó el siguiente resumen al Duque Ludovico Sforza, esperando conseguir empleo :

"Después de ver, Mi Muy Ilustre Señor, y habiendo considerado ahora suficientemente las pruebas de quienes se tienen por maestros y diseñadores de instrumentos de guerra y de que el diseño y operación de los mismos instrumentos no es distinto de los que se usan comúnmente, trataré sin perjuicio de nadie de hacerme comprender con Vuestra Excelencia, revelando mis propios secretos y ofreciendo después a su placer, y en el momento apropiado, poner en efecto todas las cosas que por brevedad se anotan parcialmente en seguida, y muchas más, de acuerdo con la exigencias de los distintos casos.

Puedo construir puentes muy ligeros y fuertes, que se pueden transportar fácilmente, y con ellos perseguir, o de ser necesario, huir del enemigo, y otros más, seguros y capaces de resistir al fuego y ataque, y fáciles y prácticos para utilizar y quitar; y tengo métodos de quemar y destruir los del enemigo. En un sitio bajo asedio, sé cómo quitar el agua de los fosos y cómo hacer

infinitos puentes, espalderas, escaleras y otros instrumentos adecuados a dichos propósitos.

Además, si en el asedio es imposible usar el bombardeo por causa de la profundidad de las zanjas, o de la fortaleza de la posición y de la situación, puedo destruir toda fortaleza u obra de cualquier otro tipo si no está hecha de piedra.

También tengo los medios de hacer fácil y conveniente la transportación de cañones, y con ellos arrojar piedras semejantes a una tempestad; y con el humo de ellos provocar gran temor al enemigo, causándole grandes danos y confusión.

Y de ocurrir en el mar, tengo la manera de construir muchos instrumentos capaces de ataque y defensa, y bajeles que ofrezcan resistencia al ataque de los cañones más grandes, pólvora y humos.

También tengo los medios, con túneles y pasajes secretos y tortuosos, hechos sin ruido, de llegar a determinado punto, incluso aunque sea necesario pasar bajo zanjas o algún río.

También haré vagones cubiertos, seguros e indestructibles, que al penetrar con su artillería entre el enemigo, romperán el mayor cuerpo de hombres armados. Y detrás de éstos puede seguir la infantería sin sufrir daños y sin encontrar oposición.

Si también hay necesidad, haré cañones, morteros y piezas de campo de formas hermosas y útiles, distintas de las de uso común.

Cuando se pueda usar el cañón, puedo fabricar catapultas lanzactaros y máqllill.9S para arrojar fuego, Y otros instrumentos de eficiencia admirable, que no se usa comúnmente y en breve, de acuerdo como sea el caso, imaginaré diversos aparatos infinitos para el ataque y defensa.

En tiempo de paz, creo que puedo dar satisfacción igual a la de cualquier Otro en arquitecturas en el diseño de edificios públicos y privados y en la conducclémdB agua de un lugar a otro.

También puedo realizar esculturas en mármol, bronce o terracota; igual sucede con la pintura, la que puedo hacer tan bien como cualquier otro, quienquiera que sea.

Más aún, será posible comenzar a trabajar en el caballo de bronce, que servirá para recordar la gloria inmortal y honor eterno de la feliz memoria de vuestro

*padre, Mi Señor, y de la ilustre Casa de los Sforza.
y si hay alguien a quien parezcan imposibles o irrealizables cualquiera de las cosas antes mencionadas, me ofrezco para hacer una prueba de ellas en su parque o en el lugar que plazca a Vuestra Excelencia; a quien me encomiendo lo más humildemente que puedo."*

Evidentemente, el Duque Ludovico Sforza no se impresionó y no contrató a de Vinci después de leer su resumen; sin embargo, sí comisionó a de Vinci más tarde, como resultado de una asociación de éste con otro artista. El duque tenía el hábito de pagar tarde, cuando lo hacía, lo que obligó a que de Vinci renunciara una vez; sin embargo, lo reconsideró más adelante.

Leonardo de Vinci fue uno de los grandes genios de todos los tiempos. Anticipó muchos adelantos del futuro; por nombrar algunos: la máquina de vapor, la ametralladora, cámara oscura, el submarino y el helicóptero. Pero, es probable que tuvieran poca influencia en el pensamiento de la ingeniería de su tiempo. Sus investigaciones eran una mezcla no publicada de pensamientos e ilustraciones. Era un investigador impulsivo, y jamás resumía su investigación para beneficio de otros a través de la publicación. En sus cuadernos hacía la anotación de sus investigaciones de derecha a izquierda, posiblemente por comodidad, debido a que era zurdo.

Otro gran genio de ese tiempo fue Galileo, quien a la edad de 25 años fue nombrado profesor de matemáticas en la Universidad de Pisa. Estudió mecánica, descubrió la ley fundamental de la caída de los cuerpos y estudió el comportamiento del movimiento armónico del péndulo. Dictó conferencias sobre astronomía en Padua y Florencia, y posteriormente fue acusado ante la Inquisición, en 1633, debido a su creencia de que el Sol y no la Tierra, era el centro de nuestro universo. En 1638 publicó su máxima obra matemática, que poco después fue colocada en el *Index Expurgatorius*, quedando prohibida su lectura en todos los países católicos. En las postrimerías de su vida, bajo arresto domiciliario, se concentró en el tema menos controvertido de la mecánica.

En el periodo medieval se empleaban armaduras para soportar los techos, pero eran burdas y con frecuencia aumentaban el peso del edificio, sin contribuir a su resistencia. En ese tiempo no se comprendía bien el diseño de las armaduras. Debido al uso de métodos empíricos en el diseño de miembros estructurales, los edificios públicos, especialmente las iglesias, tenían fama de desplomarse sobre los confiados visitantes. El techo de la Catedral de Beauvais se desplomó dos veces en el siglo XIII, y en el siglo XVI se agregó un campanario que poco después caía al suelo. Desde luego, las catedrales eran y siguen siendo obras monumentales con grandes vanos que siempre han exigido alarde de ingenio de arquitectos e ingenieros. Se cree que fue Andrea Palladio el primer ingeniero que comprendió realmente las fuerzas en las armaduras. En 1570 diseñó puentes para Venecia, en que todos los miembros del puente tenían un propósito útil. En 1560, Giovanni Battista della Porta inició una sociedad en Nápoles llamada la Academia de los Secretos de la Naturaleza. Era semejante a otras anteriores como la Academia de Platón, el Liceo de Aristóteles y el Museo de Alejandría. Durante este tiempo había mucha comunicación entre los científicos europeos. Sin embargo, esa academia se cerró debido a sospechas del clero. En 1603 se fundó la Academia Lincea que existe hasta la fecha. Galileo fue uno de sus miembros. Estos pretendían fundar monasterios laicos en distintas partes del mundo. La Real Sociedad de Londres fue hecha legalmente pública en 1662, después de una serie de reuniones secretas. Boyle, Hooke y Newton estuvieron entre sus miembros. En 1666 se formó la Academia Francesa, y en 1700 se inició la existencia de la Academia de Berlín.

En 1540, Biringuccio escribió un destacado tratado sobre metalúrgia, y en 1912 lo tradujeron al inglés Herbert y Lou Henry Hoover. Herbert Hoover era un joven ingeniero por ese tiempo; es el único ingeniero de la historia de Estados Unidos que llegó a presidente de su país.

Uno de los descubrimientos más importantes en la historia de la ingeniería mecánica lo realizó Simón Stevin en Holanda, a fines de la década de 1500.

Mediante el "triángulo de fuerzas", permitió a los ingenieros manejar fuerzas resultantes que actuaban en los miembros estructurales. Stevin escribió un tratado sobre fracciones y también realizó trabajos que llevaron al desarrollo del sistema métrico.

Por el mismo tiempo tuvo lugar una diversidad de descubrimientos matemáticos de consideración. Alrededor de 1640, Fermat y Descartes descubrieron independientemente la geometría analítica. Un sacerdote inglés llamado William Oughtred, aproximadamente en 1622, diseñó la primera regla de cálculo basada en la suma de logaritmos para obtener el producto de dos números.

Ya desde antes de la Edad Media había ocurrido un cambio importante en el enfoque de la ciencia. Fue el concepto de que una hipótesis se debía rechazar o aceptar en base al resultado de un experimento. Había comenzado el "método científico". Ahora sabemos que el avance es lento si no se cuenta con es~ ni&odn

Descartes y Leibmz descubrieron en forma independiente el cálculo diferencial. Newton descubrió el cálculo integral, y luego describió la relación recíproca entre los cálculos diferencial e integral. Sus descubrimientos ocurrieron en Woolsthorpe, aproximadamente en 1665, debido a que Cambridge estaba cerrada como resultado de una epidemia.

Jean Baptiste Colbert fue ministro bajo Luis XIV y estableció la primera escuela formal de ingeniería en 1675. El Corps du Génie, como eran conocidos, eran ingenieros militares entrenados por Sébastien le Prestre de Vauban, ingeniero militar francés muy conocido.

En 1771 un pequeño grupo de ingenieros, a los que se llamaba frecuentemente para dar su testimonio sobre proyectos de puertos y canales, formó la Sociedad

de Ingenieros. John Smeaton, director del grupo, fue el primero en darse el título de ingeniero "civil" para señalar que su incumbencia no era militar. Esta sociedad se constituyó en la Institution of Civil Engineering en 1828, iniciando con ello una especialización dentro de la ingeniería.

En 1795, Napoleón autorizó el establecimiento de la école Poly-technique, que fue la primera de este tipo de escuelas que aparecieron en Europa durante el siglo XIX. Otras siguieron, tales como el Eidgenossisches Polytechnicum en Zurich en 1855, las escuelas politécnicas en Delft en 1864, y otras en Chemnitz, Turín y Karlsruhe. En 1865 se fundó el Massachusetts Institute of Technology, el primero de su tipo en los Estados Unidos.

Durante el periodo medieval, las principales fuentes de energía eran el agua, viento y animales. La cola de abanico se inventó hasta el siglo XVIII. Mediante engranajes mantenía orientadas las palas principales de los molinos de viento siendo uno de los primeros dispositivos autorregulados conocidos de la historia de la ingeniería.

Thomas Savery tuvo el gran mérito de idear la máquina de vapor, aunque otros anteriores a él aportaron ciertos adelantos menores en ese campo. En 1698 recibió una patente por un dispositivo operado por vapor para drenar minas; lo anunció en un libro que escribió más tarde, y que intituló Tire Mines Friend. En 1712, Thomas Newcomen mejoró mucho la máquina de vapor, la que también se usaba para bombear agua de una mina. Estas primeras máquinas eran muy deficientes, aunque representaban el desarrollo inicial de la energía a partir de máquinas térmicas. Es difícil imaginar el punto en que estaría nuestra civilización en la actualidad sin esas máquinas.

Antes de la máquina de vapor hubo toda una serie de adelantos científicos en el siglo XVII. Robert Boyle estudió la elasticidad del aire y descubrió la ley que relaciona la temperatura, presión y volumen, que hoy día lleva su nombre. Robert Hooke experimentó con la elasticidad de los metales y descubrió la ley de la elasticidad que también lleva su nombre. Christian Huygens determinó las

relaciones de la fuerza centrípeta y Sir Isaac Newton estableció las tres leyes básicas del movimiento.

Siguiendo a Newcomen, James Watt hizo tales mejoras significativas a la máquina de vapor, que con frecuencia se le atribuye parcialmente la invención inicial, junto con Savery y Newcomen. Durante un experimento en 1782, encontró que un “caballo de cervecería” desarrollaba 33 000 pies libra (unos 44 700 joules) por minuto, iguales a 1 caballo de fuerza. A la fecha todavía se usa esta equivalencia.

En 1804, Richard Trevithick fue el primero en lograr que una locomotora de vapor corriera sobre rieles. Más tarde demostró que las ruedas lisas podían correr sobre rieles lisos si las pendientes no eran demasiado excesivas. Una de las locomotoras de Trevithick se exhibió en una vía circular en Londres en 1808, pero descarriló y volcó. Se habían pagado tan pocos chelines por verla, que no se volvió a colocar sobre la vía.

George Stephenson, después de ser empleado como vaquero, sirvió como fogonero de una máquina de vapor y luego como cuidador de una máquina de bomba. A los treinta y dos años, construyó su primera locomotora de vapor, y luego abogó insistentemente por la enmienda a un acta, aprobada en 1821, para que se empleara la locomoción a vapor en vez de caballos en un ferrocarril que correría desde Stockton hasta la mina de carbón de Willow Park. Utilizó el riel de 1.42 m que se había usado anteriormente para vagones tirados por caballos. Todavía, este calibre de vía es el de uso más común en todo el mundo.

Como sabemos, después del desarrollo de los sistemas ferroviarios en Europa y América, los adelantos ingeniería se sucedieron a una tasa cada vez más creciente. La primera mitad del siglo xx produjo un número casi increíble de avances en ingeniería, al grado de que queda poca duda sobre que las dos guerras mundiales fueron catalizadores de gran parte de ese progreso.

La invención de los automóviles y aeroplanos en los Estados Unidos fueron factores significativos en el desarrollo ingenieril del siglo XX. Los inventos de Tomás Edison, que iniciaron la industria de la energía, y el invento de Lee De Forest de la "válvula electrónica" (tubo al vacío), que dieron considerable ímpetu a la industria de las comunicaciones también fueron acontecimientos muy significativos.

Hasta 1880, la ingeniería fue civil o militar, mientras que hasta esa fecha había sido ambas cosas simultáneamente. En 1880 se fundó la American Society of Mechanical Engineers, seguida de la American Society of Electrical Engineers en 1884 y el American Institute of Chemical Engineers en 1908. El American Institute of Industrial Engineers se fundó en 1948 y fue el último campo importante de la ingeniería en organizarse.