

INGENIEROS Y TORRES DE MARFIL

ENGINEERS AND IVORY TOWERS



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

Copyright © by McGraw Hill Book Co. Inc,
New York, 1952 (English Translation)

Copyright © 1971, (edición en idioma español) McGRAW
HILL DE MEXICO, S. A. DE C.V. Atlacomulco, 499-501.
Naucalpan de Juárez, Edo. de México

Copyright © 1997, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta
publicación puede ser reproducida o distribuida de
ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en
base de datos o sistema de recuperación, sin el previo
permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be
reproduced or distributed in any form or by any means, or
stored in a data base or retrieval system, without the prior
written permission of the publisher.

ISBN: EXENTO

Depósito Legal: M-972-1998

INFOPRINT, S.A.



Hardy Cross
1885-1959

Esta edición, fuera de comercio, de "INGENIEROS Y TORRES DE MARFIL", consta de 1.200 ejemplares numerados y ha sido realizada por el INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIONES (INTEMAC) en la Navidad de 1997.

This edition of "ENGINEERS AND IVORY TOWERS" which is not for sale, consists of 1.200 numbered copies, and was published by the TECHNICAL INSTITUTE OF MATERIALS AND CONSTRUCTIONS (INTEMAC) at Christmas 1997.

Ejemplar n.º

PRÓLOGO

*Los edificios espléndidos y los costosos laboratorios nunca
podrán hacer una gran universidad;
los grandes profesores sí.*

H. Cross

Hardy Cross es una figura excepcional dentro de la Ingeniería Civil de todos los tiempos y muy particular del siglo XX. Algunas de sus aportaciones a la teoría y a la práctica del Cálculo de Estructuras han alcanzado una difusión que sólo puede compararse a la de los trabajos de Navier, Ritter, Coulomb o Mohr.

Nace en Nansemon (Virginia), el 10 de febrero de 1885, y en sus primeros estudios recibe una sólida formación no sólo en física y matemáticas, sino muy especialmente en filosofía y literatura, lo cual marcaría definitivamente su trayectoria humanista a lo largo de su vida y en particular de su actitud profesional.

Alternó a lo largo de su carrera el ejercicio profesional y la enseñanza de la Ingeniería Civil. Sus convicciones sobre el tema de la enseñanza eran claras y firmes y en el libro que sigue las expone con vigor:

"Quien va a ejercer como profesor de ingeniería necesita haber sido entrenado fundamentalmente para ser un ingeniero y las conexiones con la profesión, fuera de las torres de marfil de la enseñanza, son absolutamente esenciales".

Fue profesor en varias universidades y en particular, en los años más fecundos de su carrera, de 1921 a 1937, en la Universidad de Illinois. A partir de esa fecha fue profesor en la Universidad de Yale, falleciendo en 1957.

Sus aportaciones a la Ingeniería Civil han sido muchas, pero de ellas tres son, a mi juicio, especialmente destacables:

- El universalmente conocido como "Método de Cross" para el cálculo de esfuerzos de estructuras hiperestáticas. (Proceedings de la American Society of Civil Engineers. Vol. 56, No. 5 (May, 1930) and Vol. 58, No. 5 (May, 1932)).
- El método para el cálculo de redes de distribución de agua. (University of Illinois. Engineering Experiment Station Bulletin 286. 1936).
- "La analogía de la columna", probablemente uno de los más bellos desarrollos del cálculo estructural. (University of Illinois, Engineering Experimental Station Bulletin. 215, 1930).

Aparte su producción intelectual, fue un maestro de calidad difícil de igualar, según todos los que le conocieron. Uno de sus discípulos más queridos -y más brillantes- fue Newmark, que recordaba hace años como Cross, exageraba en clase su sordera -que era notoria- para obligar a los alumnos a contestar a sus preguntas en voz más alta de la normal, y en particular contaba como fue su examen final con Cross. Éste le hizo una pregunta a la que Newmark fue totalmente incapaz de contestar. Al cabo de un silencio prolongado, Newmark le dijo: "Lo siento. No lo sé". Cross, actor inigualable como todos los grandes profesores, le dijo: "Esa es la contestación correcta. Y no se preocupe, porque nadie sabe más que usted sobre esta cuestión".

El libro que sigue "Ingenieros y Torres de Marfil" es, en gran medida, la exposición de los puntos de vista de Cross sobre el ejercicio de la ingeniería civil y de su enseñanza. Personalmente lo leí por primera vez en la edición de McGraw-Hill de Méjico, de 1971. El Profesor Mete Sozen, de la Universidad de Purdue, gran figura de la Ingeniería y buen conocedor de nuestra colección de Navidad, me animaba en una carta en 1995 a incluirlo en nuestra colección. El Prof. Sozen no sabía que yo conocía el libro, y me animaba a editarlo diciéndome que ". es un libro que lo podía haber escrito Torroja". Hoy hacemos caso a su sugerencia con especial satisfacción, porque, por razones que no conocemos, la obra no fue reeditada y es hoy muy difícil de encontrar.

La versión inglesa corresponde a la edición norteamericana de McGraw-Hill de 1952 y la española a la de McGraw-Hill de Méjico, en 1971. Agradecemos a ambas Editoriales su permiso para esta edición.

Hemos mantenido el prólogo de la edición inglesa de Robert C. Goodpasture, compilador de los diferentes textos de Cross. La traducción española, realmente excelente, de la edición de 1971, fue realizada por el Ingeniero mejicano Fernando Fossas, cuyo prólogo hemos querido respetar en la edición en español.

Me gustaría agradecer muy especialmente a Dña. Marisa Marco, directora del Servicio de Documentación y de la Biblioteca del Colegio Nacional de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, su valiosa colaboración en la localización de la edición inglesa de la obra.

He de agradecer, por último al Departamento de Documentación de INTEMAC y especialmente a su Jefe, Ana M. Calavera, su trabajo de coordinación y edición, que ha sido especialmente complejo en este caso.

Madrid, Navidad de 1997

José Calavera

PROLOGUE

*Splendid buildings and costly laboratories will
never make a great university; great
professors will.*

H. Cross

Hardy Cross is one of the exceptional figures in Civil Engineering of all times and in particular of the Twentieth Century. Some of his contributions to the theory and practice of structural engineering have reached a renown that can only be compared to works by authors such as Coulomb, Navier, Ritter or Mohr.

Born in Nansemond County, Virginia, U.S.A., on 10 February 1885, he acquired a sound education not only in physics and mathematics in his early studies, but especially in literature and philosophy; that part of his education left a humanistic mark on him that would distinguish him throughout his life and in particular in his professional career.

All his life he alternated his professional practice with teaching Civil Engineering. He had clear and very firm convictions about education, which he sets forth quite powerfully in this book:

"Whoever intends to teach engineering needs to have been trained primarily as an engineer, and connections with the profession, quite outside education's ivory towers, are absolutely essential."

He sat as professor in several universities and in particular, in the most productive years of his career, from 1921 to 1937, he taught at the University of Illinois. He made any number of contributions to Civil Engineering, but three of his achievements are, in my mind, particularly outstanding:

- The method universally known as the "Cross Method" for calculating moments in hyperstatic structures. (Proceedings. American Society of Civil Engineers. Vol. 56, No. 5 (May 1930) and Vol. 58, No. 5 (May 1932)).
- A method for engineering water pipe networks. (University of Illinois, Engineering Experiment Station Bulletin 286, 1936).
- "The analogy of the column", probably one of the most elegantly developed analyses in structural engineering. (University of Illinois, Engineering Experiment Station Bulletin 215, 1930).

Aside from his intellectual production, according to all who knew him, his mastery as a teacher was beyond compare. One of his most beloved - and most brilliant - disciples was Newmark, who remembered years ago how Cross would overplay his deafness -which was legendary - in class, to force his students to answer his questions a bit louder than normal; in particular Newmark was fond of recalling his final exam with Cross: asked a question that he was absolutely unable to answer, Newmark, after a long silence, finally said, "I'm sorry. I don't know." Cross, like all great teachers a talented actor, replied, "That's the right answer. And don't worry, because no one knows any more than you do about that question."

The ok hereunder, "Engineers and Ivory Towers" is largely a discussion of Cross' points of view about civil engineering and how to teach it. Personally, I read the 1971 McGraw-Hill edition published in Mexico City. Professor Mete Sozen of the University of Purdue, an outstanding figure in Engineering who is well acquainted with our Christmas series, encouraged me in a letter in 1995 to include this book in the collection. Prof. Sozen, who was unaware that I was familiar with the book, urged me to publish it saying that "...it is a book that Torroja could have written." Heeding his suggestion today is a source of particular satisfaction because, for some unknown reason, no further editions of the book were ever published and today it is very difficult to find.

The English text hereunder coincides with the version published by McGraw-Hill in 1952 and the Spanish text the McGraw-Hill with version released in Mexico City in 1971. We wish to thank both publishers for their permission for this edition.

We have decided to include the foreword to the original English edition authored by Robert C. Goodpasture, who compiled various of Cross' texts. The excellent Spanish translation for the 1971 edition was done by the Mexican engineer Fernando Fossas.

Y wish to thank specially Ms. Marisa Marco, Head of the Documentation Service and the Library of the Colegio Nacional de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos for the work that she has gone into the searching of the english edition of the book.

I wish to thank too INTEMAC's Documentation Department, and in particular Ana M. Calavera, department head, for the work that has gone into co-ordinating and editing this version, which proved to be particularly complex.

Christmas, 1997

José Calavera

INGENIEROS Y TORRES DE MARFIL

PRÓLOGO DEL EDITOR

Su oficina es alargada, y está tenuemente alumbrada; dos de sus muros están cubiertos por libros e informes que llegan hasta el techo. En el fondo del cuarto hay un ventanal, cubierto en partes por hiedra que cuelga, pero que permite entrar suficiente luz para ver su silueta a contraluz sentado en su escritorio. Cientos de personas que han trabajado relacionadas en alguna forma con Hardy Cross conservan su recuerdo familiar mirando pensativamente por la ventana, con el espeso humo de cigarrillos flotando con lentitud sobre su cabeza.

Qué personalidad es la de este profesor de ingeniería en cuyos libreros están colocados, uno junto al otro, La Teoría de la Elasticidad, Abraham Lincoln en Illinois, La Sagrada Biblia y Alicia en el País de las Maravillas. ¿Por qué tantos hombres han viajado desde las Américas, de Europa y de Asia para poder asistir a sus clases? ¿Cómo es que sus opiniones sobre ingeniería y sobre educación han llegado a ser reconocidas en forma universal?

Cuando Hardy Cross se graduó, a la edad de diecisiete años, fue el alumno más distinguido de una pequeña escuela preparatoria con una larga tradición de cultura liberal: griego y latín, los autores clásicos del idioma inglés, matemáticas y ciencias, filosofía e historia de las religiones. Después de breves incursiones por la literatura y la química, estudió ingeniería civil en dos de los grandes colegios, en uno en la división profesional y en el otro como alumno graduado.

Sus relaciones íntimas con la enseñanza de la ingeniería continuaron desarrollándose en los años siguientes, habiendo sido profesor en tres universidades diferentes, su último nombramiento fue el de Profesor "Strathcona" de Ingeniería Civil en la Universidad de Yale. Así, adquirió gran familiaridad con la educación en seis centros distintos de enseñanza superior. Además, dado su contacto personal con alumnos graduados durante muchos años, ha tenido la oportunidad de conocer y de tratar a personas procedentes de otras instituciones de enseñanza. Durante todo ese tiempo, sus conocimientos fueron respaldados por años de experiencia en la planificación, el proyecto y la construcción de obras de ingeniería.

El mundo ingenieril ha aclamado desde hace tiempo a Hardy Cross por sus logros profesionales, y le ha conferido honores de instituciones profesionales y

académicas. La Sociedad Americana para la Educación en Ingeniería señala que recibió, en 1944, su Medalla Lamme. "por su desarrollo de métodos revolucionarios en el análisis de estructuras; por su aplicación de estos procedimientos a la educación de los ingenieros civiles; por su insistencia sobre las grandes responsabilidades de los profesores individuales, y por su desprecio sobre lo superficial de la enseñanza..."

La filosofía contenida en este libro fue desarrollada por su autor en los últimos treinta años, y ha aparecido en publicaciones o fuera de ellas. El editor, cuando fue estudiante en la Universidad de Yale, se echó a cuestras la organización de la numerosa colección de trabajos del Profesor Cross.

El material original es de naturaleza técnica y no-técnica, disponible en artículos de revistas, ponencias en sociedades, discursos transcritos, apuntes de clase y conferencias a alumnos graduados. Se escribió en un principio, para muchos grupos distintos de condiciones divergentes, lo que requirió su organización, edición y ordenamiento. El libro contiene la sexta parte del material acumulado. La fraseología de varios artículos ha sido un tanto modificada para lograr uniformidad de estilo; sin embargo, en ciertos casos, el lector podrá notar que el estilo original se ha conservado con toda intención, y que, de haberlos modificado, habría cambiado sensiblemente su significado.

Muchas personas mostraron interés, y me ofrecieron algo más que su estímulo, a medida que progresaba el trabajo sobre este libro; al publicarlo se hizo realidad el valor de su ayuda. El Dr. William S. Livingston, Profesor Auxiliar en el Departamento Administrativo de la Universidad de Texas, merece el reconocimiento especial por sus oportunas sugerencias sobre el manuscrito, así como el Profesor Frederic T. Mavis, del Instituto Tecnológico Carnegie, cuyo auxilio contribuyó a realizar la publicación de este libro.

Robert C. Goodpasture

Nueva York, enero de 1952.

PROLOGO DEL TRADUCTOR

Este libro está dedicado a los ingenieros; a los graduados a aquellos jóvenes que, con inquietudes constructivas y con ansia de servir, desean serlo; a las personas que, con dedicación, perseverancia y sacrificio, enseñan a las nuevas generaciones a iniciarse en la carrera; y a los que, en el ocaso de la vida, pueden analizar en forma retrospectiva sus éxitos y sus fracasos, sus aciertos y sus errores, y su contribución, grande o pequeña, al progreso humano por medio de la construcción. Los ejemplos están tomados, en general, del campo de la ingeniería civil, pero los conceptos básicos son aplicables a todas las ramas de la ingeniería. Más aún, no sólo los ingenieros se beneficiarán de su lectura; contiene mensajes que son comunes a todos los profesionistas, a los maestros y, de manera amplia, a aquellas personas que, por su capacidad mental, su instrucción, erudición o sabiduría, desempeñan cargos en que deben dirigir, orientar y encauzar a sus semejantes.

Hardy Cross (1885-1959), tan conocido en el mundo técnico por haber desarrollado en forma práctica y aplicable los métodos iterativos de análisis estructural, el procedimiento de analogía de la columna, sistemas de cálculo de flujo en redes de agua potable, y otros métodos de investigación de conjuntos y estructuras menos difundidos que los anteriores, fue un gran educador, un planificador, un constructor y un filósofo. Pero en este mundo de especialización siempre creciente, su enseñanza, que recalca la importancia de generalizar los conocimientos y la investigación, se ha visto ahogada en mares sin fondo de tecnología y de tecnificación. El hombre es cada vez menos íntegro, menos capaz de comprender los problemas en su forma amplia y completa; a medida que se estrecha más el campo específico en que ejerce, su visión se angosta y limita.

El intelectual del siglo XX, y en particular el técnico contemporáneo, está perdiendo gradualmente su capacidad de contemplación; no se interesa por la naturaleza, no la admira, no hace esfuerzo por comprenderla, y se pierde las lecciones que a diario, a cada instante, nos da si sabemos tomarlas. Enseñanzas no sólo sobre la belleza suprema de la aurora y el crepúsculo, las flores, pájaros, insectos o paisajes, sino todo género de temas, técnicos y no técnicos. Quien contempla un árbol, y medita cómo es capaz de resistir las fuerzas del viento, la erosión y la perenne acción de la gravedad,

tiene a su alcance doctrinas sin límite sobre diseño y comportamiento estructural; ese árbol, tan débil y flexible en sus hojas, aumenta en resistencia a medida que sus partes se acercan al tronco, se arraiga en la tierra, y al mismo tiempo que se extiende en ella para nutrirse, obtiene la estabilidad adecuada. Las universidades necesitan orientar a sus estudiantes, a sus estudiantes de ingeniería, para que busquen más en la naturaleza y menos en las fórmulas, más en los fenómenos y menos en el salón de clase y laboratorio, la sabiduría que ha caracterizado a aquellos pocos ingenieros que han descollado en forma real y efectiva como proyectistas, planificadores, constructores, innovadores o visionarios.

Es hora de hacer un alto en el camino para reflexionar sobre qué tan bien orientado está nuestro sendero. No porque lo recorramos a gran velocidad vamos a donde queremos; quizá estemos caminando en sentido contrario; los pensamientos del profesor Cross pueden ayudarnos en este análisis.

El Sr. Goodpasture, editor y recopilador del libro original, afirma en su prólogo, escrito hace ya casi veinte años, que la filosofía contenida fue expuesta por su autor en los treinta años anteriores a su publicación. Resulta asombroso observar que todo el libro tiene tal actualidad que parece haber sido escrito hoy. Tal vez éste sea uno de sus mayores méritos: ser como otros libros de gran valer, casi inmunes al tiempo, al vaivén de la moda y al capricho de los dictadores y caudillos. Por esto he querido difundir la obra menos conocida de este maestro y me he propuesto hacerla asequible al mundo de habla hispana.

Cuando estudiaba el tercer año de la carrera de ingeniero civil tuve mi primer encuentro con la obra de Cross. En alguna ocasión varios días antes, al visitar la oficina de un renombrado ingeniero mexicano, vi en el estante el libro "Continuous Frames of Reinforced Concrete", de Cross y Morgan, al mismo tiempo que oía al profesionista hablar de él alabándolo. Ni tardo ni perezoso, y aunque aún no cursaba materias para las que pudiera requerir el libro, pero queriéndome anticipar a mis compañeros de clase, dije a mi padre que lo necesitaba para mi preparación y él me lo consiguió.

Inicié el estudio del libro y, vergüenza me diera decirlo, pronto me decepcionó. Acostumbrado a creer en la "ciencia de ingeniería" y habiendo cursado sólo materias que hoy se llaman pomposamente "básicas y propedéuticas", me repugnó que los primeros párrafos comenzaran por preguntar, con grandes interrogaciones, qué cosa es I y qué cosa es E. Lo que en realidad sucedió fue que no tenía yo capacidad para comprenderlo, y mis estudios, hasta entonces, eran sólo teóricos y superficiales.

Todavía cuando unos dos años después estudié el "Método de Cross" en otro libro, más didáctico quizá, pero mucho menos profundo, me preguntaba cómo un autor podía descubrir un procedimiento tan práctico e ingenioso y era, en cambio, tan oscuro para explicarlo.

Pero la vida me fue llevando poco a poco por el verdadero camino de la ingeniería y, al ir madurando en la profesión, comprendí, al cabo de los años, que no era ciencia, sino arte lo que había estudiado. Fue entonces cuando, por un problema de proyecto que me inquietaba, volví a estudiar aquel libro de Cross; ¡qué distinta mi reacción esta vez! No sólo me llamó la atención y me gustó, sino que de hecho me entusiasmó. Cuánta sabiduría se encerraba en sus páginas, con qué profundidad y conocimiento trataba los temas, cómo se relacionaban con maestría los problema

prácticos del comportamiento de los materiales con la forma teórica de su análisis estructural, que compleja y distinta resultaba la realidad respecto a la versión simplificada y estereotipada con que la acostumbran ver otros autores.

Poco tiempo después, leyendo una revista técnica, tuve conocimiento de la publicación de un libro intitulado "Engineers and Ivory Towers" (Los Ingenieros y las Torres de Marfil) escrito nada menos que por Hardy Cross. Su título me inspiró una viva curiosidad, y al ver el nombre del autor al que había aprendido a estimar, no dudé en ordenarlo a mi agente de libros. Si ya antes admiraba a este gran maestro, después de leer dicho libro le he tenido positivo respeto y veneración. Desde entonces he leído una y otra vez mi ejemplar, de tal forma que están gastadas las orillas de sus páginas, y sus pastas despintadas casi a punto de separarse. A mis alumnos les he recomendado leerlo y meditarlo; es mas, creo que debiera hacerse antes de iniciar cualquiera de las carreras de ingeniería, durante su estudio, y varias veces después de haberla terminado.

Para mi sorpresa, el libro no alcanzó mucha popularidad. Fueron pocos los alumnos que lo leyeron, y al comentar su contenido con compañeros de profesión, quizá demasiado jóvenes y sin experiencia, se escandalizaron al mencionárseles temas como "el arte de la ingeniería", "la exagerada simplificación con que se acostumbraba visualizar los problemas reales para tratarlos en forma analítica", y mucho más cuando me refería a las relaciones humanísticas de la ingeniería, o cuando me atreví a decir que la mayor parte de los problemas de ingeniería son del tipo de decisiones imposibles de calcular.

Por fortuna, en los últimos años ha habido una reacción contra la deshumanización de la ingeniería; ya son muchas las universidades que incluyen en sus programas de carreras de ingeniería materias humanísticas, y ya se empieza a reconocer que un intercambio de profesores y alumnos entre las facultades que tradicionalmente enseñan humanidades con las de ingeniería es tan sano como provechoso. Si bien es cierto que todavía subsisten en la profesión algunos engreídos que, buscando nombres ostentosos a sus conocimientos, proclaman a los cuatro vientos que sus especialidades son ciencias exactas, que sólo un pequeño grupo de escogidos puede dominar y que son esenciales a la técnica actual, los verdaderos intelectuales ponen en tela de juicio tales aseveraciones.

La ingeniería debe marchar hombro con hombro y por sendas paralelas con la arquitectura; no con el falso arte que, así llamado, decoró el puente de la Torre de Londres con mamposterías feudales anacrónicas, las que forran los elementos estructurales y revelan con estridencia lo impropio de la solución, sino con la verdadera arquitectura que aprecia en las obras de ingeniería funciones de servicio, juegos de masas, de luces y armonía con el paisaje. Hermanadas estas artes, pueden producir obras útiles, bellas y siempre jóvenes como los acueductos de Segovia en España, de Zempoala, Querétaro y Los Remedios de México, el puente Severin de Colonia y el Severn de Gales, la presa Grand Coulee del Río Columbia, así como tantas obras que, bien planeadas y construidas, son monumentos vivos a la verdadera grandeza humana.

Los maestros, más que nadie, deben dar a conocer con humildad lo poco exactas que son las soluciones a la mayor parte de los problemas de ingeniería, los riesgos que se involucran y lo complejo de esos problemas. Conviene que todo hombre llegue a conocer la nobleza de esta profesión, que si bien ha sido admirada al contemplar los

adelantos de la técnica, la grandiosidad de las obras mayores y el provecho práctico de las aplicaciones, también ha sido menospreciada y tratada con indiferencia.

Cuando el público en general aquilata su valor, cuando respete y dé al ingeniero la honra que merece, ese mismo público será el primer beneficiado. Para ello, los ingenieros debemos respetar nuestro credo y reconocer que sólo el trabajo responsable y constante nos llevará a las mejores soluciones de nuestros problemas; que el genio por sí sólo, si no es dedicado, activo y paciente, nada produce. Y sobre todo, necesitamos comprender la filosofía del constructor, magistralmente interpretada por Ruskin cuando, en su conocida idea, afirma:

"Toda acción humana resulta honrada, agraciada y verdaderamente magnífica cuando se hace considerando las cosas que están por venir... En consecuencia, cuando construyamos, hagámoslo pensando que será para siempre. No edifiquemos para el provecho y el uso actual solamente. Hagamos tales obras que nuestros descendientes nos lo agradezcan y consideremos, a medida que ponemos piedra sobre piedra, que día llegará en que esas piedras serán sagradas porque nuestras manos las tocaron, y que la posteridad pueda decir con orgullo, al ver nuestra labor y la esencia que en ella forjamos: "Mirad aquí el legado de los que nos precedieron."

Al preparar esta publicación, como en todas las traducciones, ha sido necesario interpretar ideas en vez de transferir palabras de un idioma a otro, es decir, hacer una paráfrasis más bien que una traducción estricta. Sin embargo, en algunos casos se ha considerado necesario conservar las características de la redacción original y, por tanto, la construcción gramatical no ha seguido del todo la sintaxis, las reglas, costumbres y modismos de nuestro idioma; pese a lo cual, nos ha parecido preferible respetar el sentido peculiar de la expresión que cumplir rigurosamente con las normas de la gramática.

Al mismo tiempo, he querido en lo posible adaptar la obra a nuestro medio y a la vez ampliar el contenido, por lo que me he permitido citar a otros autores, hacer aclaraciones e incluir comentarios, en particular sobre aquellos puntos en que mi relativa experiencia personal me ha dado conocimientos que considero dignos de transmitir. Lo fascinante del tema, el abandono en que los ingenieros lo hemos tenido durante tanto tiempo, el entusiasmo y aún la euforia que estas discusiones provocan en mi ánimo, han hecho que me explaye en los comentarios más de lo que era mi intención, en tal forma que, usando la frase popular, la posdata resultó más larga que la carta. Por tanto, consideré conveniente que estos comentarios se presenten como notas al pie de la hoja, para que, si el lector lo desea, pueda seguir de corrido el texto original del autor.

El traductor agradece con sinceridad la valiosa cooperación de las personas que gentilmente leyeron el manuscrito y que hicieron recomendaciones y sugerencias que han quedado incorporadas en el libro. En particular, fueron importantes las observaciones del Dr. Ing. Emilio Rosenblueth, del Ing. Vicente Guerrero y Gama así como del Arq. Miguel Cervantes A.

La casa editora colaboró meritoriamente en la publicación, tanto por lo que respecta a sus características como a las facilidades para que el libro quede al alcance del mayor número posible de lectores, habiéndose convencido de la utilidad y del beneficio que obtendrán muchas personas con su divulgación.

Por último, creo prudente expresar mi firme esperanza de que, en un futuro próximo, el mundo de la ingeniería tendrá conciencia cada vez más precisa sobre su misión, el carácter general e íntegro de su labor, y el convencimiento de que la especialización no debe excluir, sino complementar, la naturaleza universal del ingeniero; confío que este libro en alguna forma contribuya a ello.

Fernando Fossas Requena

México, febrero de 1971

"Ingeniería es el arte de planificar el aprovechamiento de la tierra, el aire, y el uso y control del agua; así como de proyectar, construir y operar los sistemas y las máquinas necesarias para llevar el plan a su término."

CIMIENTOS FIRMES PARA LAS TORRES

INGENIERÍA, CIENCIA Y HUMANIDADES

Algunas personas hacen de las definiciones una idolatría, pero definir los conceptos no necesariamente nos conduce a ideas precisas. La ingeniería es el arte que trata sobre la aplicación de los materiales y de las fuerzas materiales. El uso de la ciencia es un medio para ese fin. El objeto de la ingeniería es dar servicio a la humanidad.

La ciencia pura analiza problemas que involucran menor número de variables que las relacionadas con la ingeniería y, en general, abarca rangos de variación más estrechos que los que se encuentran en los problemas de esta última; por tanto, es del todo impropio decir que un hombre con amplios conocimientos de física y química teóricas está capacitado como es debido para ser un buen ingeniero. La ciencia, como tal, no tiene nada que ver ni con el aprovechamiento ni con la conveniencia. La ciencia investiga las realidades acerca de los materiales y de los hechos. Muchas autoridades en la materia expresan la opinión que los grandes hombres de ciencia no siguen los mismos procedimientos cuando hacen sus descubrimientos que los aplicados posteriormente para demostrar la veracidad de los mismos. Quiere decir que cuando la ciencia es creativa se distingue con claridad en ella un elemento de arte, en la misma forma que en el arte casi siempre hay algo de ciencia o, por lo menos, algún sistema. En el fondo, en las mentes creadoras altamente desarrolladas, ambas se confunden, pero en los escritos convencionales y en los asuntos ordinarios, las dos pueden más o menos distinguirse. El

procedimiento sistematizado y formalista que se conoce como ciencia, y que se considera que de una manera inevitable nos conduce a resultados incuestionables, contrasta con el instinto creador, flexible e independiente que es productor del arte. Otra diferencia es que la ciencia busca la verdad, y que debe comprobarse a sí misma sólo contra la verdad. El arte concierne a su propio objetivo, ya sea el de belleza o el de aprovechamiento. Usa todos los medios convenientes para alcanzar sus fines.

El arte es creador, lleno de vida, y puede adaptarse a nuevas ideas. La ciencia tiende a convertirse más fijamente en sus procedimientos, en sus normas de razonamiento y en sus métodos de afirmaciones; con terminología elaborada, aspira a establecer y a perfeccionar una metodología. Sin embargo, éste es el concepto popular de la ciencia y no aquel que se presenta en la mente de los grandes científicos creadores. Siempre ha sido importante que el pueblo comprenda con claridad la naturaleza de los problemas, el tipo de ellos y los procedimientos usados por los ingenieros, quienes aprovechan cualquier hecho o teoría de la ciencia sin importar cuál sea su estado de adelanto, con tal de que contribuya a su arte. Si el conocimiento de la física, la química, la meteorología o las matemáticas es de utilidad para lograr los fines fijados, los ingenieros se tomarán las molestias necesarias con objeto de dominar esas ciencias para satisfacer sus requisitos.¹

"Una prueba vale más que una docena de opiniones expertas"; por otra parte alguien ha dicho: "Ninguna prueba es digna de credulidad a menos que esté respaldada por una teoría adecuada." Los ingenieros pueden ver y sopesar la verdad sobre estos puntos de vista en conflicto, excepto en el caso de que adopten una visión distorsionada y estrecha del conocimiento; sin embargo, no son básicamente científicos. Si deben clasificarse, se consideran más humanistas que hombres de ciencia.

Aquellos que dedican su vida a la ingeniería es probable que tomen contacto con casi todas las fases de la actividad humana. No sólo necesitan tomar decisiones importantes sobre los lineamientos mecánicos de las estructuras y las máquinas, sino además, se ven confrontados con problemas de reacciones humanas ante el universo, y constantemente involucrados en problemas legales, económicos y sociológicos. Es una verdadera fortuna que los ingenieros casi nunca se molesten en enredar estos problemas de relaciones humanas con designaciones técnicas y académicas.

Los ingenieros se guían por los datos y resultados de los hombres de ciencia, pero sus respuestas no están controladas sólo por la realidad física. Tratan de aprovechar los hechos, de manejarlos si usted quiere, de ensamblarlos para formar nuevas relaciones.

¹ Es decir, la física, la química, la meteorología y tantas otras ciencias son herramientas de la ingeniería, pero no son fines de ella. El profano, no obstante, como ve que los estudiantes de ingeniería comienzan por aprender estas materias y que después el profesionista las aplica a diario, confunde los útiles con el objetivo, la herramienta con el destino, los medios con el producto final; en esto radica la incomprensión de nuestra profesión por parte de quienes no han profundizado en ella.

No ha habido un punto de vista más falso que aquél que visualiza a los ingenieros llegando inevitablemente a una solución única de sus problemas por medio de las matemáticas o de procedimientos de laboratorio; sus soluciones muy raras veces son únicas. La ingeniería no es ciencia matemática aunque sí aprovecha muchos de los procedimientos matemáticos.² Casi en todas partes y en todos los tiempos los ingenieros han tenido una característica que los identifica: quieren anotar algunos datos, hacer una gráfica, dibujar un plano. Los ingenieros toman muchos datos, pero lo hacen como una guía para sus razonamientos, no como una respuesta a sus problemas. Ellos desean obtener pruebas, conocer las proporciones del problema; quieren alguna forma de plano respecto hacia dónde van y qué es lo que probablemente suceda cuando lleguen allí. El trabajo del ingeniero es sintético por naturaleza aun cuando, con frecuencia, ya no se le trata así, y es imprescindible reconocer de nuevo este sistema sintético. Consiste en agrupar fragmentos de las relaciones humanas, de las ciencias, las artes y oficios para producir nuevos montajes. Hacer solamente un análisis de todos los elementos, o anotar la totalidad de los datos del problema, no quiere decir que se ha obtenido su solución. Los datos deben agruparse, ligarse para formar un nuevo montaje que involucre una gran cantidad de imaginación, colocarse con el debido respeto hacia la importancia de los elementos que intervengan y de la probabilidad de ocurrencia simultánea; todo lo cual necesita hacerse con cierta visión intuitiva de qué es lo que se quiere y se desea obtener. Entonces, y sólo hasta entonces, se llegará a una solución de un problema de ingeniería.

Siempre han habido muchas formas de construir, y varias maneras de salvar los obstáculos. Algunas son mejores que otras bajo el punto de vista de la economía de los materiales, o de la mano de obra, o del tiempo requerido; algunas se prefieren porque el producto es el más útil, y otras porque el resultado se apega de la mejor manera a las demandas de la conveniencia. A menudo se justifica la construcción de un sistema de transporte, como un ferrocarril metropolitano, no porque el público debe tenerlo, sino porque lo pide. No es indispensable que los ingenieros pregunten si la gente debe tenerlo; si la demanda es real, a ellos les corresponde resolver el problema, así como valorizar los sacrificios necesarios.

² A este respecto es prudente recordar que, en asuntos de ingeniería, un sano juicio y una experiencia razonable son, casi siempre, preferibles a los sistemas que dependen, de manera fundamental, de métodos mecánicos o matemáticos, o dicho en distinta forma, en toda investigación de ingeniería, se llega a un punto en el cual el buen juicio debe ser el factor determinante para adoptar decisiones. Es muy común que los novatos en estas lides quieran apoyarse, en forma exclusiva, en procedimientos que se basan sólo en sistemas matemáticos, ya sean analíticos, estadísticos, combinatorios, o de cualquier índole, entre otros motivos, por la uniformidad de resultados, y porque las conclusiones son las mismas no importa quién haga el trabajo; pero un método no es bueno porque conduce a resultados uniformes si esos resultados son uniformemente erróneos, y los procedimientos matemáticos, como herramientas, no pueden sustituir al juicio y a la experiencia en la adopción de decisiones; es preciso que éstas tomen en cuenta, además de los datos técnicos, factores políticos, psicológicos y sociológicos que son inconmensurables para fines prácticos.

Este aspecto de la ingeniería no es aquél con el cual se ha familiarizado la mayor parte de los profanos; ellos creen que las obras de ingeniería se hacen en forma perfectamente mecánica; que esta disciplina es el resultado de la aplicación inflexible de fórmulas a los fenómenos físicos; tienen la impresión de que en esta especialidad las leyes científicas se conocen con certeza y sin excepciones. Según piensan, estas leyes están contenidas en diagramas, tablas y ecuaciones, y representan hechos sobre los cuales no hay dudas, y de las que se deducen conclusiones con precisión infalible. Quienes han examinado en detalle la manera de pensar en la ingeniería, saben que casi todos los diagramas están revestidos con signos de interrogación, y que, en la mayor parte de las ocasiones, las fórmulas son tan sólo la base para la discusión. Los no científicos creen que la ciencia es infalible y, en especial, si se establece por medio de símbolos matemáticos. No saben que las leyes científicas, de aplicación universal, con frecuencia son ciertas porque los conceptos se definen en forma tal que las hacen verdaderas.

Los profanos ahora extrapolan este concepto de la ciencia y de la ingeniería. Han leído que vivimos en la era de la ciencia y que el bienestar humano ha progresado enormemente gracias a ella; su fantasía se orienta a los automóviles, los aeroplanos, al radio y televisión. El mundo material se está transformando, y lo está haciendo con rapidez. Pero la transformación no debe atribuirse en forma exclusiva a la ciencia pura. Un elemento esencial, quizá el más importante, es la habilidad del ingeniero de correlacionar, más bien que la de investigación pura del científico; estos desarrollos involucran una gran cantidad de juicios, mucha incertidumbre y bastantes ensayos cautos y correcciones de errores. La ciencia, sola, en nada contribuye al bienestar o al malestar de la humanidad.

La gloria de la adaptación de la ciencia a las necesidades humanas pertenece a la ingeniería: de hecho, causa daño la falta de distinción entre ésta y la ciencia. En muchos casos, los ingenieros están tratando de hacer la labor de los hombres de ciencia porque los científicos han fallado en el desempeño de su tarea, y éstos no han cumplido con su cometido, frecuentemente, porque no llegaron a darse cuenta que los primeros la necesitaban. Se precisa de las investigaciones cuidadosas de los físicos sobre la acción de los materiales sujetos a esfuerzos. Es indudable la gran labor realizada por los ingenieros dedicados a la investigación de las propiedades de los materiales, pero algunos de sus problemas debieran turnarse, de ser posible, a los laboratorios de los físicos competentes, porque conviene relevar a aquéllos del estudio de este problema, o por lo menos partes de él, a fin de que puedan dedicar su espíritu creador a otros asuntos.

Los legos, observando que los métodos científicos o los de ingeniería (y con frecuencia no los distinguen entre sí) han alterado apreciablemente el bienestar de la humanidad, se proponen mejorarla ahora por un procedimiento semejante. Este es más o menos el siguiente: coleccionan datos estadísticos mostrando el número de delitos cometidos por unidad de población en varias partes de una ciudad, y el valor gravable de las propiedades por unidad de población. A continuación dibujan un diagrama que tiene como abscisas los valores gravables, y como ordenadas el registro criminal. El resultado es una curva para la que alguien puede aún llegar a escribir su ecuación. Ahora están preparados para trabajar con esta ecuación, quizás a diferenciarla respecto

al valor gravable y a encontrar los máximos y mínimos de criminalidad en relación a ese valor gravable.

Esto es una caricatura, pero el punto es el siguiente: los profanos consideran que habiendo dibujado el diagrama han obtenido una figura que es comparable, por ejemplo, con la curva esfuerzo-deformación de la resistencia del acero, y que el uso y el estudio de dicho dibujo promete resultados tan definidos y tangibles como los que se obtienen en los laboratorios de ingeniería. La mente de los ingenieros es muy escéptica cuando analiza cifras que relacionan la pobreza con los delitos cometidos; ellos reconocen de inmediato que el aumento de la criminalidad no necesariamente es un efecto de la miseria, sino que ambos pueden ser resultados concurrentes de alguna otra variable, de tal forma que eliminando de manera forzosa la pobreza puede no tener consecuencia en el número de delitos cometidos. O bien, es posible que los datos relativos a la incidencia de la criminalidad no sean confiables debido a los métodos para determinar la cantidad de crímenes. Los ingenieros siempre ven con espíritu crítico las cifras estadísticas, y en forma sistemática preguntan si las tendencias de ellas no son inherentes al método de obtención. Los artículos sobre la fatiga³ de los metales son tan numerosos como desconcertantes. Los resultados se ven influidos por la composición del metal, por su tratamiento térmico y por sus antecedentes, lo cual es cierto, desde luego, del espécimen de laboratorio. Cuando se intenta aplicar aun los resultados más definidos al proyecto de un puente de ferrocarril, los ingenieros se encuentran con discusiones que se han prolongado por 50 años o más. Qué raro resulta entonces descubrir afirmaciones dogmáticas sobre la fatiga en seres humanos.

Algunas personas tratan de explicar cómo, en lo futuro, los métodos científicos se aplicarán al estudio y al ajuste de las relaciones humanas. Pensando de esta manera, el aprendiz demasiado optimista puede caer en tres importantes errores. En primer lugar, concebir erróneamente la naturaleza de la ciencia, ignorando la relativa simplicidad de los problemas con que trata el científico puro, comparados con la complejidad que tiene el conjunto de estos problemas en la naturaleza. En segundo lugar, confundir la ciencia con la ingeniería, y atribuirle a la primera los resultados de esta última, que en gran parte son productos de la inventiva y del poder de sintetizar. En tercer lugar, equivocarse en el concepto de cuál es el proceso del pensar y en qué forma se llega a resultados en asuntos de ingeniería y en los científicos. El cree que los ingenieros llegan a la verdad planteando diagramas, en tanto que éstos presentan sus diagramas para que se consideren como pruebas en la estimación de probabilidades. No en balde estos métodos de diagramas, fórmulas y símbolos matemáticos se usan tantas veces para fines egoístas en un mundo obsesionado por concepciones erróneas sobre su empleo.

Grupos de ingenieros autonombrados le están diciendo a todo el mundo lo valioso y exacto que son sus conclusiones. Tomen cualquier término general, úsenlo como adjetivo y prefijo a la palabra ingeniero: ingeniero social, de transporte,

³ Aquí la palabra fatiga debe entenderse como el efecto debido a los esfuerzos repetidos, y no en el sentido de esfuerzo simplemente (carga/ área) con que se ha designado en algunas traducciones.

economista, humanista. Estas personas intentan, a menudo de manera consciente aunque muchas veces no, dar la impresión de que tratan con cantidades mensurables de las cuales se obtienen leyes definidas y útiles para el hombre; con frecuencia llaman a esto innovación. Los verdaderos profesionistas están cansados de estos caudillos, de los hombres que desprecian los detalles.⁴ En general, los ingenieros saben qué intentar hacer.

El Dr. Irving Langmuir, como Presidente de la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia, presentó una ponencia sobre este asunto. He aquí a un científico distinguido y a un gran ingeniero que dirige un discurso dedicado, en principio, a señalar los peligros inherentes a generalizar lo que algunos conciben como el método científico. Recalcó, en particular, la falsa interpretación de estos procedimientos y los errores de pruebas basadas en argumentos y sistemas que no son aplicables al campo en el cual se emplean. La crítica se apuntó aparentemente a los sociólogos y a los economistas. Toda la ponencia es impresionante, en especial, cuando señala que es palpable la tendencia de subestimar la capacidad humana, así como la decidida manera de propugnar para que se incluya mucho sentido común en los asuntos humanos. En la actualidad, una de las obsesiones de muchas personas es la antítesis que conciben entre el individualismo y la reglamentación. Esta antítesis filosófica es un tanto antigua: considérense los argumentos eclesiásticos sobre la predestinación y el libre albedrío. El ingeniero llega a comprender, a medida que madura, que no necesariamente hay tal antítesis, que puede haber mucha libertad dentro de una estricta reglamentación, que ésta es mala si destruye la originalidad, y que la originalidad, cuando no se comprueba por medio de evidencias del pasado y por el sentido común en el presente, podría mejor quedar limitada por alguna reglamentación.

Mucho se ha escrito sobre el método científico aplicado a la ingeniería; la pregunta es si hay un procedimiento científico único en esta disciplina o en cualquier otra. Se dispone de muchos métodos para llegar a la verdad, aunque a veces ella misma es incierta, porque es preciso un criterio definido para determinar qué es la verdad en los asuntos especiales a que se refiere.

⁴ El ingeniero no puede sustraerse a la necesidad de llegar al detalle de todo aquello que proyecta y construye, a pesar del esfuerzo que se requiere, aun cuando, a veces, se trate de trabajos rutinarios y tediosos. Claro está que la concepción general de cualquier proyecto es lo más importante del mismo, pero las obras no se realizan basadas tan sólo en conceptos generales; es menester estudiar todos los detalles con anticipación, primero en planos que muestren, al centímetro o al milímetro, lo que se ha ideado, y después, en el plan de construcción para materializar aquello que se indica en el papel. Es un grave error pretender resolver partes de los problemas "sobre la marcha" cuando hay posibilidad de analizarlos con la debida anticipación para lograr la solución satisfactoria de ellos. No confundamos estos conceptos; es preciso comenzar con los planteamientos globales, las ideas generales, los grandes planes, la elección de alternativas, pero antes de iniciar las obras, es necesario llegar al detalle de ellas, tanto en los dibujos como en los procedimientos y programas de construcción. ¡Cuántas ideas generales que en su origen parecían muy buenas han tenido que ser modificadas o rechazadas cuando se pasó al detalle, y qué grave resulta percatarse de ello si se trata de una obra en proceso de ejecución!

La ingeniería es, en esencia, una artesanía; la gloria de los ingenieros es que son artesanos y artistas, por lo que siguen métodos sistemáticos y ordenados y son⁵ altamente resistentes y antagonistas hacia el exceso de reglamentación. Ellos demandan libertad en su arte, libertad para volver a crear, para ordenar de nuevo. Los diferentes pensadores dan un grado de énfasis variable a la importancia de las relaciones humanas, al génesis, al análisis, a la síntesis, a la creación de nuevos conceptos, al estudio de fenómenos conocidos, o al ensamblar cosas antiguas para hacer otras mejores.

En la primera página de la biografía del gran líder de la salud pública, William T. Sedgwick, está escrito: "Amaba las grandes cosas y pensaba poco de sí mismo; no deseando ni fama ni influencia, ganó la devoción de sus semejantes y fue una fuerza en sus vidas; y sin buscar discípulos, enseñó a muchos las cualidades del mundo y de la mente humana."

⁵ El término escrito en inglés es precisamente "son". El Profesor Cross ha sido muy optimista y ha valuado con generosidad la capacidad de sus colegas; quizá sea más correcto decir "casi siempre son" y aún en algunos casos "debieran ser".

"Deben enseñarse al niño las palabras que corresponden a las cosas; los que cursan estudios superiores se han olvidado de las cosas que corresponden a las palabras."

LA ESTANDARIZACIÓN Y SU ABUSO

NORMAS INTELIGENTES versus INTELIGENCIA NORMALIZADA

Cuando se proyecta un aprovechamiento deben hacerse, en orden sucesivo, tres preguntas obvias: ¿Desea usted algo? ¿Qué es lo que quiere? ¿Cómo lo usará? Puede ser que estas preguntas no las haga o no las conteste una sola persona, pero deben resolverse inteligentemente.

Cuando se desea algo es apropiado preguntar por qué, en dónde y cuándo es que se desea, qué sacrificios se requieren para obtenerlo. La segunda pregunta, ¿Qué es lo que quiere usted? nos lleva a problemas sobre lo que tenemos, de si podemos obtener lo que deseamos, y si es estandarizado.⁶ La tercera pregunta, el uso, involucra problemas de administración, de operación y de financiamiento.

⁶ Los neologismos "estandard", "estandarizado", "estandarizar" y "estandarización" ya han sido aceptados, aún por instituciones tradicionalmente conservadoras, como la Academia Española de la Lengua, la que, en el suplemento de la última edición de su diccionario, incluye dichos términos aunque con ligeras diferencias. Otras instituciones o autores aceptan el vocablo primitivo incorporándolo a nuestro idioma tal como se escribe en inglés, o sea "standard", y de ahí deducen los derivados. Aunque en español se dispone de palabras como patrón, modelo, normalizado, reglamentado o uniformado, en general se prefirieron las primeramente citadas porque interpretan de manera más fiel las ideas originales del autor.

¿Qué es lo que tiene usted? ¿Qué es lo que hay disponible? Para encarar estas preguntas necesitamos conocimientos sobre los tipos de construcción, los materiales disponibles, los posibles diseños, las dimensiones generales.

Considere el problema: ¿Puede usted obtenerlo?, que sugiere la segunda pregunta; podría llamarse planeación y es trascendente. Involucra un estudio completo de los procedimientos de construcción, los contratistas, los materiales, la mano de obra, el equipo y los elementos de tiempo. Es necesario dar la consideración debida a la apariencia, al estilo arquitectónico, a la armonía de estilo que se adopte y a los alrededores naturales. La investigación debe mostrar el uso y la conveniencia de los puentes y sus accesos, los edificios y las plantas industriales, los patios y las terminales. Es preciso revisar la economía, los costos, los valores y finalmente los elementos estructurales del problema, con objeto de asegurar la resistencia, estabilidad, rigidez y, en general, el funcionamiento satisfactorio de cada estructura sin que se deteriore en forma objetable. Todos estos factores contribuyen a la solución del problema: ¿Puede usted obtener aquello que ha decidido querer?

La mayor parte de los escritos en la rama de estructuras tratan sobre resistencia y estabilidad por la razón muy cierta, aunque no siempre obvia para el novato, de que si una construcción no tiene la resistencia suficiente, poco importa qué otros atributos tenga; casi puede llegar a decirse que la resistencia es esencial y lo contrario carece de importancia.

Varias fuentes ayudan al ingeniero para dictaminar sobre la estabilidad; ninguna de ellas es más importante que la otra: el análisis, los ensayos, la experiencia y el sentido común intuitivo que pueda desarrollar cada ingeniero en particular sobre la acción y el trabajo de las estructuras. Todos son auxiliares pero también pueden ser peligrosamente contradictorios.⁷ Las pruebas de las cuatro fuentes rara vez coinciden entre sí. Los grandes ingenieros son aquellos que pueden sopesar estos resultados y llegar a una respuesta razonable por medio de juicio sobre la confiabilidad de cada uno. Conviene que los materiales por emplear sean de manufactura industrial; aquí la ventaja de la estandarización debe ser evidente para todos. Las cargas de proyecto, los métodos de análisis, los esfuerzos permisibles; es recomendable que todos ellos se adapten en lo posible a alguna norma, que para algunos tipos de trabajo está circunscrita de una manera estrecha, y para otros deja una considerable latitud al proyectista. Es propio estandarizar la construcción y sus métodos así como los materiales, los sistemas de fabricación y el criterio sobre la estabilidad.

Pero la estandarización tiene otro propósito, aquí y en la mayor parte de las ramas de la ingeniería; debemos pensar en esta última distinguiendo sus rasgos creativos de sus técnicas rutinarias. Es evidente que en todos los tiempos han existido hombres

⁷ Es muy frecuente que un ingeniero "calcule" una estructura o una terrecería y, basado en ese cálculo, afirme la mayor de las aberraciones, aun cuando la realidad proclame a gritos otra cosa. Algunas especialidades técnicas modernas sólo han servido, a la larga, para aumentar sin necesidad los coeficientes de seguridad en la materia; si ese es el caso, estaríamos mejor sin la técnica que con ella.

que promovieron adelantos físicos, no importa qué nombre hayan recibido; fueron artistas creadores: quienes construyeron en Babilonia, los que drenaron los pantanos Pontinos, aquéllos que cruzaron con puentes el Támesis en Londres o el Mississippi en San Luis, o los que planearon obras en el río Merrimac o en el Brandywine. A medida que aumentaba la complejidad de los proyectos, llegó el momento en el cual había más trabajo por hacer que individuos para efectuarlo o tiempo para pensar sobre los problemas. Resultó deseable y aún necesario, hacer en el campo intelectual, lo que ya antes se había llevado a cabo en el de la manufactura: establecer una serie de procedimientos rutinarios para el análisis y el proyecto; se tradujo en la elaboración de una serie de fórmulas, reglas y normas que podían seguirse dentro de ciertos límites por hombres entrenados en su vocación, por personas que habían aplicado la fórmula en la misma forma una y otra vez hasta duplicar los resultados satisfactoriamente. Con esas fórmulas estandarizadas y con especificaciones y métodos fue posible el empleo de un mayor número de individuos, de personas con menos entrenamiento, para producir obras de ingeniería. Apareció entonces lo que de hecho es una línea de ensamble intelectual; tenía la ventaja de que los jóvenes profesionistas podían seguir las normas y llegar a los mismos resultados aunque viviesen en Boston o en Los Angeles, y cualquiera que fuese su condición de salud o su estado de ánimo cuando hacían sus cálculos. En otras palabras, el trabajo podía revisarse.

En este punto, algo que originalmente era inteligente: recolectar y sopesar los datos y pensar sobre los criterios de estabilidad y rigidez se había estandarizado como una línea de montaje; los hombres podían hacer en ella repetidamente la misma operación en forma clara y definida.

Sin estas líneas de montaje, y sin el uso de mentes mecánicas, sería imposible obtener todo el volumen de trabajo que producen en la actualidad las oficinas de ingeniería. Al mismo tiempo, la mayor parte de los ingenieros están totalmente familiarizados con el resultado trágico de la estandarización⁸ cuando se usa sin discernimiento o sin control; están conscientes de esto y han establecido salvaguardas contra ello.

Lo importante aquí consiste en que algunos tipos de planificación, proyecto y experimentación pueden colocarse en una línea de ensamble, y otros solamente en la línea de ensamble de mentes entrenadas, pero que gran parte del trabajo trascendental no es posible hacerlo siguiendo reglas fijas, fórmulas estandarizadas o métodos rígidos.

Examínese como ejemplo el proyecto de los puentes en arco, una materia que, normalmente, se considera como muy técnica y estandarizada. Casi todo el mundo ha tenido interés en los arcos, aunque sea tan sólo porque ha visto el arcoiris. La selección del diseño general de un arco está sujeta al juicio particular de cada uno. Debe ser hermoso, fácil de construir, localizado apropiadamente. Después de que estas consideraciones se hayan definido es necesario tomar una decisión relativa a cargas;

⁸ Otra vez el profesor Cross se expresa con optimismo sobre sus compañeros ingenieros; por desgracia, creo que no son la mayor parte de ellos, sino sólo algunos, los que están conscientes de esos trágicos resultados.

nadie puede profetizar con certeza cuáles son las cargas que llegarán a obrar sobre la estructura durante su existencia. La discusión de las cargas y las deformaciones que provocan nos lleva a campos muy lejanos; el desarrollo de los vehículos y del transporte, las fuerzas de viento, los cambios de temperatura. Después deben seleccionarse los esfuerzos permisibles; aquí también se tiene una gran incertidumbre. Se han acumulado numerosos volúmenes sobre datos de laboratorio, pero la práctica profesional todavía está cambiando los esfuerzos permisibles del concreto y del acero.

Muchas personas en varios lugares y en numerosas formas están estudiando actualmente los materiales, cómo mezclar el concreto, cómo falla el acero. Se acumula la bibliografía sobre el flujo y la fatiga de los metales, y como sucede tantas veces, la terminología opaca a la realidad. Se continúa especulando sobre la naturaleza de las fallas y los fenómenos que la preceden. Pero debe realizarse un puente, un puente en arco. A propósito, ¿estamos seguros de que queremos un arco después de todo?

Supongamos que todos estos asuntos se han decidido; han requerido mucho juicio, inteligencia y arte para definirlos bien. Ahora vayamos al proporcionamiento de la estructura.⁹ Los textos de ingeniería sugieren que es un sistema formalista que consiste en adivinar las dimensiones, escribir ecuaciones matemáticas para determinadas condiciones de carga y averiguar cuáles son los esfuerzos resultantes. Si con este procedimiento se encuentra que la costilla del arco está sujeta a esfuerzos demasiado intensos, deben modificarse las dimensiones, pero este sistema no nos indica en qué forma conviene cambiarla. Una solución consistiría en hacer la clave de mayor o menor espesor, pero al cambiarla habría que tomar en cuenta qué parte de los esfuerzos corresponde al peso de las costillas, cuál a la calzada y qué porcentaje a las cargas vivas así como a la parte relativa a los cambios de temperatura.

Después de que se hayan discutido todos estos temas debe interpretarse el análisis. Los excesos de esfuerzos provocados por la carga muerta no se alivian por las propiedades plásticas del material, pero los ocasionados por cambios de temperatura pueden reducirse considerablemente debido al flujo plástico; los esfuerzos provocados por las cargas móviles pueden disminuir mucho o poco gracias al compartimiento plástico.

Procede hacer notar que en esta especialidad, que por lo común se considera técnica y reglamentada y donde las soluciones se estiman como certidumbres matemáticas, en realidad es preciso tener mucha imaginación, visión y curiosidad. Las soluciones pueden ser múltiples. El ejemplo podía haberse escogido para cualquier rama de la ingeniería ya que esta situación no es privativa del proyecto de puentes.

⁹ Antes que otra cosa, el ingeniero necesita escoger algunas dimensiones que casi todo el mundo considera que están predeterminadas, como el ancho de la calzada, la longitud total conveniente del puente, la necesidad de usar banquetas. Aquí es donde el exceso de reglamentación es más peligroso, y debe aplicarse esencialmente una manera de pensar sin convencionalismos, amplia y generosa.

La línea de montaje nunca puede substituir a la mente que la ha creado;¹⁰ las máquinas, los métodos y los sistemas jamás podrán tomar el lugar de los hombres, algunas veces, es necesario cambiar las técnicas antiguas, y otras abandonarlas, debiendo elaborar procedimientos originales. Si se requiere crear técnicas totalmente nuevas, es preciso que los ingenieros se entrenen con anticipación; la profesión debe perfeccionar sus herramientas y tenerlas listas antes de que surja la emergencia, lo que quiere decir que es necesario disponer de una medida de estandarización.¹¹ ¿Es esa la función de las universidades? No debe haber respuestas dogmáticas a esta pregunta. Una cosa es cierta, sin embargo: siempre ha habido, aún en las peores crisis, una escasez de hombres que puedan diseñar las líneas de montaje, o trabajar bien donde éstas no resulten efectivas; en todos los tiempos ha habido insuficiencia de mentes creadoras en este campo, y esta situación no cambiará en el futuro.¹²

La arquitectura medieval no fue estandarizada. Es precisamente uno de sus grandes encantos. La falta de simetría está muy marcada, y parece que fue intencional en las catedrales medievales. No hay nada estandarizado en Chartres o Mont-Saint-Michel. La figurilla del alma desnuda, tan preeminente en las esculturas del día del juicio, no siempre contrapesaba al diablo y sus espíritus malignos; en el capitel de una

¹⁰ Una vez establecido un sistema, sus partidarios más entusiastas pretenden hacer del mismo una panacea, y lo que inicialmente es un remedio pasa a ser una enfermedad; en este aspecto, la ingeniería no es excepción y ha sufrido una serie de enfermedades crónicas: en un tiempo fue calculitis aguda. Después vino laboratoritis. Ahora nos está afectando la computadoritis. Todas éstas son malas porque son abusos de métodos y procedimientos muy útiles mientras se aprovechen con oportunidad, con modo y con medida, pero que por esnobismo, por vanidad y deseo de destacar, se aplican aunque no se requieran.

¹¹ Quizá el adelanto técnico y científico que más ha hecho progresar a la ingeniería en los últimos tiempos sea el de la aplicación de la cibernética a este campo. El uso de computadoras de todo género ha permitido hacer análisis nunca antes soñados, ha facilitado el ordenamiento y la combinación de datos que orienten al ingeniero a tomar decisiones con mejores bases y fundamentos de las que disponía anteriormente; y tratándose de trabajos rutinarios, la computadora ha venido a demostrar, una vez más, que la máquina es el fiel esclavo del hombre. Se ha dicho, tal vez con exceso de fantasía, o aún dentro del área de la ciencia-ficción, que en poco tiempo tendremos máquinas que serán superiores al cerebro humano no solamente en procesos aritméticos y mecánicos como sucede en la actualidad, sino que irán mucho más allá, al grado de que estas máquinas inventarán nuevas máquinas, es decir, "crearán" y, por lo tanto, tendrán capacidad humana y tal vez superhumana. Si eso es cierto, mientras estas máquinas del futuro sean servidoras del hombre y no sus amos, la humanidad progresará con ellas. Pero hasta que llegue ese día, si es que llega, debemos ver en la computadora sólo al capaz y obediente auxiliar del hombre, que le facilita el trabajo mecánico y rutinario, que le proporciona datos en forma ordenada y aplicable, que en lo relativo a lo más tangible es, por sí sola, un equipo; en consecuencia, todavía por algún tiempo por lo menos, es en el cerebro humano en donde deben resolverse los problemas, es el hombre quien necesita crear y descubrir los procesos, técnicas y sistemas, y es él quien debe tomar, en última instancia, las decisiones más trascendentales de su vida para forjar su destino.

¹² El problema es muy delicado porque las mentes creadoras siempre se han visto con recelo, y las nuevas técnicas y los procedimientos novedosos toman mucho tiempo para que se acepten por los ingenieros de edad avanzada, en quienes se arraiga con profundidad el espíritu conservador.

columna en Saint-Lo, el escultor, quizá padeciendo de una indigestión morbosa, invirtió el procedimiento causando así gran confusión a los futuros investigadores.

El esfuerzo para obtener resultados inteligentes por medio de la estandarización se ha llevado demasiado lejos en la rama del diseño estructural. En el concreto reforzado (hormigón armado), por ejemplo, ha sido necesario desarrollar normas muy elaboradas. De este trabajo se obtuvo una serie de procedimientos estrechamente circunscritos que llamamos "la teoría del concreto reforzado" (hormigón armado) y a la cual quedan expuestos muchos desafortunados estudiantes. Muy pocos de ellos pensarán que la teoría estandarizada del concreto reforzado quizá sea el más completo de los disparates que haya concebido la mente humana; sin embargo, trabaja bastante bien como un control de los tontos, incapaces de discernir.

En la ingeniería no existen intentos de estandarizar a menos que se tengan razones para ello; algunos, no obstante, desean implantar normas en lugares en donde no se obtiene verdadera ventaja al hacerlo, y le imponen por mucho tiempo a la profesión una compleja línea de ensamble que tiene las características de una caricatura. La estandarización, como una manera de exponer a los tontos y a los sinvergüenzas, o de establecer una línea de montaje intelectual, ha servido bien al mundo de la ingeniería.¹³

Por desgracia los objetivos de la estandarización con frecuencia se han concebido en forma errónea fuera del mundo de la ingeniería. Estandarizar a ciegas y en gran escala puede intentarse bajo el manto del humanitarismo y acompañarse del razonamiento que, en esa forma, la profesión se ha transformado en una ciencia y ha revolucionado al mundo físico. Al fin y al cabo no dará resultados positivos, pero mientras se descubre el engaño, habrá mucha miseria hasta que llegue la redención. Cuando los ingenieros estandarizan, por lo menos se limitan a aquello que desean estandarizar—una norma para puentes, otra para edificios, otra para aviones, y una más para trenes aerodinámicos.

En la práctica es imposible asentar fechas en la ingeniería. En igual forma es también imposible decir que surgen problemas completamente originales; los de hoy son, en muchos aspectos, los mismos de cientos de años atrás, pero estos problemas tratan a veces con nuevos materiales y siempre en condiciones diferentes. Cuando se resuelve un problema y la respuesta se conoce en forma definida en una rama de la ingeniería, ya es tiempo de investigarlo efé nuevo, porque probablemente lo que se conoce del problema, corresponda sólo a ciertos materiales en particular. Pero la

¹³ La situación empeora cuando muchos ingenieros resultan "más papistas que el Papa". Tomemos por ejemplo las cargas vivas utilizadas en el proyecto de puentes de ferrocarril. Las más usadas fueron establecidas por Teodoro Cooper allá en el año 1880; si Cooper reviviese y se diese cuenta que sus cargas siguen empleándose después de haber pasado casi 100 años, cuando ya no se fabrican locomotoras de vapor, cuando en la actualidad las cargas vivas reales que obran en las estructuras de ferrocarril son totalmente distintas que las que él consideró al elaborar sus especificaciones, no dudo que sería el primero en rechazarlas. ¡Qué cosa tan absurda es seguir proyectando puentes de ferrocarril para cargas que producen locomotoras y trenes que dejaron de circular y de dar servicio hace más de 30 años!

novedad no debe seguirse por sí misma. Algunas veces lo novedoso consiste sólo en hacer otra cosa casi en la misma forma que se había hecho antes.

Desafortunadamente, algunos glorifican la búsqueda de la novedad por razón de ella misma. Alguien ha analizado los esfuerzos de un miembro estructural en especial por un método de computación; por tanto, un elemento de originalidad lo constituye otro dispositivo de computación. La novedad innecesaria en cualquier campo del arte, y en el de la ingeniería en particular, es una característica que requiere disculparse, pero nunca fomentarse. Muchos hombres no deben decepcionarse por desempolvar lo que está dorado en vez de alabar lo dorado sin quitar ni el polvo. Los principiantes enredan los escritos para producir la impresión de originalidad donde no hay tal, y donde ninguna se desea. Esto puede llamarse un arte, una filosofía, una literatura, un proceso económico o una religión. La demanda de novedad se usa para tapar el error, o para darle sabor a lo que es insípido.

Aun cuando mucha gente desea no adorar a ciegas en el santuario de la novedad, no necesariamente se deduce que restrinja sus intereses a aquello que es obvio. Una nueva formulación de un principio fundamental, clara y simple, puede tener una profunda influencia. La virtud aquí no estriba en lo original de la fraseología, sino más bien en la simplicidad y claridad de exposición ideológica.

La ingeniería, en la mayor parte de sus ramas, ha estado pensando de nuevo en sus problemas. No es un indicio de que las leyes de la geometría o de la estática hayan cambiado, o de que se hayan descubierto principios sobre dinámica desconocidos hasta hace poco tiempo. Sin embargo, se ha intentado la aplicación de nuevos materiales y usos originales de los antiguos; se han inventado métodos recientes para usar principios conocidos. En casi todas las ramas de la ingeniería se nota una agitada actividad para el desarrollo de la inventiva, para la investigación y su revisión. Es probable que parte de esos trabajos estén mal dirigidos. Lo que se requiere son hombres con la habilidad necesaria para orientar algunas de estas investigaciones a nuevas formas.

Las noticias, la novedad, la característica de ser única, a menudo dependen de la fantasía y de las condiciones de los tiempos. Las grandes armaduras de madera se ven más novedosas en la actualidad, que lo que fueron en el año de 1850. Brunei usó mampostería de ladrillo (tabique) reforzado hace más de 100 años. Por ningún motivo debe considerarse como nuevo el uso de modelos mecánicos; el principio involucrado en el registrador de deformaciones nos viene del siglo pasado; la mecánica de los suelos es un nombre relativamente moderno, pero el estudio de cimentaciones, de presiones en los suelos, de su resistencia, no es una cosa nueva. En una época, la construcción en voladizo (Gerber) tuvo preponderancia, después vino un período de construcción tipo continua, y más tarde una reversión al sistema de voladizos.

Algunas de las investigaciones amplias y bien organizadas de estructuras son, a menudo, el resultado de un problema inmediato, tal como el gran aumento de la altura de los rascacielos de los años veintes, el temblor de Long Beach, los huracanes de Miami, el incremento del tránsito en las carreteras, las grandes presas de

almacenamiento. Reparar la puerta del establo no implica construir un nuevo tipo de establo. Habitualmente un nuevo método es de importancia temporal.

En general, los objetivos (de la ingeniería) son la flexibilidad del diseño y la simplicidad de la construcción. El proyecto debiera buscar la conveniencia, o el uso, o la belleza del contorno, para obtener una construcción simple y económica. El perfeccionamiento de una solución puede deberse al conocimiento especializado del ingeniero de las formas estructurales, o a la habilidad de un constructor para cortar y soldar. Algunas veces se justifica acreditar una solución a la gracia del fabricante del equipo, o quizá a un hombre dedicado a realizar obras que es capaz de mezclar un buen concreto.

La historia de la ingeniería, como la del progreso estructural, representa el avance paralelo de cuatro elementos: los materiales, los métodos usados en las obras y en los talleres, los conceptos usados en el diseño, y aquellas ilustraciones que hacen más definidos y claros los elementos que intervienen en el proyecto. La necesidad inmediata, casi siempre de carácter económico, dicta cuál de estos elementos progresa y cuál queda atrás en una década determinada.

El avance y el progreso dependen en gran parte de la investigación, la cual necesariamente trata sobre un estudio controlado de pequeños detalles aislados. Por lo general, se requiere que transcurra un largo período antes de que esos detalles puedan ensamblarse para hacer uso universal de ellos. Muchos se aferran a estos pormenores antes de que hayan sido digeridos y los aplican de inmediato. Lo que se supone que es el resultado de investigaciones, con frecuencia se incorpora en especificaciones y reglamentos antes de que la investigación misma se haya completado y mucho menos digerido. En ese caso hay peligro de que, como estas conclusiones no han madurado, se congelen en la práctica y por tanto se reporten como "nuevos desarrollos".¹⁴

En verdad, ha habido avance y progreso; en algunas ramas el desenvolvimiento es lento. Los ingenieros deben aprender a pensar en forma más clara en el espacio y restringirse menos al análisis bidimensional; precisan poner más atención a los movimientos y las vibraciones, y necesitan mucha más información sobre las propiedades de los materiales. Quizá requieran reevaluar en forma seria la importancia de la durabilidad. Algunos de ellos necesitan que se les diga que seguir en pos de la novedad no siempre conduce al progreso.

En muchas especialidades ha llegado el tiempo de hacer un inventario. Existe una continua producción de herramienta analítica, una acumulación constante de datos y ensayos, una construcción incesante de máquinas y estructuras que se supone son más grandes y mejores. Pero ahora se requiere hacer el inventario de lo que conocemos, de lo que ignoramos, de lo que debemos conocer y por qué es necesario conocerlo. Es

¹⁴ Sin embargo, las nuevas normas, si son razonables, aun cuando no estén respaldadas por investigaciones completas, son mejores que normas obsoletas de las que se sabe de antemano que han resultado inadecuadas o conservadoras en exceso. Quizá el mejor sistema consista en adoptar normas provisionales las cuales queden sujetas a revisión, corrección y aún rechazo.

preciso hacer en el futuro más trabajo de este tipo. Resulta difícil realizarlo todo, y muy difícil hacerlo bien. Son indispensables los intereses y la sensibilidad del investigador y del hombre de estudio. Conviene hacerlo en beneficio de la educación por una parte y en el de la práctica por la otra. Hacemos mal en continuar indefinidamente agregando, agregando, agregando a los útiles del conocimiento, sin la debida combinación y eliminación.¹⁵

¹⁵ En el prólogo de este libro se transcribió una idea de John Ruskin, profunda, humana y noble; pero así como Ruskin tuvo grandes aciertos, también expresó graves errores. Cualquiera que haya leído "Las Siete Lámparas de la Arquitectura" comprenderá que la obra no fue escrita por un arquitecto, sino por un amante del arte; que el autor veía el decorado y no la función, la fachada y no la planta, el ornato y no el servicio, la vista y no la estructura. Algo semejante sucede con muchos de sus libros, escritos con posterioridad, los cuales tratan de arte o de sociología, y han caído en el olvido. Pero la parcialidad de su objetivo no invalida la mayor parte de sus ideas que, como la anotada, tienen mérito permanente. Lo que sucede es que, casi siempre, pedimos perfecciones a los humanos cuando en realidad sólo el genio se acerca a la perfección. Pero si nos dedicamos a seleccionar lo bueno, apartar lo mediocre y rechazar lo malo, si hacemos verdadero trabajo de análisis seguido siempre por una síntesis apropiada, nuestro camino estará, con seguridad, bien orientado, y lo recto o lo tortuoso del mismo dependerá, a partir de ese momento, nada más de nuestra capacidad, educación, talento e intenciones. La juventud tiende a limitarse al análisis, que en muchos casos es destructivo, sin llegar a la síntesis.

"A nadie dan alegría las flores del cacto. "

ALGUNAS TORRES DE HIEDRA Y ALGUNAS TORRES DE MARFIL¹⁶

ENSEÑANZA, ENTRENAMIENTO, INSTRUCCIÓN

Procede distinguir entre la enseñanza, el entrenamiento y la instrucción; esta distinción no sólo es pedantería. Es difícil enseñar sin entrenar, e igualmente difícil entrenar sin instruir. Pero las dos cosas no son lo mismo. Todo el mundo sabe más o menos qué es la educación aun cuando todos lo interpretan de manera incorrecta algunas veces. La instrucción nos ayuda en el proceso de la educación.

Muchos en el Nuevo Mundo han crecido encerrados en la tradición de una metodología sobreorganizada y excesivamente sistematizada del conocimiento. A veces el resultado ha sido la parálisis de la iniciativa y la esterilidad de la imaginación. De acuerdo con esta filosofía, cualquier caso posible debe estar formulado con anticipación. Consideren la siguiente modificación de un epigrama de Josh Billings: "Es preferible no planificar demasiado que planificar para tantas cosas que nunca llegarán a ocurrir."

El objeto de la educación es preparar hombres íntegros para una vida plena en un mundo completo. Las escuelas de una nación¹⁷ deben producir hombres con capacidad para meditar sobre los problemas nacionales en la forma de pensar de esa nación. Con este objeto deben salir de ellas los individuos que pueden ver a su país y su

¹⁶ El autor menciona la hiedra por dos cosas: la semejanza de la palabra ("ivy" e "ivory") y por las paredes cubiertas de hiedra en las universidades inglesas.

¹⁷ El autor se refería originalmente a los Estados Unidos de América.

forma de vida integralmente, conocer la relación de ese país con todo el mundo.¹⁸ Una nación no puede darse el lujo de depender de personas que se encierran de manera intencional en sendas estrechas de la vida; es un gran requisito que nunca se llegará a satisfacer con plenitud. Pero decir que un hombre ha sido instruido para ser ingeniero, o médico, o abogado, o educador, o economista, es decir, que sólo ha sido instruido en forma parcial. Estas distinciones entre las disciplinas mentales en las que se cultivan los hombres al madurar en la vida se establecen por limitaciones locales o por asuntos administrativos. Es impropio recalcar tales distinciones.

En cierta forma, la enseñanza es un asunto relativamente simple. Gran parte de la humanidad desea mayores informes acerca de su mundo y busca medios de correlacionar e interpretar con satisfacción los informes que ya tiene. Una buena instrucción puede ayudar mucho dirigiendo la información o ilustrando la manera de correlacionar.

Pero los colegios distan mucho de ser simples y es ahí donde yace la dificultad. Las bibliotecas y los laboratorios, los edificios y la censura, los departamentos cuyos asuntos se traslapan, aparentemente relacionados en forma estrecha, pero en el fondo sin ninguna conexión, las complicadas organizaciones administrativas, los libros de texto y las técnicas—todos éstos, en mayor o menor grado, caracterizan los colegios. Mucho de ello tan sólo divierte la fantasía de los novatos sin que oriente la instrucción.

Hay poco paralelismo entre la realidad del mundo y las severas distinciones que se hacen entre las diferentes facultades de una universidad, distinciones que son el resultado de la necesaria organización que crece, crece, hasta llegar a una superorganización que el alumno graduado pronto aprende a reconocer en las grandes empresas o en las sociedades profesionales. En esta forma la diferenciación entre las facultades alcanza la condición de la bondadosa dama quien daba gracias a Dios porque, aun cuando por medio de la iglesia a que pertenecía se habían salvado solamente dos pecadores durante el año, la vieja y horrorosa congregación religiosa del final de la calle no había salvado ni una maldita alma en todo ese tiempo. Los profesores, a veces, parecen ansiosos de maldecir alguna otra rama de la enseñanza en lugar de iluminar la senda de la educación.

Es más fácil enseñar reglas que entrenar el buen juicio; por tanto, cuando los profesores se hastían de los colegios, están predispuestos a hacer énfasis en la enseñanza de reglas, las que pueden exponerse fácilmente a los estudiantes y permiten examinar sobre el conocimiento de las mismas y otorgar grados académicos basados en ellas. Pero se requiere un arte supremo para enseñar el buen juicio y para examinar sobre la capacidad de juzgar bien; que cualquiera que lo dude trate de hacerlo. En consecuencia, los programas de las facultades, ya sean los que se refieren a diseño estructural o crítica literaria, tienden a degenerar en una recopilación de reglas, reglamentos, casos particulares, y clases, a menos que esos programas se revitalicen constantemente. Lo mismo puede decirse de las actividades fuera de los colegios.

¹⁸ Aquí debe distinguirse entre la manera de pensar de una nación y lo que, en algunos casos, sus gobernantes afirman que es la manera de pensar de ella. La Alemania nazi, de infausta memoria, es ejemplo de esta substancial diferencia.

Sin embargo, se necesita enseñar las reglas así como el buen juicio, y las facultades son lugares apropiados para hacerlo. La maduración del juicio viene solamente con la experiencia. El hombre que reflexiona acepta que es provechoso para el estudiante, el profesor y el ingeniero práctico ponderar a menudo la definición de Tredgold de la ingeniería: "El arte de dirigir los grandes recursos y fuerzas de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre." Es menester recordar a quienes, en su desmedida ambición de mando, tratan de ignorar la penosa necesidad de una información precisa, que no podrán dirigir bien aquello que poco conocen; no, ni siquiera por los medios más optimistas.

Una universidad está influida por la siguiente trinidad: los profesores y la labor que desempeñan; la vida universitaria de los alumnos, sus sociedades y publicaciones; y, por último, algo que debiera ser más profundo, más antiguo y estable: el espíritu y la tradición que prevalecen en la universidad, las aulas y los laboratorios.

El espíritu que persiste en la búsqueda de la verdad es producto de la grandeza acumulada de un grupo de académicos quienes han aprendido que es muy importante que las cosas se hagan bien o se hagan mal, y a quienes interesa en extremo que el trabajo realizado sea útil o inútil. Asimismo, han aprendido a juzgar sobre la verdad sin necesidad de requerir del voto popular o de los dictados intelectuales.

Si los jóvenes pueden ir muy lejos, déjeseles ir. Los cuidados constantes y la guía precisa en las universidades no son una necesidad evidente, sino más bien, una gran luz impersonal que dirige a los estudiantes por la senda que deben recorrer. Desgraciadamente, esa luz puede opacarse por el relumbrar de excesivas alharacas, por la abundancia de conclusiones populares, y de sentidos que son demasiado comunes.

Las universidades a veces se balancean, de períodos de desnutrición cerebral, pasando por inspiraciones de los sentidos corporales, hasta llegar a etapas de indigestión intelectual. El éxito lleva en sí mismo los elementos del fracaso a menos que dicho éxito sea en realidad cabal. Demasiadas personas maduras, impuestas en su manera de ser, están listas para guiar; y guiar con frecuencia quiere decir gobernar, suprimir, aún matar. Y así, los jóvenes se ven enviados como mandaderos con muy pocas ideas nuevas.

La búsqueda honrada de la verdad bien vale la pena por el fin que se persigue, y por el bien de la integridad intelectual. La honradez persistente que desea alcanzar aquello que es verdadero producirá mucho individualismo, el que no será ni imitador ni convencional, y que no se deja cautivar por el último grito de la moda. Una gran universidad está formada por un grupo de académicos honrados. Dicho grupo producirá otros académicos, pensadores y hombres honrados, los que no se dejarán llevar por el halago de la fantasía.

La enseñanza no debe hacerse formalizada, pero los educadores necesitan aclarar sus objetivos y mantener la libertad indispensable para alcanzarlos. El progreso de los estudiantes a veces se ve sobrecargado con excesivos detalles del aprendizaje. Algunos ingenieros van tan lejos que dicen que la función de las escuelas técnicas es la de enseñar al hombre a hacer un trabajo específico en una forma definida. ¡No! El objetivo de las escuelas es satisfacer las necesidades de industrias en particular, y en esto se tiene el respaldo de muchos directores de empresas industriales. La función de las universidades consiste en producir personas inteligentes con algunos conocimientos

de los campos prácticos más bien que entrenar individuos sin inteligencia para que adquieran conocimientos detallados de especialidades determinadas.

Muchos de los hombres mejor educados nunca vieron el interior de una universidad hasta que asistieron, al final de su vida, para dirigir el discurso inaugural, o para sentarse como miembros del consejo universitario. Pero en la actualidad se manifiesta una obsesión creciente de créditos académicos y de certificados de conocimientos, y una confusión cada vez mayor entre enseñanzas generales, entrenamiento, conocimiento y sabiduría. Estandarizar fuera de las áreas de la ingeniería parece ser un atributo propio de la naturaleza animal; el hábito y la imitación son inherentes a la condición humana. Pero la mayor parte de la gente ve con agrado el rompimiento de esta estandarización; muchos pueden llegar, a la larga, al extremo de odiarla intensamente.

La enseñanza debe dar oportunidad a las personas con algún propósito específico para que su inteligencia evolucione con libertad, piensen por sí mismas sobre las cosas y lleguen a conclusiones que sean nuevas, por lo menos, para esas personas. Los libros de texto son de poca ayuda para este fin; muchos de ellos se escriben en terminología estancada, contienen demasiadas definiciones elaboradas en exceso y afirman los llamados principios fundamentales que no existen en la realidad.

Uno de los últimos lemas es el de "educación para el desarrollo de la ciudadanía". Díganme, por favor, cuándo la enseñanza no fue otra cosa que estímulo y progreso de la ciudadanía, pero ¿esto significa una ciudadanía estandarizada? y si es así, ¿es al estándar de usted o al de algún burócrata? ¿Debe adoctrinarse al estudiante con toda una serie de dogmas cuyo conocimiento se necesita considerar como un requisito previo para ser un buen ciudadano? William Graham Sumner, en su libro: "El hombre olvidado" fue un inconforme, una persona ordinaria que atendía sus negocios tan bien como podía, sin ningún requisito técnico, y tomando sus propias decisiones. Pero tales hombres, estos pequeños hombrecillos, llegan a ser el foco del ridículo y el punto de ataque de los entusiastas que insisten en la estandarización. La obra de Sumner termina con la apropiada observación de que "el hombre olvidado, con frecuencia una mujer, trabaja y es posible que implore, pero puede usted estar seguro de que siempre paga."

Lo anterior no constituye una crítica en particular de alguna forma de educación. Es probable que no pueda hallarse una forma única apropiada. Es un error para un individuo ir a una universidad con objetivos vocacionales estrechos, a menos que reconozca con franqueza que lo que va a obtener es un entrenamiento y no una educación. La enseñanza de la ingeniería estructural no necesita ser más estrecha que los estudios clásicos de terminaciones gramaticales. Puede aceptarse que una mala educación es peor que ninguna, y que más mala educación es peor que menos, lo que debe afirmarse una y otra vez.¹⁹

¹⁹ La mayor parte de los déspotas y los tiranos han sido personas a quienes les ha llegado una educación mala y tardía, que se tragaron y se les indigestó, y cuya filosofía es el producto de conocimientos superficiales, incompletos y marcadamente egocéntricos. Si hubiesen aprendido a realizar una autocrítica honrada, por elemental que fuese, habrían actuado en forma muy diferente, y en vez de seres despreciables y odiados, la historia los tendría como individuos nobles y generosos.

Es peligroso enviar personas carentes de propósitos definidos a las universidades, nada más para que aprendan formas estandarizadas de conocimientos fragmentarios. Hitler le enseñó al mundo cuán peligrosa puede ser la educación simulada, no en la anticuada acepción, sino en el espantoso y terrible sentido de la guerra moderna en la Europa actual. Esta educación rechaza el concepto de un hombre libre reflexionando en el mundo en que vive, como Dios le ha dado su intelecto para hacerlo. Muchas personas todavía tienen la inquebrantable fe de que el sueño de un hombre libre y desestandarizado aún persiste, pero se ven imitados con facilidad por el estudiante incircunspeto que busca la luz donde no hay tal. En los grandes colegios, no los colegios grandes,²⁰ los hombres libres trabajan en una atmósfera de ideas magníficas, fe inquebrantable y sueños colosales; pero los pensamientos no necesitan estar alojados en un lenguaje estancado o artificial o técnico; no es prudente que la fe quede depositada en los caprichos de los dictadores, los sueños no precisan ser pesadillas. La educación liberal está todavía indeterminada para muchos; se han elaborado definiciones de ella demasiado frecuentes y excesivamente variadas. Muchos, que argumentan a favor de esta educación liberal, de hecho están muy lejos de la misma. No es correcto que el sueño de un hombre íntegro en un mundo completo se lo trague la palabrería, la especialización desmedida o la nomenclatura extravagante. El propósito de la enseñanza debe ser de servicio y no de autopromoción. El sueño de un individuo que pone sus pies sobre la tierra, cuya inteligencia es independiente de los dictados y de los dogmas, y que busca con fe en el futuro y en las sonrisas, es el sueño que llevó a la nación americana a atravesar el Continente y no debe perderse. La arrasadora marea del progreso llega siempre lentamente, desde atrás, por arroyos angostos y por los vericuetos del pensamiento individual.

El fariseo rezaba así: "Oh Dios, te doy gracias porque no soy como los demás hombres." La mayor parte de nuestras universidades están de acuerdo con las grandes tradiciones del Nuevo Mundo y reconocen su obligación de guiar e inspirar el pensamiento nacional. No olvidemos que estas universidades son el centro general de educación, y que, aun cuando los intereses especializados puedan proporcionar ímpetu

²⁰ El juego de palabras "gran colegio" vs. "colegio grande" no es del todo semejante en inglés y en español. Es triste, sin embargo, ver a una universidad que, al ampliar el número de sus educandos, pasa de una gran universidad a una universidad grande. Y no porque en ella no se hagan estudios e investigaciones progresistas y necesarias, sino por la forma tan lamentable en que decae el nivel educacional del promedio de sus estudiantes. Los alumnos distinguidos de las universidades dan nombre y gloria a ellas, pero es conveniente analizar si el aumento del número de educandos en una universidad determinada resulta justificado aun cuando la preparación de la mayor parte de los egresados no sea satisfactoria del todo. Por otra parte, las autoridades deben ser muy precavidas para determinar el número máximo de profesionistas que conviene que cada año produzcan las facultades y escuelas de las universidades. La cultura de un pueblo a veces puede medirse por el número relativo de profesionistas y técnicos de que dispone, pero, como advirtió Eisenhower cuando fue rector de la Universidad de Columbia, no es correcto que se anime a los jóvenes a invertir tiempo, dinero y esfuerzo en el estudio de una carrera sin mercado, que obligue al profesionista a dedicarse a una actividad distinta de la que estudió, o lo que es lo mismo, es indebido promover esos estudios porque equivale a vender a la juventud una mercancía falsa o adulterada.

para alcanzar el conocimiento, es al hombre íntegro a quien debe enseñarse a vivir una vida plena. Algunos tratan de encontrar en las universidades lo que no es propio buscar ahí, en la misma forma que aquel hombre que buscaba un objeto perdido donde sabía que no lo había extraviado, simplemente porque en ese lugar había buena luz para buscarlo. Algunos creen en el bautismo porque lo han visto aplicar, y se olvidan de la sabiduría interna implícita en la educación admirando solamente sus manifestaciones externas. Junto al fariseo en el templo el publicano rezaba así: "Dios, se misericordioso conmigo porque soy un pecador." Dios ilumina nuestra inteligencia, mantén en forma simple nuestra manera de pensar, conserva nuestra enseñanza por el camino recto. La universidad que mantiene esa fe educará en realidad; la que la olvida fallará en su cometido. Por medio de la humildad podremos continuar con la "instrucción de la juventud en las artes y las ciencias para que, con la bendición del Todopoderoso, sean capaces para el servicio público, tanto en la iglesia como en los asuntos civiles"; este concepto de una universidad todavía es muy cabal.

Las características generales de la inflación pueden reconocerse fácilmente. Trata de conseguir que una realidad —los bienes— parezcan más valiosos haciendo más abundante el objeto —dinero— que se cambia por los bienes. Se dispone entonces de más dinero, y la gente se siente más rica porque recibe y posee más dinero.

Muchos educadores lamentan la falacia de la inflación y, al mismo tiempo, son entusiastas de ella en la enseñanza. En el mundo educativo los bienes consisten en el entrenamiento de los individuos, y el objeto con el cual adquieren éste es el equipo, el personal y los planes de estudio. Tal parece que algunos profesores piensan que si el número de cursos y clases disponibles se incrementa, el entrenamiento mejorará y será más valioso.

Muchos maestros ya empiezan a darse cuenta que las universidades mejorarán en vez de empeorar cuando adopten una escala menos costosa y menos pretenciosa de llevar a cabo las cosas. Puede que usted admire al hombre que hizo crecer dos hojas de pasto en donde antes crecía una sola, pero no si este pasto ahogaba las flores del jardín. El que establece dos cursos donde antes se impartía uno solo, por regla general, se cree una persona progresista, y mira con desprecio a los reaccionarios que preguntaban si ambos cursos no quedarían mejor combinados en un curso único.

Los profesores tienen una doble responsabilidad hacia sus alumnos: una de ellas, la de darles suficiente información y una educación vocacional que les permita conseguir un trabajo y conservarlo hasta que se arraiguen en este mundo altamente competitivo, y la otra, la de entrenarlos en los métodos del pensamiento y de la investigación para enfrentarse a las demandas de un mundo siempre cambiante, demandas cuyos detalles nadie puede alcanzar a prever. Es muy cierto, sin embargo, que los recursos necesarios para afrontar los cambios, el desafío de usar la jerga de moda, serán los mismos en lo futuro que en el pasado.

La inflación de los planes de estudio no es algo original, muchos ya la han observado en lo pasado; han visto traer a un nuevo animal al parque zoológico de la universidad el cual pronto resultó ser un elefante blanco y después una vaca parda. Pero como ya se habían construido pesebres nuevos para estos animales, y adquirido un

grupo de costosos guardianes, dichos animales rara vez, si es que hubo alguna, se enviaban de regreso al corral adonde pertenecían. Al revisar la correspondencia oficial relacionada con estas materias y especialidades, por regla general, se encuentra que un joven ambicioso, respaldado por un administrador agresivo, demostraba que los cursos eran absolutamente necesarios para el progreso y señalaba, además, que no costarían nada, "que no significan un aumento presupuesta!", es tal vez la frase académica correcta. Y sin embargo, al pasar el tiempo, uno se pregunta por qué se establecieron los cursos después de todo. La vaca nunca, o casi nunca, se devuelve al corral, y es normal que los animales que se amontonan en el zoológico sean muy prolíficos. Los programas de las carreras de ingeniería en sus divisiones profesionales se están reduciendo a pichoneras cada vez menores; ya es hora de tomar en cuenta las ventajas de abandonar los antiguos escritorios de cortina para adoptar los escritorios modernos de cubierta plana en el mundo de la educación.

El entrenamiento más difícil de adquirir, y por lo general el más valioso, es el que capacita al alumno para hacer una síntesis, para juntar los diferentes fragmentos de su conocimiento en un cuadro inteligible. La especialización del plan de estudios profesional se orienta precisamente en la dirección opuesta. Al estudiante no se le estimula para que sintetice, o bien, se le permite hacerlo en forma poco efectiva, sin guía ni entrenamiento en este tipo de trabajo. El propósito debiera ser educar al estudiante, no informarlo. El dispositivo inflacionario de cursos de información no puede servir para esta finalidad.

Algunos piensan que esta multiplicación del número de cursos es necesaria para propiciar una actitud de investigación entre los jóvenes profesores y entre los alumnos aún no recibidos. De hecho, toda la ingeniería es investigación si esta palabra significa la solución de un problema que no se había resuelto anteriormente, o bien, obtener una nueva solución a un problema antiguo. Sin embargo, la ingeniería no es, en esencia, el método organizado de investigación en el laboratorio.

Pueden presentarse argumentos muy encomiables para incluir todo género de cursos especializados en el plan de estudios siempre y cuando se acepten los siguientes dogmas: a) que las universidades deben resolver todos los problemas mundiales dentro de sus cuatro paredes en vez de entrenar a los individuos que puedan encontrar la solución de esos problemas, y b) que la especialización diferencial jamás resolvió algo en forma muy efectiva, o que nada muy lógico salió del razonamiento puro. Ambos dogmas son inaceptables. El producto efectivo de un hombre, por productivo que él sea, es insignificante en comparación con la producción acumulada de grupos de personas entrenadas por un gran maestro.

Es muy deseable que las universidades encaucen el pensamiento de la gente. A veces así lo hacen. Pero en cada universidad existen profesores tratando de alcanzar a los grupos que intentan dirigir, sólo para encontrar que ese grupo es uno que se desprendió y se perdió del cuerpo principal. Cuando analizamos retrospectivamente los cursos que fueron nuevos en lo pasado, resulta aparente que muchas veces esos cursos fueron sólo disgregaciones del camino real, que no fueron nuevas rutas del progreso, y que la contribución que hicieron al progreso vino después de que los habían llevado de nuevo al camino principal.

Podrán justificarse digresiones específicas del objetivo principal de entrenar a los alumnos profesionales de ingeniería por una de las cinco razones que se dan para beber vino: "para hacer buenos amigos, o porque se dispone de buen vino, o por tener la garganta seca, o por el miedo de seguirse de paso, o por cualquier otra razón."²¹ Algunos lo aprendieron hace varios años cuando la ingeniería estructural pasó a ser la de estructuras de acero, o la de marcos rígidos, o de construcción de mamposería o concreto (hormigón). Las cimentaciones fueron a las escuelas superiores y regresaron a casa de etiqueta y con chistera, la hidráulica regresó después de la gran gira como mecánica de los fluidos y todo el grupo de estructuras indeterminadas se ha vuelto un tanto esnobista.²² Todos ellos, en algunas universidades, se han burlado de los viejos miembros de la familia. ¿Es que estas nuevas materias requieren tener su suite privada con valet y con baño? o ¿no estarían mejor si se sentasen en la mesa familiar de vez en cuando para tomar una comida de sencillo bistec sin caviar?

Estas observaciones no se refieren a una institución o grupo de instituciones en particular; son muestras representativas. La tesis principal es que, quien desdobra en dos cursos lo que con anterioridad se impartía en uno solo, probablemente sea el enemigo del progreso en el mundo de la educación. El Dr. James B. Conant se refiere al "sentimiento generalizado de que el espíritu separatista del último cuarto de siglo ha ido demasiado lejos". Es cierto en el campo general de la enseñanza, y empieza a resultar verdadero en el de la ingeniería. En su sentido más amplio la función de las universidades es producir hombres con inquietudes de carácter universal y que, teniendo presente el perpetuo cuarteto de preguntas por qué, qué, dónde y cuándo puedan aprender a conocer el mundo en su forma más amplia. Y así, el objetivo de las universidades es entrenar a esos hombres cuyos intereses están relacionados con el control y la adaptación de las fuerzas naturales, para que lleguen a ser buenos ingenieros se enorgullezcan, se alegren y tengan la esperanza de que la salvación se encuentra en la excelencia de aquello que se produce para uso y conveniencia del hombre. Con el objeto de producir para uso y conveniencia del hombre, los ingenieros necesitan saber algo de ese uso y de esa conveniencia así como de los métodos que se emplean en la producción. Estos se llaman, en la jerga de los colegios, "entrenar en los principios básicos", el conocimiento del uso y la conveniencia "entrenamiento en forma amplia".

²¹ En el texto original en inglés lo anterior está en verso.

²² Aunque los programas de cada materia académica no corresponden entre sí en su totalidad, mucho de lo que anteriormente se enseñaba bajo los nombres comunes de estática y de resistencia de materiales, ahora se conoce con el erudito calificativo de mecánica del medio continuo de los sólidos. Unos temas que se incluían en el sencillo cálculo práctico ahora se desvulgarizaron al son de métodos numéricos; los modestos estudios de campo ahora se imparten con los distinguidos nombres de geotécnica y geofísica y, así, otros cambios similares. Es posible que los nuevos nombres sean correctos, pero no correspondan a la forma llana, sencilla y sin complicaciones en que conviene enseñar en el área subprofesional. Esto me recuerda los menús de algunos restaurantes de lujo, en donde, para justificar su elevado precio, al democrático pollo asado se le llama, al ponerle algunos condimentos y taparlo para que no se enfríe, "le poulet Lagardini garni sous cloche".

La lucha continúa, y continuará de época en época imprevisible, sobre cómo hacer de un mal estudiante uno que tenga conocimientos amplios y profundos; la discusión sobre esto parece implicar que el resultado será siempre el mismo para todos los estudiantes, y el tiempo maldito que esto requiere.

Es una realidad que muchos de los escritos técnicos actuales tienen la tendencia de ampliar las bases. Una escuela superior en particular presentaba su catálogo de clases en el que explicaba que los cursos técnicos enseñaban las teorías básicas que soportaban los principios fundamentales en los cuales estaba cimentada la ciencia. Ahora bien, cuando se excava debajo de la cimentación se encuentra usted que ha hecho un gran agujero, y aumentar esta base significa mover mucha tierra. El agujero puede ser tan grande que el estudiante nunca pueda salir a tomar el aire fresco, o que la excavación se haga en un suelo tan deleznable que el tablaestacado del conocimiento se derrumbe sobre él en detrimento propio y permanente. Es muy difícil conseguir estudiantes que se acostumbren a que los tablaestacados se derrumben sobre ellos.

En las especialidades de la ingeniería, los principios básicos conocidos no son muy numerosos: son relativamente fáciles de enunciar y de comprender. La dificultad viene cuando se aplican y es aquí donde se requiere una gran cantidad de entrenamiento; nadie puede decir cuánto tiempo debe durar éste. Muchas personas ya ancianas todavía no han terminado de educarse. Pero los colegios pueden iniciar a los estudiantes en el largo camino del entrenamiento (y de hecho lo hacen), y tienen medios para decirles algo sobre las condiciones, las desviaciones, los puentes angostos y las señales de tránsito.

A los profesores se les dice que es menester hacer de sus estudiantes personas de amplia visión. Y, ¿cómo puede hacerse esto? ¿Dándoles mayor número de cursos de sociología, economía, historia, psicología y literatura? No necesariamente, a menos que se tenga algún interés en ellos. Todas estas disciplinas aparecen cuando se aplican los principios de la ingeniería, en la planificación de obras de esta naturaleza.²³ Y si es que en realidad aparecen, se ha creado el interés de los estudiantes, los que, en ese momento o después, pueden buscar en libros, o en las clases, a quienes tienen capacidad de ayudarles para satisfacer su interés. Tal vez encuentren el tiempo necesario en los cursos subprofesionales que permitan que el estudiante inicie su investigación siempre y cuando las materias propias de ingeniería sean las que hayan motivado este interés.

La enseñanza es un arte; no una ciencia. En la actualidad se ha difundido la idea desintegradora de que todas las actividades humanas pueden dominarse por medio

²³ No olvidemos que la ingeniería se enseña en universidades y, en consecuencia, lleva innato el carácter de universal. El divorcio que ha existido entre las diversas facultades de las universidades debe desaparecer; el sano intercambio de alumnos y profesores entre las facultades y escuelas es una necesidad para el progreso legítimo de la enseñanza, para que las universidades cumplan con la función, y para que tengan el destino, que la Patria de ellas reclama. Por esto es preciso que la enseñanza moderna del arte de la ingeniería vuelva sobre sus pasos. Debemos tener presente que, si son los recursos de la naturaleza los que están en juego, es al hombre a quien se va a servir. Que si deben conocerse las leyes naturales que rigen al mundo, también se necesita que el ingeniero conozca a sus semejantes. La enseñanza de materias humanísticas a los ingenieros nos dará algo de ese conocimiento.

de los métodos que se aplican a las ciencias físicas. Como arte que es, la enseñanza requiere ser de carácter individual, debe adaptarse tanto a quien la da como a quien la recibe y a la materia que se enseña. Puede obtenerse por medio de las clases, o de la discusión como en los seminarios. Se imparten valiosos cursos para los alumnos subprofesionales que no contienen un problema único como trabajo asignado, pero algunos profesores usan la asignación de numerosos problemas con gran éxito.

Un aprendiz preguntaba a Rafael con qué substancia mezclaba sus pinturas. El maestro respondió: "Con sesos." El rector de una universidad decía a los maestros de la misma: "Considero que son ustedes buenos maestros; su clasificación conmigo depende de sus publicaciones". La franqueza de este rector es admirable, pero no cualquiera que embadurna un lienzo es Rafael.

Mucha gente cree que la enseñanza es un trabajo como cualquier otro. En cierto sentido es verdad y necesita hacerse énfasis sobre ello. El trabajo fundamental de un profesor es enseñar, no escribir ni hacer investigaciones convencionales, ni discursos, ni hacer de mandadero en los comités técnicos o académicos, sino enseñar. No confundan esto: para que un profesor pueda tener los pies bien puestos en el suelo, para que se mantenga en contacto con el espíritu del trabajo profesional que se está haciendo en un momento dado y que se distingue de la atmósfera de invernadero de una escuela, es preciso que el profesor forme parte de comités técnicos y asista a las convenciones.²⁴ Es ahí en donde a veces se le dice en forma brusca que no sabe de qué está hablando, y la mayor parte de los profesores necesitan seriamente que se les diga, porque su mortalidad intelectual es deplorablemente alta.

Los profesores no sólo tienen obligación de estar en contacto con los progresos de las sociedades técnicas sino que, además, deben seguir las relaciones de esas actividades con otros desarrollos. Es conveniente que los profesores, en la universidad y en el mundo exterior, asistan a muchas reuniones, hablen con tantos grupos de gente como les sea posible, visiten muchas plantas industriales, consulten con cuantos laboratorios tengan contacto, con objeto de que puedan traer al salón de clases un panorama completo, un punto de vista renovado, de los problemas que ellos quieren discutir con sus alumnos. Esto crea un ambiente en el cual puede enseñarse a los estudiantes a que vean su nación y los problemas nacionales como un todo, y aún de que miren más allá.

¿Academismo? Desde luego. ¿Cómo puede un ciego guiar a otro ciego? Es imprescindible que los grandes maestros conozcan sus materias en una forma peculiarmente clara y viva. Entonces serán no sólo pensadores, sino pensadores originales.

¿Productividad? Un profesor que trata en forma constante de dominar su materia casi sin desearlo produce investigación, libros, artículos y discursos. El

²⁴ La conveniencia de asistir a congresos y convenciones radica en ambientar y familiarizar al congresista con aquellos asuntos a los cuales han estado dedicados los colegas de especialidad en los años inmediatos anteriores al evento, así como el beneficio del trato humano y casi fraternal con compañeros que tienen las mismas inquietudes y problemas. El fruto de la enseñanza ligada a los congresos y las convenciones viene después, con el estudio y discusión de las memorias de los mismos, y cuando el lector descubre progresos y aplicaciones insospechados.

subproducto resulta valioso, aunque mucho no lo es, porque son muy pocos los académicos que saben cuándo usar el cesto de basura. La producción tendrá valor, si es que lo posee, por su calidad y no por su cantidad. Pero todo esto no afecta a la verdad fundamental: la labor de un profesor es enseñar.

¿Investigación? Oh, sí, es un complemento del academismo. El estudio inteligente y tenaz en un tema cualquiera casi siempre nos lleva a la investigación, si con esta palabra queremos decir averiguar las cosas en forma sistemática; de hecho, la distinción entre academismo e investigación no está muy bien definida. Si el trabajo tenaz está guiado por el equivalente intelectual del ayuno y de la oración, si en realidad quiere saber y si en realidad le importa lo suficiente saber y pensar de manera profunda, con frecuencia será investigación valiosa. Pero esta condición es un incidente en la labor del profesor; él quiere saber no con objeto de ser un "investigador", sino con el de enseñar bien; esa es su tarea fundamental.

La enseñanza es un arte. La función de un profesor es enseñar. ¿Qué es lo que debe enseñar? La cantidad que se enseña seguramente no es muy importante. Cualquier persona bien entrenada puede tomar uno o dos libros sobre casi cualquier tema y obtener de ellos en un fin de semana más información que la de un novato en un curso semestral, y mucho más de lo que podrá recordar; más información sí, pero no más conocimientos. Si la persona ha sido bien entrenada sabrá qué parte de esta información es fundamental y qué parte no lo es, cuál es la parte importante y cuál es la incidental. Trabajando bajo un gran maestro habrá formado las bases para un juicio crítico en la rama de que se trata.

¿Qué es lo que deben enseñar los profesores? Una de sus grandes responsabilidades es determinar aquello que necesita enseñarse, lo que debe dejarse fuera y lo que es preciso enfatizar pero, en especial, lo que conviene dejar fuera. Esta responsabilidad no recae en el director de la escuela, y es seguro que tampoco en el alumno; es muy fácil dar a este último lo que él quiere: un curso popular. Pero no hay escape; el profesor tiene la responsabilidad de decidir qué es lo que va a enfatizar y qué es lo que va a omitir. Su labor es enseñar y aquí puede agregarse que la obligación del estudiante es aprender.²⁵ Tomen nota, por favor, que el estudiante asiste a la escuela

²⁵ Es muy frecuente que los alumnos quieran que el profesor lo haga todo, y pretenden (aunque sólo lo reconozcan de manera tácita) que lo único que ellos necesitan hacer es sentarse a escuchar la clase. Algunos creen que los conocimientos les llegarán por inspiración divina transmitida por los maestros en calidad de profetas. Aprender bien es una labor ardua, que requiere disciplina, tenacidad, esfuerzo constante y sostenido. Y además, no son tan sólo conocimientos simples lo que el estudiante necesita adquirir; pasando de lo más tangible a lo menos tangible, el alumno comenzará por adquirir habilidades y conocimientos sencillos para que, teniéndolos, pueda captar el sentido de los conceptos, lograr entendimiento y aplicarlo todo a la resolución de los problemas que se le presenten; y, finalmente, habiendo madurado, tendrá apreciaciones propias a sus conocimientos, intereses congruentes con su capacidad y actitudes nobles y elevadas. Al estudiante se le debe inculcar desde muy joven la idea de que el profesor lo va a orientar, le tratará de estimular para que reflexione, le ofrecerá su experiencia, pero que la mayor parte de la labor del aprendizaje recae en el estudiante mismo. El mal estudiante elude su responsabilidad y pretende culpar al profesor, porque no puede aprender. No es así; el mal profesor dirige mal, pero el esfuerzo del aprender corresponde al alumno.

para aprender a investigar; es muy malo decirle que ya es un investigador. ¿El plan de estudios? Es preciso ser muy cuidadoso para no enfatizarlo con exceso, por lo menos en lo que se refiere a la enseñanza. Por regla general se renueva en pocos años, y es muy común que la revisión se alabe como una nueva era de la educación. Pero todos los temas y materias de carácter reciente podrían encajar en los programas de hace treinta años tan bien como en los planes más modernos. El hecho que la revisión de los planes de estudio sea deseable por motivos administrativos o publicitarios es otro asunto.

¿Cómo debe enseñar un profesor?²⁶ ¿Ganándose el afecto de sus alumnos, que gratamente lo seguirán adonde él los guíe, para que sus mentes puedan florecer en la agradable perfección de los rayos del sol que son el amor y el entendimiento? Muy bien, pero como dicen los matemáticos, no es ni necesario ni suficiente. Esto es una discusión sobre la enseñanza, no sobre cómo llevar una guardería intelectual. Algunos de los profesores más populares son muy malos maestros; muchos de los más grandes educadores generalmente no han sido apreciados. Los estudiantes casi siempre son tan claros y tan formales como sus profesores; seguirán la dirección del maestro que ha dominado su materia y su arte. Puede que no lo aprecien, pero no se requiere que así lo hagan. Muchos de los llamados instructores populares obtienen esa popularidad por la prostitución de su arte; los estudiantes lo saben, pero es una puerta fácil.

Otra vez: ¿cómo debe enseñar el profesor? No puede darse una respuesta concluyente a esta pregunta. La uniformidad del método es, con seguridad, lo último que debe desearse. No es necesario que todos los cuadros de muchachas sean los de Gibson; unas cuantas Mona Lisa son aceptables. Se conocen muchas clases de profesores, muchos campos del pensamiento. Aún en el mismo campo, distintas personas llevan su materia por diferentes senderos; hay varias maneras de atacar aún las materias más especializadas. Si pueden trazarse los caminos del entendimiento sin excesiva confusión, el sistema es bueno, pero normalmente no es posible hacerlo.

¿Y cómo es que puede identificarse a un gran maestro? Bien, muchas veces no es posible. Rafael fue un gran pintor, pero nadie ha oído decir que lo haya sido, porque secaba sus pinturas hasta que obtuviesen un alto grado de dureza Brinnell. Este arte, como cualquier otro, con frecuencia se satisface a sí mismo. Es inevitable que la mente de tipo administrativo sea sensiblemente diferente a aquella dispuesta para la enseñanza, y que muchos excelentes administradores tengan problemas para reconocer a los grandes maestros. También es cierto que muchos educadores son como el demente del asilo que le explicaba a sus compañeros por qué no podía ser Napoleón. Algunas veces, todo el mundo coincide en la grandeza de algún profesor inspirado.

Medios de enseñanza: ¿lámparas especiales, magníficos escritorios, hermosos edificios? Muy bien, pero obsérvese que un gran profesor, para usar una frase popular,

²⁶ El profesor se enfrenta con el siguiente dilema: o enseñará para el nivel intelectual del estudiante promedio de su clase, o bien para los estudiantes más adelantados. En el primer caso, su curso parecerá insípido, aún infantil, para las mentes privilegiadas. En el segundo, no quedará al alcance de la mayor parte de la clase, sus enseñanzas serán un enigma para todos excepto unos cuantos; sólo un gran maestro es capaz de enseñar bien a un grupo muy disímil de mentalidades. Balancear los dos niveles de la educación quizá sea uno de los problemas más difíciles que el profesor debe resolver.

enseñará "contra viento y marea". Los edificios espléndidos y los costosos laboratorios nunca podrán hacer una gran universidad; los grandes profesores sí.

Ha habido muchos buenos profesores y algunos verdaderamente eminentes, aunque son más escasos que monedas de oro. Se reconocen diferentes clases; unos han sido magníficos maestros de posgraduados, otros dotados en la división profesional. Se puede identificarlos por su misión, por su inspiración, por su entrega a quienes están entrenando. Hay personas que creen que estos grandes profesores son, con mucho, los hombres más importantes en el mundo de la educación.

Quienes han enseñado por muchos años a menudo observan las ventajas y limitaciones de las diversas disciplinas, tanto en la realidad como en las esperanzas de los partidarios interesados. Pero la educación debe ser la de un hombre íntegro en un mundo entero: las humanidades, las urbanidades, las vanalidades. Quien no está deseoso o es impotente para correlacionar las fases de la experiencia intelectual, es probable que contribuya muy poco a la educación, la propia o la de otros.

El profesor emplea relativamente poco tiempo en contacto directo con sus alumnos. En general, el estudiante de una profesión no emplea más de una o dos semanas de tiempo efectivo de trabajo en el salón de clase en contacto con un profesor determinado. Puesto, en esa forma, la afirmación es un tanto asombrosa. Muchos mirando retrospectivamente, reconocerán la enorme influencia que algunos profesores ejercieron en su desenvolvimiento y, sin embargo, raras veces recordarán con exactitud que fue lo que les enseñó. El profesor actúa, en parte, ; como un catalizador: un material que forma parte de una reacción química; después que se ha producido la reacción y el nuevo material, el catalizador permanece tal como existía antes, con igual desinterés, pero con la misma fuerza y listo para catalizar repetidamente en forma indefinida. A los estudiantes se les enseña por medio de una acción catalítica siempre y cuando el profesor tenga la personalidad necesaria para producir la reacción. Casi siempre están rodeados de una atmósfera intelectual que conduce a la maduración; de un ambiente de laboratorios, museos, bibliotecas, ilustraciones y grupos de discusión. Todos éstos son efectivos y serán fáciles de encontrar. Las universidades deben tener la capacidad para decir a sus estudiantes: "Pedid y se os dará, buscad y encontraréis, tocad y se os abrirá." Por ello los profesores desean muchas cosas para crear el ambiente intelectual. En algunas ocasiones los alumnos piensan que los profesores exigen demasiado, pero pueden encontrarse que la amplitud con que un catedrático desea las cosas a veces es una medida de su valer. Mientras más energía tiene, más interés pondrá; mientras más amplios sus intereses, más cosas querrá.

Los individuos pasan por tres etapas para alcanzar la maduración completa de sus capacidades. Al principio usan ciertas rutinas, fórmulas, y especificaciones fijas. No es honrado quien profesa en el entrenamiento de los ingenieros, para que salgan al mundo frío de la realidad, sin enseñarles algún conocimiento en el uso de los procedimientos normalizados en los que se basa la industria moderna. Pero los estudiantes siguen adelante y tienen la esperanza de llegar a ser subjefe. Cuando lo logran están en una posición en que pueden revisar, descartar o inventar rutinas para que

otros las sigan. El propósito de las mentes mecánicas en la evolución de la industria moderna ha sido semejante a la línea de montaje en la manufactura. Los procedimientos formalistas se establecen como guía para las personas de menor experiencia. A la larga, se espera que los jóvenes alcancen la tercera etapa y sean capaces de unirse al grupo científico, al de economistas y al grupo social y puedan ponerlos a trabajar juntos. Su problema deja entonces de ser un problema formal de ingeniería y se transforma en uno de carácter nacional, de las industrias, del uso y la conveniencia del hombre.

Los exalumnos de las universidades se inclinan a que los educadores preparen con todo cuidado alguna parte en especial de este largo camino que los jóvenes seguirán, y desean que se concentre la atención en los tramos del camino que ellos mismos están recorriendo en ese momento. Así, un joven egresado de 30 años de edad a menudo piensa que debiera haber recibido más detalles técnicos en su educación. A los cuarenta comúnmente se queja de que no le dio suficiente atención al estudio de leyes y al de administración; a los cincuenta el exalumno desea que hubiese estudiado más las lenguas vivas o leído más la literatura clásica; a los sesenta ya ha madurado lo suficiente para conocer que las universidades tratan con jóvenes de veinte años y no con ancianos de más de sesenta, y se da cuenta que lo mejor es armonizar y dar la debida atención a todas las etapas de su carrera.

"Quien, con la bendición del Todopoderoso, pueda ser apto para el servicio público."

LA EDUCACIÓN DE UN INGENIERO

VIVIR UNA VIDA PLENA EN UN ANCHUROSO MUNDO

Se acostumbra considerar a la ingeniería como parte de una trilogía: ciencia pura, ciencia aplicada e ingeniería. Necesita hacerse énfasis en que esta trilogía es solamente una de un conjunto de tres trilogías en las que encaja la ingeniería. La primera es la ya apuntada; la segunda es teoría económica, finanzas e ingeniería; la tercera es relaciones sociales, industriales, ingeniería. Muchos problemas de ingeniería están más ligados a los de carácter social que a la ciencia pura. Las limitaciones de las clasificaciones académicas son notorias. En el mundo de trabajo diario no corresponden a la realidad las llamadas ramas del conocimiento que se acostumbran clasificar por los sistemas académicos. Es el hombre completo el que trabaja, la comunidad entera la que vive, y es función de la universidad ver por encima y más allá de las clasificaciones que son un tanto estériles.

La mecánica, por ejemplo, es un diamante de muchas facetas que cintilan con diferentes colores para un matemático, un estudiante de ciencia pura, un estudiante de física cósmica o para un ingeniero. En la naturaleza es, sin duda alguna, la misma mecánica, pero parece inútil tratar de pensar en ésta como una unidad cuando se analiza intelectualmente, tal como la abordan los diferentes investigadores. H. M. Westergaard escribió: "Debe hacerse notar que la teoría de la elasticidad es, en esencia, ciencia física, dirigida a comprender el comportamiento de la materia. El desarrollo del proceso fundamental de la teoría, a lo largo de los últimos cien años, ha sido el trabajo combinado de físicos, matemáticos e ingenieros. Las aplicaciones a la teoría molecular

y a la del sonido se han presentado por sí mismas. Al mismo tiempo, las aplicaciones al análisis estructural han sido la causa de un contacto continuo con la ingeniería. Estas aplicaciones prácticas a la ingeniería han salido al frente durante los últimos años."

A.E.H. Love explica: "La historia de la teoría matemática de la elasticidad nos demuestra con claridad que la evolución de esa teoría no se ha guiado, en forma exclusiva, por consideraciones de su utilidad para la mecánica técnica. La mayor parte de los hombres, gracias a cuyas investigaciones ha sido posible fundamentar y darle forma a la teoría, se interesaban más bien en filosofía natural que en el progreso material, e intentaban comprender al mundo en vez de tratar de hacerlo más cómodo... Aún en los problemas más técnicos como el de la transmisión de fuerzas y el de resistencia de barras y placas, la atención se dirigió, en su mayor parte, más bien a los aspectos técnicos que a los prácticos de estos asuntos... Tiene bastante importancia el hecho de que mucho progreso material es el resultado indirecto del trabajo ejecutado sobre esta base. También es una verdad significativa que muchos de los grandes adelantos en filosofía natural fueron realizados por personas que tenían conocimiento directo de necesidades prácticas y de métodos experimentales como tantas veces se ha hecho resaltar; y, aunque los nombres de Green, Poisson, Cauchy, muestran que la regla no está libre de excepciones, ha quedado, no obstante, ejemplificada ampliamente en la historia de esta ciencia."

Algunos ingenieros han estudiado tanto los cursos clásicos como los más usuales en esta profesión; han asistido a las escuelas llamadas de "artes liberales", donde se vieron expuestos a un programa en gran parte dissociado del problema de ganarse la vida. No obstante, un numeroso grupo de estos ingenieros reconoce que mucho de lo que recibieron del programa de clases ha sido el entrenamiento más práctico que han adquirido en carrera, aunque en el plan de estudios no se explicaba que las copias azules no se hacen con tinta blanca.²⁷ Los colegios, con su respaldo de educación liberal²⁸

²⁷ Numerosos grupos de personas, profesores, estudiantes y profesionistas, creen que la enseñanza y la educación que conviene dar a los estudiantes de ingeniería es muy distinta de la enseñanza y el entrenamiento que recibirá el egresado por experiencia en su vida profesional. Es cierto en un sentido: que la manera de pensar de un estudiante es, o por lo menos debiera ser, desinteresada, ya que solamente en los colegios está un hombre libre de las relaciones que existen entre su trabajo y sus medios para ganarse la vida. Fuera de esto, lo propio es que las escuelas de ingeniería sean la iniciación a la vida profesional, y los problemas que resuelva el estudiante deben ser, sobre todo, reales y simples relativos a la naturaleza y al hombre concernientes a la profesión que escogió.

²⁸ Aquí el significado del vocablo "liberal" es opuesto al de tendencioso, adoctrinado, y que ahora también se llama "indoctrinado". El sistema de la "indoctrinación" ha tenido un auge increíble en lo que va del siglo XX. Y no debe creerse que esta comente es característica exclusiva de los países llamados socialistas o comunistas o totalitarios, los que tienen Ministerios de Propaganda y Oficinas de Censura; también es un principio muy aplicado y generalizado en los países capitalistas y democráticos, tanto en lo que se refiere a la promoción de ventas como a la manera en que los gobiernos justifican su política y sus actos. En lo relativo al comercio, véanse, por ejemplo, los anuncios de los fabricantes de automóviles; cuando sale al mercado el modelo de un año, no es raro que hagan declaraciones como ésta:

deben dar a los estudiantes de ingeniería una base que complemente y apoye su entrenamiento técnico; es preciso que los trabajos realizados dentro de esos colegios, como suplemento de la enseñanza que en ellos se imparte, estén libres de manchas y de corrupción por el deseo de llevarlos a la práctica.

Además de los intereses clásicos necesarios, los ingenieros requieren tener verdadera personalidad (cultura y don de gente), lo mismo que cualquier otro ser humano. Probablemente no haya un camino más seguro para desarrollar el carácter que el pensamiento recto, firme y valeroso. En lo que se refiere al don de gente, los colegios no tienen monopolio: un estudiante cualquiera que con justicia se compare a sí mismo, o a sus compañeros de clase, con personas de iguales facultades mentales y privilegios sociales que ingresaron al mundo de los negocios directamente desde la secundaria, podrá darse cuenta de esto; es un principio bastante conocido en el terreno de los negocios. Quienes no cultivan su espíritu, viven sin el conocimiento y la apreciación de la belleza que nos ha legado el pasado, y la que se engendra y existe en la actualidad,

"el nuevo modelo tiene 30% más área de frenos, es más ancho, más bajo, más largo y más rápido". Lo primero que pregunta cualquier persona que no acepta que se le adoctrine es ¿más frenos, más ancho, más etc... que qué? Y si medita, sólo encuentra la respuesta de que todos esos atributos son comparaciones con el modelo anterior; o lo que es lo mismo, si esos atributos son ventajas positivas, o sea cualidades, queriendo ensalzar el modelo del año en curso para lograr ventas, los fabricantes automáticamente reconocen los defectos o las insuficiencias de los modelos anteriores. La imposición de doctrinas políticas, a veces en forma muy sutil y otras de manera abierta, es aún más grave. La mayor parte de los gobiernos en todos los niveles, así como las dependencias de estado, tienen oficinas de prensa o de información para dar las noticias, las que entregan a los reporteros de "la fuente", en forma sintética y altamente tendenciosa, lo que "recomiendan" que se publique; y los reporteros, directores de diarios y revistas, así como organizadores de programas de radio y televisión, no teniendo otro medio fácil para obtener noticias, difunden las que han recibido tal como se las han proporcionado. Así, los diarios en todo el mundo están saturados de informaciones y opiniones de los gobiernos sobre sí mismos, que por la fuente de donde provienen, nada valen, pero que constituyen la mayor parte de nuestra ración cotidiana de noticias. Los pensadores auténticos rechazan de antemano elevar cualquier doctrina a institución, no porque pueda ser falsa o interesada, sino por el hecho de que obstaculiza la reflexión y la inventiva, limita la visión y coarta la libertad. Así Konrad Lorenz ha dicho: "La única ideología científica es no tener ninguna." Recordemos que Galileo fue obligado a abjurar de sus descubrimientos porque se dictaminó que eran contrarios a las "doctrinas" de las Sagradas Escrituras; que los libros de Darwin fueron combatidos por una causa semejante, y que el régimen nefasto de la Alemania Nazi se estableció y fortaleció por su imposición doctrinaria de aparentes y falsos ideales sobre la superioridad racial. Los científicos de valer llaman a sus descubrimientos, en forma modesta y sin pretensiones, "teorías"; los grandes pensadores se limitan, con humildad y sencillez, a exponer sus ideas, explicar posibles soluciones y, si acaso, dar interpretaciones sobre fases aisladas y casos especiales del universo y sus relaciones. En nuestro mundo no puede haber verdades absolutas ni conocimientos perfectos. Cross reconoce tácitamente la libertad de cátedra, una de las diferencias esenciales entre los países que en realidad son democráticos y los totalitarios, pero al mismo tiempo, hace notar que sólo en los colegios, si de veras son "liberales" se está al margen de las enseñanzas tendenciosas y dogmáticas. En esta verdad puede hallarse una de las causas más importantes de la mal llamada "rebeldía" de los estudiantes, los que no se han visto obligados a seguir y aceptar la doctrina y los postulados en que se pretende que vivan y se desenvuelvan, ni por necesidad económica, ni todavía por la fuerza de la costumbre.

vivirán solamente a medias; es un error muy común considerar que las personas de auténtico valer son grandes por su cultura; lo cierto es que estos hombres son cultos porque tienen intereses cosmopolitas que los ayudan a ser grandes.

Si cultura significa realización, apreciación y goce de la plenitud de la vida, de todos los factores materiales, mentales, estéticos y espirituales que forman el mundo de la humanidad, entonces los ingenieros están en una posición particularmente favorable para lograrla. Si entran de lleno en la ciencia y en las humanidades involucradas en adaptar las fuerzas naturales para uso y conveniencia del hombre, bien, eso es cultura; en ese caso, los ingenieros viven por la cultura, la crean y la hacen realidad.

Ese es su privilegio, vivir la vida con entereza, ver el principio y el final de la influencia de su labor; conocer el nacimiento, la evolución, la declinación y el renacimiento de los ferrocarriles, los cambios de la navegación terrestre, el trabajo de los arquitectos, abogados, economistas, estadistas, así como los materialistas y humanistas. Pocos hombres (si es que algunos han podido) viven una vida con plenitud, pero la oportunidad y el derecho están ahí para el ingeniero.

También hay una obligación. La ingeniería, por necesidad, afecta profundamente a la cultura. No es propio que los ingenieros sean desarticulados; necesitan decir a los demás, no a sus colegas, cómo obtienen sus resultados; no los detalles técnicos y fastidiosos y los procesos matemáticos que muchos profanos conciben erróneamente, sino explicar que su labor es el resultado de sopesar las pruebas, examinar las muchas soluciones posibles, y que sólo después de una discusión juiciosa que involucra la experiencia del pasado, las condiciones del presente, y la probable evolución futura, es que se aceptan las soluciones. Es importante que los demás hombres sepan que los ingenieros no construyen solamente con concreto y acero, o con fórmulas y diagramas, sino más bien con fe, esperanza y caridad: fe en sus métodos, en su entrenamiento, en los hombres con quienes trabajan, fe en la humanidad y en el hecho de que la vida vale la pena vivirse; esperanza de poder encontrar el personal, el dinero, los materiales y los métodos para sus realizaciones, no deseos ciegos sino esperanzas juiciosas; caridad que involucra una comprensión bondadosa del elemento humano y disposición para trabajar con las debilidades humanas y para tolerarlas. Los ingenieros deben rechazar los intentos de llevar al cabo empresas que no estén soportadas por la fe, que tengan esperanzas vagas, y muy pocos ingenieros deben tolerar la caridad sin distinciones.

Esta discusión sobre la cultura puede excusar una digresión a un fascinante campo complementario de la ingeniería estructural. Casi todo el mundo adquiere la costumbre de coleccionar algo; la mayor parte de los estudiantes profesionales tienen la pasión de reunir fórmulas, y los exalumnos y profesionistas recién egresados están predispuestos a hacer acopio de todo género de métodos de análisis. Ambas variedades de coleccionistas pueden llegar al vicio, por lo que se recomienda a los ingenieros, como salida de estas actividades filatélicas, ensayar una excursión en alguna otra rama, como la colección de puentes. Con fotografías y descripciones, con la acumulación de asociaciones históricas y detalles artísticos, uno puede llegar a construir un museo que no tiene interés exclusivo como una afición, sino además, un valor como un respaldo del trabajo profesional. Es una gran satisfacción cambiar el análisis matemático preciso o del detalle de las conexiones a un punto de vista más amplio sobre la función de las

estructuras de los puentes. Un conjunto de ilustraciones permitirá al ingeniero ver los puentes no como fórmulas, sino como estudio de luces y sombras.

Un puente debe ser estructuralmente sano, correcto en cuanto a su forma, adecuado en lo relativo al detalle; construido de buenos materiales empleados con propiedad; pero también debe armonizar con el paisaje con gracia y dignidad y llevar la calzada de calle o de colina a colina. La distinción entre ; arquitecto e ingeniero es bastante reciente en lo que concierne a la arquitectura de puentes y es casi imposible llevarla a la práctica. Quien diseña un puente hermoso necesita haber concebido correctamente lo que es el trabajo estructural; el artista debe tener algo del ingeniero, y éste debe ser artista y planificador.

Uno de los murales de Maxfield Parrish tiene una inscripción en lengua gálica que dice: "He aquí el puente que sirve para que crucemos." Para eso sirve un puente, para que cruce la calzada, pero puede hacerlo en muchas formas. Los puentes son parte de la calzada, y también del paisaje y del río o del valle que atraviesan.²⁹ Conviene que armonicen con los alrededores, y estén asociados al espíritu que los crea. En un parque, puede ser un puentecillo jovial, que juega, como en el pequeño puente colgante sobre un lago que parece retozar en los jardines públicos de Boston, pero debe ser serio y consciente cuando sirve para llevar una vía férrea sobre una barranca. Si está construido en medio de bosques de pinos, posiblemente convenga que se haga de madera, para que se sienta en una vecindad apropiada, pero las barrancas con cantiles de roca piden mampostería bien labrada o concreto, y en los grandes claros, se requiere la resistencia y la gracia del acero.

París, con toda su fascinación como centro de arte, asiento del saber, ciudad de grandes vistas, magníficos jardines, es también una ciudad de hermosos puentes. El artista, el arquitecto y el ingeniero encuentran la seducción de la belleza cuando caminan a lo largo de las riberas del Sena. El puente Alejandro III, el de la Concordia, el Puente Real y todos los que conectan las dos islas del Sena con las riberas se ajustan con gracia y armonía entre las vistas magníficas desde Notre Dame hasta el Trocadero (hoy Palacio de Chaillot). En París, como en otros lugares de Europa, la acumulación de bellos puentes se ha logrado por medio de una larga selección. Un puente hermoso es aquel que está bien diseñado, que es, por regla general, durable. A medida que pasan los años, se integra con la vida y con los afectos del pueblo, se transforma en parte de la ciudad y en el foco del desarrollo cívico; cautiva la fantasía de los artistas y de los poetas y se hace amar de tal manera que se le permite que sobreviva con pocos cambios

²⁹ Muchos ingenieros que proyectaron puentes en lo pasado, se olvidaron de que estas estructuras no son elementos aislados, sino que precisamente forman parte de la calzada; por tanto, deben estar integrados a ella y alinearse conforme a lo que ésta requiere. Todavía en la actualidad nos topamos con numerosos puentecillos que obligan a la calzada a tener curvas innecesarias en los accesos, que provocan accidentes, y que dan fe de que el ingeniero de puentes nunca estuvo de acuerdo con el localizador, es decir, que jamás trabajaron en equipo.

a medida que pasan los años.³⁰

Europa tiene muchos ejemplos de arquitectura de puentes hermosos y extraños, porque los europeos han podido preservar lo mejor de sus construcciones antiguas. Sin embargo, la arquitectura de sus puentes recientes no es superior a la del Nuevo Mundo.³¹ Esto puede verse en las estructuras más modernas sobre el Sena y el Marne. En Chateau-Thierry por ejemplo, el nuevo puente de concreto reforzado se ve de calidad mediocre y armoniza muy poco con los antiguos edificios a lo largo del río o con los castillos que lo dominan desde las alturas; uno siente cierta compasión para este nuevo material encajado en una compañía tan antigua como distinguida.

El Nuevo Mundo está obteniendo excelentes calidades de arquitectura de puentes. En años anteriores, los ingenieros de las Américas estuvieron tan ocupados en la construcción que a veces se olvidaron que la belleza es una propiedad tan importante como la utilidad, pero en aquellos lugares en que el puente ha sido "adecuado", de materiales que evidentemente armonizan dentro de la comunidad y que su proyecto ha sido estructuralmente correcto, los puentes de las Américas tienen una dignidad que no la sobrepasan los europeos.

Europa tiene pocos puentes que pudieran considerarse grandes en cuanto a su tamaño; el que cruza sobre el Elba en Hamburgo y el de Forth son de los pocos que, nada más por su tamaño, llamarían la atención de las publicaciones técnicas americanas, a éstos deben agregarse unos cuantos sobre el Rhin y quizá sobre el Danubio. Pero algunos de sus puentes mayores fascinan más bien por el cuidado con que se han construido que por su belleza. El del Forth se despatarra sobre el estuario como un dinosaurio antediluviano, colosal en lo relativo a su tamaño, pero carente de distinción en lo que se refiere a proporciones. En este sentido, las Américas son el hogar de los puentes grandiosos.

Los puentes presentan una vista a los que viajan por el río, otra a los que hacen sus jornadas por las riberas, y una tercera vista a los que vagan a lo largo de los parapetos para pescar o para descansar o aún soñar. Se han preparado bellos estudios de arte en el proyecto de los accesos, las formas de las pilas y los detalles de las balaustradas (barandales). Cada puente tiene su propio vecindario; puede ser

³⁰ A los que amamos a los puentes, y les hemos consagrado una parte importante de nuestra vida, nos da tristeza que las hermosas estructuras situadas en los caminos y en las vías férreas sean vistas únicamente desde la calzada, y nada más en contadas ocasiones, gracias a las curvas del camino, puedan observarse bajo otro punto de vista. Se dice en tono burlón que en un puente en la población de Lagos, en el Estado de Jalisco, se ha puesto la inscripción: "Este es un puente y se pasa por arriba". Quien aprecia la belleza y la utilidad inherente de estas construcciones quisiera que, de cuando en cuando por lo menos, los puentes se pasaran por abajo o por un lado para así aquilatar su utilidad, valor y sus cualidades estéticas. Más aún, como mucho del atractivo de estas estructuras se encuentra no sólo en la obra terminada sino en su ejecución, desearía que, como la música y la danza que se realizan tanto en el espacio como en el tiempo, los puentes pudieran verse siempre en sus diversas etapas de ejecución.

³¹ Recuérdese que este libro fue escrito inmediatamente después de la segunda guerra mundial, y que muchos de los conceptos vertidos por el profesor Cross se refieren a la época anterior a esa guerra.

simplemente una prolongación de una calle y quedar dominado por los edificios adyacentes, como en el caso del de la Santa Trinidad; o bien, puede él mismo dominar el paisaje como lo hace el del Risorgimento.

Los puentes que en realidad son magníficos tienen una personalidad propia. El de Lars Anderson en Cambridge, encanta por la manera en que armoniza con el río; los de Venecia forman parte de un conjunto glorioso de la arquitectura renacentista; el de James B. Eads sobre el Mississippi tiene al mismo tiempo la suficiente gracia y resistencia para armonizar con la dignidad del "Padre de las Aguas"; el puente San Carlos sobre el río Moldavia, en Praga, nos fascina con sus cruces hebreas y con sus excelentes estatuas; algunos parecen jugar dentro de un parque, otros salvan en forma majestuosa los grandes ríos, pero todos los puentes que impresionan nuestra imaginación siempre armonizan adecuadamente con los alrededores o el paisaje. El puente Vecchio es encantador sobre el Arno, el Ponte di Rialto forma parte del Gran Canal de Venecia, pero el río de Chicago es otra corriente con diferente tono.

Parece que los europeos han amado más sus ríos y sus puentes que los americanos. Las riberas del Sena, del Támesis, del Tiber, o del Alster todas ellas reflejan el hecho de que las orillas de los ríos de Europa se han desarrollado en forma más completa y con mayor encanto para el solaz de aquéllos que toman una pausa para disfrutar de la hospitalidad de los puentes. Los americanos han apreciado los ríos de sus propias ciudades mucho menos de lo que debieron haberlo hecho, y menos quizá de lo que lo harán en el futuro. La ciudad de Boston ha realizado maravillas con su río Charles; la de Chicago está modificando su río para que se transforme, de una gran cloaca, en una faja de descanso; la de Pittsburgh comienza a descubrir las vías fluviales en cuya confluencia se estableció un centro de comercio; y la de Indianapolis se ha dado cuenta de que el río White puede ser un objeto de belleza así como la causa de las inundaciones de la población.

La ingeniería no es sencillamente la ciencia matemática. Debe abordarse con un sentido de la proporción y de la estética. En tanto que los ingenieros tratan con hechos que son mensurables, ellos usan la herramienta matemática para combinarlos y deducir conclusiones; pero, en muchas ocasiones, los hechos no están sujetos a mediciones exactas, o bien, las combinaciones de ellos son, de por sí, inconmensurables. No tiene dificultad alguna comparar dos distancias, pero muchos conductores de automóviles discuten con sus familiares sobre el valor relativo del kilometraje recorrido contra las ventajas de escenarios naturales. La labor de los ingenieros está íntimamente conectada a las costumbres de los humanos así como con los hechos materiales. La ingeniería municipal nos proporciona ejemplos familiares—la importancia relativa de los parques y de los espacios para los estacionamientos de vehículos, la conveniencia de comercios distribuidos en los diferentes barrios y la zonificación en los distritos residenciales, los ferrocarriles urbanos y la iluminación del sol. La trascendencia de estos problemas enfatiza la necesidad, la muy práctica necesidad, de que el ingeniero tenga conocimientos de historia y de literatura, una clave de cómo ha trabajado la mente humana en el pasado y cómo reaccionará en su nueva vecindad.

Una obligación muy importante de los profesores es la de forzar a sus estudiantes a que regresen repetidamente al campo de la realidad y, más aún, la de

esforzarse ellos mismos a regresar a este campo. Algunos de los estudiantes próximos a terminar su carrera se olvidan que son las leyes de la mecánica las que los hacen caer y golpearse la cabeza, que son las calorías las que les queman los dedos, que la energía puede causar la muerte. De hecho, es difícil concebir un absurdo con el cual no estarán conformes estos estudiantes si se presenta con suficientes letras griegas y con buen número de signos de integral. Algunos de ellos han perdido por completo la voluntad de comprobar sus conclusiones contra la realidad del mundo diario en que viven.

Muchos profesores intentan subsanar esta dificultad en el laboratorio. Pero el modelo de laboratorio no es lo mismo que la estructura real, y en general difiere mucho de ella. En cierta ocasión un ingeniero describió determinada prueba de material como aquella que se aplicaba con objeto de saber si el material pasaba o no la prueba. Con frecuencia, el sentido de la realidad decrece a medida que aumenta la complicación del equipo para los ensayos y al fin, termina desapareciendo del todo en el trabajo de laboratorio.³²

La utilidad de los dispositivos técnicos debe medirse, en su mayor parte, por el grado con que se basan en el mundo de la realidad y de la experiencia. No debe permitirse, como se hace a menudo, que en los cursos profesionales, las pruebas estandarizadas, los símbolos, las fórmulas y los términos técnicos suplanten la realidad.

³² Las pruebas de laboratorio que se exigen a los materiales de construcción para que puedan utilizarse en las obras deben ser no sólo simples, sino típicamente representativas del trabajo real que debe desarrollarse el material. Así, la prueba de tensión de barras de acero, que por sencilla y fácil de hacer se aplica en forma muy usual, es ideal para los materiales sujetos fundamentalmente a cargas estáticas; pero si el material se va a emplear en estructuras sujetas a esfuerzos repetidos donde el fenómeno de fatiga es notorio, la prueba de tensión simple es insuficiente para proporcionar un índice apropiado del comportamiento del material en la construcción. Además, la fragilidad, en especial a bajas temperaturas, puede ser de vital importancia en el comportamiento del material en la obra, y en este sentido los datos de las pruebas comunes ya no dan resultados que sea factible correlacionar en forma simple. Más aún, cuando se hacen las pruebas Izod y Charpy, sus resultados apenas si pueden calificarse de valores cualitativos, rara vez cuantitativos. No obstante, querer representar en un modelo simplificado de laboratorio el comportamiento de una pieza real puede ser, a veces, una guía errónea y hasta peligrosa. Tomemos la prueba que se acostumbra hacer a tubos de concreto para drenajes consistente en aplicarles una carga de línea en la parte superior y una reacción de dos líneas o de cama de arena en la inferior. En primer lugar, las dos formas de carga, que muchas especificaciones aceptan indistintamente, dan, algunas veces, resultados que difieren de manera notable. En segundo lugar, la presencia de una sola piedra o un reborde irregular actuando contra el tubo en la obra puede provocar condiciones de trabajo mucho más severas que las idealizadas en el laboratorio. En tercer lugar, la acción estructural del tubo en la obra dependerá más del material de relleno que lo rodeará, y del espesor de ese material entre el tubo y las cargas concentradas, que de la resistencia propia del tubo. En cuarto lugar, el comportamiento del conjunto es variable con el tiempo, las condiciones en que se hace el relleno, la humedad del terreno circundante, la forma en que se efectúe la colocación del tubo, y de muchos otros fenómenos que no se valúan en el laboratorio. Sin embargo, ¡cuántos tubos que pudieran haber dado servicio satisfactorio se han rechazado por no pasar la especificación! Por ello, es necesario que los requisitos exigidos en las pruebas de esta naturaleza vayan precedidos de salvaguardas como "Cuando no se hagan pruebas en la obra que dupliquen las condiciones de trabajo..." o "cuando no se demuestre a satisfacción del supervisor de la obra...", etc., etc.

Es fácil, como muchos ingenieros saben, ir demasiado lejos persiguiendo esta esquiva realidad en los colegios; es una falla común suponer que si los estudiantes visitan suficientes puentes en ilustraciones de ellos, no requieren conocer mucho sobre su análisis. Los cursos llamados "prácticos" que tratan sobre cómo-se-hacen-las-cosas, y que excluyen el por-qué-se-hacen y el cómo-pudieran-hacerse son, en gran parte, un desperdicio de tiempo.

Lo que realmente le sucede a una estructura con frecuencia no es tan importante como lo que pudiera llegar a sucederle. Lo que puede llegar a suceder es posible que no acontezca; la probabilidad es un concepto, no un hecho. Esta elusiva ilusión de la realidad, no obstante, no es la dificultad con que se encuentran los alumnos subprofesionales. Ellos han perdido aún la ilusión de la realidad. Si se les pide que dibujen una estructura deformada por las cargas, dibujarán una línea sinuosa que alguien con cabeza de calabaza en un trampolín sabe de antemano que no es ni siquiera aproximadamente correcta. Calculan una reacción negativa en una viga en voladizo sin que les interese lo que significa el signo negativo. Esto parece demostrar que el proceso de enseñanza ha destruido en los estudiantes algo de gran valor; no cabe duda que el estudiante o el curso ha perdido algo que es vital.

Los buenos ingenieros tienen un sentido muy amplio de la realidad. El buen juicio de un ingeniero, cuando de veras lo tiene, vale mucho más que los cálculos que hacen personas en las que el sentido del juicio está subdesarrollado. Quizá no haya cuestión tan importante para los profesores de ingeniería que reflexionar sobre los medios para estimular ese buen juicio en los alumnos.

Los ingenieros deben ser persistentes y juiciosos sobre sus necesidades. Esta aseveración combina dos conceptos: ajustar adecuadamente el individualismo con la reglamentación; uno de ellos permite que el individuo se exprese a sí mismo con su trabajo, el otro elimina la experimentación inútil y extravagante. Lo que aquí se busca no es una discusión sobre la conveniencia de una humanidad reglamentada versus la libertad absoluta de la gente en todos los tiempos. Los técnicos desean mayor cantidad de individualismo en el diseño, y estandarización más amplia en los detalles; las dos no son discordantes ni incompatibles, pero son deseables y coordinadas. Hay además, un interés constante en el uso y en la conveniencia. En el fondo los ingenieros están conscientes y preocupados con los intereses sociales y políticos de las labores que les corresponden desarrollar.³³ Si aquí existe alguna culpa, recae en los promotores y en los

³³ Cross ha puesto aquí el dedo en la llaga. Como la obligación del ingeniero es dar servicio a la humanidad y la del político también, es muy frecuente que el mérito de las obras se lo arrebaten los políticos y los ingenieros, y en este mundo en que vivimos, sobre todo cuando interviene la politiquería, los primeros llevan las de ganar. Pero el ingeniero no debe acobardarse ante esta situación que no es ni nueva ni especial; su objetivo debe ser siempre la obra misma y el fruto que ella rinde, en tanto que la gloria, por legítima que sea, invariablemente debe estar subordinada. Más aún, al desarrollarse cada vez más el trabajo en equipo, la fama individual tiende a desaparecer, y la celebridad queda reservada a los pocos mortales que, por la naturaleza misma del trabajo que realizan, pueden sobresalir en aquello que indefectiblemente esté ligado a la persona y a la personalidad de quien lo desempeña. En cambio, las grandes construcciones tienen grabada, no con letras que el tiempo borra y la intemperie desgasta y los vándalos arrancan, sino

financieros, no en los ingenieros.

Otro elemento importante en el entrenamiento intelectual es el de la coordinación entre el análisis y la síntesis. La época actual casi siempre tiende a llevar el análisis demasiado lejos, y en la mayor parte de los casos, las escuelas de ingeniería han favorecido esta tendencia. El objetivo final de la ingeniería es la planificación y la construcción. La función del análisis es incidental a ello, pero sirve como una guía en la elaboración de los planes y en su ejecución.

Uno de los puntos más importantes en esta ilustración del diseño es el sentido de proporción (algunos individuos nunca llegan a tenerlo), la habilidad de reconocer en forma rápida que ciertos fenómenos, ciertos esfuerzos, son importantes, y otros no lo son; la habilidad muy significativa de colocar al principio las cosas que van primero; la capacidad de sopesar las consecuencias del fracaso y de adoptar un coeficiente de seguridad relativo a las probabilidades y a esas consecuencias.³⁴

"Academismo", "investigación", "análisis productivo" son, muchas veces, el último refugio de los charlatanes académicos. El academismo de un ingeniero significa, primeramente, que sabe con precisión de qué está hablando. Implica, como base fundamental, una completa honradez intelectual, así como un gran talento y mucha, muchísima labor perseverante realizada a solas. Implica también, como corolario, la precisión en las citas, la exactitud sobre la documentación básica. El academismo que promueve objetivos reales y verdadero amor a la cultura es un ideal muy elevado, pero siempre será verídico que los individuos son cultos y que ven las cosas con latitud porque tienen grandeza interna, y no que lograron esta grandeza cuando trataban de alcanzar esa cultura.

Los ingenieros se muestran, por lo común, tan ansiosos de hacer las cosas que no resultan muy sistemáticos en sus conocimientos. Muchas veces, sus escritos están documentados en forma mediocre, sus referencias son repetidamente de segunda mano. Ahora bien, quizá no se requiera que los ingenieros sean buenos académicos, pero en realidad deben poner más atención en cumplir algunas reglas establecidas del academismo. Estas reglas se han usado en forma más sistemática en los campos que

en forma indeleble por el servicio que prestan, los nombres de quienes las concibieron, las proyectaron o las llevaron a término.

³⁴ Nunca se hará suficiente énfasis sobre el hecho de que toda construcción implica un riesgo. Todos estamos conscientes de que una intervención quirúrgica, aún las que hoy son "de rutina" como una apendicectomía, tienen alguna contingencia. Sin embargo, el profano no acepta como riesgo los fracasos en las construcciones. Cuando en los siglos XII, XIII y XIV se construyeron las espléndidas catedrales góticas, y en la segunda mitad del siglo XIX en que se realizó en gran escala la construcción de puentes para el transporte ferroviario, entonces en estado de expansión violenta, en algunos países se veían como normales los fracasos que ocurrían, quizá por lo frecuente de los mismos, y aún se aceptaba habitualmente el aventurado sistema de "ensayar y corregir los errores". Los riesgos varían desde el peligro de un colapso total hasta el de formación de grietas casi invisibles, o de hundimientos y deformaciones imperceptibles o poco notorios. Tomemos el diseño sísmico: siempre hay posibilidad de que ocurra un terremoto capaz de destruir una construcción, por robusta, bien proyectada y ejecutada que esté; lo importante es saber cual es la probabilidad de que se presente ese sismo durante la vida útil deseable de la estructura, y que el público tenga conciencia de que dicho riesgo existe.

tienen una herencia tradicional en las bibliotecas que en el de la ingeniería, en donde muchas de las reflexiones y de los hechos de verdadera importancia no llegan siquiera a publicarse. Puede ser muy molesto descubrir que cierta afirmación está basada en experimentos sin que se diga donde puede hallarse el registro de esos experimentos; con frecuencia resulta divertido leer a un escritor que se basa en la autoridad de otro, que a su vez menciona lo afirmado por un tercer autor; causa disgusto encontrar referencias a fundamentos que no han estado disponibles para el autor, o escritos en una lengua que él no comprende; son casos de violación de las reglas de la honradez intelectual. Sin embargo, algunos autores parecen no reconocerlo. La honradez intelectual lleva implícita una tradición intelectual comparable a la tradición material que respalda la honradez material.

Los estudiantes próximos a diplomarse necesitan darse cuenta que una universidad es un lugar para meterse en muchos enredos intelectuales, tantos como sea posible, un sitio en donde pueden cometerse errores, muchos errores, y que ahí deben corregirlos.³⁵ Normalmente creen saber el significado de esto, pero en realidad no lo saben. No es la cantidad de sus errores lo que debe mejorarse, hacen suficiente número de ellos, sino más bien su calidad. No se meten por sí mismos en nuevas dificultades; rara vez se encuentra en ellos el encanto de la individualidad, o el de la originalidad en sus yerros, porque les falta el valor de intentar experimentos intelectuales. A los alumnos que comienzan la carrera se les enseña que la manera de obtener una reacción de una viga sobre dos apoyos consiste en tomar momentos respecto a unos de ellos. Nunca se les ocurre tomar momentos respecto a otros dos puntos cualesquiera para obtener así las reacciones; si lo intentasen sería un experimento que les revelaría por qué no se hace, y podrían así descubrir una triquiñuela del pensamiento que tiene amplias aplicaciones en la ingeniería.

¿Qué el programa de ingeniería entrena para formar dirigentes? Esta jerigonza de la capacidad de dirigir es, en su mayor parte, un disparate. La universidad puede recibir personas con una salud intelectual razonable, con ambición, carácter y talento, y colocarlos en un ambiente en que aprenderán algo sobre la dirección, sus realidades y sus fracasos. Es claro que no todos los hombres pueden acaudillar. Existe incomprensión respecto a lo que es la dirección; un cínico definió a un ejecutivo como la persona que se atribuye todas las prerrogativas y que esquivo todas las responsabilidades. El entrenamiento en ingeniería puede proveer dos cosas que son un

³⁵ ¡Ah los errores! Si en la vida profesional tuviésemos el valor y la humildad de reconocer nuestras equivocaciones, y si en vez de que los colapsos de las obras fuesen motivo de sensacionalismo periodístico, representasen lecciones normales e inevitables, cuántas vidas se salvarían cada año; cuánto podríamos aprender para obras futuras, qué enseñanzas podríamos tener para evitar nuevas calamidades. Por desgracia, lo primero que se oculta son los desaciertos y los fracasos; y si a ésto se auna que cuando se produce un derrumbe es a nombre de "la sociedad" que se busca un culpable para castigar, no es de extrañarse, que se pierdan tantas y tantas lecciones, que las mismas faltas se cometan una y otra vez. ¿Quién que construye está exento de errores? Sólo los que poco o nada han construido o proyectado pueden decir que no los han cometido. "El que esté libre de pecado, que lance la primera piedra." El mal no es errar, es humano. Lo que es verdaderamente triste es no obtener beneficio de los fracasos, y que, por nuestro orgullo personal, o por temor de "la ley" se pierda para siempre tanta enseñanza potencial.

tanto difíciles de obtener excepto en las ramas semejantes del conocimiento: la habilidad de observar y la de interpretar los fenómenos naturales con algún grado relativo a su precisión y a su forma de medir. ¿Qué tan fuerte sopla el viento? ¿Cuánto lloverá el año próximo? ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra una creciente determinada en un río? ¿Cuál es la fuerza de las olas en una tempestad? ¿Cuál es la resistencia de la madera, de la piedra o del ladrillo? El valor de la capacidad para observar e interpretar críticamente se realiza en extremo si los estudiantes aprenden a ordenar su información de tal manera que sea útil. Se les puede señalar la diferencia entre lo que es un hecho y lo que alguien pretende que lo es, o así lo desea. Mucho de lo que debe enseñarse a quienes intentan llegar a ser ingenieros consiste en la definición de términos, de principios importantes de álgebra y de geometría, en la forma de ordenar los cálculos, en la expresión y comunicación por medio del dibujo,³⁶ y aún en instruirlos en el lenguaje común y el técnico; además, conviene dar a estos aspirantes cierta información respecto a los materiales y, a veces, de los procedimientos de construcción.

La ingeniería cambia — el carácter de los escritos, la naturaleza de los problemas, el tipo de las estructuras y de las máquinas — y se ha creado una fuerte presión para modificar en forma radical el entrenamiento que se imparte a los ingenieros, presión que es especialmente fuerte cuando proviene de tres grupos: los humanistas, los laboratorios de investigación, y las escuelas de posgraduados.

La ingeniería es un arte conocido desde la antigüedad. Siempre ha exigido habilidad para sopesar las pruebas, obtener conclusiones que tengan sentido común, formular una síntesis que sea simple y satisfactoria, y después, para ver que esa síntesis se lleve al cabo. Debido a que este arte se adapta al uso y a la conveniencia del hombre en forma constante, y a que este uso y esta conveniencia cambian, el énfasis en el progreso del arte varía de generación en generación, de década en década. Permanentemente se adapta a sí mismo para el cambio y, sin embargo, mientras más cambia, más permanece siempre el mismo — lo cual es cierto también en lo relativo a la educación de los ingenieros.

Los jóvenes del nuevo mundo serán capaces de adaptarse a los nuevos problemas y a los materiales modernos si aprenden la importancia que tienen las

³⁶ En nuestro medio, los ingenieros tenemos la tendencia a despreciar el dibujo; muchos dicen: "que dibujen los dibujantes". Pero, ¿cómo puede el profesionista expresarse si no lo hace en el lenguaje que le es propio y natural? Muchos de los descubrimientos, las invenciones y creaciones de la ingeniería nunca salieron de la fase individual por la sola razón de que su autor no tuvo la capacidad, la habilidad, el deseo, o la diligencia, para expresarse por medio del dibujo. Está bien que, en cosas de rutina, baste que el ingeniero se exprese por medio de croquis, de diagramas, o del lenguaje ordinario, y que el dibujante, como su auxiliar, exponga las ideas, pero tratándose de las creaciones, es el propio autor quien debe desarrollarlas con el dibujo; sólo así puede en forma verdadera, planificar. Algunos consideran que el verdadero adelanto en el ejercicio de la profesión viene cuando se cambia la mesa de dibujo por el escritorio. Pero esto obedece a una razón funcional: es más propio efectuar los trabajos administrativos sobre el segundo que sobre la primera. A partir del momento en que el ingeniero deja la mesa de dibujo y la cambia por el escritorio, tendrá a su cargo el desempeño de labores administrativas, que en la mayor parte de los casos están mejor remuneradas que las técnicas, y dejará estas funciones para que las realicen otros bajo sus órdenes. Eso es todo.

necesidades juiciosas, se les entrena para asimilar las pruebas y se les enseña a estudiar las costumbres y la conveniencia de la humanidad.

¿Deben entrenarse los estudiantes para que sean personas conservadoras? Ellos necesitan aprender que las leyes y fuerzas naturales no pueden modificarse. ¿Es preciso enseñarles que no pueden obtener algo a cambio de nada?³⁷ Todo diseño en ingeniería hace énfasis sobre este principio, y siempre se ha basado en él. ¿Debe impartirse a los alumnos resistencia a la propaganda y a la estadística dirigida?

Los profesores son importantes, muy importantes. No pueden arruinar totalmente a un hombre capaz, ni tampoco hacer un sabio de un cabeza-hueca, pero sí lograr mucho en una o en otra dirección. Es indudable que, si se lo proponen, serán muy valiosos para indicar los métodos del pensamiento y del estudio que normalmente son inútiles, o de hecho son perjudiciales. Tienen la facultad de ayudar a un hombre a comprender la idea que la ingeniería no es una rama de las matemáticas, aun cuando las matemáticas son útiles para el que ejerce esta profesión. Pueden descorazonar los estudios puramente especulativos y que no tienen finalidad específica; tienen la capacidad para hacer que los hombres se den cuenta que los ingenieros preguntan: "¿Qué de ello?" tan aprisa como "¿Qué es esto?"

Quizá el entrenamiento más valioso que le corresponde dar a un colegio sea el uso de los libros. Muy pocos estudiantes saben cómo usarlos, y sólo un reducido número se da cuenta de la meditación con que un autor que discierne selecciona su material, o qué reacío sería decir: "todo esto debe tragarse y no es preciso hablar más sobre el asunto". La información que contienen los libros es de segunda mano para el estudiante, y la información de segunda mano lleva los mismos peligros de gérmenes de enfermedades como la ropa de segunda mano. Conviene orientar al estudiante para que proceda con cautela antes de aceptar esta oferta.

³⁷ Esta verdad evidente, de que nunca en este mundo puede obtenerse algo a cambio de nada, parece no ser tan evidente para muchos de la actual generación, particularmente los más jóvenes. El caso es palpable en varias universidades latinoamericanas; el no querer dar algo a cambio de la educación que se recibe comienza por el pago de colegiaturas (la mayor parte de las universidades más conocidas de estos países no cobra, o cobran cantidades nominales, por matrícula y por derechos), y ni siquiera se hace distinción entre alumnos becados y alumnos que pagan el valor comercial de las colegiaturas, lo que equivale a que todos los estudiantes tengan los derechos que crean las becas y ninguna de las obligaciones relativas. El resultado es lamentable, pues todo aquello que no se paga, no se valoriza en la forma debida y a la larga estas universidades, que nada reciben de sus alumnos, ni siquiera el pago en dinero por la enseñanza que en ellas se imparte, acabarán también por darles nada. Los profesores que no reciben un sueldo remunerativo terminan despreciando la enseñanza, y si la siguen impartiendo, es porque obtienen de la misma compensaciones quizá intangibles o que no pueden reconocerse fácilmente. Es indispensable que las universidades sean retribuidas en alguna forma por sus estudiantes: ya sea por medio de la investigación que en ellas efectúen, por los escritos y estudios útiles y productivos que provengan de sus laboratorios, aulas y seminarios, o en el peor de los casos, del pago en dinero por los derechos de lo que ahí se aprende. No podemos, en forma indefinida, continuar explotando algunas universidades, pues si así lo hacemos, el nivel académico de las mismas llegará tan bajo que serán el hazme-reír del mundo educacional, sobre todo en lo que respecta al promedio de los profesionistas egresados de ellas.

Los críticos de la educación que se imparte a quienes desean ser ingenieros no ayudan mucho cuando comienzan con la siguiente tesis: "Azúcar y confitura y todo lo bueno, de ello están hechos los humanistas; ratas y caracoles y colas de animales, de ello están hechos los ingenieros".³⁸ Normalmente, su crítica se basa en conclusiones a las que han llegado aplicando erróneamente métodos de pensar que obtuvieron de los ingenieros. Condenan la educación de la ingeniería, porque consiste en información miscelánea e inconcluyente y en "datos estadísticos" que un ingeniero rechazaría de inmediato debido a que están formados por definiciones sueltas, colección imprecisa de datos o clasificación confusa.

En la actualidad, algunas personas preferirían que se entrenase a los ingenieros como a psicólogos, sociólogos, economistas o políticos — cada quien en forma exclusiva y cada quien con el disfraz de adaptar a los ingenieros al mundo en que viven. Otras personas sugieren que los jóvenes ingenieros se especialicen en investigación, experimentación o en física. Todavía otros apremian que debe dárseles carácter, sentido común y tendencia conservadora. Algunos parecen confundir al profesor con el Todopoderoso. En consecuencia, cada grupo que sigue una filosofía en particular tira hacia sí los planes de estudio para que se impartan materias de su especialidad. Un grupo enfatizará la investigación, otro los elementos creativos, y otros grupos quisieran incluir tantos conocimientos generales de otras disciplinas en tal forma que dejarían poco espacio para el entrenamiento que es esencial. Hay una demanda para cursos generales sobre la civilización, sobre la continuada elaboración de la mecánica matemática; también hay demanda para el entrenamiento en la técnica de laboratorio, la de diseño y la de detalles. Este conflicto de demandas es muy amplio; la vida misma, si es íntegra y dinámica, es así. Todas estas cosas, o al menos parte de ellas, debieran estar —y casi siempre están— en los programas de estudio, pero no se deduce de ello que sea forzoso que se incluyan como cursos separados.

Establecer nuevos cursos no satisface necesidades antiguas y jamás lo hará. Se puede aprender mucha sociología, mucho sobre economía material y economía política en relación con cursos de ingeniería sanitaria, o de caminos, o en casi cualquier otro de los cursos tradicionales.

Si en algún lugar se enseña la ingeniería (incluyendo diseño detallado, análisis o síntesis), todos estos asuntos quedan involucrados; lo que se hace en cuatro o cinco o seis años es importante sólo en tanto que se da entrenamiento para los restantes treinta o cuarenta años de ejercicio profesional. A veces se tiene el temor de que la técnica científica, la orgullosa sirvienta del arte de la ingeniería, está tratando de devorar a su amo. En relación con la multiplicación de cursos en el programa, se ha dicho que algunas personas parecen pasar por alto la invención de Gutenberg.

Quienes dirigen la enseñanza que se imparte a los ingenieros deben tener en mente los objetivos a largo plazo, y recordar que es preciso reconocer varias etapas en el desarrollo de los ingenieros, si tienen la suerte de completarlo. Comienza, como lo

³⁸ Lo anterior está en verso en el original en inglés y es una conocida rima infantil adaptada por Cross.

sugirió Shakespeare, en brazos de la niñera — los brazos protectores de su Alma Mater — con una analogía completa. Cuando se gradúan obtienen puestos para hacer cosas francamente específicas en formas determinadas del todo. Durante esos primeros meses, nadie espera de ellos muchos pensamientos constructivos, se les pide que lleven al cabo procedimientos que están absolutamente definidos. Antes de que pasen muchos años, avanzan a otra etapa en la que pueden agrupar información de varias fuentes, y llevar a su problema los valores humanos que lo afectan. Más tarde aún, empiezan a crear el problema ellos mismos, de tal manera que maduran, de jóvenes ingenieros a directores de industrias o de grandes empresas, en cuyo caso tal vez ya ni siquiera se llamen ingenieros.

Es probable que pocas personas duden sobre la importancia del entrenamiento adecuado de los individuos que planificarán o que estarán asociados con la planificación de las obras de ingeniería en el Nuevo Mundo.³⁹ América es la tierra de los grandes ingenieros, hombres que requieren saber cómo usar la ciencia para incrementar el bienestar humano, aún cuando no necesariamente deben ser científicos en un sentido estrecho, ni especialistas académicos ya sea en definir el bienestar o en clasificar a los hombres. Su trabajo está afuera de los muros cubiertos de hiedra, ahí donde, en última instancia, se hace el trabajo de este mundo y en donde, en su nivel más amplio, se reflexiona sobre la forma de llevarlo al cabo.

La ciencia y los sistemas, las leyes y las costumbres, los hombres y las idiosincrasias. Las universidades no correlacionan estos asuntos, pero tienen una gran obligación, una gran oportunidad para mostrar a los estudiantes que más tarde, ellos mismos, deben intentar esta correlación, y que mientras más pronto empiecen, será mejor. El programa de enseñanza de ingeniería está lleno de ciencia y de sistema; no es propio incluir más materias en ese programa disfrazadas de sociología, estadística, o matemática formalista. Los ejemplos de construcciones, de máquinas y de procesos que no están bien adaptados a la gente, y los de costumbres y usos que presentan conflictos con el progreso mecánico, enseñan que es preciso orientar la naturaleza que no cambia a la vida que sí se transforma. "El arte de dirigir los grandes recursos de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre" — arte, no meramente ciencia, dirigir, no nada más observar; conveniencia así como uso; el hombre, imperfecto y en apariencia no sujeto a perfeccionarse pero sí muy lleno de vida. La definición sigue siendo correcta; es una lástima que se olvide tan a menudo.

³⁹ Si el responsable de la marcha de una unidad social en cualquier escala de magnitud (llámese dirigente, organizador, político, empresario o funcionario) está consciente de la importancia y el valor de la planificación, es claro que se habrá percatado de la trascendencia que tiene la educación y el talento de quienes la realizarán. Por desgracia, tratándose de obras de pequeña magnitud relativa, algunas personas ajenas a la profesión no han advertido la importancia que tiene planificar de manera apropiada cualquier obra, y a veces pretenden que se realicen éstas prescindiendo de la labor de los técnicos y profesionistas especializados. A este respecto conviene recordar la idea bastante conocida, aunque nunca suficientemente repetida, que los servicios de ingeniería siempre se pagan, ya sea que se utilicen o que no se haga uso de ellos, y que el precio que se paga es mucho más elevado cuando se elude el empleo de esos servicios!

"Escuche con credulidad los susurros de la fantasía y persiga ansiosamente el fantasma de la esperanza."

MINARETES SOBRE LA HIEDRA

ESTUDIOS DE POSGRADUADOS, DISERTACIONES, INVESTIGACIÓN

El plan de estudios de las carreras de ingeniería debe modificarse periódicamente, no tanto para que esté al día —¿a qué día?— sino para mantenerlo vivo y conservarlo fuera de los museos. Mientras más cambie, más permanecerá el mismo, como el viento, las olas y el fango. En los años más recientes, los planes de estudios profesionales de las carreras de ingeniería han estado sujetos a una influencia que casi no existía hace treinta años: las escuelas de posgraduados. Aunque algunos todavía se muestran escépticos respecto a su utilidad, están aquí para quedarse permanentemente. Puede ser un estimulante poderoso de la vitalidad del programa profesional, pero, como casi todos los estimulantes, es peligroso. Hace cuarenta años las escuelas de posgraduados, en el área de las artes liberales, iban a salvar de la inanición al plan de estudios profesional, y muchos las han visto arrastrar a la vieja muchacha mientras pretendían que la estaban despertando de su sueño.

Los estudios de posgraduados son relativamente nuevos en ingeniería y, por esta razón, la profesión tiene una oportunidad de salvarse de los males observados en otras ramas de la enseñanza. Algunas organizaciones que han tenido éxito en ingeniería consideran que el haber obtenido un título de maestría es tan importante que casi es una necesidad para la promoción de sus integrantes; incluso exigen tener personal con el grado académico de doctor. Conforme pasa el tiempo, las solicitudes para profesores requieren, cada vez con más frecuencia, que el personal para cubrir estas plazas haya

realizado estudios en escuelas superiores y que tenga el grado correspondiente. Muchos de los escritos en las revistas de las diferentes sociedades de ingenieros son transcripciones y modificaciones de trabajos de tesis que fueron presentados para obtener títulos de posgraduado. La productividad de los grandes colegios de posgraduados es enorme en lo relativo a su volumen; poco de ello vale la pena de publicarse, pero no quiere decir que no ha cumplido con su propósito.

Es injusto alimentar en su totalidad a los estudiantes con información de segunda mano. De cuando en cuando, los instructores de los colegios debieran tener la capacidad para decir a los alumnos que esto y aquello es cierto porque lo han visto hacer en su propio laboratorio. Es preciso llevar a los estudiantes a las proximidades de las fuentes originales del conocimiento. Muchas veces llama la atención el darse cuenta que algunas personas que han recibido una larga enseñanza no conocen que hay tal cosa como la fuente original del conocimiento. A los estudiantes debe enseñárseles que no es propio saltar a conclusiones porque alguien desea que así lo hagan, ni aceptar en forma inocente todos los datos de ensayos que se les presenten, ni intentar hacer a ciegas aquello que no es posible realizar en lo absoluto. Algunas veces puede lograrse cuando se les pide que revisen los escritos de los grandes autores que contienen fallas identificables con facilidad — mientras más grande es la autoridad es mejor la lección. Los colegios de cada país tienen la responsabilidad moral de no vivir a costa de trabajos mentales prestados de otras partes, sino pagar sus derechos en el mundo de la intelectualidad en cualquier rama del saber que ellos patrocinan. No es propio que estos colegios vivan en forma exclusiva a base del producto intelectual de otra institución. Al mismo tiempo, las grandes universidades le deben al país la contribución colectiva por medio de la investigación, de una acumulación de conocimientos tal que el presente pueda pagar su deuda con el pasado; es un programa ambicioso, pero ya se ha cumplido anteriormente y es posible hacerlo otra vez.

Los estudios superiores deben formar parte del proceso general de la educación, cuyo propósito es preparar al hombre para que sea íntegro, y viva una vida plena en un mundo completo. La aseveración es demasiado amplia para que tenga utilidad al formular el programa de estudios, o al establecer disposiciones para el otorgamiento de grados académicos, pero es esencial no olvidarse de este ideal.⁴⁰ Hay una diferencia

⁴⁰ Cuando se inicia la operación de una escuela, departamento o división de estudios superiores en alguna facultad de una universidad que con anterioridad carecía de ella, siempre se presenta el peligro de que decaiga la calidad y el nivel de la enseñanza profesional con el pretexto de que, si en la división profesional los estudiantes no se gradúan con los conocimientos necesarios, invariablemente tendrán el lugar a donde ocurrir para adquirir los que les faltan. Las consecuencias de este sofisma son desastrosas, pues en vez de que los estudios superiores vengan a reforzar y a mejorar la enseñanza profesional, la hunden, debilitan y reducen su categoría. Y así, a la larga, puede resultar que la calidad académica y técnica de profesionistas que antes se producía en cuatro o cinco años, después requiera de los mismos cuatro o cinco más uno o dos de maestría.

Deben seguirse los ideales de que la enseñanza superior es un complemento, nunca un sustituto, de la instrucción profesional; que estos estudios superiores son anticipaciones académicas a trabajos profesionales reales y prácticos de alta envergadura; que lo que se produzca en la universidad como resultado de la investigación de posgraduados es de importancia secundaria en

importante entre los estudiantes al nivel profesional y los posgraduados, la que no se refiere a sus objetivos finales, sino más bien al hecho de que es necesario guiar a los alumnos profesionales, en tanto que los posgraduados deben comenzar a guiarse ellos mismos, es decir, animarles a que desarrollen su responsabilidad personal. A veces, el estudio al nivel superior avanzará en forma más lenta que el profesional, porque debe darse el tiempo necesario para que se examinen en forma crítica todas las hipótesis;⁴¹ en otras ocasiones, avanzará con más rapidez, porque los estudios inferiores ya terminados hacen posible echar a un lado algunos de los detalles.

En la enseñanza profesional sólo se puede impartir un entrenamiento individual en forma superficial, si es que se llega a dar; en el trabajo de los alumnos posgraduados se les otorga más y más responsabilidad hasta que, al final, acaban por tener idea de lo que significa precisión en las aseveraciones, y han aprendido algo de humildad discerniente. Cuando se enseña sólo en forma poco profunda se producen individuos que discutirán sobre muchos aspectos de las cuestiones y, sin embargo, no pueden resolverlas ni siquiera en forma tentativa; la excesiva complejidad de la enseñanza produce eruditos peligrosos y pedantes torpes. Estos extremos pueden — deben — reconciliarse.

Se ha dicho: "En la investigación no existen normas". Es cercano a la verdad tratándose de estudios de posgraduado; pero aquí también "todas las generalizaciones son falsas". Los objetivos finales de dichos estudios son los de indicar el amplio horizonte del conocimiento práctico, proporcionar la experiencia necesaria para presentar las conclusiones, y estimular la imaginación, el valor y la honradez. Para hacerlo todo se requiere un programa bien balanceado, y un profesorado que tenga variedad de personalidades, de experiencia y de manera de ver las cosas. En el entrenamiento de posgraduados, así como en una biblioteca bien seleccionada, "deben probarse muchas cosas, parte de ellas tragarse, y algo de las mismas masticarse y digerirse vigorosamente".

Los estudios de posgraduado pueden considerarse desde el punto de vista del público en general, de la institución interesada y su profesorado y del individual (41)

comparación con la meta de esta educación la cual consiste en entrenar al aspirante al grado superior para resolver después, en el ejercicio práctico y por sí solo, todos los problemas que no podía haber resuelto sin este entrenamiento adicional; y, en fin, que las escuelas superiores son lugares en donde el profesionista en ejercicio puede volver a su Alma Mater para perfeccionarse en aquella rama a que ya está dedicado de lleno y a su gusto. Sólo en casos verdaderamente especiales es recomendable que el alumno recién graduado de una profesión pase de inmediato a realizar estudios superiores.

⁴¹ El punto más importante de cualquier análisis consiste en determinar la validez de las hipótesis necesarias para realizar ese análisis. Los fracasos más graves en ingeniería no se pueden atribuir, por regla general, a equivocaciones en el cálculo o a defectos de ejecución, sino a consideraciones erróneas respecto a las hipótesis fundamentales en que se ha basado el proyecto. Este es el tema más trascendente, pero el más difícil de enseñar a los estudiantes, y el que no siempre se puede lograr en los proyectos de obras. En conexión con este asunto, Newton afirmó en su célebrima Principia: "Todavía no he sido capaz de deducir, de los fenómenos naturales, la causa de estas leyes de la gravitación, ni de inventar las hipótesis. Porque todo aquello que no puede deducirse de los fenómenos debe llamarse hipótesis."

de los estudiantes. Todos están relacionados íntimamente, y es probable que ninguno de ellos pueda considerarse en forma exclusiva por el profesorado de un país; bajo cualquiera de estos puntos de vista es el estudiante entrenado quien, a fin de cuentas, es valioso para el mundo.

Es forzoso que los estudios de posgraduados en todas las áreas se dirijan sanamente hacia el interés de la comunidad —estatal, nacional o internacional— dependiendo de la institución y de la naturaleza del estudio.

Para la institución, el trabajo de los posgraduados promueve diversas funciones que están relacionadas. Obliga al profesorado a reexaminar en forma crítica los principios fundamentales del conocimiento, puesto que ningún profesor que labora en el campo de posgraduados puede dormirse en sus laureles por mucho tiempo. Los profesores de ingeniería se obligan a sí mismos a estar informados sobre el progreso de la investigación en su especialidad, y conviene que ellos mismos hagan continuamente algún tipo de investigación original —experimental, analítica o interpretativa— si es que quieren enseñar con propiedad. Pero el profesor necesita discernir cuando presenta los resultados de estas investigaciones a los alumnos; la universidad debe ser un filtro, no un surtidor, no sea que llegue a ahogar en vez de educar.

Los estudios de posgraduados también proporcionan un campo poco trillado para la experimentación en la educación: ahí pueden elaborarse métodos de pensamiento y de instrucción para aplicarse en los cursos inferiores; estos estudios elevan los niveles del pensamiento en la vida académica de la universidad. Las investigaciones pueden realzar la reputación de la institución en el mundo académico y profesional, y a veces así lo hacen, aun cuando este aspecto del estudio de posgraduado ha sido demasiado recalcado; en general, son los subproductos del entrenamiento o del adelanto de la técnica los que tienen valor real y positivo.

Es preciso que los estudios superiores se basen en la teoría de que el hombre mejor entrenado es el más capaz de combinar, en forma íntima, una habilidad crítica en uno o en muchos aspectos de su especialidad, sabiendo apreciar su amplitud.

Es muy cierto que los hombres no pueden saber un poco de muchas cosas hasta que conocen ampliamente una materia en particular. Así, una de las cualidades de los estudios de posgraduados es que los estudiantes profundizan en un asunto por el cual muestran interés, en vez de diseminar sus energías en forma superficial en muchos asuntos, como algunos intentan hacer de una manera desafortunada. El verdadero valor yace en esto, en que si los estudiantes realmente son de calibre de posgraduados, capaces de pensar sobre problemas originales en formas nuevas, y se interiorizan con profundidad en los métodos de pensar en un aspecto de la ingeniería, se habrán interiorizado en numerosas fases de ella.

La ingeniería estructural puede escogerse como ejemplo de esta materia de concentración. En esta rama, los datos —procedentes del análisis, de los laboratorios, de los escritorios y de la experiencia— han sido clasificados con precisión. Aquí es donde puede hacerse un estudio cuidadoso en lo relativo a los métodos de reunir las pruebas y aquilatarlas, de interpretarlas y de correlacionar los datos de tipo técnico con otros de índole legal, económica, o los concernientes al gobierno o al uso social. Obviamente no significa que la ingeniería está restringida al campo de los trabajos estructurales, pero sí

quiere decir que los métodos de correlación y de síntesis que se estudian en un área determinada pueden extenderse con rapidez a las otras áreas.

Para evitar una especialización demasiado estrecha, puede correlacionarse en forma íntima un curso de carácter general relativo a planificación con los trabajos particulares en ingeniería estructural y en mecánica. Es conveniente que el curso general que se elija aborde la planificación del uso de la tierra en las ciudades, o en los sistemas de caminos y de ferrocarriles, en las terminales de transporte marítimo, de vehículos terrestres y aéreos, y además, los proyectos para uso y control del agua para el abastecimiento de servicios domésticos e industriales y la eliminación de aguas negras, la protección contra inundaciones, así como el control de los ríos para el aprovechamiento de fuerza hidroeléctrica.

Los cursos que tratan sobre proyecto estructural, normalmente están relacionados con la recolección, correlación e interpretación de los datos; se requiere mucha imaginación para usarlos en forma constructiva, y esta imaginación puede estimularse realizando proyectos de ingeniería que conciernen a la distribución de las ciudades y de sus dispositivos para el saneamiento, el transporte y la fuerza usada en la industria. Esos estudios tomarán en cuenta las regiones geográficas en que se localizan las ciudades, en tal forma que las cualidades naturales relativas a los estados o provincias, los litorales y los distritos de la nación puedan aprovecharse de manera efectiva y adecuada para ventaja del público. Las estructuras, en la acepción más amplia del término, son uno de los factores más importantes en el desarrollo de tales valores.

El entrenamiento en las técnicas de laboratorio y en la interpretación de los resultados provenientes de los laboratorios es esencial para juzgar la utilidad relativa de los datos que deben usarse, a fin de adoptar decisiones sobre problemas de ingeniería. Es posible lograr dicho entrenamiento cuando se estudia ese material tan común como variable: la tierra. Un curso sobre cimentaciones puede tener mucho éxito cuando se trata de obtener una educación de carácter amplio en ingeniería.

Un curso sobre métodos de investigación puede ofrecer oportunidades muy variadas a aquellos que desean satisfacer intereses de índole más individual. Es una falla común de las escuelas interesarse demasiado en problemas excesivamente eruditos. Insisten en realizar Experimentos con E mayúscula y desprecian la experiencia con e minúscula;⁴² promueven la Investigación con I mayúscula excluyendo la reflexión con r minúscula. Charles F. Kettering, uno de los grandes investigadores de la industria,

⁴² Todos los resultados de los análisis químicos, cualitativos o cuantitativos, aproximados o precisos, y todos los libros del mundo, por bien escritos y por amplios que sean, no podrán darnos a conocer el sabor de un terrón de azúcar como lo hace el probarlo nosotros mismos. Así la experiencia personal es insustituible, y aunque la experiencia de los demás es fuente inagotable de datos, pruebas, testimonios y consejos, no podemos prescindir de adquirir la nuestra, propia, única e inconfundible. Por tanto, es un grave error pretender enseñar una materia porque se conoce muy bien de libros o de cursos especializados, cuando no se ha tenido la práctica necesaria y completa de su ejercicio. Los peores toreros en los ruedos son los que mejor lo hacen desde la barrera.

afirmaba: "Todo el dinero y toda la gente del mundo no pueden resolver un problema a menos de que alguien sepa cómo hacerlo. Los problemas se resuelven en la cabeza de alguien."⁴³ No se solucionan absolutamente en el laboratorio, pero se requiere un gran esfuerzo para lograr que algo obvio quede organizado en forma adecuada en el cerebro de una persona." Y nuevamente señala: "La única razón por la que usted realiza un experimento es para cultivar su manera de pensar. A veces usted afirma que un experimento fracasó; esa es tan sólo su coartada; lo que en realidad fracasó fue su manera de reflexionar."

Todo lo cual no afecta el hecho de que los principiantes hacen mal en considerarse a sí mismos como especialistas; cuando lo hacen, quedan en desventaja al principio de la carrera, porque los especialistas padecen muchas inconveniencias. Si ven más allá de su materia particular, encuentran nuevas ideas y amplios puntos de vista en otros campos y, si estimulan su imaginación, pueden aplicarlos, con la debida modificación, a ideas de gran valor en su propia materia.

Sin embargo, la ingeniería no trata sobre la descripción de la naturaleza, sino de su control y no se divide convenientemente en pequeños compartimentos de tal manera que un individuo pueda decir: "Voy de paseo y caminaré sobre roca, pero no sobre arcillas, o caminos de concreto, o sobre puentes". Los problemas de las bases en vías férreas no difieren de los relativos a cimentaciones de edificios; conviene que los ingenieros noten las semejanzas sin despreciar las diferencias importantes. Cuando escriben una tesis, a menudo se expresan en forma vaga sobre las posibilidades, los objetivos y los métodos. Una tesis —algunos catálogos, en forma ofensiva, llaman a una tesis de doctorado una "disertación"— no difiere, o por lo menos no debiera diferir, de los escritos que hacen a diario las personas entrenadas adecuadamente en asuntos prácticos. Para preparar estas tesis, los estudiantes deben plantear el problema que se proponen estudiar y recolectar los datos propios del mismo, interpretarlos, y presentarlos resumidos en forma de pruebas. Se requiere dar a los estudiantes la oportunidad de buscar estas metas basados, en su mayor parte, en su propia iniciativa y responsabilidad.

Es necesario emplear mucho tiempo explorando el campo de la investigación, buscando lo que ya se ha hecho, lo que falta por hacer y lo que puede realizarse.

⁴³ La técnica del concreto (hormigón) preesforzado (en otros países "pretensado" y también "precomprimido") ha alcanzado su madurez en los últimos veinticinco años. Sin embargo, sus principios analíticos se conocieron desde que se desarrolló la técnica del concreto reforzado hace ya casi un siglo, pero en la práctica no pudo emplearse satisfactoriamente el concreto preesforzado en tanto que el reforzado alcanzó grandes adelantos y fabulosas aplicaciones. Se requirió de la mente genial de Freyssinet para dar la clave de la aplicación del pre-esfuerzo en el concreto que consistió en el uso de acero de muy alta resistencia para inducir esfuerzos de precompresión en ese material. Esta clave, tan simple y tan evidente, y al mismo tiempo factor económico muy importante, no pudo descubrirse en el curso de varias décadas, hasta que el modesto Eugenio Freyssinet dijo cómo debía hacerse. Otra vez con este ejemplo se hace resaltar que las grandes soluciones a problemas de ingeniería son siempre simples y prácticas, carentes de complicaciones y de elaboraciones impropias e impropcedentes.

No es tiempo mal gastado el que se emplea en ello, porque del aprovechamiento juicioso de lo anterior dependerá posteriormente la manera de exponer el tópico, sólo que la productividad no es inmediata. La recolección de datos provenientes del laboratorio, las bibliotecas y los estudios es el siguiente paso; es, a menudo, la parte más fácil del trabajo, porque si los estudiantes saben lo que quieren y en dónde encontrarlo, por regla general no presenta problemas ir a buscarlo ahí, y obtenerlo. Es evidente que la gran dificultad consiste en saber qué es lo que se quiere; a pesar del adagio popular, hacer preguntas adecuadas normalmente requiere más inteligencia y esfuerzo que contestarlas con corrección.

Parece tan sencillo, pero en realidad no lo es, plantear preguntas de ingeniería en tal forma que sea posible investigarlas. Una de las cosas más difíciles de enseñar a los estudiantes ya recibidos es el gran valor que tienen los individuos que son capaces de hacer preguntas significativas, aquellas que puedan investigarse por medio de técnicas o procedimientos disponibles. Un hombre con experiencia ve muy gris la lista de los títulos de tesis de posgraduados; probablemente sea inevitable, porque los principiantes deben aprender a caminar antes que a correr. No obstante, los estudiantes ya graduados necesitan conocer que la pregunta convencional, en la mayor parte de los casos, no es la importante.

Reunir los datos y las pruebas en asuntos de ingeniería involucra el conocimiento de los escritos y los métodos que pueden suministrar alguna cifra aprovechable en la materia de que se trata; el análisis y la síntesis, las matemáticas, la experimentación, la observación y el sentido común son todos importantes, y los datos pueden tener el carácter de originales o provenir de los archivos. La importancia relativa y la confiabilidad de la fuente de donde provienen las pruebas varía con la rama del estudio y con la naturaleza del problema. Valorizar esas pruebas con inteligencia requiere conocer la confiabilidad y el origen de los datos, y se necesita gran independencia e intrepidez para formarse un juicio; se requiere una precisión académica, la que proviene tan sólo de un entrenamiento arduo.

El desarrollo de la honradez debe ser la primera lección que conviene impartir a los estudiantes recibidos; no se llega a ello de una manera natural, es necesario mucho trabajo y entrenamiento. Los novatos afirmarán en forma definida una generalización técnica; si se les pregunta cómo es que lo saben contestarán que todos los libros así lo asientan; muy bien, si están dependiendo de los libros será mejor que lo digan. Más adelante reportarán que algunas investigaciones lo demostraron. Mucho después estarán preparados para decir que buscaron en los reportes de los experimentos, y que su autor afirma que la generalización parece ser correcta, no necesariamente exacta, y que sus resultados tienden a confirmar la conclusión. Desde luego que la vida es muy corta para hacer esto con los detalles diarios, pero es obligatorio tratándose de una especialidad, don de otras personas dependen de la precisión. Muchos individuos no solamente no lo intentan, ni siquiera saben que es posible realizarlo.

Ordenar y asimilar las pruebas requiere de práctica auxiliada por el estudio y por buenos reportes y modelos. La manera en que se hace el ordenamiento depende de la escala del entrenamiento y de la habilidad, porque casi cualquiera puede recolectar unos cuantos datos, pero se precisa de capacidad para ponerlos en forma adecuada y útil. Más aún, conviene descartar o descontar algunos de estos datos, o darles menor

importancia relativa. Uno de los útiles disponibles más valiosos para el investigador es el cesto de basura. Por desgracia, muy pocos tienen el valor de afirmar con franqueza que algo que buscaron con mucha paciencia y esfuerzo ha resultado, después de un estudio cuidadoso, que no es muy confiable, carece de valor, o que es inconexo con el propósito inmediato. Los datos, después de que se han recolectado y clasificado, deben ser presentados; no es tan simple como puede parecer al principiante. La presentación de pruebas requiere del dominio de la técnica, de buenos modales y de buen gusto en la manera de exponerlos. Los ingenieros emplean cuatro métodos para exhibir las pruebas: el gráfico —dibujos, ilustraciones, croquis— el estadístico —diagramas, tablas y figuras diagramáticas— el simbólico —las matemáticas en el sentido más amplio de la palabra— y la presentación verbal. Para usarlos es forzoso ejercitar mucho el buen sentido. Dibujar diagramas que no pueden comprenderse con rapidez demuestra incompetencia; faltas de ortografía, de composición gramatical, o mala puntuación, un estilo excesivamente elaborado, o falta de unidad o de coherencia, enfatizan defectos serios; la documentación y la edición necesitan ser uniformes y apegarse a una norma razonable; la brevedad es siempre un atributo deseable. En los escritos técnicos, cada vocablo tiene un sentido un tanto definido, y aunque las palabras se usen en este sentido es problema común lograr que la idea sea clara y precisa para el lector. Las oraciones deben tener tanto sujeto como predicado, se requiere indicar explícitamente las fuentes de información, y en general deben observarse las normas del buen estilo puesto que son reglas. En cualquier caso, el propósito es presentar los datos, las pruebas y los "hechos" en forma clara, breve y simple. Los términos técnicos innecesarios tienden a confundir y rara vez causan buena impresión.⁴⁴ Es preferible escribir con naturalidad e independencia. Muchos estudiantes parecen creer que alguna forma erudita de las palabras es esencial para el academismo; que esta manera de presentar las cosas encubrirá la imprecisión, o que el formalismo elaborado es un sustituto valioso de la graciosa simplicidad. Algunos creen que la introducción de una tesis sobre puentes

⁴⁴ El uso de términos técnicos innecesarios en los escritos demuestra que su autor es, o incompetente para expresarse, o excesivamente pedante. Los términos técnicos sólo deben emplearse cuando resultan inevitables; el abuso de ellos es un defecto grave en los escritos de esta naturaleza. Y qué decir del abuso de los símbolos matemáticos; algunos autores de artículos sobre temas de ingeniería rehúsan expresar los conceptos más simples, comprensibles aún para un niño, con el lenguaje corriente, y recurren a signos de integral, de derivada, letras griegas mayúsculas y minúsculas, matrices, y a otros símbolos que, en vez de aclarar ideas, las complican, confundiendo al lector con embrollos inútiles e improcedentes. A este respecto, conviene recordar lo que dijo Maurice A. Biot, autor del libro intitulado *Métodos Matemáticos en Ingeniería*: "La tradición primitiva y brillante en la práctica de la ciencia y de la ingeniería, que consiste en la claridad, simplicidad, comprensión intuitiva y exposición sin pretensiones, por desgracia parece estar en decadencia. Mucho de lo que hoy se denomina "matemáticas aplicadas" está envuelto en un lenguaje ostentoso, como si su propósito fuera el de obscurecer aquello que generalmente es una materia muy sencilla y a veces trivial, rodeándolo de una aureola de misterio y profundidad... El rigor y las fórmulas abstractas son los aspectos técnicos de las matemáticas que pueden, de hecho, entorpecer la invención; pertenecen a un especialista, y el estudiante de ingeniería debe someterse a ellos tan sólo para que obtenga experiencia; no es prudente que ese rigorismo y esas fórmulas obstaculicen su manera de pensar, a tal punto que inhiban sus facultades intuitivas".

colgantes sería excelente si comenzase así: "Cuando nuestros ancestros simios descendieron la primera vez de sus arbóreas mansiones, los pendientes cortinajes de las exquisitas viñas, tan familiares a sus padres, les ofrecieron medios de transporte sobre intervalos que en otra forma habrían sido infranqueables".⁴⁵

La mayor parte de los estudiantes consideran que la dificultad consiste en reunir los datos y las pruebas; la interpretación y la presentación de los mismos se dejan como tarea doméstica fácil para el fin de semana a pesar de todas las esperanzas y los ruegos de los asesores. Para interpretar se requiere usar mucho la imaginación, tener un sentido de proporción bien formado en lo relativo a la importancia de las fuentes, un conocimiento de la lógica en el campo del estudio y en los más amplios de la ciencia pura y aplicada; también se requiere del ayuno y de la oración.

La interpretación de los datos y de las pruebas es siempre difícil, y lograrla correcta y talentosamente representa la meta más elevada del académico. Nadie está exento de cometer errores graves, pero aún el principiante debe ser capaz de evitar algunos. Es un error normal intentar llegar a demasiadas conclusiones. Es común que los datos resulten inadecuados (o insuficientes) para deducir una conclusión cualquiera; mostrarlo en forma clara puede ser una valiosa contribución para el conocimiento, mucho más que seducir al lector para que acepte algún resultado que no esté garantizado como es debido. Nunca se usa suficientemente la sencilla aseveración: "No lo sé".

Es claro que hacer un resumen es importante; los estudiantes aprenderán cada vez más lo difícil que es hacerlo durante los próximos cuarenta años. Un compendio breve y claro puede ser coronamiento glorioso de un buen informe de ingeniería; es muy difícil redactar un resumen satisfactorio.

El propósito principal de una tesis es el entrenamiento que los estudiantes obtienen de este trabajo: recolectar los datos, ya sean los propios o los publicados por otros, valuarlos y ordenarlos, sopesar las pruebas indicando las probabilidades de los acontecimientos y lo trascendental de las conclusiones, y presentarlo todo en forma conveniente y útil para el lector. Esta es la esencia de todos los informes de ingeniería, es un logro de gran importancia para cualquier persona valiosa como dirigente, ya sea en la ingeniería o en otros campos, los que frecuentemente no se llaman así, y los que pueden guiarse por conducto de la ingeniería.

Se habla mucho sobre "investigación", "contribuciones originales" y "progreso de la ciencia"; es excelente siempre y cuando los términos se interpreten en la forma adecuada. No debe presentarse como tesis de un alumno graduado una recopilación hecha sin juicio o sin discernimiento. Por otra parte, los estudios auténticamente

⁴⁵ La gracia del Profesor Cross me recuerda aquella anécdota del que escribía el conocido adagio "el que por su gusto es buey hasta la coyunda lame" en la siguiente forma: "Aquel que en uso de la facultad del libre albedrío se transforma en cónyuge castrado de la vaca, aún a la correa que le liga a su compañero de labor le aplica emanaciones salibales". Resalta lo ininteligible que se vuelven los escritos presentados con lenguaje pedante y con excesiva complicación.

originales en cualquier materia son raros en una generación dada si con esto se quiere decir que la originalidad con que se presentan constituye un nuevo método de reflexionar sobre el mundo y sus asuntos. No es novedosa la solución de un problema de análisis de esfuerzos cuyas ecuaciones no se han escrito antes en la forma especial empleada, pero que es el resultado de la manipulación de las ecuaciones de Lagrange por métodos bastante bien estandarizados. Al mismo tiempo, puede ser un trabajo valioso que, si se presenta con propiedad, resultará una tesis muy aceptable.

Las tesis pueden tener carácter experimental o analítico, entendiéndose por este último término un equivalente de la palabra "matemático"; pueden ser bibliográficas — algunos trabajos raros y muy valiosos se han hecho catalogando, calificando y clasificando juiciosamente los conocimientos existentes. Pueden ser lo que se llama "sintéticas", en tanto que reúnen datos contradictorios de muchas fuentes y tratan de "sopesar las pruebas", presentando la base sobre la cual se han sopesado. O bien, una tesis la puede constituir un proyecto; si es así, se necesitan valorar los datos relativos a la resistencia o a otras características físicas de la estructura propuesta, y estas peculiaridades deben correlacionarse con los intangibles —"utilidad", "conveniencia", "valor social"—para obtener una síntesis que sea meritoria.

Los estudiantes rara vez consideran en forma apropiada las dificultades relativas de estos tipos de trabajo. Un documento que discute un tema "amplio" parece muy fácil de escribir, pero sólo un maestro es capaz de presentar un escrito que tenga positivo valor sobre un tópico como ese. Las tesis de carácter matemático en ingeniería estructural representan, para muchos, las metas sublimes de los esfuerzos académicos. No obstante, son muy comunes porque pueden producirse satisfactoriamente con el entrenamiento que se da al estudiante carente de experiencia en el salón de clase. Lo mismo es válido para mucho trabajo de carácter experimental.⁴⁶

Todo esto nos conduce al hecho de que escoger un tema para escribir una tesis así como la redacción de la misma son, en gran parte, asuntos de sentido común. Los estudiantes necesitan preparar y llevar a su término un trabajo que sea útil en algún tema que les interese, y demostrar que son capaces de usar la herramienta con que han sido

⁴⁶ Los proyectos o diseños presentados como tesis (profesional, de maestría o doctoral) rara vez son prácticos y, en algunos casos, ni siquiera realizables, pues carecen de uno de los elementos más importantes: la experiencia de construcción. Durante algunas décadas ha existido la tendencia a disociar el proyecto de la dirección y supervisión de obras, lo que parece razonable en trabajos de rutina, pero el proyectista debe tener siempre experiencia de campo (obras), ya que sólo así puede darse cuenta de la facilidad, dificultad o imposibilidad de realizar materialmente aquello que concibe y desarrolla. Al mismo tiempo, es conveniente que el ingeniero dedicado a la construcción tenga suficiente experiencia en la preparación de proyectos para que discierna y dictamine sobre qué es lo importante y qué es lo secundario de ellos, cuáles son los puntos que deben respetarse con rigor y cuáles pueden modificarse cuando lo requieren las condiciones de trabajo. Un intercambio ocasional de personal entre las oficinas que normalmente se dedican a preparar planos, dibujos y cálculos con las que se especializan en ejecutar construcciones o en supervisarlas, es una operación beneficiosa en todos los casos.

dotados para realizarlo. Deben obtener una satisfacción de ello, y lo mismo sucede para quienes les dirigen el trabajo. Una tesis es algo que se escribe como parte del entrenamiento de un individuo, para olvidarla después, a menos que el trabajo se realice de manera poco usual y que realmente abra un campo de interés muy especializado. Demasiadas personas intentan proseguir con el tema de sus tesis en años posteriores cuando hay otras cosas que están requiriendo su atención; se publica un número excesivo de estas obras a pesar de que existen cestos de basura.

El tiempo empleado en las varias fases del trabajo es importante; una estimación general del que se necesita para cada una de ellas quizá lo divida en cuatro partes casi iguales a saber: definición de los temas correspondientes a la pregunta o el propósito de la tesis, recolección de los datos, estudio de los mismos, y redacción de la tesis. Por desgracia, muchos estudiantes tienen su programa completamente desbalanceado, en especial cuando subestiman el tiempo necesario para la redacción. Con frecuencia sucede que un buen plan consiste en hacer las diferentes operaciones en forma simultánea siempre que sea posible.⁴⁷

Un problema difícil de resolver es el de la distinción que se requiere hacer entre los trabajos que deben presentarse para obtener el grado de maestría y para el doctorado. La mayor parte de los titulados de ingenieros son candidatos para el grado de maestría. Sin embargo, un número siempre creciente de ellos desean obtener el doctorado; si es bueno o malo nada tiene que ver con los hechos. Si la tendencia va a continuar —y probablemente sea así— conviene desarrollar una nueva filosofía para este tipo de entrenamiento. Muchos de los candidatos para obtener el doctorado tienen pensado seguir adelante con la enseñanza; casi siempre, es impropio porque quien va a ejercer como profesor de ingeniería necesita haber sido entrenado fundamentalmente para ser un ingeniero, y las conexiones con la profesión, fuera de las torres de marfil de la enseñanza, son absolutamente esenciales.

Los aspirantes a obtener el doctorado deben llegar con una actitud como ésta: "Estoy interesado en esta rama del estudio, y tengo la seguridad de que soy capaz de contribuir desarrollando algo útil que justifique el tiempo y la atención que mi entrenamiento requiere". Por regla general, no es conveniente presionar, y ni siquiera alentar a un aspirante, para tomar el doctorado. La profesión ni desea ni precisa de muchos doctores. Su entrenamiento, si se hace bien, requiere de atención personal y es, por necesidad, costoso. Es menester que los candidatos demuestren al comité de aceptación para ingreso⁴⁸ que tienen interés, y que pueden contribuir al progreso.

⁴⁷ Este trabajo simultáneo es recomendable siempre que se pueda hacer en forma práctica. Tratándose de proyecto, el sistema seguido ordinariamente consiste en realizar primero todos los cálculos analíticos antes de iniciar el dibujo de planos; al detallar esos dibujos, a menudo resulta que lo analizado es irrealizable, incosteable o impráctico; también debe considerarse la posibilidad de que el análisis modifique la concepción del proyecto a medida que se desarrolla, pero en todo esto no puedan darse reglas de aplicación universal.

⁴⁸ En los Estados Unidos, así como en otros países, se acostumbra que cada facultad o colegio de una Universidad tenga un comité que revise las solicitudes de admisión de aspirantes a las divisiones de estudios superiores (maestría y doctorado), y dicho comité se encarga de practicar

Las personas que estudian para obtener el doctorado adquieren una experiencia valiosa por medio de los reconocimientos orales; y al mismo tiempo, estas entrevistas tienen un fin práctico y útil para el comité examinador. Ambos exámenes para el doctorado le imponen a los candidatos una fuerte presión acerca de la confianza en sí mismos. De los dos, el primero necesita tener un carácter casi inquisitorial. Si los aspirantes no pueden defender y explicar su tesis con precisión y seguridad en el reconocimiento final, no tienen el carácter de autoridad, y no es posible que lleguen a ser maestros sobre la materia; en ese reconocimiento, la familiaridad del candidato con su tema debe hacerlo el amo de la situación.

El examen preliminar constituye un desperdicio de tiempo si dictamina únicamente sobre la información que tienen los aspirantes en cursos individuales previos; el conocimiento de las materias en particular ya debe haberse examinado en los cursos mismos. Es menester que este examen pruebe la calidad de la mente, el método de pensamiento de cada individuo en la rama estudiada, lo genuino de su interés en dicha rama, más bien que en un programa de estudios y en un título.

El procedimiento apropiado de ambos exámenes y su utilidad, presupone un comité examinador que sea honrado y resuelto; los miembros de ese comité no son muy útiles a menos que tengan la capacidad de juzgar si el aspirante puede pensar con certeza; se requiere que traten de llegar al fondo de los hechos, y no que intenten justificar una conclusión predeterminada. Rehusar el pase a un aspirante es una de las tareas más desagradables que tendrán que desempeñar; sin embargo, se les emplea para que se formen un juicio honrado y lo emitan.

Algunos candidatos se confunden con más rapidez que otros. Así es la vida; si triunfan, estas personas llegarán a ser autoridades. Es propio que el comité tenga presente las características humanas, y se requiere que la mayor parte de sus integrantes conozcan al aspirante en persona. Deben (y por lo general pueden) llegar al fondo de las pruebas y averiguar qué parte de la confusión es producto del nerviosismo y qué parte corresponde fundamentalmente a incertidumbre.

Para los aspirantes mismos tienen mucho valor estos exámenes; saben que no pueden pasar un curso y después olvidarse de él. Necesitan organizarse, asimilar sus conocimientos y correlacionar los datos de los experimentos de una fuente con la teoría analítica de otra. No es recomendable que se les examine en cursos determinados sino en un campo en general, y si han quedado espacios vacíos entre las materias, estos aspirantes necesitan llenarlos con la lectura o la asistencia a las conferencias.

Hoy en día los doctorados todavía tienen mucho prestigio ligado a ellos. No existe mayor responsabilidad académica que la de aprobar a los candidatos; la ambición para incrementar el número de los graduados, o ser demasiado bondadosos con los jóvenes aspirantes, no debe cegar a los miembros del comité ni tentarlos para que pongan real a lo mediocre.

un examen de aptitud al alumno antes de admitirlo, y un segundo examen (de rendimiento o de aprovechamiento) al terminar los estudios, antes de otorgarle el grado o título.

"Todos los días de la tierra, el tiempo de la siembra y el de la cosecha, el frío y el calor, verano e invierno, noche y día, jamás cesarán."

PARA USO DEL HOMBRE DE LOS DONES DIVINOS

CONCEPTOS DEL ARTE DE LA INGENIERÍA

La necesidad constante e insistente que experimentan los ingenieros de cualquier migaja de hecho o de realidad, a partir de la cual puedan predecir fenómenos naturales, tiende a fomentarles hambre por cualquier cosa que siquiera parezca como tales. Lo que, a su vez, puede llevar a una actitud voraz y glotona, que se atraganta cualquier aseveración u opinión, ilustración o fórmula, sin discernimiento y en forma incesante. El resultado es, a menudo, la autointoxicación intelectual de "trozos y pedazos" de material que no ha sido seleccionado ni digerido, y que no es asimilable.

En vez de lo anterior, los ingenieros necesitan seleccionar su dieta mental con cuidado, y cuando vayan a pescar hechos, querrán un plato de pescado y no una ensalada. Sus excursiones de pesca son frecuentemente largas y arduas, y es importante que lleven consigo los equipos más simples y útiles; en estas jornadas mentales, deben evitarse los juguetes complicados, no importa que tan hermosos sean. Las definiciones de los términos son como los nombres de las poblaciones a lo largo del camino; las relaciones matemáticas forman una resistente canoa para transportarlos, y el deseo de conocer hechos de carácter ingenieril es lo que los lleva adelante. Por fin encuentran su país, una tierra de lagos y ríos repleta de peces —hechos y realidades relativos a la naturaleza que hacen resaltar una incesante corriente de fenómenos naturales—; todo género de hechos, algunos útiles y otros inútiles. Y los ingenieros abren su red y

capturan estos peces al mismo tiempo que seleccionan lo que quieren y lo usan. Todavía después, platican sobre ello como lo hacen todos los pescadores.

La red que captura los peces mentales está formada por preguntas relativas al sujeto que se estudia. Por tanto, los individuos entrenados en recopilar información comienzan primeramente por seleccionar preguntas inteligentes más bien que por obtener datos. En efecto, el conocimiento de una persona sobre una materia puede medirse mejor por las preguntas que hace que por las respuestas que da; no puede hallarse una identificación más segura de la ignorancia que la afirmación del conocimiento absoluto. Cuando se inicia el estudio de una materia, se hacen pocas preguntas; el trenzado de la red es muy abierto, y los hechos importantes se escapan sin que se note. Si el estudiante en verdad está despierto, cada nuevo hecho que se descubre trae nuevas preguntas y, si se revisan los datos, se perciben nuevas realidades que quedan retenidas por la finura de la red; al principio no está muy bien tejida, ni sujeta con firmeza, y en esta etapa no siempre lo mejor es obtener muchos datos, porque la red no puede soportar un gran número de peces aun cuando los atrape; pero si sus hilos se hacen más fuertes, las preguntas llegan a ser más precisas y mejor definidas a medida que progresa el estudio, y finalmente podrá detener todas las pequeñas realidades sosteniéndolas de las escamas. Entonces, todas las truchas y los percas y los bagres quedarán colgados de diferentes hilos para que, a la larga, vayan a la sartén del proyecto. Si se impide que se pudra la red dejándola ocasionalmente al sol, estará lista para usarse otra vez en una nueva oportunidad.

Claro está que hay más formas de obtener un plato de pescado. Una de ellas consiste en dinamitar el estanque, lo cual es enredoso y arruina la técnica de la pesca. O bien, pueden comprarse varias barricas de diversos pescados con objeto de saborearlos y escoger el que guste más. La dificultad de este procedimiento consiste en que es posible que los hechos se contaminen si se obtienen de una persona irresponsable. O también, puede usted acudir a un restaurant; pero esta es una discusión de lo que debe ser un ingeniero, no de cómo usar los manuales.⁴⁹

Para abandonar esta metáfora, las últimas tres maneras de obtener el plato de pescado corresponden, en orden inversa, a tres tendencias humanas definidas en nuestra/mente, todas ellas basadas en el mismo motivo. Pueden conducir a enfermedades mentales —como lo hacen con frecuencia—, cuyas patologías son distintivas y muy importantes. Muchas personas se tomarán grandes molestias, se esforzarán y soportarán inconveniencias para evitar la suprema agonía de la reflexión concentrada; y sin embargo, saben que al final ninguna dificultad, esfuerzo o inconveniencia puede suprimir la necesidad que se tiene de reflexionar.⁵⁰ Y así, del temor al ejercicio mental, quedan expuestos a los males de la formulitis, traduccionitis y experimentalitis.

⁴⁹ Cross habla aquí en tono sarcástico de los manuales de ingeniería que, pretendiendo abarcar la enseñanza en su aspecto más general forman, si acaso, aprendices de todo y oficiales de nada.

⁵⁰ Quizá el mayor de los males que aquejan a la humanidad no sea el uso desmedido y anárquico de las drogas, ni la perversión de valores, ni siquiera las constantes e inacabables guerras, sino la pereza mental. El hombre profano, dotado de inteligencia con un poder creador ilimitado, acepta que le digan lo que debe hacer y creer, qué debe comprar, cómo debe vivir. Más aún, no sólo lo acepta, sino que se siente incómodo cuando no lo guían como a menor de edad o aún como a

La formulitis aparece a cualquier edad, en todos los climas y en cualquier rama del conocimiento. Intenta reducir los casos a fórmulas, causando que aquellos que padecen esta enfermedad se feliciten a sí mismos de haber terminado con ese grupo de casos y que ya no necesitan preocuparse más por ellos. Todo el mundo trata de tener algunas reglas generales para guiarse, y para evitarse la necesidad de reflexionar sobre las cosas cada vez desde el principio. Es muy común disponer de una receta que nos diga que debemos hacer, cuándo hacerlo y en qué forma. No es una falla especial de los ingenieros; es una condición humana, de hoy, de ayer, de siempre. Por medio del empleo de las fórmulas las personas esperan obtener resultados óptimos en el menor tiempo posible, con el mínimo esfuerzo y especialmente, la mínima responsabilidad. Si la fórmula está equivocada no es su culpa; si no la entienden de manera correcta es porque no está escrita con suficiente precisión.

Y a medida que se argumenta todo esto, los diablos farfullan y los angeles lloran. En la vida real, las recetas no funcionan muy bien. Hay muchas de esas reglas en los sabios refranes de la gente, en los epigramas amados por el pobre Ricardo, en los consejos que ese querido y aburrido Polonius daba a Laertes; la primera parte del siglo veinte estuvo plagada de ellos.

Las fórmulas deben aplicarse cuando son aplicables y útiles para el trabajo, eso es todo. Un ingeniero afirma que fue ascendido en su trabajo porque le dijo al ingeniero en jefe que él (el jefe) no sabía lo que estaba haciendo, y otro individuo indica que estableció una marca en su oficina reconociendo que él (el individuo) no sabía lo que estaba haciendo; ninguno de estos métodos se recomienda como una fórmula de aplicación universal.

De hecho, no hay una receta universal para el éxito porque usted es usted y la otra persona es un animal totalmente diferente. Lo que constituye el éxito para un hombre es un logro relativamente trivial para otro. Aquello que parece un triunfo a los seis años de edad no constituye un resultado feliz a los sesenta; no todos los hombres de cuarenta años desean que hubiesen sido bomberos, o policías, aun cuando muchos todavía alimentan una ambición secreta ocasional de abandonar sus profesiones y convertirse en un Daniel Boone.

Si la gente sabe con precisión lo que quiere, es probable que pueda obtenerlo; pero tendrán que pagar por ello. Sacrificarán la paz, la comodidad, la felicidad, el honor, los amigos, o la libertad. La dificultad consiste en que la mayor parte de la gente no quiere pagar el precio; desean conservar su torta y además comérsela. Piensan que el vecino de al lado guardó su torta y también se la comió. No puede hacerse; siempre hay que pagar. La formulitis, aunque extremadamente común y a veces epidémica, rara vez

enajenado. Su cerebro, órgano por esencia que lo distingue del animal, es empleado no para explorar el universo, controlarlo y mejorarlo, sino para obedecer ciegamente los dictados de la clase dominante. Y teniendo libertad, voluntad, y entendimiento, renuncia a la libertad, doblega su voluntad y pervierte su entendimiento, con tal de no hacer trabajar a su capacidad esa maravilla de la creación: el cerebro humano.

es incurable en los ingenieros; el tratamiento que se recomienda es un ejercicio mental vigoroso en el aire fresco de los fenómenos naturales.

La traduccionitis es importada. Consiste en exagerar el valor, la importancia y la credulidad de los hechos porque provienen de una distancia considerable y porque se tradujeron al idioma propio con algún esfuerzo. Es evidente que los resultados relativos a cualquier investigación debieran estar en las publicaciones de todos los países y a la mano de los laboratorios; no siempre es posible, pero sí es deseable.⁵¹ No obstante, como una regla aplicada en forma inconsciente, muchos pretenden medir el valor de la información por la distancia de donde viene, y el esfuerzo dedicado a la traducción, como si la ingeniería tuviera alguna similitud con los sellos de correo o con las orquídeas tropicales. En cierta ocasión un prominente ingeniero intentó investigar el fundamento de una regla importante que estaba en desacuerdo con la práctica usual; solamente logró averiguar que uno de los miembros del comité había visto la aseveración en determinado libro extranjero el cual indicaba que las pruebas respaldaban la regla, pero el comité nunca pudo encontrar esas pruebas.⁵²

Quizá el caso que acabamos de citar se complique por la experimentalitis. Los experimentos nos ayudan mucho, pero unos cuantos, o aún varios de ellos, nos dicen poco. No hay una rama del estudio que requiera un entrenamiento más cuidadoso y una mente más alerta que la correspondiente a planear e interpretar los experimentos. El camino más corto para obtener un guisado de pescado (hechos de ingeniería) carece de promiscuidad, experimentación sin discernimiento —proceso de dinamitar el estanque del conocimiento. Muchas pruebas proporcionan pocos hechos y a menos que estén bien concebidas, no suministran dato alguno del que cualquier persona pueda estar segura. No es bueno comer pescado revuelto con lodo y con la madera del fondo. La parte menos valiosa de un informe sobre experimentos son las conclusiones, exceptuando la labor de algunas personas con ingenio muy peculiar en la interpretación de datos de ensayos. Para usar esos datos con seguridad, cada individuo debe obtener sus propias conclusiones. La tendencia general para hacerlo así es contraria a la idea que tienen los

⁵¹ Debemos distinguir dos tendencias diametralmente opuestas: la primera consiste en alabar, respetar y reconocer todo lo que viene de fuera, y despreciar, dejar de valorar y desvirtuar todo lo hecho en casa; la segunda tendencia es todo lo contrario, basándose en que no hay nada nuevo bajo el sol, se pretende que cualquier trabajo, descubrimiento o invención que proviene de fuera ya se conocía. Ninguno de los dos caminos es recomendable; quien discierne debe reconocer el mérito de los trabajos originales, y no es recomendable que desprecie lo realizado en el país por la sola razón de que lo tiene a su alcance y de que conoce a su autor.

⁵² Una vez tuve necesidad de investigar el fundamento de una especificación de proyecto de puentes que exigía que si la carga muerta era favorable, únicamente se tomase en cuenta el 70% de esa carga en el análisis; se escribió al presidente del comité de especificaciones y su respuesta fue que esa disposición se había quedado sin discutir por espacio de treinta años, y estaba basada en el hecho de que en un tiempo era común proyectar puentes con pisos de concreto y que en la práctica se construían de madera. Como consecuencia de nuestra investigación, en la siguiente edición de las especificaciones se modificó el requisito anterior señalando en su lugar que se tomase la carga mínima real que obraría en la estructura si esa carga era favorable.

novatos de que ésta es una manera fácil de adquirir el conocimiento; también rechaza la costumbre muy objetable de indicar sencillamente que las pruebas muestran esto y lo otro sin explicar cómo se hicieron y en que forma demuestran lo que se supone que debieran comprobar. Los estudiantes son reacios a referirse a detalles de pruebas cuando no pueden describirlas, y ni siquiera imaginarse cómo son los ensayos que justifican el hecho en cuestión; lo que quisieran decir es que han visto u oído afirmar que los experimentos lo comprueban y que no quieren saber más sobre el asunto.

Los ingenieros obtienen su propia información de diferentes fuentes: de la experiencia que adquieren al observar la acción de las fuerzas naturales o las costumbres humanas, y de los registros de observaciones de otras personas; del análisis matemático o de modelos que corresponden con esos análisis; de experimentos sobre las propiedades de los materiales o de las estructuras o de las máquinas; de corazonadas y del sentido común; de sopesar, interpretar, correlacionar y usar esa información. La experiencia es una guía que puede ser miscelánea, fragmentaria, poco satisfactoria, a menudo de segunda mano, y muchas veces imprecisa, pero ningún ingeniero dejaría de tomar en cuenta su tremenda importancia como testimonio.

Toda la naturaleza está tratando de decir algo sobre cómo actúan las fuerzas; la mejor información, el material más valioso, proviene de manera directa de ella; se intenta duplicar sus fenómenos en el laboratorio, pero nunca reproducimos con exactitud el verdadero problema natural, nunca descubrimos por completo sus secretos. Sin duda alguna, los más grandes ingenieros son aquellos que mejor han aprendido a hablar el idioma de la naturaleza.

El análisis matemático en todos los campos depende de hipótesis. El ingeniero dedicado a estructuras debe aceptar ciertas condiciones relativas a la acción elástica o plástica, y considerar lo que pasa cuando se está dentro de los esfuerzos de trabajo, así como las condiciones que se presentan antes del colapso. Los ingenieros necesitan anotar algunos datos, quizá escribir determinadas ecuaciones, pero siempre es menester recordar que obtienen sólo una parte de las pruebas en cada caso. Puede que este procedimiento sea francamente aproximado y tan sólo descriptivo como sucede por regla general, o bien, es posible buscar mayor precisión con el uso de matemáticas avanzadas.

El método estadístico está reconocido por los científicos y los ingenieros como una herramienta que puede ser peligrosa si se usa descuidadamente. Por desgracia, los riesgos involucrados se olvidan a menudo, y su uso inadecuado nos ha llevado a muchos errores. En cualquier caso, los que se han apartado del camino lo han hecho no por acercarse al grupo de los mentirosos climáticos de Mark Twain, sino porque se les ha olvidado lo cierta que es en ingeniería la recomendación de Josh Billings que dice: "Es preferible no saber tanto que saber sobre muchas cosas que no son así."

Hay una tendencia desafortunada de recargar a los ingenieros, por medio de una extensa bibliografía, con técnicas sin fin y procedimientos de análisis matemáticos. Pocos estudiantes saben que los mejores libros pueden proporcionar nada más una red precedera con tejido muy abierto, con la cual comienzan a retener su información; que

cada una de sus fibras debe tejerse, una segunda vez por medio de la reflexión individual, así como añadirse muchos nuevos hilos si ha de ser permanentemente confiable para conservar los datos seleccionados de años de práctica en la profesión. Los libros presentan los juegos de herramientas; la comisión del ingeniero dedicado al análisis es seleccionar cuál puede usar en forma más ventajosa.

Desde luego que no puede haber una discrepancia entre la teoría correcta y la buena práctica. Sin embargo, las teorías no son ciertas del todo, porque están basadas en hipótesis que limitan su aplicación, y aquella que no responde satisfactoriamente es errónea. No obstante, la ingeniería depende de la teoría, puesto que sólo por medio de ella la profesión puede correlacionar la experiencia o interpretar los experimentos; quemar la casa para asar el cerdo resulta demasiado caro. Cualquier teoría está limitada en su aplicación, pero no puede estar libre de la relación de causa y efecto, de la experiencia por medio de los experimentos, o de despreciarse, o aún del sentido común; éste consiste tan sólo en la aplicación de principios que se han formulado y perfeccionado inconscientemente como resultado de la experiencia. Pero aquellos que consideran que lo primero que debe hacerse con un problema de ingeniería es comenzar a calcular con afán áreas, momentos y esfuerzos, parecen tan absurdos como los pequeños jurados de "Alicia en el País de las Maravillas" los cuales comenzaban apuradamente por sumar todas las fechas en las pruebas y reducir la suma a libras, chelines y peniques.⁵³

Los experimentos de laboratorio proporcionan pruebas valiosas. Los ingenieros no pueden llevar las estructuras al interior de los laboratorios, pero lo factible es obtener pruebas en los laboratorios en lo concerniente a su forma de actuar. La multiplicidad de los factores involucrados es fuente de grandes dificultades, deberán fabricarse y ensayarse muchos especímenes de varios tipos en diferentes maneras. Es preciso que el genio de la experimentación conciba ensayos que no involucren, en su interpretación, una teoría más dudosa que aquella que el experimento debía investigar. Se ha creado en esta rama una mala tendencia a caer en aseveraciones como ésta: "Los ensayos demuestran que esto es cierto". Los ingenieros más precavidos afirman y reconocen que los experimentos muestran que a veces esto es cierto, o en forma más cautelosa, que los resultados de estas pruebas no se oponen a la conclusión. Exactamente lo mismo puede decirse de los procedimientos analíticos o de los experimentos ahora tan populares con modelos a escala. Los ingenieros saben que los análisis, ya sea matemáticos o de

⁵³ Cuando un ingeniero se enfrenta a un problema profesional, lo primero que necesita hacer es tratar de comprenderlo, darse cuenta de qué es lo que tiene que resolver, cómo y cuando lo va a abordar, y hasta después, si es calculable o si sólo puede estimarse cualitativamente. Por desgracia muchos pretenden calcularlo todo cuando en realidad sólo un pequeño porcentaje de los problemas de ingeniería son calculables o pueden someterse a un análisis más o menos estricto. Si el tiempo empleado en determinar tantas áreas, momentos y esfuerzos se aprovechase en investigar el fondo de los problemas profesionales de ingeniería, casi siempre se obtendrían mejores soluciones que las que se consiguen por este análisis tan detallado, y que no deja de ser ficticio por estar basado en hipótesis que son simplificaciones de la realidad y, a veces, una caricatura de la misma.

modelos, los ensayos y la experiencia, no son más que índices relativos al problema, los cuales deben sopesarse con cuidado al obtener conclusiones.

Todas las fuentes para obtener pruebas proveen la información necesaria. La habilidad para correlacionar estos conocimientos, para sazonzarlos con un confiable sentido común, es la cualidad más rara, más valiosa y difícil que un ingeniero puede adquirir. No es posible aprender en los libros el sentido de la proporción, es decir, el juicio sobre los valores relativos, aun cuando los libros pueden guiarnos para alcanzarlo; los profesores no pueden garantizar su enseñanza, pero sí apresurar su desarrollo; no vendrá automáticamente con el desenvolvimiento académico o con la experiencia. Cada persona debe dárselo a sí misma, y si lo llega a adquirir, tendrá la marca de su propia individualidad.

La idea de que el sentido común es un don de los dioses ha sido exagerada; algunas personas nunca lo tendrán en lo relativo a problemas de ingeniería; pero puede estimularse hasta cierto punto por quienes laboran con tesón y con esperanzas y, enseguida, analizan retrospectivamente todo el tema en el que han trabajado. Deben tratar de ver las colinas y los valles, apreciar qué partes son importantes y cuáles no lo son, tratar de ser sintéticos así como analíticos, dar la debida atención a la probabilidad y desarrollar algún sentido sobre la importancia relativa. A estos hombres les llegará a su tiempo lo que parece una facultad intuitiva para obtener la respuesta. El sentido común nos suministra una visión cualitativa rápida del problema. En las manos de muchas personas constituye una poderosa fuente para la obtención de testimonios. Es cierto que muchos que creen tenerlo no lo tienen. El hecho que sea peligroso no lo hace necesario, ni tampoco deseable de abandonarlo o descuidarlo.

Cuando los ingenieros estudian un tipo de estructura que no les es familiar, acostumbran calcular todos los esfuerzos para todas las condiciones de carga. En seguida, necesitan un conocimiento de las propiedades de los materiales de las estructuras, y nadie puede estar completamente preparado para decir cuáles son esas propiedades. A un fabricante de acero o de aluminio, nunca es posible decirle en forma concluyente, y raras veces en forma fácil, cuáles son las propiedades estructurales que los ingenieros requieren de su metal. No encontrarán todas las características del material, porque se necesita definir antes de encontrar, e imaginarse antes de definir, lo que presupone la existencia de ese raro espécimen — una mente capaz de imaginar. Y después de encontrar estos esfuerzos y estas propiedades, el ingeniero debe estudiar con seriedad y conciencia el tipo probable de falla y las combinaciones de cargas que lo originan. Mucho del mejor trabajo de los ingenieros es resultado de corazonadas, o de analogías vagas con otros casos con los cuales han trabajado. Sin duda es cierto que los buenos resultados provienen del trabajo pesado, pero también es extrañamente cierto que a menudo provienen del trabajo pesado hecho en otro tiempo y relativo a un problema distinto. Una labor intensa tiene una forma sorprendente de pagar dividendos inesperados por medio de inspiraciones posteriores. No obstante, uno debe darse cuenta exacta que las corazonadas son peligrosas porque son vagas, carentes de forma y de razonamiento. Una analogía no es una razón — *compparison n'est pas de raison* — ni una similitud constituye una identidad. La idea sugerida puede resultar cierta o disparatada y, sin embargo, no es conveniente tratar con ligereza un presentimiento persistente de

un pensador bien entrenado. Con el tiempo uno llega a desarrollar lo que se ha llamado, con erudición innecesaria, un "poder inconsciente de raciocinio".

Por lo tanto, los testimonios provienen de varias fuentes; ninguna de ellas es, por sí misma, más confiable, científica o satisfactoria que cualquier otra. Todas ellas han dado una enorme ayuda en algún tiempo; todas también han conducido, a veces, a graves errores. Es necesario hacer aquí lo que la humanidad ha hecho siempre tratándose de relaciones prácticas: ensamblar y dar la debida importancia a aquellas partes que el buen juicio indica que les podemos tener mayor confianza.

Los ingenieros que meditan, sopesan los testimonios que se les presentan de una o de todas estas fuentes, conociendo como es debido el efecto que sus prejuicios personales pueden tener en las conclusiones obtenidas de las pruebas. Cualquiera persona de más de cuarenta años de edad ha adquirido una pila tan grande de prejuicios, preconcepciones, preferencias, convencimientos, nociones, estimaciones y odios que le es casi imposible decir por qué piensa lo que piensa.⁵⁴ Es muy difícil, a cualquier edad, ser honrado en lo absoluto; lo es durante la juventud, porque, aunque se tienen pocos prejuicios, se dispone de muy poca información; y presenta mayor dificultad después porque se han adquirido preferencias y predisposiciones tan aprisa o aún más aprisa de lo que se han olvidado los hechos.

Las ideas que muchos consideran haber creado, y de las que están tan orgullosos, ya sean relativas a las artes, las ciencias, las formas literarias o los estilos, con frecuencia son sólo letargos de borracheras mentales, depravadas o empobrecidas — herencias— de nociones griegas revividas en el renacimiento europeo, o de Francis Bacon y la revolución cartesiana, o de Scott y los románticos, o de Addison o Smollett.

En Europa, el problema fundamental de los ríos ha sido el de su navegabilidad, no el de las inundaciones, así que sus escritos se han visto influenciados, al principio en forma intencional y después inconscientemente, por el deseo de hacer que los barcos floten en sus ríos. Cuando se estableció, la Comisión del Río Mississippi tuvo que justificar su existencia como un organismo Federal sobre la base de que intentaba mejorar las cualidades de navegación interior hasta el Golfo de México.

No es que los escritores e investigadores norteamericanos sobre el control de inundaciones hayan sido moralmente deshonestos, sino que muchas veces han carecido

⁵⁴ Dice un viejo adagio: "Es de sabios cambiar de opinión". Por desgracia, mientras más viejo se vuelve uno, es más difícil cambiar de opinión: una vez que alguien ha expresado una convicción sobre algún asunto, ni el sabio más sabio podrá hacerlo variar, a menos que el sujeto tenga una mente dispuesta, lo cual es más raro que las sinfonías corales; sólo un terrible fracaso puede, en forma normal, cambiar la manera de pensar de una persona, sobre todo, de las más entradas en años. Es por ello que Renán afirmó: "Los golpes de la adversidad son muy amargos, pero nunca son estériles," y el legislador Licurgo escribió hace ya casi tres milenios, "El principal maestro de los hombres en las acciones de la vida es el infortunio."

de malicia intelectual, y han tomado prestado de tal escuela de conocimientos o de tal grupo de intereses, las ideas y las teorías que los respalden en aquello en que han fundamentado sus acciones. Es una práctica tan común que debe esperarse a menudo, y cuando una persona ha expresado una opinión, algunos individuos saltan a la conclusión que pueden predecir todas sus opiniones — y a veces sí que lo pueden.

Por supuesto hay ciertas ventajas en tener prejuicios. Les da a las personas algo con qué comenzar su viaje, o alguna cosa a qué amarrarse si viene una tormenta y quieren permanecer en el puerto. Determinados individuos son tan devotos del ideal de formarse una opinión carente de prejuicios que, cuando inician el estudio de una materia, evitan cuidadosamente leer cualquier escrito relativo a esa especialidad, o discutir el tema con otras personas. El resultado es que sus conclusiones pueden tener la misma cantidad de prejuicios, pero que son todos propios. Sin embargo, lo que pudiera alabarse como un marco mental carente de prejuicios, con latitud de visión y liberalismo intelectual es, a menudo, la más desbarrada tontería —una anemia y una vaciedad cerebral.

Es muy importante reconocer e identificar nuestros propios prejuicios y preconcepciones, en especial, tratándose de trabajos de ingeniería, aún cuando es prácticamente imposible liberarse de ellos. Los ingenieros siempre tratan, tanto con las costumbres humanas como con las fuerzas naturales; su labor es, al mismo tiempo, producto y cimiento de la civilización, la cultura y la raza. Pero la civilización y la cultura no se establecen en un sólo día. Algunas conclusiones y opiniones en ingeniería han sido heredadas de un profesor quien estudió con otro profesor quien a su vez obtuvo sus ideas de un académico alemán — y así la casa que construyó Jack.⁵⁵ Por otra parte, un distinguido ingeniero en una ciudad del este de los Estados Unidos proyectó un acceso por una empinada colina —una solución técnica excelente de un problema difícil— en tal forma que se estropeó la vista de una antigua y bien amada iglesia de la que todo el pueblo estaba orgulloso —un evidente descuido para condescender con los prejuicios.

Todos los ingenieros han pasado por periodos de conflicto que se repiten, entre lo que puede llamarse el punto de vista "práctico" y el "teórico" de los problemas de ingeniería. Quienes se consideran a sí mismos como hombres "prácticos" ven con poca consideración las investigaciones analíticas. Su actitud es la de que saben por intuición divina y por experiencia cómo hacer su trabajo, y consideran que muchos detalles de la labor que realizan no pueden estar sujetos a un análisis del todo racional. Opuestos a ellos están aquellos a quienes popularmente se les considera como profesores de escuelas superiores, los que creen que es posible racionalizar todos los procedimientos y reducirlos a reglas rigurosas.

⁵⁵ Esta última frase pertenece a un juego infantil muy conocido en el que se van agregando oraciones y ademanes a medida que cada niño repite lo ya dicho, y pierde el juego quien equivoca la serie de oraciones o de ademanes.

Puede convenirse que en la especialidad de la ingeniería estructural —quizá algunos convengan que aún en la del gobierno— no es necesario adoptar, en forma exclusiva, ni el punto de vista del individualismo riguroso, ni el de la economía planificada. Se requiere una juiciosa combinación de ambos. El individualista, tanto por su temperamento como por su entrenamiento, es bastante inepto para la planificación, y el hombre teórico, comúnmente es torpe para realizar excursiones audaces e imaginativas en el campo de los nuevos tipos de construcción.⁵⁶

A diario se publican artículos que pretenden ser novedosos en la rama del análisis; algunas veces son útiles; a menudo son perjudiciales. En esa rama son muy necesarios los métodos para reflexionar que utilizan el lenguaje común y preservan los conceptos que son familiares a los constructores, y a las personas con un don natural e intuitivo para imaginarse la acción estructural. Para avenirse a esta condición los teóricos necesitan realizar mayor esfuerzo que los prácticos; los primeros deben encontrar a los segundos más allá de la mitad del camino. En la rama de la ingeniería civil, los proyectistas y los constructores son los hombres en la línea de fuego. Los procedimientos analíticos en la mecánica deben ser tan simples y flexibles que puedan proporcionar en forma rápida un método para reflexionar, ya sea cuantitativa o cualitativamente.⁵⁷ Deben mostrar una figura de la estructura en acción. Los grandes constructores han tenido necesidad de formarse en la mente tales figuras.⁵⁸

Si alguien tratase de explicar algunos de los "nuevos" conceptos modernos a Miguel Ángel, o a Pedro de Colechurch o a Galileo, es probable que comprendería el procedimiento en forma sorprendentemente fácil; de hecho, no llamaría la atención si ellos respondiesen que ya lo conocían de tiempo atrás.

Para el análisis formal pueden usarse sistemas que no son métodos de pensamiento en lo absoluto. Muchas veces, son muy formalistas, como un aparato de moler carne para preparar embutidos. Si se alimentan ciertos datos numéricos en un extremo del análisis y se da vuelta a la manivela, en el otro extremo de la máquina salen siempre

⁵⁶ Cuando no se reconoce la existencia simultánea y necesaria de estas dos corrientes, se cae en el peligroso campo de la intolerancia. Los resultados no pueden ser más desastrosos: no sólo se frena el progreso, sino que se destruye una parte importante de lo ya logrado.

⁵⁷ Los ingenieros latinoamericanos debemos evitar la complicación innecesaria del análisis estructural. Al respecto me permito transcribir lo que afirma el Ing. V. Guerrero y Gama: "He tenido a la vista las memorias de cálculos de grandes compañías europeas, como la S.T.U.P. de Francia, y norteamericanas, como la "American Bridge Company", y he comprobado que son sistemáticamente más sencillas, más breves, que las que se suelen hacer en nuestro medio. Y no cabe suponer en los autores de tales memorias, ignorancia ni falta de acuciosidad; todo lo contrario: precisamente por conocer a fondo el valor de las hipótesis de partida (secciones planas, proporcionalidad de esfuerzos-deformaciones, funcionamiento real de las estructuras, incertidumbre en las cargas, desconocimiento de los valores efectivos de impacto, etc.), limitan la complicación de sus análisis hasta donde pueden éstos ser congruentes con dicho valor de las hipótesis básicas."

⁵⁸ Los romanos, que fueron grandes ingenieros, más aún que los griegos y que los egipcios, así debieron trabajar. Quien no lo crea, que intente multiplicar CDXLIV por XCIX.

muchos pequeños embutidos —momentos, reacciones, esfuerzos, deflexiones.⁵⁹ Trabaja muy suavemente, de hecho lo hace con una suavidad decepcionante; porque los embutidos se ven todos uniformes y regulares se presupone que la carne no puede estar podrida.

⁵⁹ Cross se anticipa aquí a su tiempo previendo lo que sucede en las computadoras cuando se usan sin discernimiento, meditación o raciocinio. Ningún resultado es mejor que los datos que alimentan a la máquina o que el programa bajo el cual ella funciona.

"Fantásticas por igual."

NUEVAS LÁMPARAS POR LÁMPARAS ANTIGUAS

NOVEDAD O LUZ

La ingeniería ha pasado del individualismo tenaz de, digamos 1850, a través de una combinación razonablemente juiciosa del individualismo tenaz con la planificación de quizá el 1900, a una era en la que se hace mucho énfasis en el análisis.⁶⁰ Tenemos tres maneras de tratar los problemas de ingeniería muy distintas entre sí; analítica, experimental, y sintética. Ninguna de ellas puede progresar en forma independiente de las otras, ni debe depender totalmente de las demás. Los constructores pueden llegar a convertirse en personas demasiado prácticas por el bien de la profesión; los analistas llegar a ser teóricos o abstraídos en extremo. Es todavía más peligroso si los analistas se vuelven demasiado prácticos, y los constructores, teóricos en exceso.

⁶⁰ Ya antes se hizo un comentario relacionado con ese gran ingeniero norteamericano que ha sido subestimado, juzgado a la ligera y aún vituperado y vilipendiado: Teodoro Cooper. Cuando se estaba construyendo el primer puente de Quebec, de triste memoria y Cooper era el ingeniero en jefe, cayó enfermo, por lo que tuvo necesidad de dejar la obra para ir a curarse lejos. Algunas semanas transcurrieron y, a medida que progresaba el montaje, se notó que uno de los miembros de las armaduras tenía una curvatura que tendía a aumentar. Al percatarse de la irregularidad, el ingeniero superintendente indicó que iba a revisar el análisis del miembro, y en forma simultánea y por correspondencia, se informaba de lo anterior a Cooper en su lecho de enfermo. Poco tiempo después, el superintendente notificó que los cálculos del miembro eran correctos, y que se continuase la obra, sólo para morir él mismo con 81 personas más, aplastados por la estructura, en tanto que casi inmediatamente después del colapso, se recibía un telegrama de Cooper, escrito la víspera, ordenando la suspensión de los trabajos y el retiro de todo el personal fuera del puente.

La apropiada consideración de los prejuicios no es ni más ni menos importante que la confiabilidad de los hechos. La verdad no siempre viene estampada como tal, y a menudo algunos de los llamados "hechos científicos" —con trajes de etiqueta y sombreros de copa— no son genuinos. Las falacias —ilusiones de grandes verdades y de novedades seductoras— pueden compararse con las prima-donnas y con las segundas tiples. Es menester recordar a los ingenieros que quizá sea bueno enamorar a las segundas tiples siempre que no se casen con ellas. Algunas pueden ser muy buenas muchachas, y otras llegan a ser gordas y sensatas, pero el punto principal es no casarse con ellas, o en cualquier caso, no contraer matrimonio con gran número de ese gremio o, de perdida, no hacerlo con demasiadas y en forma muy apresurada. En otras palabras, no es necesario que las carreras estén irrevocablemente ligadas, tarde o temprano, con ideas nuevas o hermosas, pero sin comprobación, no importa qué tan interesantes sean. Conviene que los jóvenes sean cautos en extremo; los ingenieros mayores no lo requieren porque están demasiado calvos, intelectualmente hablando, para comenzar con galanteos.

En el mundo de los ingenieros, en el de los asuntos prácticos, la vida es muy real y ansiosa, y la meta está definida con precisión. La función de la ingeniería es producir riqueza humana, lo que en realidad quiere decir bienestar humano.

Pero es difícil y con frecuencia decepcionante identificar estos hechos, estas verdades y leyes que deben preceder a la producción de riqueza. Hay muchas digresiones que provienen de esta escuela de pensamiento o también de aquel grupo de pensadores.

Pocos de los sistemas de pensamiento están libres de falacias, pero las teorías que se basan en ellas no siempre son equivocadas. Allá por el año 1890 sabíamos que comer melones en el campo en un día caluroso nos hacía propensos a contraer la malaria, lo cual es muy cierto a menos que se use una red contra los mosquitos, pero la forma como se planteaba el dogma era una falacia. De hecho, es probable que la mayor parte del pensamiento o bien involucre falacias —defectos en la lógica— o esté cercanamente asociado con ellas.⁶¹ Alguien ha dicho que toda la teoría del análisis estructural está elaborada atribuyendo propiedades imposibles a materiales inexistentes.

⁶¹ Una falacia característica la encontramos en la concepción errónea tan generalizada, acerca de la función principal de los "contravientos"; el nombre mismo sugiere que se trata de elementos destinados únicamente a resistir y transmitir las cargas provocadas por los vientos, y bajo ese aspecto sería mejor llamar dichas piezas con la designación más castiza de riostras; pocos ingenieros reflexionan sobre el hecho de que estos elementos son, por regla general, indispensables aún en el caso en que no se presenten fuerzas debidas al viento o a otras cargas y reacciones horizontales, que su misión fundamental consiste en limitar las relaciones de esbeltez, en hacer las estructuras tridimensionales y estables, y en lograr que trabajen como un todo en vez de un conjunto de piezas aisladas. El requisito de que, para proporcionar esos miembros se consideren fuerzas horizontales, reales o imaginarias, debidas a vientos o a sismos, es puramente circunstancial y no modifica su función primordial.

Algunas falacias son las hermanas y las tías, miembros íntimos de la familia, y el conocimiento de sus defectos sirve solamente para apreciar más sus virtudes. Otras son del tipo de las segundas típles, demasiado lindas, fascinantes y perfectas por su novedad. Distraen la atención por su poca seriedad, y por su pródiga manera de lucir sus extremidades sin que venga al caso.

Muchas falacias eruditas son distorsiones de puntos de vista de algún gran pensador, de quien los discípulos menores tomaron prestados los binoculares, pero que no los enfocaron a su propia vista. Estos discípulos se pierden de la gran visión, de la noble finalidad, y dejan al mundo un registro detallado de la futilidad en siete volúmenes. Y esos siete volúmenes pasan a las manos de un cierto número de especialistas, cada uno de los cuales produce siete nuevos tomos, y establecen un rompecabezas cuyas partes nunca jamás volverán a ajustarse.

Las grandes verdades en ingeniería son simples; pueden establecerse simplemente, y aplicarse en la misma forma; es muy distinto que decir que alguien las ha presentado ya de manera simple, o que ha mostrado cómo aplicarlas con facilidad. Una descripción o explicación muy compleja de un hecho sobre ingeniería indica complicaciones de la mente del proponente más bien que una complejidad de la naturaleza. Todo aquello que no puede explicarse en el lenguaje común está guisado sólo a medias, aunque no ha nacido todavía quien sea capaz de terminar el cocido, y un pan preparado a medias es mejor que no tener pan. Aún así, lo que está cocido a medias propende a dar indigestión.

La rama de la ingeniería estructural, por ejemplo, tiene períodos de complejidad creciente que se repiten a intervalos, un amontonamiento de Pelions de teoría sobre Ossas⁶² de experimento; derivadas parciales persiguiendo manadas de datos empíricos, módulos de finura y relaciones coloidales gritando torpemente al clamor de ecuaciones, de diagramas y de registradores de esfuerzos. Y de todo esto es normal que resulte la sanidad, simplicidad y mejores estructuras y materiales —algunas típles han bailado su última pieza y otras se retiran por el resto de la temporada.

El período de la escolástica medieval se extiende del siglo IX al XIV. Fue una época extraña, cuando los sabios discutían con solemnidad los atributos de la omnisciencia. Y al final de este período llegaron John Duns Scotus, guía de la escuela Escotística de los académicos franciscanos, Tomás de Aquino de los dominicos, y Rogerio Bacon, predecesor de la ciencia moderna.

Scotus fue un miembro del colegio Meron, en Oxford, doctor y decano de teología de la universidad de París; su defensa de la doctrina de la Inmaculada Concepción llevó finalmente a que la universidad de París requiriese que todos los aspirantes al doctorado abjurasen de los errores tomistas y dominicos. El artero doctor barrió a un lado con suavidad las impertinencias inmaduras de sus subordinados.

Rogerio Bacon también se graduó en Oxford y en París y se unió a los franciscanos. Enumeró las cuatro causas del error como sigue: autoridad, costumbre, la opinión de la masa inculta de la gente, ocultamiento de la verdadera ignorancia con la

⁶² Frase proverbial de la Odisea de Homero (canto XI).

pretensión de conocimiento. De estas causas, indicó que la última es la más peligrosa y el origen de todas las demás. Se le prohibió enseñar en Oxford.

Aún hoy en día, se acepta que la tesis de Rogerio Bacon tiene una cierta propiedad, y se le alaba como el precursor de la curiosidad científica moderna. Y el nombre de Duns Scotus, el gran decano en teología de la universidad de París, se ha conservado en el idioma inglés, pues la palabra inglesa "dunce" significa estúpido y tonto. Pero esto sucedió hace seis siglos, y la gente de hoy es mucho más sabia ¿o realmente lo es?

El error siempre permanece como parte y partida de la vida intelectual. Como lo escribiría el Sr. Roget, la gente tiene errores y falacias; concepciones, aprehensiones, entendimientos, interpretaciones y juicios equivocados; herejías, falsas aseveraciones, equivocaciones, fallas, aberraciones; erratas, engaños, ilusiones, alucinaciones, absurdos, imbecilidades, estupideces, puerilidades, senilidades, fatuosidades y disparates.⁶³ Todos nosotros los cometemos, estamos en ellos y prosperamos con ellos.

La gran tragedia intelectual no está en las tipples de las falacias, ni en los galanes que cortejan en la puerta de artistas. Los que esperan a la salida de las artistas normalmente sufren de una enfermedad detestable que se llama juventud, pero casi todos los que viven lo suficiente se curan de ella.

La tragedia, la verdadera tragedia, es la de los galanes que se casan con una de las tipples. Los jóvenes pueden asistir al teatro de música intelectual si quieren, y revisarlas de arriba a abajo, aún sentarse en la primera fila en toda una función de "Las Falacias del Año". No obstante, deben tener el cuidado necesario para depositar su fe en algo más durable que el maquillaje, los cosméticos y las pelucas, las formas, las fórmulas o las fantasías. Cuando se sienten seguros de la veracidad de una nueva teoría, de un nuevo método, material,⁶⁴ tipo de estructura, o una máquina original,⁶⁵ deben llevar su idea novedosa a mucho más que un paseo en coche antes de acudir a un juzgado del registro civil (o un juez de paz o una parroquia).

Un viejo proverbio dice que cualquier tonto puede hacer una pregunta que ni el más sabio es capaz de contestar. Una aseveración más importante es que sólo los que son muy sabios tienen la habilidad de hacer preguntas en tal forma que cualquier tonto las

⁶³ Y en español podíamos agregar tonterías, ofuscamientos, seducciones, deslumbramientos y otras más.

⁶⁴ Cuando se construyó el puente de Bayonne sobre el brazo de mar que separa uno de los barrios de Nueva York del Estado de Nueva Jersey, la compañía fabricante ofreció substituir el acero al níquel que requería el proyecto por el más económico acero al manganeso. Después de haberse aceptado el cambio, al probar miembros a tensión se observó que el nuevo material no daba las seguridades necesarias, por lo que fue preciso modificar el proyecto cuando la obra ya estaba en construcción. Ejemplo claro de lanzar al mercado un material sin haberlo ensayado como es debido.

⁶⁵ Hace muchos años que se habla de motores de turbina, de motores eléctricos de batería y de otras linduras para substituir el voluminoso, pesado, sucio y costoso motor de pistones y cilindros del automóvil familiar. Y pese a que estos adelantos prometidos han estado en uso en vehículos especializados desde hace muchos años, el tiempo pasa sin que estas máquinastengan la aplicación generalizada que nos han vaticinado.

pueda contestar. Si las preguntas son buenas en verdad, las respuestas probablemente puedan contestarse y si son malas, nadie pueda dar la respuesta.⁶⁶

La pregunta que hacen muchos niños: "¿A qué se parece Dios?" está mal redactada; implícitamente indica que él no es Dios. Pero han existido muchas figuras e imágenes de dioses; si los niños tratan de delinear ilustraciones de Dios tal como ellos lo conciben, puede que modifiquen su pregunta y la redacten así: "¿Qué es Dios?" — algo muy distinto de lo anterior.

Desde hace varias décadas se ha hecho una pregunta especial en diferentes formas: "¿Qué es la rigidez?" "¿Por qué es conveniente que las estructuras sean rígidas?" "¿Siempre es un atributo deseable de las estructuras que tengan esa propiedad?" "¿Cuál es la medida adecuada de la rigidez?" "¿Su medida debe ser siempre la misma?"

Desde tiempo inmemorial los constructores han procurado que sus estructuras tengan una propiedad que es posible llamar "rigidez". Muchas veces se han seleccionado tipos particulares de estructuras sobre la base de sus rigideces relativas. Y, sin embargo, después de muchos años, nadie puede afirmar con certeza lo que la palabra significa.

Algunos ingenieros profesan que saben —creen que saben, piensan que creen que saben— que hay tal propiedad; creen que el gato que buscan es real, aun cuando no tienen seguridad del cuarto de la casa en que está. Quizá sean varios gatos, o puede ser uno solo viviendo nueve vidas en diferentes lugares. Y no obstante, el término y sus sinónimos son de uso tan general que sabemos algo sobre él: este gato no es enteramente negro.

Unos cuantos rayos de luz provienen de los sinónimos. Disponemos de muchas palabras para describir tipos de movimiento: agitar, alternar, arrollar, aventar, bambolear, brincar, contorsionar, desplazar, devanar, doblar, empujar, enredar, enrollar, estremecer, girar, lanzar, mecer, menear, mudar, ondear, ondular, oscilar, rebotar, remolinar, remover, retorcer, revolver, sacudir, saltar, tejer, temblar, tirar, tiritar, torcer, trasladar, vibrar, zangolotear.

Es obvio que la gente está muy consciente sobre los tipos de movimiento, y lo que algunas personas piensan todo el tiempo puede no ser muy significativo, y lo que todo el mundo piensa de cuando en cuando puede estar equivocado, pero lo que toda la gente piensa todo el tiempo sí es importante.

Es natural que los ingenieros necesiten buscar en cada uno de los cuartos porque no tienen la completa seguridad de saber si están hablando de desplazamiento, velocidad, aceleración o cambio de aceleración, o de todos ellos al mismo tiempo. No están totalmente seguros de si hablan de psicología —reacción animal al movimiento— o de integridad estructural o de durabilidad —el efecto del movimiento sobre una estructura. Tal vez debieran buscar la manera en que los golpes o la repetición de cargas afectan las propiedades de los materiales; y así, dejan raciones de "engañabobos" regadas por el laboratorio de ensaye de materiales.

⁶⁶ Una de las lecciones más sabias y más sutiles que pueden darse a un empresario, un funcionario y hasta a un profesor o un capataz.

Pero lo que hemos dicho es una consideración sobre preguntas, no sobre rigidez. No se llegará lejos en el estudio de la rigidez, hasta que se hagan las preguntas apropiadas en la forma adecuada y cuando se formulen correctamente, es probable que las respuestas sean simples.

Las ilustraciones son el suplemento necesario de las preguntas. Es preciso alentar a los estudiantes para que hagan más figuras sobre aquello de que están hablando. Conviene que dibujen representaciones de estructuras deformadas, de estructuras próximas al colapso, de distribuciones de esfuerzos. Cuando intentan dibujarlas surgen, o debieran surgir, cientos de preguntas; si no las pueden dibujar es porque no saben de lo que están hablando, y el grado de detalle con que hacen las ilustraciones muestra la familiaridad con la materia. Cuando se intenta delinear una figura como lo hicieron anteriormente los niños, muchas veces se encontrará la respuesta o se anulará ésta.

Ahora bien, tenemos gran variedad de ilustraciones: fotografías, caricaturas, diagramas convencionales. Y se dispone de diferentes formas para representarlas: diagramas de líneas, figuras con palabras, descripciones matemáticas, croquis. Con frecuencia es bueno, y a veces necesario para el ingeniero, presentarlas de varias maneras distintas. Nadie puede tomar una fotografía de la distribución de esfuerzos, pero hay diversas formas de dibujar ilustraciones convencionales que la representen. Se necesita mucha educación y reflexión para hacer estas representaciones. El resumen y lo importante de esto es que el conocimiento técnico de las personas puede medirse mejor por las preguntas que hacen que por las respuestas que dan, y éstas últimas pueden valerse mejor por las figuras que las acompañan. La demanda que la profesión hace inicialmente es de ilustraciones, pero nunca antes se tuvo una necesidad mayor de personas con capacidad de hacer preguntas apropiadas en cualquier campo de estudio técnico.

Los libros de texto rara vez plantean interrogaciones de importancia; pocos profesores las hacen. Los textos y los profesores están demasiado ocupados diciendo lo que saben para hacer énfasis en lo que no saben; pero lo último es más importante —percatarse de las limitaciones del conocimiento y hacer preguntas que sean simples, y que abran claraboyas por las cuales pueda filtrarse alguna luz en los cuartos oscuros. Sólo cuando tratamos de dibujar ilustraciones hacemos estas preguntas, y es necesario hacerlas porque nos encontramos que la mayor parte del paisaje está todavía oculto a nuestros ojos.

*"Ingeniería es el arte de dirigir los grandes recursos
de energía de la naturaleza para uso y
conveniencia del hombre."*

LUCES EN LA TORRE DE MARFIL

FE Y ESPERANZA—QUIZA UN POCO DE CARIDAD

El Instituto de Ingenieros Civiles de la Gran Bretaña se organizó hace más de un siglo. En esa época "ingeniero civil" quería decir cualquier ingeniero que no estuviese directamente relacionado con trabajos militares. Se le solicitó a Tomás Tredgold, afamado practicante de ingeniería y conocido escritor sobre tópicos de ese tema, que redactase una definición del término, la que fue aceptada y hoy en día se incluye en todas las publicaciones del Instituto. "El arte de dirigir los grandes recursos de energía de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre"; nada mejor se ha escrito al propósito. Todavía es una buena definición para todas las ramas de la ingeniería.⁶⁷

⁶⁷ Medio siglo después, Wellington escribía: "Ingeniería es el arte de hacer bien con un peso lo que cualquier chambón hace mal con dos". Ya en este siglo Hellmund afirmó: "Ingeniería es una actividad distinta de la puramente manual y del esfuerzo físico, que desarrolla la utilización de los materiales y las leyes de la naturaleza para el bienestar de la humanidad". Y en la década que acaba de terminar, el Consejo de Ingenieros para el Desarrollo Profesional la definía así: "Ingeniería es la profesión en la cual el conocimiento de las ciencias matemáticas y naturales, obtenidas por el estudio, la experiencia y la práctica, se aplica con buen juicio al desarrollo de medios para utilizar en forma económica los materiales y las fuerzas de la naturaleza para el beneficio del hombre". Y más recientemente todavía, Ingeniería se ha definido como: "El arte de tomar una serie de decisiones importantes, dado un conjunto de datos inexactos e incompletos, con el fin de obtener la mejor solución posible y que funcione de la manera más satisfactoria".

"Para uso y conveniencia del hombre". Es una parte tan importante del texto de Tredgold como cualquier otra. Noten la agradable distinción que hace entre uso y conveniencia; no siempre son idénticas. La ingeniería no intenta decir a la humanidad lo que debe querer y por qué debe quererlo. Más bien, reconoce una necesidad y trata de satisfacerla. Por tanto, los ingenieros, quizá más que otros individuos, estén interesados en el hombre mismo, en las necesidades humanas, en la forma de vivir de la humanidad y su reacción ante aquello que lo rodea.

Uso y conveniencia son términos con valor relativo. La obsolescencia es el producto del uso y la conveniencia en un grado cambiante. Para tomar un ejemplo repetido tantas veces, el automóvil en los países industrializados ha hecho que muchas carreteras no sean ni útiles ni convenientes.

El uso y control del agua es un problema de importancia permanente. Reúne factores económicos, diagramas de flujo, predicciones de lluvia e inundaciones, problemas estructurales en el proyecto de presas, problemas hidráulicos del control del agua en canales o en turbinas, y todos ellos tienen un alcance lejano en los detalles de la investigación de la ciencia pura y aplicada.⁶⁸

La ingeniería está dedicada al "uso y conveniencia del hombre." A medida que las necesidades y los deseos humanos han cambiado, el arte de la ingeniería ha progresado, y consecuentemente, el proceso histórico de las naciones y del mundo nos ilustran como es debido sobre el avance de la ingeniería.

La historia de la ingeniería en los Estados Unidos, y en gran parte la de la Unión Americana misma, puede remontarse a los obstáculos que sucesivamente impuso la naturaleza a la marcha del pueblo hacia el oeste. Los primeros colonizadores en la costa (vertiente) oriental construyeron los puertos en tal forma que no tuvieron mucho éxito, así como las rutas para el transporte terrestre y la navegación interior paralela al litoral; a principios del siglo XIX se encontraron con la cadena de los montes Allegheny. Esta barrera se extiende desde la frontera con el Canadá casi hasta el Golfo de México, distante unas 100 millas de la costa atlántica y paralela a ella. Hay pocos pasos a través de la misma, uno en la depresión Mohawk-Hudson, otro en los puertos de tierra entre las fuentes de los ríos Susquehanna y el Allegheny. En el estado de Virginia, las fuentes del río James nos llevan a las del New River. El ejército del General Sherman, durante la guerra civil americana, siguió otro bajo entre las montañas. La lucha de la ciudad de Charleston para alcanzar el poniente del país es una historia de

⁶⁸ Es probable que la desalinización del agua, el uso, las aplicaciones y el control de esa agua desalinizada sean, en un futuro próximo, los problemas más trascendentales de la ingeniería. Recordemos que casi las dos terceras partes de la superficie terrestre en las zonas templadas del globo, las más propias para ser habitadas por la humanidad, están formadas por desiertos o regiones áridas. Podemos entonces percatarnos de inmediato de la importancia extraordinaria que tiene dotar esas tierras de agua dulce abundante. La desalinización, unida a la disponibilidad de energía casi ilimitada que ya está haciendo realidad el control y el uso pacífico del átomo, permitirá cambiar de manera radical el aspecto de la superficie de nuestro planeta; contribuirá a retardar por mucho tiempo, quizá indefinidamente, el cumplimiento de las predicciones Malthusianas; y, en fin, transformará nuestro mundo en su aspecto material a tal punto que podremos confirmar el texto del profeta Isaías: "Brotarán aguas en el desierto y correrán arroyos por la soledad, La tierra seca se convertirá en estanque y el suelo árido en fuentes..." (35 - 6,7).

gran dramatismo. Boston está cortado en la zona poniente por los montes Berkshires, pero el estado de Nueva York encontró una ruta transitable con bajas pendientes a su puerta, y las primitivas líneas de ferrocarril ascendieron a los pasos entre montañas; así, la línea de la ciudad de Philadelphia alcanzó las laderas occidentales en el estado de Pennsylvania al mismo tiempo que la de Baltimore completaba la vía del Baltimore y Ohio hasta entrar en Wheeling; la del Chesapeake y Ohio subió por el valle del río James y pasó al poniente hacia el río Ohio⁶⁹

El desarrollo del transporte ha seguido en forma sucesiva los medios disponibles y los métodos para viajar. Se han construido unos canales costeros, otros locales y otros más que atraviesan, como el de Erie. A su tiempo, el relativamente ineficiente canal cedió a los ferrocarriles, los que originaron los problemas de la vía, del equipo y de las terminales. Cada uno se ha elaborado en detalle por especialistas. La vía, por ejemplo, ha sido la causa de mucha investigación técnica que involucra el estudio de la flexión, la resistencia de los suelos y los rieles y el equipo para sujetarlos, de durmientes (traviesas), y del material bajo la corona de la vía; ha llegado a ser uno de los problemas críticos de los sistemas de ferrocarril.

La Unión Americana, en su marcha al poniente, alcanzó por fin el gran valle del Mississippi y su sistema tan extendido de ríos navegables. El periodo del florecimiento del barco de vapor en los ríos fue corto; el ferrocarril, en las manos de los brillantes ingenieros de la época, demostró ser un servidor más eficiente del pueblo.

Entonces se logró cruzar el río Mississippi por medio del ferrocarril. James B. Eads construyó la gran estructura que todavía a la fecha es un modelo de gracia y una maravilla de trabajo técnico. Los sueños primitivos de cruzamientos de este río, que parecían imposibles de realizarse, finalmente se llevaron a término. Después de Eads se construyeron puentes en Memphis, Tebas, Cairo, el Cabo Girardeau, Vicksburg y, por último, en Nueva Orleans.

A su tiempo se hicieron cruzamientos del río Missouri, túneles y pendientes para atravesar o remontar la cordillera de las rocallosas y las sierras. Las vías férreas

⁶⁹ Las naciones latinoamericanas han progresado a medida que han comunicado sus territorios poco habitados con las regiones tradicionalmente pobladas; su progreso será mayor cuando las industrias de transformación se repartan en todo su territorio hasta los últimos confines. Así México, después de haber ligado las principales ciudades y la frontera norte, primero por ferrocarriles y después por carreteras, inició la etapa de una comunicación sustancial entre el altiplano y la planicie costera, etapa todavía en proceso de desarrollo; la industrialización de estas regiones liberará a las mismas de un letargo secular. Argentina ha tenido una expansión que partiendo de la ciudad de Buenos Aires y la Provincia del mismo nombre se ha dirigido hacia el poniente, el norte y el sur. Y Brasil se ha incorporado a la civilización a lo largo de una franja paralela a la costa de no más de 400 Km de ancho; su verdadera evolución vendrá el día en que las vías terrestres crucen la selva amazónica en todas direcciones así como las pendientes orientales de los Andes y las fuentes de trabajo abundan en ellas. Perú también se desarrolló en una angosta zona paralela a la costa, y la vertiente oriental de los Andes apenas inicia en la actualidad su comunicación con la occidental. Nos encontramos, por tanto, que estas naciones requieren urgentemente de comunicaciones terrestres y de industrias diseminadas para progresar en forma general y alcanzar adelantos reales y permanentes.

siguieron aproximadamente las rutas de los antiguos caminos de Oregon y de Santa Fe de Nuevo México.

La historia de los Estados Unidos puede resumirse así: la construcción del Canal de Erie o del puente de Brooklyn, la apertura del ferrocarril de Baltimore y Ohio, la conexión directa por vía férrea entre San Luis Missouri y el oriente, la construcción del ferrocarril Central Pacific, el canal Soo, el control de las inundaciones del río Miami en Ohio, el desarrollo del Valle del Tennessee, la torre del edificio Woolworth y del Empire State en Nueva York, los puentes Jorge Washington sobre el Hudson, el de la Bahía de San Francisco o el de la Puerta Dorada (Golden Gate).

A fines del siglo pasado, las naciones americanas tenían un gran volumen de trabajo que hacer, pero disponían de pocas especificaciones y procedimientos analíticos o datos experimentales con los cuales trabajar; para obtenerlos, algunos jóvenes salieron al extranjero por las décadas de los setentas y los ochentas. La mayor parte fueron a Alemania, y a su regreso trajeron los elaborados productos del academismo germánico, así que esos países tuvieron que digerir la compleja formalidad técnica que se les había enseñado. Para usar una frase doméstica, los países americanos tuvieron que masticar todo este pescado y escupir las espinas, y con frecuencia esas espinas se les encajaron en la garganta. La mente teutona tiene tendencia a la elucubración, muchas veces a la complejidad, y en forma repetida, cierta falta de discernimiento para interpretar las pruebas. A principios de siglo los escritos sobre estructuras en los países americanos estaban recargados con gran cantidad de técnica sin asimilar, y muchos de esos escritos son de mala calidad. Parte de ellos ha sido rechazada, y más de los mismos debe descartarse. No obstante, cumplieron su propósito porque hasta cierto punto, en ese tiempo se suprimieron algunas limitaciones de las pruebas aunque no lo suficiente.

Los hombres enviados a Europa por el 1920 para estudiar los métodos de laboratorio de la hidráulica asimilaron los conocimientos en forma más rápida y con más discernimiento. Los laboratorios de hidráulica de mayor tamaño están ahora localizados, sin excepción, en los Estados Unidos, gracias a la completa y suavizante influencia del sentido común yanqui.

En algunas ramas de la ingeniería esta etapa ya pasó. Podemos afirmar con certeza que en lo futuro no será necesario recurrir a Europa para conocimientos técnicos; los americanos podrán pescar su propio pescado; quizá lleguen a ser más expertos para escupir las espinas de lo que han sido en lo pasado.

La civilización todavía vive como en una frontera,⁷⁰ pero el tipo de frontera cambia. Quien ha viajado por las Americas se da cuenta de lo mucho que queda por hacer; para realizarlo se requerirá personal con sentido cuantitativo, entrenado para pensar con precisión donde se justifica ésta, y también para conocer las limitaciones de la precisión.

En consecuencia, el destino de las Americas se estudiará en casa. La Gran Bretaña y el Continente Europeo todavía serán la fuente de muchas ideas y sueños, pero los pueblos de América, de ahora en adelante, deben elaborar conceptos de cultura,

⁷⁰ Los norteamericanos acostumbran llamar "condiciones de frontera" a las de aquellas regiones que colindan con otras en donde todavía no se ha establecido la civilización tal como nosotros la entendemos.

métodos de pensamiento y filosofía de servicio a lo largo de las líneas tradicionales del Nuevo Mundo. Al principio de nuestra historia aparece el sistema de fábricas, los comienzos del transporte moderno, estudios sistemáticos de suministro de agua potable y drenaje. Las naciones americanas no impusieron los métodos modernos en una sociedad medieval, sino que se desarrollaron con los ingenieros y gracias a ellos; es importante reconocerlo cuando se interpreta la "manera de vivir en América", y se hace el contraste con los problemas de aquellos lugares en donde todavía no son familiares los beneficios de la buena ingeniería. Tal parece que, hoy en día, la historia necesita más de los conceptos filosóficos de la ingeniería que lo que ésta necesita de una perspectiva histórica.⁷¹

En los próximos veinte años se realizarán más aprovechamientos de los recursos naturales que los logrados en los últimos cincuenta años. Para organizar y planificar este trabajo es importante que en el lugar apropiado estén los individuos que comprenden con certeza las limitaciones físicas impuestas por la naturaleza a las actividades humanas, limitaciones de lo que puede proveerse para "uso y conveniencia del hombre."

En algunos países, las condiciones de frontera desaparecieron a principios del siglo en un sentido obvio y dramático, pero numerosas personas han actuado con lentitud para darse cuenta de ello. La frontera de la ingeniería, no obstante, nunca desaparece; los problemas son tan insistentes hoy en día como lo fueron hace cien años. Los puertos, los ríos, las playas deben sanearse para que tengamos manera de vivir bien.⁷² Es necesario revisar los sistemas de carreteras, es urgente tener mejores controles de las inundaciones que los actuales así como de la contaminación de las corrientes. Todavía hay mucho, muchísimo, por hacer. El uso y la conveniencia se transforman, pero el arte, en sí mismo, no cambia apreciablemente. Este arte tiene un alcance en todos los aspectos de las relaciones humanas. Robert Louis Stevenson (Stephenson), hijo y nieto de ingenieros, afirma de él: "Mi abuelo fue, ante todo, un proyectista de obras a la vista de la naturaleza, un modificador de la misma. Un camino por construir, una torre por edificar, un abrigo portuario para realizar, un río para dominar y conservar dentro de su cauce, — éstos fueron los problemas con los cuales su mente estuvo ocupada constantemente, y por éstos y otros fines similares, viajó por el mundo durante más de medio siglo, como un artista, con su libreta de anotaciones a la mano.

El ingeniero trata con más propiedad aquello con lo que puede medirse, pesarse y numerarse... no sólo anotaciones en los libros para consultarlas apuradamente; usando

⁷¹ Como la ingeniería cambia la manera de vivir de los pueblos, llega imponiendo nuevas leyes; así, cada nación ha tenido necesidad de elaborar, a veces en plan de emergencia, normas sobre vías terrestres, sobre aprovechamientos hidráulicos, explotaciones petroleras, producción, suministro y tarifas de energía eléctrica, construcciones públicas y privadas, y todo género de disposiciones relativas a temas de ingeniería. Pero los problemas se anticipan siempre a las leyes, y éstas vienen, a posteriori, a reglamentar los desarrollos y desgraciadamente, a veces, a limitarlos.

⁷² Nótese la visión de Cross anticipándose a los problemas de actualidad. O sea los problemas de saneamiento ambiental, de contaminación atmosférica, de los ríos, puertos y playas en la década de los setentas.

la frase del actor, debe meditar sobre ellas, en las palabras de mi abuelo, ellas deben estar "fijas en su mente como los diez dedos de las manos y los diez dedos de los pies".

"Son las certidumbres del ingeniero; hasta ahí encuentra un terreno sólido y vistas claras. Pero el terreno de las fórmulas y de las constantes es restringido... Para el ingeniero civil, así llamado en forma adecuada (si algo puede llamarse con propiedad en este cuño tan extraño), la obligación comienza con el principio. Siempre es un hombre práctico. Las lluvias, los vientos y las olas, la complejidad y lo adecuado de la naturaleza siempre están delante de él. Tiene que tratar con lo imprevisible, con aquellas fuerzas (usando la frase de Smeaton) que "no están sujetas al cálculo"; y no obstante, requiere predecirlas, calcularlas a su propio riesgo.⁷³ Todavía no ha realizado su labor y ya tiene que prever su influencia futura: cómo desviará la marea, amplificará las olas, represará el agua de las lluvias, o atraerá el rayo... debe considerar no tan sólo aquello que es, sino lo que puede ser.

"Es claro que aquí sólo puede haber un uso restringido de las fórmulas. En esta clase de práctica profesional, el ingeniero tiene necesidad de disponer de un sentido trascendental... Las reglas, por cierto, necesitan estar dondequiera: pero deben modificarse en todas partes en que aparecen por este coeficiente trascendental, en todas partes doblarse a la impresión de la visión bien entrenada y al sentido del ingeniero."

La mayor parte de la vida económica, industrial y cultural de los Estados Unidos se localiza en la zona comprendida entre los paralelos treinta y cinco y cuarenta y cinco de latitud norte. El paralelo cuarenta pasa por Philadelphia, Wheeling,

⁷³ Predecir. Anticiparse a los hechos. Tomar en cuenta lo que no ha sucedido, pero que puede acaecer, así como las probabilidades de que acontezca y las consecuencias de ello; no presentimientos que obliguen a gastos desproporcionados y a dimensiones inusitadas, sino previsión de las realidades probables, siempre dentro del marco de la verdadera economía. Tarea de superhombres, de profetas, no de astrólogos ni brujos o quiromancianos; y sin embargo, parte vital e indispensable de la labor del ingeniero. Prever si va a ocurrir una tormenta, un incendio, una creciente de un río, un sismo, y de ser así, de qué intensidad, y muy particularmente, sus efectos y resultados. Y saber que la naturaleza no perdona los errores, las omisiones, los descuidos. Que si las hipótesis fueron descartadas, las consecuencias serán funestas. Así, cuando se presenta un temblor de tierra, las fuerzas de la naturaleza revelan los errores cometidos en la construcción: si se omitieron los estribos (zunchos) de columnas en la altura de los entresijos de edificios de concreto reforzado; si los muros divisorios de esos edificios fueron rígidos, débiles y conectados a la estructura cuando debieron haber quedado desligados de ella; si el anclaje de las barras de refuerzo de traveses y columnas fue inadecuado; si el centro de torsión de la estructura en planta dista mucho del centroide y se ocasionan torsiones graves del conjunto; la colindancia o el contacto entre dos edificios con diferentes modos de vibrar; y detalles aparentemente insignificantes como la holgura insuficiente entre los vidrios y los marcos de las ventanas. Y cuando ocurre un incendio: aquellos lugares en donde no se colocó protección de la estructura metálica contra los efectos del calor; la falta de apropiados almacenamientos de agua; la impropia separación o aislamiento entre las partes de un edificio o entre el edificio y los vecinos; la carencia o la mala distribución de surtidores contra incendio. Y en presas de almacenamiento: los derrumbes de laderas adyacentes a los vasos por el reblandecimiento que el agua ocasiona; las características de permeabilidad del vaso; las fallas geológicas; los planos de deslizamiento.

Columbus en Ohio y Springfield en Illinois, y siguiendo el límite entre los estados de Kansas y Nebraska, pasa por Denver en Colorado y llega al océano Pacífico a la altura del Cabo Mendocino, ligeramente al norte de San Francisco, California. Esta zona se extiende en la costa oriental desde Eastport hasta el cabo Harteras (para usar la fascinante fraseología de la oficina de previsión del tiempo), de Memphis a Minneapolis en el centro, de Salem a Santa Bárbara en el océano Pacífico. Las regiones adyacentes al paralelo cuarenta parecen tener una conveniencia especial para la humanidad; en Europa esta zona se desplaza hacia el norte a lo largo de la costa occidental por el calor de la corriente del Golfo de México, y por tanto corre diagonalmente del noroeste al sureste, desde Escandinavia hasta el Levante. Si el mapa de los Estados Unidos se colocase sobre el de Europa, cubriría desde Belfast hasta Bagdad, y de Madrid a Moscú. Abarca prácticamente toda la parte del continente europeo representada por la civilización del cercano oriente y de Europa occidental. En Asia, el paralelo cuarenta pasa por Pekín, y no lejos de Tokio.

A lo largo de esta franja (la carretera federal No. 40), el pueblo norteamericano ha tenido que resolver la mayor parte de sus problemas de ingeniería —de transporte, saneamiento, desarrollo industrial, problemas de "forja y de granjas, de minas y de torno". Para dar solución a estas cuestiones, los ingenieros experimentan y analizan, hacen diagramas de lo pasado para predecir lo futuro, plantean datos geológicos, climatológicos, meteorológicos, hidrológicos, patológicos, y estudian las teorías de la física y de la química. En alguna forma los agrupan para uso y conveniencia del hombre. Vista en conjunto, la labor ha sido bien hecha; por lo menos, es la admiración de otras naciones.

La ingeniería trata con el hombre y su medio ambiente, con las máquinas como un sustituto de la fuerza humana, y con la energía para mover esas máquinas, con los materiales y sus procedimientos de manufactura. De esta clasificación un tanto obvia de nombres, máquinas y materiales, surge, en el mundo del academismo y en las clasificaciones profesionales, el desglose en todo género de especialidades. El estudio del hombre en su ambiente natural ajustaría en forma óptima en lo que en la actualidad se conoce como ingeniería civil; las máquinas y las fuerzas están representadas por la ingeniería mecánica y la eléctrica; el desarrollo de nuevos materiales por las ramas de la metalurgia y de la ingeniería química. Algunas universidades tienen escuelas de ingeniería de cerámica, agrícola, aeronáutica y así sucesivamente en forma indefinida. En general, los problemas de los ingenieros civiles se los proporciona Dios Todopoderoso, son los de la naturaleza misma. Por otra parte, los trabajos mecánicos y eléctricos presentan problemas que el hombre, hasta cierto punto, se ha creado a sí mismo. En alguna forma, esta diferencia es fundamental en relación con los temas que deben estudiarse, el método para ese estudio y el control del resultado después que el problema se ha solucionado.

Estos y otros muchos son ejemplos de lo que sucede cuando no se han logrado desarrollar y madurar esas dos características sui generis del ingeniero: su habilidad para predecir lo que va a ocurrir, aunque no se tengan ni antecedentes ni experiencia previa, y a veces, sólo vagas nociones de la existencia del fenómeno o de la posibilidad para analizar sus consecuencias, prevenir y proyectar de acuerdo con ello, siempre enmarcados en una sana y razonable economía.

En las sociedades primitivas la familia necesitaba un abrigo, agua, algunos senderos para llevar los alimentos a su cabana y alguna forma de desechar sus desperdicios. En un estado de la sociedad un poco más complejo, puede aspirar a utilizar el agua para hacer girar las ruedas de un molino. Los ingenieros civiles construyen el abrigo, obtienen el agua y abren el sendero. El viento y las olas, las inundaciones y el fuego, los terremotos y los aludes, el lodo y la roca y la eterna atracción de la gravedad; la necesidad del hombre de dormir y de trabajar con seguridad y comodidad, almacenar y transportar sus cosechas, desplazarse con rapidez y sin peligros en el mar y en la tierra, beber agua pura y vivir en un ambiente saneado — todos éstos son los problemas de los ingenieros civiles.

Los ingenieros estudian tanto las necesidades humanas como los fenómenos naturales; deben predecir qué cantidad de lluvia caerá, qué parte de esta lluvia es factible almacenar y en dónde, pero también requieren saber cuánta agua necesita la gente y el número de personas que la usarán. Estos dos campos del estudio dan la unidad esencial a la profesión porque todos los ingenieros, no importa cuál sea su especialidad, precisan conocer tanto las costumbres humanas como las fuerzas naturales; su labor consiste en dominar y controlar estas últimas. Los ingenieros civiles, a su vez, dependen permanentemente de los ingenieros mecánicos y electricistas para que los provean de máquinas que les permitan lograr estos fines, y de los químicos y metalurgistas para la producción de los materiales de construcción indispensables.

La ingeniería es coexistente con la civilización y siempre lo ha sido. Los palacios y las murallas de Nínive o de Babilonia, las pirámides para sepulcro de los faraones, los muelles de los mercaderes del Mediterráneo, los puertos de la Liga Hanseática,⁷⁴ los acueductos y los caminos romanos, los puentes sobre el Tiber y el Támesis, el Rhin y el Hudson, la presa Hoover o la Grand Coulee, la cloaca máxima de Roma, el canal de Panamá, los muros de defensa marítima de Galveston o las escolleras del Mississippi, las laminadoras de acero y los cobertizos de los telares, bodegas e industrias, la imaginación de las razas con un panorama caleidoscópico —cada una de ellas nos relata una historia acerca de las características de los pueblos que vivieron, cómo y por qué vivieron, lo que sabían y su manera de pensar. Todos los monumentos que el hombre ha levantado a los príncipes y a los potentados, a Zeus, Júpiter o Jehová, al comercio, a la industria o al placer, fueron sueños y planes de los hombres que los construyeron, y registran la historia de la raza, el progreso de la civilización, los cimientos de lo que es hoy y de lo que será mañana.

Las legiones marchan nuevamente, la procesión eclesiástica entra, las multitudes de los días festivos ruedan en sus automóviles. Casi todo el mundo considera que es un logro reciente, pero es más bien el resultado de un proceso largo y gradual que comenzó en los albores de la civilización.

⁷⁴ Liga de ciudades y puertos libres del norte de Europa, establecida para fomentar el comercio entre esas poblaciones y defensa de las mismas.

Los malos proyectos de ingeniería entrañan fracasos y desgracias, inconveniencias, sufrimientos y la muerte. Sobreestimar la potencialidad de energía de una corriente o su rendimiento de agua disponible, las obras inapropiadas de drenaje, rutas de transporte mal localizadas o mal construidas, puentes y edificios carentes de seguridad, aprovechamientos de fuerza sin un mercado apropiado, vías férreas sin tráfico; a la larga, cada uno de nosotros pagamos la cuenta de estos errores con dinero, con inconveniencias o con nuestra salud.⁷⁵ Los juicios erróneos deben ocurrir; vivimos en un mundo de malos entendidos, falsas interpretaciones, opiniones torcidas y equivocaciones. Justamente por esta razón, los ingenieros competentes, en previsión de cometer errores, retornan para comprobar sus conclusiones con verdades sencillas; porque los grandes principios de ingeniería son siempre simples, pueden afirmarse con sencillez, y así pueden aplicarse, aun cuando, en algunas especialidades, nadie ha logrado la simplicidad. La sola comprensión y aplicación de estas verdades caracterizan a aquellos cuya labor ha sido realmente distinguida.

Cuando parten al atardecer del extremo inferior de la isla de Manhattan los transbordadores que la conectan con los otros barrios de la ciudad de Nueva York, los detalles de los grandes edificios se desvanecen en la obscuridad, y brilla el esplendor de la ciudad de ensueño; las graciosas torres del edificio Woolworth y del Singer, y las amplias fachadas del Equitable o del Whitehall parecen flotar con gloria, destacándose la silueta de las ventanas de los pisos superiores por las luces que alumbran a los trabajadores tardíos. Abajo están las columnas de acero, las traveses, los emparrillados y los cimientos de concreto que penetran hasta el esquistoso a decenas de metros de profundidad. En el interior de la isla están las tuberías, túneles, atarjeas, conductos, y los ferrocarriles urbanos; todos proyectados al centímetro, operando al minuto. Aquí yacen las entrañas y allá las torres que encabezan la civilización.

Puede objetarse que tal civilización se levanta sobre pies de barro; quizá sea cierto, pero si la sanidad y el transporte modernos nos conducen al materialismo, que esta cultura obtenga el máximo beneficio de ellos; lean el Diario del Año de la Plaga de Defoe o los escritos de viajes del siglo XVIII. Los artistas y los poetas han buscado esta visión —el genio humano incubando a la naturaleza, y que logra la fertilidad del caos, e invoca al Todopoderoso para resguardar la vida, los bienes y el hogar contra el torrente y la tempestad, el hambre y la peste— tanto el artista como el poeta a menudo no llegan a visualizar con viveza la manifestación del progreso humano, porque conciben de una manera errónea la anatomía de las formas que intentarían delinear.

⁷⁵ Y qué decir del mayor de todos los desperdicios humanos: la guerra. Si los esfuerzos, el dinero, la técnica, y especialmente las vidas que han costado las guerras, se hubiesen empleado en provecho del hombre y no en su destrucción, no existirían ni la miseria ni el hambre. Sobre todo porque, con la ayuda de la ingeniería, se habrían construido fuentes de trabajo y de bienestar creadoras de otras fuentes de trabajo y bienestar, y éstas de otras, y otras, y así una cadena sin fin, y, en cambio, las guerras destruyen las ya creadas. Es triste pensar en lo que la ingeniería ha contribuido a las guerras; cómo los ingenieros han inventado y perfeccionado armas de destrucción nunca antes soñadas, todo por servir a un fin prostituido —el aniquilamiento del hombre por el hombre mismo— en vez de su provecho y beneficio.

Podemos discutir indefinidamente sobre la "latitud" relativa de las actividades profesionales, de los estudios de las almas de los hombres, o sus mentes, cuerpos, costumbres, o lenguajes. No importa mucho que la ingeniería se llame artesanía, profesión o arte; bajo cualquier nombre, el estudio de las necesidades humanas y de los dones divinos para que puedan conjugarse, es de una latitud suficientemente amplia para toda una vida.

EPILOGO

ÉXITO IMPERECEDERO

Alcanza el éxito aquel que vive con plenitud, ríe con frecuencia y ama intensamente; quien se gana el respeto de personas inteligentes y el cariño de los niños, llena su nicho y cumple con su cometido; que al abandonar el mundo terrenal, deja huella de haberlo mejorado... quien siempre sabe apreciar la belleza del universo, y la puede expresar, logra descubrir lo bueno de sus semejantes y ha dado lo mejor de sí mismo; cuya vida ha sido una inspiración, cuyo recuerdo es una bendición.

Bessie A. Stenlcy

Hemos seguido a lo largo de este libro, ordenado en forma brillante por el Sr. Goodpasture, ideas sobresalientes de Hardy Cross expresadas en el curso de su vida profesional. Estas ideas son solamente una muestra de su manera de pensar, de sus ideales, sus convicciones, su reconocimiento de las debilidades humanas y de la grandeza de Dios y de sus leyes naturales. Nos revelan que el autor, al mismo tiempo que humanista práctico e investigador metódico, fue, hasta cierto punto, un místico de la ingeniería.

Podrían llenarse voluminosos tomos con las enseñanzas técnicas, críticas y filosóficas del autor, puesto que las anotadas aquí son una selección. Así, con toda intención se ha evitado repetir lo que ya estaba escrito en libros anteriores, como en el célebre *Continuous Frames of Reinforced Concrete*, donde señala: "La afirmación hecha tantas veces de que las estructuras de concreto reforzado no son elásticas en realidad, porque no tienen recuperación elástica total, es perfectamente cierta, y del todo intrascendente para su análisis..." y también cuando afirma: "En esencia, planificar es determinar si una obra vale la pena de llevarla al cabo, y de ser así, cuáles deben ser sus proporciones generales, cómo armonizará con el medio ambiente, qué se requiere para que cumpla con su finalidad, y de qué materiales conviene construirla". O en otra parte: "Es recomendable que el ingeniero visite el lugar donde se construirán las obras que proyecta y el terreno circundante a ellas aun cuando nada más sea para sentarse varias horas en un tocón y observarlas, lo cual implica saber qué es lo que va a buscar, comprender lo que mira, y permitir que su imaginación anticipe todas las cosas que están por venir relativas a la ejecución de la obra... porque es preferible afrontar lo inesperado, si es que llega, y superar las dificultades, que apegarse con obstinación a un plan preconcebido para evitarse las molestias y el costo de modificar el proyecto". Y así, tantas y tantas concepciones sabias, recomendaciones prácticas, ideas claras y actitudes nobles. Y si en algo no llega a madurar, siembra para que otros cosechen, y puede repetir con San Pablo: "de acuerdo con la gracia de Dios que me ha sido conferida, como un sabio constructor, he tendido el cimiento para que otro edifique sobre él." (I Corintios, 3-10.)

La forma simple y llana como el autor expresa las ideas, el lenguaje común que usa, la claridad de los conceptos, nos muestra, una vez más, que los hombres de auténtico valor no son pretenciosos, sino prudentes, ponderados y con una manera de pensar sencilla y sin complicaciones. El genial Isaac Newton, con la modestia que caracteriza a las personas con educación y cultura, afirmaba: "No sé cómo me verá el mundo; ante mí mismo, parezco un niño jugando en la playa, que se divierte encontrando un guijarro liso por aquí, una hermosa concha por allá, en tanto que el grandioso océano de la verdad yace oculto frente a mí sin que lo pueda descubrir." Y

también con humildad reconoce: "Si en algo he visto más lejos que otros hombres es porque me he apoyado en los hombros de los gigantes que me precedieron." Asimismo, Laplace, hombre luminoso de gran talento, poco antes de morir exclama: "Lo que conocemos es muy poco; lo que ignoramos es inmenso."

Los ingenieros que han alcanzado renombre mundial, como Perronet, los Stephenson, Eads, los Roebling, Moersh, Turneure, Leonhardt, Terzaghi, Freyssinet, Cuevas, Ammann y Steinman, para mencionar únicamente unos cuantos, han sido, a la vez que hombres prácticos, investigadores perseverantes y cuidadosos observadores de la naturaleza y del hombre.

Una obra de ingeniería como la presente no estaría completa sin reconocer el valor incuestionable, la dedicación, el esfuerzo y el sacrificio de los modestos auxiliares del ingeniero, de quienes hacen posible sus realizaciones, desde el humilde trabajador común (peón en muchos países latino-americanos) pasando por los obreros especializados, albañiles, carpinteros, soldadores, operadores de maquinaria, a los de más conocimientos, como dibujantes, laboratoristas y maestros de obra, sin olvidar los empleados administrativos. El conocimiento de la naturaleza humana que debe tener el ingeniero lo lleva no sólo a comprender a sus semejantes a quienes va a servir, sino también a sus colaboradores, para realizar con ellos la obra de hacer más útil y llevadera de vida humana, aprovechar los recursos de la naturaleza para uso y conveniencia del hombre, y, en pocas palabras, emular al Supremo Arquitecto del Universo.

GLOSARIO BIBLIOGRÁFICO

Addison, Joseph. 1672-1719	Poeta y ensayista inglés.
Alejandro III. 1845-1894	Emperador de Rusia (1881-1894.)
Alicia	Personaje de la obra de Lewis Carroll.
Aquino, Tomás de, Santo 1225?-1274?	Profesor de la escolástica italiana.
Bacon, Francis. 1561-1626	Filósofo y estadista inglés.
Bacon, Roger. 12147-1294	Filósofo y hombre de ciencia inglés.
Billings, Josh. 1818-1885	Seudónimo del humorista norteamericano. Henry Wheeler Shaw.
Biot, Maurice A.	
Boone, Daniel. 1735-1820	Explorador y colonizador norteamericano.
Brinnell, Johan August. 1849-1925	Metalurgista sueco.
Brunei, Isambard Kingdom. 1806-1859	Conocido ingeniero civil inglés, proyectista de puentes famosos, barcos y gran variedad de estructuras.
Cauchy, Augustin Louis. 1789-1857	Matemático y físico francés.
Conant, James B. 1893-	Químico y profesor norteamericano.
Cooper, Theodore. 1839-1910	Ingeniero civil norteamericano.
Cuevas, José A. 1891-1961	Ingeniero civil mexicano. Precursor de la mecánica de suelos.
Da Vinci, Leonardo. 1452-1519	Pintor italiano, autor de la Mona Lisa (también conocida como La Gioconda) y La Ultima Cena.
Darwin, Charles Robert. 1809-1882	Naturalista inglés.
Defoe, Daniel. 16617-1731	Escritor inglés, autor de Robinson Crusoe.
Eads, James B. 1820-1887	Ingeniero norteamericano, famoso por su proyecto y construcción de puentes y escolleras.

Eisenhower, David D. 1890-1970	General de la segunda guerra mundial y Presidente de los Estados Unidos (1952-1960).
Freyssinet, Eugenio. 1879-1962	Ingeniero civil francés. Precursor del concreto preesforzado, (precomprimido)
Galilei, Galileo. 1564-1642	Astrónomo italiano.
Gibson, Charles Dana. 1867-1944	Dibujante norteamericano, autor de ilustraciones.
Green, George. 1793-1841	Matemático inglés.
Guerrero y Gama Vicente. 1911-	Ingeniero civil mexicano.
Gutenberg, Johannes. 1398-1468	Inventor de la imprenta.
Hitler, Adolfo. 1889-1945	Dictador alemán, iniciador del partido nazi y causante de la segunda guerra mundial.
Hoover, Herbert. 1874-1964	Presidente de los Estados Unidos. (1920-1932).
Isaias	Profeta del antiguo testamento.
Jehová	Nombre de Dios en el antiguo testamento.
Júpiter	Figura central de la mitología romana..
Kettering, Charles F. 1876-1958	Ingeniero e inventor norteamericano.
Laertes	Personaje de Hamlet, de W. Shakespeare.
Lagrange, Joseph Louis. 1736-1813	Geómetra y astrónomo francés.
Langmuir, Irving. 1881-1951	Químico norteamericano.
Laplace, de, Pierre Simon 1749-1827	Astrónomo y matemático francés.
Leonhardt, Fritz	Ingeniero civil alemán.
Licurgo	Legislador griego.
Lorenz, Konrad	Científico alemán, uno de los iniciadores de la ciencia llamada "ecología".

Love, A. E. H.	
Malthus, Thomas Robert. 1766-1834	Inglés, dedicado a la economía política.
Miguel Angel Buonarroti Michelangelo. 1475-1564	Pintor, escultor y arquitecto del Renacimiento italiano.
Moersh, Emil	Ingeniero civil alemán, uno de los iniciadores del concreto.
Newton, Isaac. 1642-1727	Célebre físico y astrónomo inglés.
Parrish, Maxfield. 1870-	Pintor, ilustrador y muralista norteamericano.
Perronet, Jean Rodolphe. 1708-1794	Ingeniero civil francés.
Poisson, Simeon Denis. 1781-1840	Matemático francés.
Polonius	Personaje de Hamlet.Shakespeare.
Rafel-Sanzio Raffaello. 1483-1520	Famoso pintor italiano del Renacimiento.
Renan, Joseph Ernest. 1823-1892	Orientalista, autor y crítico francés.
Roebing, John Augustus. 1806-1869	Ingeniero civil germano-americano, iniciador y proyectista del puente de Brooklyn.
Roebing, Washington Augustus. 1837-1926	Ingeniero civil norteamericano, concluyó el puente de Brooklyn.
Roget, Peter Mark. 1779-1869	Escritor inglés, autor del Thesaurus, libro de sinónimos del idioma inglés.
Ruskin, John. 1819-1900	Escritor, crítico y reformador inglés.
San Pablo. ? -67?	Apóstol de los gentiles.
Scotus J. Duns. 1265-1308	Teólogo escolástico escocés.
Shakespeare, W. 1564-1616	Famosísimo escritor y dramaturgo inglés.
ShermanW. T. 1820-1891.	General norteamericano.
Smeaton, John. 1724-1792	Ingeniero civil inglés.
Smollett, Tobias George. 1721-1771	Novelista inglés.
Steinman, David B.	Ingeniero civil norteamericano.

Stephenson, George. 1781-1848	Ingeniero civil inglés, acreditado con el invento de la locomotora.
Stephenson, Robert. 1803-1859	Ingeniero civil inglés, hijo de George.
Stephenson, Robert Louis. 1850-1894	Ingeniero civil inglés, nieto de George.
Sumner, William Graham. 1840-1910	Norteamericano, dedicado a la economía política.
Terzaghi, Karl. 1883-1963	Ingeniero civil en mecánica de suelos.
Tredgold, Thomas. 1788-1829.	Ingeniero civil inglés.
Turneare, F. E. 1866-1951	Ingeniero civil norteamericano.
Twain, Mark. 1835-1910	Seudónimo del escritor y humorista norteamericano Samuel L. Clemens.
Wellington Arthur M.	Ingeniero civil norteamericano.
Westergaard, H. M. 1889-1950	Físico e ingeniero norteamericano
Zeus	Figura central de la mitología griega.

GLOSARIO GEOGRÁFICO

Allegheny	Cadena de montañas del Este de los Estados Unidos.
Alster	Afluente del río Elba, en Alemania.
Arno	Río de Italia que divide a Florencia.
Babilonia	Antigua ciudad de Mesopotamia, Asia menor.
Bagdad	Capital de Iraq, sobre el río Tigris.
Baltimore	Importante puerto del Este de los Estados Unidos.
Belfast	Principal ciudad de Irlanda, capital de Ulster.
Berkshires	Montañas del oriente del Estado de Massachusetts.
Boston	Puerto del noreste de los Estados Unidos, y ciudad más importante del Estado de Massachusetts.
Brandywine	Arroyo del Este de los Estados Unidos.
Brooklyn	Barrio de la ciudad de Nueva York.
Cabo Girardeau	Ciudad del Estado de Missouri, sobre el río Mississippi.
Cabo Mendocino	Cabo en California, sobre el Océano Pacífico.
California	Estado del poniente de los Estados Unidos.
Cambridge	Ciudad del Estado de Massachusetts, asiento de la Universidad de Harvard.
Columbus	Capital del Estado de Ohio.
Charles	Río que desemboca en el Estado de Massachusetts.
Charleston	Puerto y principal ciudad del Estado de Carolina del Sur.
Château-Thierry	Población del norte de Francia, famosa por las batallas de la primera guerra mundial.
Chartres	Población francesa con una famosa catedral gótica.
Chesapeake	Gran bahía del Este de los Estados Unidos.
Chicago	Ciudad del Estado de Illinois, la segunda por su población en todo el país.

Danubio	Uno de los principales ríos de Europa.
Denver	Capital del Estado de Colorado.
Eastport	Puerto del Estado de Maryland.
Elba	Importante río de Alemania.
Escandinavia	Conjunto de Noruega, Suecia, Finlandia y Dinamarca.
Erie	Uno de los grandes lagos entre Estados Unidos y Canadá.
Florenia	Ciudad italiana, capital de Toscana.
Forth (Firth or Forth)	Estuario en Escocia.
Galveston	Importante puerto del Estado de Texas.
Golden Gate	Entrada a la bahía de San Francisco, Estados Unidos.
Gran Bretaña	Isla que abarca a Inglaterra, Escocia y Gales.
Grand Coulee	Presa de almacenamiento en el N.O. de los Estados Unidos.
Hamburgo	Principal puerto de Alemania.
Hatteras	Cabo del Esle de los Estados Unidos.
Hudson	Río del N.E. de los Estados Unidos que corre de norte a sur.
Illinois	Estado del centro de los Estados Unidos.
Indianapolis	Ciudad de los Estados Unidos, capital de Indiana.
James	Río del Este de los Estados Unidos.
Kansas	Estado del centro de los Estados Unidos.
Lagos de Moreno	Ciudad de los "altos" del Estado de Jalisco, México.
Levante	Llámase así al Asia menor.
Long Beach	Ciudad de California, muy próxima a Los Angeles.
Madrid	Capital de España.
Manhattan	Isla que forma uno de los barrios de la ciudad de Nueva York.
Marne	Río de Francia, afluente del Sena.
Memphis	Ciudad del centro de los Estados Unidos, sobre el río Mississippi.

Merrimac	Río del N.E. de los Estados Unidos.
Miami	Ciudad del Estado de Florida.
Miami (Río)	Afluente del río Ohio.
Minneapolis	Ciudad más populosa del Estado de Minnesota, y gemela de la de Saint Paul.
Mississippi	El río más importante de los Estados Unidos.
Missouri	Importante río de los Estados Unidos y principal afluente del Mississippi.
Moldavia	Río de Checoslovaquia, afluente del Elba.
Mont Saint Michel	Pequeña isla y poblado de Francia, que conserva su característica medioeval.
Moscú	Capital de Rusia.
Nebraska	Estado del centro de los Estados Unidos.
Nínive	Antigua capital del imperio Asirio.
Nueva Jersey	Estado del Este de los Estados Unidos.
Nueva Orleáns	Puerto fluvial y ciudad más importante del Estado de Louisiana.
Nueva Cork	Ciudad y Estado del mismo nombre.
Nuevo México	Estado del S.O. de los Estados Unidos.
Ohio	Estado y río del mismo nombre en los Estados Unidos.
Oregon	Estado del N.O. de los Estados Unidos.
Oxford	Renombrada universidad inglesa.
París	Principal ciudad y capital de Francia.
Pekín	Tradicional capital de China.
Philadelphia	Ciudad más importante del Estado de Pennsylvania.
Pittsburgh	Ciudad industrial del Estado de Pennsylvania, en la confluencia de los ríos Allegheny y Monongahela.
Praga	Capital de Checoslovaquia, sobre el río Moldavia.
Québec	Ciudad de Canadá y Provincia del mismo nombre.
Rhin	Importante río del oeste de Europa.

Rocallosas (Rocosas)	Gran macizo montañoso del oeste de los Estados Unidos.
San Francisco	Importante puerto de California y bahía del mismo nombre.
Saint Lo	Ciudad de Normandía, Francia.
Saint Louis (Missouri)	Ciudad norteamericana sobre el río Mississippi.
Salem	Ciudad en el Estado de Oregon, en el N.O. de los Estados Unidos.
Santa Bárbara	Ciudad de California sobre el Océano Pacífico.
Santa Fe	Capital del Estado de Nuevo México.
Sena	Río de Francia que divide a París
Sierras	Cadena de Montañas del oeste de los Estados Unidos, próximas a la costa del Océano Pacífico.
Springfield	Capital del Estado de Illinois.
Susquehanna	Río del Este de los Estados Unidos.
Támesis	Río del sur de Inglaterra que divide a Londres.
Tennessee	Estado y río del mismo nombre en el centro de los Estados Unidos.
Tiber	Río de Italia que divide a Roma.
Tokio	Capital de Japón.
Venecia	Ciudad del noreste de Italia, famosa por sus canales.
Vicksburg	Ciudad del Estado de Mississippi, sobre el río de este nombre.
Virginia	Estado del Este de los Estados Unidos.
Wheeling	Ciudad en el Estado de Virginia Occidental.
White	Río que divide a Indianapolis, y afluente del Ohio.

ENGINEERS AND IVORY TOWERS

FOREWORD

His office is long and dimly lit, walled in on two sides by an expanse of books and reports reaching to the ceiling. A full width of windows at the far end of the room is partially blocked by overhanging ivy, but admits enough light to silhouette the figure at the desk. Hundreds of men who have worked within reaching distance of Hardy Cross can recall the familiar sight of him gazing thoughtfully through the window, thick cigarette smoke drifting slowly over his head.

What is the nature of this teacher of engineering on whose library shelf *The Theory of Elasticity* stands side by side with *Abe Lincoln in Illinois*, *The Holy Bible* and *Alice in Wonderland*! Why have men traveled from the Americas, Europe and Asia to sit in his classroom? How have his opinions on engineering and education come to be so widely respected?

Hardy Cross was class valedictorian when graduated, at the age of seventeen, from a small college that had a long tradition of liberal culture: Greek and Latin, the English classics, mathematics and science, philosophy and religious history. After brief excursions into literature and chemistry, he studied civil engineering at two larger schools, at one as an undergraduate and at the other as a graduate student.

His intimate association with engineering education continued to develop over the ensuing years as he held professorships at three universities, the present one being Strathcona Professor of Civil Engineering at Yale. Thus he has enjoyed firsthand familiarity with six different schools of higher learning. Because of his personal contact with graduate students over many years, he has had an unusual opportunity to meet and know men from numerous other educational institutions. All the while, this background has been tempered with years of experience in the planning, design and building of engineering works.

The engineering world has long acclaimed Hardy Cross for his professional achievements and bestowed upon him honors from professional and academic organizations. A citation by the American Society for Engineering Education indicates that he received its Lamme Medal in 1944 "... for his development of revolutionary methods of analysis in structural engineering; for his application of these methods to the

rigorous training of civil engineers; for his insistence on the great responsibilities of the individual teacher and his scorn of the superficial in education, ..."

The philosophy of this book has been developed by the author over the past thirty years and has appeared in both published and unpublished form. The editor, while a student at Yale, voluntarily undertook to organize an extensive collection of these works of Professor Cross.

Source material was of both a technical and non-technical nature, available in various magazine articles, society papers, transcribed speeches, longhand classroom notes and graduate lectures. It was originally written for many different groups under widely divergent conditions, and organizing, editing and rearranging were necessary. This book contains about one-sixth of the material initially accumulated. The wording of many papers was necessarily modified somewhat in the interest of uniformity of style. In certain instances, however, the reader will note that original stylings have been intentionally preserved because to change them would materially affect the meaning.

Many persons have evidenced interest and offered more than mere encouragement as work on this book progressed. Its publication is full realization of the value of their help. Dr. William S. Livingston, Assistant Professor in the Department of Government at the University of Texas, deserves particular recognition for his timely suggestions concerning the manuscript, as does Professor Frederic T. Mavis, of the Carnegie Institute of Technology, whose assistance has helped to make possible the publication of this book.

Robert C. Goodpasture

New York City
January, 1952

"Engineering is the art of planning for the use of land and air, and for the use and control of water; and of designing, building and operating the works and machines needed to carry out the plan. "

FIRM FOUNDATIONS FOR TOWERS

ENGINEERING, SCIENCE AND THE HUMANITIES

Definitions are a fetish with some, but defining terms does not always lead to definiteness of ideas. Engineering is the art that deals with the application of materials and material forces. The use of science is a means to that end. The purpose of engineering is service to mankind.

Pure science deals with problems involving fewer variables than does engineering and often involves a narrower range of variation than is found in engineering. To say that a man thoroughly trained in theoretical physics and chemistry is thereby properly trained to be a good engineer is highly misleading. Science as such should have nothing to do either with use or convenience. Science tries to find out the facts about materials and actions. There is considerable authority to support the opinion that great scientists do not follow quite the order of procedure in arriving at discoveries that they follow later in proving that their discoveries are true. This merely means that in creative science there is very distinctly an element of art, just as in art there is usually some science, or at least some system. Eventually in the most highly developed creative minds the two merge, but in the conventional literature and in ordinary affairs the two can be more or less distinguished. The systematized, formalized procedure called science, which is supposed to lead inevitably to unquestionable results, contrasts with the flexible independent creative instinct which produces art. A further distinction is that

science seeks truth and should test itself only against truth. Art is concerned with the attainment of itself whether that end be beauty or usefulness. It uses all available means to attain its ends.

Art is creative, full of life, and can adapt itself to new ideas. Science tends to become more fixed in its methods, in its norms of thought, in its method of statement; with elaborated terminology it tends to develop a methodology. But this is the popular concept of science rather than that developed in the minds of the great creative scientists.

It has always been important that people understand clearly the nature, the types of problems and the processes used by engineers. They use any fact or theory of science, wherever and however developed, that contributes to their art. If a knowledge of physics, of chemistry, of meteorology, of mathematics is useful in attaining the ends in view, engineers will go to endless trouble to master these sciences for their purpose.

"One test is worth a dozen expert opinions"; on the other hand, someone else has said that "no test is worthy of credence unless supported by an adequate theory." Engineers can, unless they adopt a narrow and distorted view of learning, see and weigh the truth of these conflicting views. Engineers are not, however, primarily scientists. If they must be classified, they may be considered more humanists than scientists. Those who devote their life to engineering are likely to find themselves in contact with almost every phase of human activity. Not only must they make important decisions about the mere mechanical outline of structures and machines, but they are also confronted with the problems of human reactions to environment and are constantly involved in problems of law, economics and sociology. It is fortunate that the engineer does not usually bother to clutter up these problems of human relations with technical, academic designations.

Engineers are guided by the facts of scientists, but their answers are not controlled by the physical facts alone. They are trying to use the facts, to manage them, if you will, to assemble them into new relations. There cannot be a more misleading view than that which pictures engineers as driving inevitably by mathematics or laboratory process to an unique solution of their problems; their solutions are rarely unique. Engineering is not mathematics, although it makes use of many mathematical processes. Engineers almost everywhere and all the time have one identifying trait; they want to put down some figures, to make a chart, to draw a plan. Engineers put down many figures, but they put them down as a guide for their thinking, not as an answer to their problem. They want evidence; they want scale on the problem; they want some plan as to where they are going and what will probably happen when they get there. The work of the engineer is by nature synthetic, although it has often ceased to be treated as such and this must again come to be recognized. It consists of putting together fragments from human relations, from science, from art, from craftsmanship to produce new assemblages. Simply making an analysis of all the elements, all the data of the problem, does not mean a solution has been obtained. These data must be put together, made into a new assembly that involves a large imaginative element, put together with due respect to the relative importance of the elements and to the probability of simultaneous occurrence; and all this must be done with some intuitive vision of what is wanted and

of what can be got. Then, and then only, has there been a solution of an engineering problem.

There are always many ways of building, several ways of overcoming the obstacles. Some are best from the point of view of economy of materials, others from economy of men or time. Some are better because the result is more useful and some are better because the result meets more nearly the demands of convenience. There is often justification for building some transportation system such as a subway, not because people must have it, but because people want it. Engineers need not especially ask whether people should have it. If the demand is there, it is for the engineer to solve the problem and also to appraise the sacrifices involved.

This picture of engineering is not the one with which most laymen are familiar. They believe that engineering work is done in a perfectly mechanical way, that engineering is a result of the inflexible application of formulas to physical phenomena; they have an impression that in this field scientific laws are very clearly known without exceptions. These laws, they think, are embodied in charts, tables and equations that represent facts about which there is no question and from which conclusions follow with unflinching accuracy. Those who have closely examined engineering thought know that most curves are lined with question marks and that the formulas are often merely a basis for discussion. Non-scientists think science is infallible, especially if stated in mathematical symbols. They do not know that the scientific laws that are of universal application are quite frequently true because the terms are defined in such a way as to make them true.

The laymen now extrapolate this concept of science and engineering. They have read that this is an age of science, that human welfare has been immensely promoted by science; their fancy runs to automobiles, airplanes, radio, television. The material world is being transformed and transformed rapidly. But the transformation must not be attributed to pure science alone. An essential element, perhaps the most important element, is the correlating faculty of the engineer rather than the pure research faculty of the scientist; such developments involve a large element of judgment, much uncertainty, much cautious trial and error. Science standing alone contributes nothing to the welfare of mankind or to his illfare.

The glory of the adaptation of science to human needs is that of engineering. Misconceptions of this distinction between engineering and science are actually doing harm. In several cases the engineers are trying to do the work of the scientists because the scientists have failed to do it, and the scientists have failed to do it in many cases because they did not realize that the engineers wanted it done. There is a great need for very careful investigations by physicists on the action of materials under stress. No question can be raised of the great work done by engineers who are engaged in research in the properties of materials, but some of their problems should be referred, if possible, to the laboratories of trained physicists. The engineers should be relieved of the problem, or some parts of the problem, in order that they may devote their creative minds to other matters.

Laymen, observing that scientific or engineering methods—and they often fail to distinguish them—have altered appreciably the welfare of humanity, have now set out to improve humanity itself by a similar process. The procedure may be somewhat as follows: They collect statistical data showing the number of crimes per unit of population in various parts of a city and the distribution of taxable value of property per unit of population. Next a chart is plotted having as abscissas the taxable value, and as ordinates the criminal record. This gives a curve for which someone may even write an equation. They are then prepared to work with this equation, perhaps to differentiate with regard to taxable property and find out the minimum or maximum criminality per unit of taxable value.

This is a cartoon, but the point is this. Laymen feel that, having drawn this curve, they have a curve quite comparable, for example, to the endurance limit curve for steel and that the use and study of this curve promises quite as definite and tangible results as do data from engineering laboratories. The engineering mind is likely to be very skeptical of these data relating crime to poverty. Engineers recognize at once that the increase in crime may not be an effect of the poverty but that both may be concurrent effects of some other variable so that forcibly eliminating the poverty may not affect the criminality. Or the data on the incidence of crime may be undependable because of the methods of determining the amount of crime. Engineers are always critical of statistical data and regularly ask whether the indications of the data were not inherent in the method of collection.

The literature on fatigue of metals is both voluminous and bewildering. Results are influenced by the composition, treatment and past history of the metal. This is, of course, true of the laboratory specimen. When an attempt is made to apply even the more definite of these results to the design of a railway bridge, engineers encounter arguments that have continued for fifty years or more. How amazing, then, to find dogmatic statements about fatigue in human beings.

Some try to explain how in the future the methods of science are to be applied to the study and adjustment of human relations. In such thinking there may be three important errors for the too hopeful student. First, he misconceives the nature of science by ignoring the relative simplicity of the problems with which the pure scientist deals as compared with the complexity existing in the assembly of such problems by nature. Second, he confuses science and engineering and attributes the accomplishments of engineering, which are to a marked extent a result of inventive and synthetic power, to the accomplishments of science. Third, he errs in the concept of what this process of thinking is and how it accomplishes its results in the field of engineering science. He thinks that engineers arrive at truths by plotting charts, whereas engineers plot their charts to be considered as evidence in estimating probabilities. It is no wonder then that these methods of charts and formulas and mathematical symbols are being so often misused for selfish ends in a world obsessed by misconceptions of their use.

There are groups of self-styled engineers who are telling the country how valuable they are and how accurate are their conclusions. Take almost any general term, use it as an adjective and prefix it to engineer—social engineer, transport engineer, economic engineer, human engineer. These men attempt, often consciously though sometimes unconsciously, to give the impression that they deal with measurable data

from which definite laws useful to mankind may be deduced. They often call this leadership. Real engineers are tired of these leaders, of men who scorn the details. Engineers usually know what they are trying to do.

Dr. Irving Langmuir, as President of the American Association for the Advancement of Science, presented a paper on this subject. Here a great scientist and engineer devoted a scientific address largely to pointing out the existing dangers in the overextension of what some conceive to be the scientific method. Particular reference was made to the misinterpretation of scientific procedures and the misinterpretation of evidence based upon procedures inapplicable in the field where they are used. The criticism was pointed apparently at sociologists and economists. The whole paper is impressive; especially so is the remark that there is a tendency to underrate the capacity of the human mind, and the strong plea for common sense in human affairs. At present one of the obsessions of many people is the antithesis that they conceive to exist between individualism and regimentation. The philosophic antithesis is rather old; consider the ecclesiastical arguments over predestination and free will. The engineer comes to understand as he grows up that there is here no necessary antithesis; that there can be much freedom with much regulation; that the regulation is bad if it destroys the originality; and that originality unchecked by evidence from the past and from common sense as to the present would best be checked by some regimentation.

Much has been written of the scientific method in engineering. The question is, is there a single scientific method in engineering or anywhere else? There are many methods of arriving at the truth, though often truth itself is uncertain because criteria are needed to determine what constitutes truth in special fields.

Engineering is essentially a craft. It is the glory of engineers that they are craftsmen, that they are artists, and while as good craftsmen they follow a systematic and orderly procedure, they are highly resistant and antagonistic toward overregimentation. They demand freedom of their art, freedom to recreate, to rearrange. Varying degrees of emphasis are given by different thinkers to the importance of human affairs, of genesis, of analysis, of synthesis—the creation of new concepts, the analysis of known phenomena, or the putting together of old things to make better things. On the title page of the biography of that great leader in public health, William T. Sedgwick, is written: "He loved great things and thought little of himself. Desiring neither fame nor influence, he won the devotion of men and was a power in their lives; and seeking no disciples, he taught to many the qualities of die world and man's mind."

"The child has to be taught the words that correspond to things; the senior at college has lost the things that correspond to the words. "

STANDARDIZATION AND ITS ABUSE

INTELLIGENT STANDARDS VERSUS STANDARDIZED INTELLIGENCE

When a structure is designed three quite obvious questions should be asked in succession: Do you want something? What do you want? How will you use it? These questions may not be asked or answered by one man, but all must be intelligently answered.

When something is wanted it is appropriate to ask why, when and where is it wanted, what sacrifice will be made to get it. The second question, "What do you want?" leads to the problems of what you have, of whether you can get what you want, and is it standard?

The third question —use— involves problems of management, operation and finance.

"What do you have; what is available?" To face these questions we need a knowledge of types of construction, of materials available, of possible layouts, of general dimensions.

Consider the problem, "Can you get it?" suggested by the second question. This may be called "design" and is critical. It involves full study of construction procedures, of contractors, materials, labor, equipment, and time elements. Consideration must be given to appearance, architectural styles, harmony between style adopted and natural surroundings. Investigation should show the use and convenience of bridges and approaches, of buildings and industrial plants and yards and terminals.

Economy, costs, values, and finally the structural elements in the problem must be reviewed in order to ensure strength, stability, stiffness and generally satisfactory performance of each structure without objectionable deterioration. All these factors contribute to the solution of the problem, "Can you get what you have decided that you want?"

Most literature in the structural field deals with strength and stability for the very good reason, not always obvious to the amateur, that if a structure is not sufficiently strong, it makes little difference what other attributes it has. One might almost say that its strength is essential and otherwise unimportant.

Various sources aid the engineer in determining strength. No one of them is more important than another. Analyses, tests, experience and such intuitive common sense as may be personally developed about structural stability, these are all helpful, but they can also be dangerously misleading. Evidence from the four sources rarely agrees completely. Great engineers are those who can weigh this evidence and arrive at a reasonable answer through judgment as to its dependability.

The materials to be used must be of standard manufacture, the advantages of standardization here should be obvious to all. Design loads, methods of analysis, allowable stresses; all must conform approximately to some standards which for certain types of work are narrowly circumscribed and for other types of work leave considerable latitude to the designer. There is a good deal of convenience in standardizing construction methods and materials as well as methods of fabrication and criteria for stability.

But there is another purpose of standardization here and in most engineering fields. It is helpful to think about engineering by distinguishing its creative and its routine features. It is clear that in all ages there have been men who planned physical developments; it makes little difference by what name they were called. These men were creative artists—those who built Babylon, drained the Pontine marshes, bridged the Thames at London or the Mississippi at St. Louis, planned works on the Merrimac or the Brandywine. As the size and complexity of projects increased, the time came when there was more work to do than men to do it or time in which to think out problems. It became desirable and even necessary to do then in the intellectual field what had been done earlier in the field of manufacture: to set up a series of routine procedures for analysis and for design. This meant the development of a series of formulas and rules and standards which could be followed within limits by men trained in that vocation, by men who had applied that formula in that way over and over until they could satisfactorily duplicate their results. With these standardized formulas and specifications and methods it became possible to use a greater number of men and men with less training to produce engineering works. There appeared then what was in effect an intellectual assembly line. It had the advantage that these young men could follow the standards and arrive at the same result whether they lived in Boston or Los Angeles and whatever the condition of their health or temper at the time they made the computations. In other words, work could be checked.

To that extent then something that was originally intelligent—the collecting and weighing of evidence and the thinking out of the criteria of stability and stiffness—

had been standardized as on an assembly line. On this assembly line men could do over and over a specific operation in a clearly defined way.

Without these assembly lines and the use of mechanical brains it would be impossible to turn out the volume of work that comes from engineering offices today. At the same time most engineers are thoroughly familiar with the tragic results of this standardization when used without discrimination or control. They are conscious of this and have set up many safeguards against it.

The important point here is that some types of planning, designing and experimenting can be put on an assembly line and some types can be put on an assembly line of skilled brains only, but much of the most important work cannot be done by using fixed rules, standardized formulas or rigid methods.

Consider an example from a field commonly thought of as rather technical and standardized, the design of arches. Almost everyone has some interest in these if only because he has seen rainbows. The choice of layout of the arch is open to judgment. It should be beautiful, easy to construct, properly located. After these considerations have been settled a decision must be made concerning loads; no one can prophesy with certainty the loads that may come on a structure during its life. A digression into the loads and imposed deformations leads far afield—the development of vehicles of transportation, wind forces, temperature changes.

Allowable working stresses must be chosen. Again there is much uncertainty. Volumes of laboratory data have been accumulated, but the profession is still changing working stresses in concrete and steel.

Many men in many places in many ways are studying materials, how to mix concrete, how steel fails. References on fatigue and flow of metals pile up and, as so often happens, terminology often outruns reality. Speculations about the nature of failure and the phenomena that precede it continue. But there must be a bridge, an arched bridge; by the way, are we sure we want an arch at all?

Assume that all these matters have been settled; it has taken judgment, intelligence and art to settle them well. Now to dimension the structure. Engineering texts suggest that this is a very formal matter, that the procedure is to guess at dimensions, write some mathematical equations for given conditions of loading and find the stresses that result. If it is then found that the arch rib is overstressed, it should be changed; but this approach will not tell how to change it. One solution would be to make the crown deeper or shallower, but whether it should be changed depends on how much of the stress results from the weight of the rib, how much from that of the deck, how much from moving loads and how much from such things as changes of temperature.

After all these matters have been discussed, the analysis must be interpreted. Excessive dead-load stresses are not relieved by the plastic properties of the material, but excessive temperature stresses are much relieved by plastic flow; stresses from moving loads may be relieved by plasticity much or little.

It may be noted that in this field, commonly thought of as technically regimented where solutions are mathematical certainties, there is real need for imagination, vision and curiosity. Solutions may be far from unique. This situation is not peculiar to bridge design, but rather the example might as well have been chosen from any branch of engineering.

The assembly line can never replace the brain that has created it. Machines, methods and systems cannot be a substitute for men. Old techniques must be changed and often abandoned, new techniques developed. If entirely new techniques are to be developed, men must be trained ahead of time; the profession must tool up before the emergency, which means there must be a measure of standardization. Is that the function of the universities? There should be no dogmatic answer to that question. One thing is certain, however. There has always been, even in the worst of recessions, a shortage of men who could design the assembly lines or work well where assembly lines are ineffective; there has always been and will always be a shortage of creative thinkers in any field.

Medieval architecture was not standardized. That is one of its great charms. Dissymmetry is marked; apparently it is frequently intentional in the medieval cathedral. There is nothing very standard about Chartres or Mont-Saint Michel. The little naked soul so prominent in sculptures of the Day of Judgment did not always outweigh the devil and his imps; in one of the column capitals at Saint-Lo the sculptor, perhaps suffering from morbid indigestion, reversed the procedure and thus caused great embarrassment for future curators.

In the field of structural design the effort to get intelligence through standardization has been carried pretty far. In reinforced concrete, for example, it has been necessary to set up elaborate standards. Out of this work came a narrowly circumscribed standardization of procedures, which is called "the theory of reinforced concrete" and to which unfortunate students are exposed. Few will question that the standardized theory of reinforced concrete is perhaps as complicated a bit of nonsense as has been conceived by the human mind. It does, however, work pretty well as a check on indiscriminating unintelligence.

In engineering there is no attempt to standardize unless there is some reason for it. Some, however, wish to standardize where there is no real advantage and so fasten for a long time upon the profession a complex assembly line that has characteristics of a cartoon. Standardization, as a check on fools and rascals or set up as an intellectual assembly line, has served well in the engineering world.

Unfortunately the objectives of standardization have often been misconceived outside the engineering world. Blind standardization on a huge scale may be tried under a cloak of humanitarianism and accompanied by the argument that thus engineering, which has become science, has revolutionized the physical world. In the end it will not work but in the meantime there may be much misery before redemption comes. When engineers standardize they at least confine their standardization to the pattern within which they wish to standardize —one thing for bridges, another for buildings, another for airplanes and another for streamlined trains.

It is practically impossible to put dates on engineering. It is equally hard to say that there are entirely new problems. The problems of today are in many respects the problems of hundreds of years ago, but these problems deal sometimes with new materials and always with different conditions. When a problem is all solved and the answer is very definitely known in the field of engineering, it is about time to investigate that problem again, because what is known is probably known for certain limited materials. But novelty should not be pursued for itself alone. The novelty often

consists in merely doing another thing in about the same way that other things have been done before.

Unfortunately some glorify the pursuit of novelty for its own sake. Someone has analyzed stresses in a particular structural member by one arrangement of computations, an other arrangement of the computations then constitutes an element of novelty. Unnecessary novelty in the field of art, as in the field of engineering, is something to be apologized for and not commended. Men must not be deceived into giving to dust that is a little gilt more praise than gilt o'er dusted. Amateurs clutter up the literature to produce the illusion of novelty where none exists and where none is wanted. This can be seen in art, philosophy, literature, economics and religion. The claim of novelty is used to cloak error and to spice insipidness.

While some men choose not to worship blindly at the shrine of novelty, it does not necessarily follow that they restrict their interests to the obvious. A clear and simple restatement of a fundamental principle may have profound influence. The virtue here is not due to any novelty of the rewording, but rather due to the simplicity and clarity of the contribution.

Engineering has, in most of its branches, been thinking out all of its problems again. This is not an indication that the laws of geometry or statics have changed or that there are any new principles about dynamics. However, new materials and new uses of old materials have been tried; new methods of using old principles have been invented. In nearly every field of engineering now there is a seething activity of invention, investigation and reinvestigation. Some of this is probably ill-directed. What is needed are men with ability to orient some of these investigations in a new way.

News, novelty, uniqueness is often dependent upon the fancy and conditions of the times. Long timber trusses are more news today than they were in 1850. Brunei used reinforced brickwork over a hundred years ago; the use of mechanical models is not by any means new; the principle involved in the deformeter gage comes from the last century; "soil mechanics" is a new name but the study of foundations, of soil pressures, of soil resistance is not a new thing. There was a period of cantilever construction, then a period of continuous construction, and later a reversion to the cantilever.

Extensive organized investigations in structures have usually resulted from some immediate problem, such as the large increase in the height of skyscrapers in the twenties, the Long Beach earthquake, the Miami hurricane, increased highway traffic, larger storage dams. Repairing the barn door does not imply building a new type of barn. A new development is often merely of temporary importance.

In general the objectives are flexibility of design and simplicity of construction. Design should seek convenience or use or beauty of outline, and this design should result in simple and economical construction. Development of a solution may be due to an engineer's special knowledge of structural forms or to a construction man's ability to burn and weld. Sometimes a solution might be credited to the grace of the equipment manufacturer or perhaps to a field man who can mix better concrete.

The history of engineering, like that of structural development, represents the parallel growth of four elements: materials, methods used in field or shop, concepts used in design, and those pictures that make more definite and clear the elements in that

design. Immediate necessity, often economic, dictates which of these elements develops and which lags in any decade.

Development and advancement are largely dependent upon research which, by necessity, deals with controlled study of small isolated details. There is usually a long period before such details can be assembled into generalizations. Many try to seize upon these details before they have been digested and apply them at once. What are supposed to be results of investigations are often incorporated in specifications and codes before the investigation itself has been completed, much less digested. There is, then, always the danger that immature conclusion will become "frozen" in practice and hence be reported as a "new development."

Yes, there is development and progress. In some fields the development is slow. Men must learn to think more clearly in space and be less restricted to two-dimensional design. They must pay more attention to movements and vibrations. They need much more information on the properties of materials. Probably they need to reappraise seriously the importance of durability. A few need to be told that the pursuit of novelty does not always lead to progress.

The time has come in many fields to take stock. There is continuous production of analytical tools, continuous accumulation of data from tests, continuous construction of bigger and supposedly better machines and structures. But we need now to take stock of what we know, what we do not know, what we need to know and why. There must be more of this work in the future. It is difficult to do at all and very difficult to do well. The sympathetic interest of the research man and the scholar is needed. It must be done in the interest of education on the one hand and of practice on the other, it is wrong to continue indefinitely to add, add, add to the tools of knowledge, without combination or elimination.

"With blossomed furze, unprofitably gay."

SOME IVY AND SOME IVORY TOWERS

EDUCATION, TRAINING, SCHOOLING

Distinction should be made between education, training and schooling; the distinction is not entirely pedantic. It is difficult to educate without training and equally hard to train without to some extent educating. But the two things are not the same. Everyone knows more or less what education is and everyone misinterprets it at times. Schooling is helpful in the process of education.

Many in America grew up in a tradition of overorganized, oversystematized methodology of knowledge. It often resulted in paralysis of initiative and sterility of imagination. By that philosophy every possible case must be formulated in advance. Consider a modification of Josh Billings's epigram: "It is better not to plan so much than to plan for so many things that never happen."

The purpose of education is to prepare a whole man to live a full life in a whole world. American colleges must produce men who can think out American problems in American ways. To do this they must turn out men who see America and American life as a whole and also see the relation of America to the world. The country cannot afford to depend on men who will bury themselves intentionally in some narrow aspect of that life.

This is a big order and never fully attained, but to say that a man is educated as an engineer or educated as a doctor, or as a lawyer, an educator, or an economist—that is to say that he is partly educated. These distinctions between the mental disciplines through which men grow into full life are frequently set up because of local limitations or for administrative purposes. Overemphasis on such distinctions is very bad.

In a way, education is a rather simple matter. Most men wish more information about their world and seek better correlation and interpretation of the information that they have. Good schooling may help much in guiding to information or illuminating correlation.

But schools are far from simple, and there lies the trouble. Libraries and laboratories, buildings and red tape, overlapping departments apparently closely related but really uncorrelated, elaborated administrative organizations, text books and techniques—these, in varying degree, characterize the schools. Much of this merely amuses the fancy of dilettantes without guiding to education.

There is little parallel in the real world for the rigid distinctions between departments of a university. They are the result of necessary organization that grows and grows into the overorganization that the graduate soon learns to recognize in corporation or professional society. Departmental differentiation thus reaches the state of the good lady who thanked God that, though her church had saved only two sinners during the year, the horrid old congregation down the street had not saved a single damned soul. Teachers sometimes seem more anxious to damn some other field of learning than to illumine the pathway of education.

It is easier to teach rules than it is to train judgment; therefore, when teachers get tired in the schools they are likely to revert to rules. These can be taught to students and it is possible to give examinations and grades on them. But it requires high art to teach and examine on judgment; let anyone who doubts this try to do it. Consequently college curricula, whether in structural design or literary criticism, tend to degenerate into compilations of rules, regulations, cases and classes unless these curricula are constantly revitalized. The same thing may be said of activities outside the schools.

But the rules must be taught as well as the judgment, and college is a good place to teach many of the rules. Ripe judgment comes only with experience. The thoughtful man concedes it is well for student, teacher, and practicing engineer frequently to ponder Tredgold's definition of engineering, "The art of directing the great sources of power in nature for the use and convenience of man." Those whose vaulting ambition for leadership would o'erleap the painful need of accurate information must be reminded that they cannot well direct that of which they know little—no, not even by the most hopeful art.

A university has a trinity of influence: through the faculty and its work; through the campus life of student societies and publications; and finally through something which should be deeper, older, more stable—the spirit and tradition that pervade the campus, the lecture hall, the laboratory.

This spirit that drives on to the pursuit of truth results from the accumulated greatness of a group of scholars who have learned to care very much whether things are done well or ill, to care very much whether work is useful or useless. And they have learned to judge truth without appeal either to popular vote or to intellectual dictatorship.

If the young men can "go places," let them go. Constant nursing and guiding in colleges is not the paramount need, but rather a great impersonal light leading men on. Unfortunately that light can fade in the garish klieg lights of too much ballyhoo, of too many popular conclusions, of too much sense that is too common.

Colleges often swing from periods of cerebral malnutrition through inspirational debauches to periods of intellectual indigestion. Success carries within itself the elements of failure —unless it's profoundly sound. Too many old men, set in their ways, are ready to guide. And to guide often means to rule, to suppress, to kill. And so young men are sent on petty errands with few new ideas.

Honest pursuit of truth is very well worth while for the sake of truth and for the sake of honesty. And consistent honesty in the pursuit of truth will produce plenty of individualism, the type of individualism that is not imitative or conventional, the type of individualism that is not captivated by the latest fad. A great university is a group of honest scholars. Such a group of honest scholars will produce honest students, honest thinkers and honest men. And such men will not be blown about by every whispering breeze of fancy.

Education must not become formalized, but the educators should clarify its objectives and maintain freedom in seeking those objectives. The progress of students is often unduly burdened with details of learning. Some engineers go so far as to say that the function of the technical schools is to teach a man to do a particular job in a particular way. No! The purpose of schools is not to meet the needs of particular industries, and in this one finds support from many leaders of industry. The function of the universities is to turn out intelligent men with some knowledge of practical fields rather than to turn out non-intelligent men with detailed knowledge of limited fields.

Many of the best educated men never saw the inside of a college until they went there in later life to give commencement addresses or to sit as members of the corporation. But today there is a growing obsession for academic credits and guinea stamps of learning and a growing confusion between literacy, training, learning and wisdom. Standardization in fields outside of engineering is apparently inherent in animal nature; habit and imitation are inherent in human makeup. But most people welcome a break from this standardization; many come eventually, if it goes too far, to hate it bitterly.

Education should give men an opportunity, with some content and purpose, to develop freely their intelligence, to think some things out themselves, to arrive at conclusions new at least to them. The textbooks do not help much here. Many texts are written in stilted terminology, contain too many overelaborated definitions and state so-called fundamental principles that do not exist.

One of the latest slogans is "education for citizenship." When, please, was education for anything else but citizenship —but does this mean standardized citizenship and is it to be your standard or the standard of some bureaucrat? Is the student to be indoctrinated with all sorts of nostrums, the knowledge of which is alleged to be prerequisite to good citizenship? William Graham Sumner's "Forgotten Man" was a nonconformist, an ordinary fellow attending to his business as well as he could but, outside of any technical requirements, forming his own decisions. But such men —these little fellows— become the butt of ridicule or focus of attack of enthusiasts who insist on standardization. Sumner's essay closes with the apposite remark that "the forgotten man —who is frequently a woman— works and possibly prays, but you may be sure that he always pays."

This is not a criticism of any particular form of education. Probably there is not one single proper form. It is a mistake for a man to go to college for narrowly vocational objectives, unless he clearly recognizes that what he is getting is training and not education. Education in structural engineering is not necessarily more narrowing than classical studies of "terminations in T in Terence." It may be accepted that some bad education is worse than none and more bad education is worse than less. This needs to be stated and restated.

To send people to college with too vague purposes simply to learn standardized forms of fragmentary knowledge is dangerous. Hitler taught the world how very dangerous the pretense of education may become, not dangerous in the old-fashioned sense but dangerous in the ghastly horrible sense of modern war and modern Europe. It rejects the concept of the free man thinking through the world in which he lives as God gives him the intellect to do so. Many still have an abiding faith that this dream of the unstandardized free man persists, but he is easily imitated to an unsuspecting student who seeks light where there is no light. In great schools —not large, great— free men work in an atmosphere of great thoughts, of great faiths and of great dreams; but the thoughts need not be couched in stilted or artificial or technical language, the faith need not be placed in the whims of dictators, the dreams need not be nightmares. Liberal education is still indefinite to many; there are too frequent and varied definitions of it. Many who argue for it actually get far from liberal education. The dream of a whole man in a whole world must not be swallowed up in vocationalism, overspecialization, pompous nomenclature. The purpose of education must be service and not self-promotion. The dream of an individual who stands squarely on his own feet, whose intelligence is independent of dictum and dogma, who looks with faith at the future and smiles, this is the dream that carried us across the continent, and it must not be lost. The flood tide of progress always comes slowly from far back through creeks and inlets of individual thought.

The Pharisee prayed, "O God ! I thank thee that I am not as other men are." Most of our universities are in keeping with a great American tradition and recognize an obligation to guide and inspire national thinking. It should not be forgotten that they are centers of general education, that while specialized interests may furnish impetus to search for knowledge, it is the whole man that should be educated to live a full life. Some seek at college that which is not there to be sought, like the man who looked for some lost trinket where he knew he had not left it because the light was better where he was looking. Some believe in baptism because they have seen it done and forget the inner wisdom implied in education while admiring outward visible manifestations.

By the side of the Pharisee in the temple a publican prayed, "God be merciful to me, a sinner." God enlighten our ignorance, keep our thinking simple, keep our education straightforward. A college that keeps that faith will truly educate, one that forgets it fails. Through humility we may continue to "instruct youth in the Arts and Sciences who through the blessing of Almighty God may be fitted for Publick employment both in Church and Civil State." That concept of a university is still pretty sound.

The general characteristics of inflation are easily recognized. It tries to make the reality —the goods— seem more valuable by making more plentiful the thing — money— that is exchanged for the goods. There is then more money, and men feel richer because they get more money and have more money.

The fallacies of inflation are vigorously deplored by many educators who are themselves enthusiastic for inflation in education. In the educational world the goods is the training of the man, and the thing through which he acquires that training is equipment, personnel and curricula. Some educators appear to think that if the number of courses and classes available is increased, then the training will be better and more valuable.

Apparently, many are beginning to see that universities will gain rather than lose by adopting a less costly and pretentious scale of doing things. You may admire the man who made two blades of grass to grow where one grew before, but not in your flower beds. He who sets up two courses where one grew before too often thinks of himself as progressive and looks with scorn on the reactionary who asks whether the two courses could not just as well be combined.

Teachers have two responsibilities to their students: one, to give them enough information and vocational education to enable them to get a job and to hold it till they get rooted in a highly competitive world, and the other, to train them in methods of thinking and investigation to meet the demands of an ever-changing world —demands the details of which none can foresee. It is pretty certain, however, that the resources needed to meet the changes —the "challenges," to use current cant— will be the same in the future as in the past.

Inflation of the curriculum is not new. Many have seen it in the past; have watched some new animal brought into the college zoo, which was soon found to be a white elephant and later turned into a dun cow. But because new stalls had been built for these animals and they had acquired a group of expensive keepers, they were rarely, if ever, put back into the barnyard where they belong. A review of official correspondence connected with these courses and departments would usually show that an ambitious young man supported by some aggressive administrator had clearly proved that these courses were absolutely necessary for progress and had further shown that they would cost nothing —"involve no additional budgetary expense" is probably the correct academic phrase. And yet today one wonders why in the world they were ever established at all. The cow is never —well, hardly ever— returned to the barnyard, and animals that clutter up the zoo have been unusually prolific of late. Engineering in the undergraduate curriculum is becoming pocketed in smaller and smaller pigeonholes; it is time to consider the advantages of abandoning the roll-top for a flat-top desk in the educational world.

The most difficult and usually the most valuable element in the training of a student is the ability to synthesize to put together the fragments of his knowledge into an intelligible picture. Specialization of the undergraduate curriculum goes in exactly the opposite direction. The student is allowed to synthesize either not at all or ineffectively; he has no guidance and no training in this type of work. The purpose should be to educate the student, not to inform him. This purpose cannot be served by the inflationary device of survey courses.

Some think this multiplication of courses is necessary for development of the research attitude among the younger men of the staff and among the undergraduates. Actually, all engineering is research if by research is meant the solution of a problem not previously encountered or the development of a new solution of an old problem. But engineering is not primarily the method of the organized research laboratory.

Very plausible arguments may be presented for including all sorts of specialized courses in the curriculum if these two dogmas could be accepted: (a) that the universities should solve all the problems of the world in their own walls instead of training men who may help to solve them and (b) that differential specialization ever solved anything very effectively or that anything very reasonable ever came out of pure reason alone. Both dogmas are unacceptable. The actual production of any man, however productive he may be, is insignificant in comparison with the cumulative production of groups of men trained by some great teacher.

It is very desirable that the universities lead the thought of the people. Sometimes they do so. But on every campus are professors panting to catch up with the groups that they are trying to lead only to find that the group is one that got lost from the main body. As one looks back over the new courses of the past, it is apparent that they often represented digressions from the king's highway, not new roads to progress, and that their contribution to progress came after they had been brought back to the main road.

Specific digressions from the main objective of undergraduate training in engineering can be justified by one of the five reasons for drinking wine: "good friends, good wine, or being dry or fear you may be bye and bye, or any other reason why." Some learned this years ago when structural engineering became steel engineering, rigid frame engineering, masonry construction. Foundations went to college and came home high-hat, hydraulics returned from the grand tour as fluid mechanics, and the whole group of indeterminate structures has gone snobbish. All of them have on some campuses scorned the older members of the family. Must these new developments have a private suite with valet and bath, or would they not do just as well if they sat down at the family table sometimes to a meal of corned beef with out caviar?

These observations are not based on any one institution or group of them; they are representative. The main thesis is that he who makes two courses grow where one grew before is presumably the enemy of progress in educational method. Dr. James B. Conant refers to the "widespread feeling that the separatist spirit of the past quarter of a century has proceeded too far." This is true in the general field of learning and it is becoming acutely true in engineering. The function of universities is largely to produce men who by becoming inquisitively rounded, by knowing their four w's—why, what, where, when, the perpetual quadrivium—may learn to see the world in its fullness. And so the business of the universities is to train those men whose interests are connected with the control and adaptation of natural forces that they may become good engineers, whose pride and joy and hope and salvation lie in the excellence of that which they produce for the use and convenience of man.

To produce for the use and convenience of man they must know something of that use and convenience as well as the methods to be used in producing. The methods are called, in the cant of the schools, "training in basic principles"; the knowledge of use and convenience, "broad training." The fight continues, and will continue from age to bewildered age, as to how to make the poor student both broad and deep, and arguments on it seem often to imply that the result must be the same for all students—and damn the time involved.

There is certainly a tendency in much current technical literature to enlarge the base. A certain college catalogue explains that the technical courses give the basic theories underlying the fundamental principles on which the science is founded. Now when you dig out under the foundation, you have quite a hole in the ground and to enlarge this basis you have to move a lot of dirt. The hole may be so deep that the student can never climb out to fresh air again or in such poor soil that the cofferdam of education caves in on him, to his great and permanent detriment. It is very hard to get students inured to having cofferdams cave in on them.

In the field of engineering the known basic principles are not very numerous; they are rather easy to state and to understand. The difficulty comes in applying them, and here a great deal of training is needed. No one can say how long this training must be. Many of the older men have not finished their education yet. But colleges can and do start students on this long road of training and can tell them something of the conditions, detours, narrow bridges, traffic signals.

Teachers are told that they must make their students broad. And how shall that be done? By giving some more courses in sociology, economics, history, psychology, literature? Not unless there is some interest in them. All of these disciplines appear when engineering principles are applied to the planning of engineering works. If they do so appear, the interest is created and the student may then or later seek out books, courses, men who can aid him in satisfying that interest. Time can be found in the undergraduate course to let the student begin this search provided the courses in engineering create the interest.

Teaching is an art. It is not a science. A most disintegrating intellectual influence today is the idea that all human activities can be mastered by the methods of the physical sciences. As an art, teaching is necessarily individual; it must adapt itself both to him that gives and to him that takes as well as to the subject taught. It can be accomplished by lecture or by discussion. There are valuable courses for undergraduates that do not contain a single problem as assigned work, but some teachers use numerous assigned problems with success.

A novice asked Rafael with what he mixed his paints. The master replied, "With brains." A dean is said to have told his faculty, "I assume you are good teachers; your rating with me depends on your publications." The frankness of that dean is admirable, but everyone who daubs a canvas is not a Rafael.

Many people feel that teaching is just a job, like any other job. In a sense that is true and it needs emphasis. A teacher's first job is to teach, not to write or to do conventional research or to make speeches or to run errands on academic or technical committees, but to teach. Do not misunderstand this, for a teacher, to keep his feet on the ground, to keep in touch with the spirit of actual work as distinguished from the

hothouse atmosphere of a school, must serve on technical committees and attend conventions. It is there that he is sometimes told bluntly that he does not know what he is talking about, and most teachers need that badly, for their intellectual mortality is deplorably high.

Not only must they be in contact with developments in technical societies but they must also follow the relations of those technical activities to other developments. In the university and in the world outside the professors must attend many meetings, must talk to many people, must visit many plants, must consult at many laboratories in order that they may bring into the classroom a full vision, a fresh outlook on the problems that they wish their students to discuss. This all creates an environment in which men can be taught to see America and American problems as a whole and even to look beyond these.

Scholarship? Of course. How can the blind safely lead the blind? The great teacher must know his field, must know it in a peculiarly clear and vivid way. Then he will not only be a thinker, but an original thinker.

Productivity? A teacher constantly trying to master his field almost inevitably produces —research, books, articles, addresses. The by-product should be valuable, though much of it is not because so few academicians know when to use wastebaskets. The output will have value, if any, because of its quality and not because of its quantity. But all this does not affect the fundamental truth; the teacher's job is to teach.

Research? Oh, yes, that goes with scholarship. Hard and intelligent study of any field of knowledge inevitably leads to research, if by research is meant systematic investigation, in fact the distinction between scholarship and research is not clear. If the hard work is guided by the intellectual equivalent of fasting and prayer —really wanting to know, really caring enough about knowing to think hard— it will often be valuable research. But this is an incident to the teacher's work. He wants to know, not in order to be a "research man," but in order that he may teach well. That's his main work.

Teaching is an art. The teacher's job is to teach. What shall he teach? The amount taught is certainly not very important. Any well-trained man can take one or two books in almost any field and get from them over the week end more information than an undergraduate would acquire in a semester's course, and vastly more than he will remember —more information, that is, not more understanding. If the undergraduate has been well taught, he will know what part of this information is fundamental and what part ephemeral, what part is important and what incidental. Under a great master he will have formed some basis for critical judgment in the field.

What shall teachers teach? That is one of their great responsibilities, to determine what shall be taught, what to leave out, what to emphasize —especially what to leave out. That responsibility does not rest with the dean, certainly it does not rest with the student. It is so easy to give the student what he likes, to give a popular course. But there is no escape; the teacher carries the responsibility to decide what to emphasize, what to omit. It is his job to teach, and it may be added here, the student's job to learn. The student is there, please, to study how to do research; it is pretty bad to tell him he is already a research man.

The curriculum? One should be careful not to put overemphasis on it, as far as teaching goes. It is usually revised every few years and the revision is often hailed as the beginning of a new era in education. But all the new developments could fit as well into the curricula of thirty years ago as they do into the more modern ones. The fact that revision of curricula for administrative purposes or for advertising purposes is often desirable is another matter.

How shall the teacher teach? By winning such affection that students will gladly follow where they are led or that their minds may flower to perfection in the glad sunlight of love and sympathy? This is fine, but, as the mathematicians say, it is neither necessary nor sufficient. This is a discussion of teaching, not of how to run an intellectual nursery. Some of the most popular teachers are mighty poor ones; some of the greatest teachers have not been generally loved. Students are usually fair and about as much in earnest as their teachers. They will follow the lead of the teacher who has mastered his subject and his art. They may not love him, nor need they do so. A good many so-called popular teachers achieve popularity by prostitution of their art—and students know it, but it is an easy way out.

Again, how shall he teach? There is no conclusive answer to that question. Uniformity of method is certainly the last thing to be desired. It is not necessary that all pictures of girls be Gibson girls; a few Mona Lisas are acceptable. There are many kinds of teachers, many fields of thought. Even in the same field of thought different men approach their subject by different paths; there are several approaches to even the most specialized subject. If these roads to understanding can be mapped without too much confusion—and often they cannot be that is good.

And how can this great teacher be identified? Well, often they are not. Rafael was a great painter, but no one ever heard that it was because his dried paint had a high Brinnell number. This art, like other arts, must often be its own reward. It is inevitable that the administrative type of mind is usually quite different from the teaching type, that many excellent administrators have trouble in recognizing great teachers. It is also true that many educators are like the asylum inmate who explained why his friend could not be Napoleon. Sometimes everyone agrees on the greatness of some inspired teacher. Teaching facilities—lantern slides, fine desks, handsome buildings? They are all right, but it may be observed that the really great teacher will, to use a homely phrase, teach in spite of "hell and high water." Great buildings and expensive laboratories can never make a great university; great teachers do.

There have been many good teachers and some really great ones, though these are scarcer than gold dollars. They have been of different kinds; some great graduate teachers, some gifted in the undergraduate field. One can recognize them by the vision, the inspiration, they give to the men they train. There are some who think that these rare great teachers are by far the most important men in the educational world.

Those who have taught for many years frequently observe advantages and limitations of various disciplines both in fact and in the hopes of opinionated partisans. But education is of a whole man for a whole world—humanities, urbanities, banalities. He who is either unable or unwilling to correlate the phases of intellectual experience is likely to contribute little to education—of himself or of others.

The professor spends relatively little time in actual contact with the student. In general, an undergraduate student does not spend more than a week or two of actual working time in the classroom in contact with any one professor. Put in that way, the statement is rather startling. Many, looking back, will recognize the tremendous influence some professor exercised in their growth and yet they rarely remember exactly what he taught. The professor acts in part as a catalyst—a material which assists in a reaction; after the reaction has produced a new material, the catalyst remains just as it was before, just as uninteresting but just as potent, ready to catalyze and repeat indefinitely. Students are educated through the catalytic action, if the professor has the personality to bring on the reaction. They are almost always in an intellectual environment which is conducive to growth, an environment of laboratories, museums, libraries, pictures and discussion groups. All of these are effective and should be easy to find. Universities should be able to say to their students, "Ask and ye shall receive, seek and ye shall find, knock and it shall be opened unto you." So professors want many things to create the intellectual environment. Sometimes an alumnus thinks they want too many things, but it may be found that the extent of a professor's wants are sometimes a measure of his value. The more energy he has, the more interest he has; the broader his interest, the more things he will want.

To reach the full development of their capacities, men pass through three stages. At first they use certain routines, formulas, fixed specifications. Anyone who professes to train engineers and turn them out into the cold world of facts without some discipline in the use of the standard procedures on which modern industry is based has not played fair. But the students go on and may expect to become junior executives. They are then in a position to revise, discard or invent routines for others to follow. The purpose of the mechanical brain in the evolution of modern industry has been very much the same as that of the assembly line in manufacture. Formalized procedures are set up for the guidance of men of less experience. Eventually, it is hoped that young men may reach a third stage and be able to take the scientific group, the economic group and the social group and put them together. Their problems then have ceased to be formal engineering problems and have become national problems, problems of industries, problems of the use and convenience of man.

Alumni are much inclined to have educators carefully prepare some part of this long road that young men are to follow and wish to have attention concentrated on the particular part of the road that they themselves are traveling at the time. Thus a young graduate of thirty often thinks that he should have had more technical details in his courses. At forty there is often the complaint that not enough attention was given to law and management, at fifty the alumnus wishes that he had studied more English or that he had read more of classical literature, at sixty he is usually grown up enough to recognize that colleges are dealing with young men of twenty and not old men of sixty and to realize that it is best to harmonize and give due attention to all stages of his career.

*"Who through the blessing of Almighty God may be
fitted for Publick employment. "*

THE EDUCATION OF AN ENGINEER

TO LIVE A FULL LIFE IN A BROAD WORLD

It is customary to think of engineering as a part of a trilogy, pure science, applied science and engineering. It needs emphasis that this trilogy is only one of a triad of trilogies into which engineering fits. The first is pure science, applied science, engineering; the second is economic theory, finance and engineering; and the third is social relations, industrial relations, engineering. Many engineering problems are as closely allied to social problems as they are to pure science. The limitations of academic classifications are notorious. The workaday world does not fit into an academic department or into so-called fields of learning. It is the whole man who works, the whole community in which he lives, and it is the function of the university to look over and beyond its rather sterile classifications.

Mechanics, for instance, is a diamond of many facets and scintillates with different colors for the mathematician, the student of pure physics, the student of cosmic physics or the engineer. To nature it is undoubtedly the same mechanics, but it seems futile to think of it as a unit in the intellectual approach of the investigators. H. M. Westergaard wrote: "It should be remarked that the theory of elasticity is primarily physics, aimed at the understanding of matter. The development of the fundamental processes of theory, through the past one hundred years, has been the joint work of physicists, mathematicians and engineers. Applications to the molecular theory and the theory of sound have presented themselves. At the same time, applications to structural

analysis have been a cause of continual contact with engineering. These practical applications to engineering have come into the foreground during more recent years."

A. E. H. Love explains: "The history of the mathematical theory of Elasticity shows clearly that the development of the theory has not been guided exclusively by considerations of its utility for technical Mechanics. Most of the men by whose researches it has been founded and shaped have been more interested in Natural Philosophy than in material progress, in trying to understand the world than in trying to make the world more comfortable... Even in the more technical problems, such as the transmission of force and the resistance of bars and plates, attention has been directed, for the most part, rather to theoretical than to practical aspects of the questions... The fact that much material progress is the indirect outcome of work done in this spirit is not without significance. The equally significant fact that most great advances in Natural Philosophy have been made by men who had a firsthand acquaintance with practical needs and experimental methods has often been emphasized; and, although the names of Green, Poisson, Cauchy show the rule is not without important exceptions, yet it is exemplified well in the history of our science."

Some engineers have studied the classics as well as the more customary engineering courses, have attended so called "liberal arts" colleges. Here they were exposed to a curriculum largely dissociated from the problem of making a living. However, many of these engineers will admit that much of what they got from that curriculum has been the most practical training that they have had in engineering, though that curriculum never explained that blueprints were not made with white ink. Undergraduate work in engineering should provide men with the assurance that the college with its background of liberal education, untainted and uncorrupted by the desire for practical application, will provide engineering students with a background that will supplement and support their technical training.

In addition to necessary classical interests engineers need character and culture and charm—and so does every man. There is probably no surer road to the development of character than straight, hard, courageous thinking. As for social charm, the colleges have no monopoly: any student who will fairly compare himself or his classmates with men of equal mental endowments and social advantages who entered business directly from high school will realize this—a matter of common knowledge in the business world. Those who live without culture, without a knowledge and appreciation of the beautiful in the past and in the present, will only half live; but it is a very common error to assume that cultured men of eminence are great because of their culture, whereas the truth is that they are cultured because of the cosmopolitan interest which helps to make them great.

If culture represents realization, appreciation and enjoyment of the fullness of life, of all the material, mental, aesthetic and spiritual factors that make up this world of men, engineers are in a peculiarly favorable position to achieve it. If they enter fully into the science and the humanities involved in adapting natural forces to the use and convenience of man—well, that is culture; then engineers live it and make it.

That is their privilege, to live life fully, to see the beginning and the end and the influence of their work; to know the birth, growth, decay and rejuvenation of railways, the changes in inland navigation, to work with architects, lawyers, economists,

statesmen, with materialists and humanists. Few men ever live life fully, but the opportunity and the birthright are there for the engineer.

There is also an obligation. Engineering, of necessity, profoundly affects culture. Engineers should not be inarticulate. They need to tell others—not each other—how they achieve their results, not the boring technical details nor the mathematical processes that laymen misconceive. Instead engineers must explain that their work results from careful weighing of evidence, from examination of many possible solutions, that only after judicious discussion of past experience, present conditions and possible future developments are solutions accepted. It is important that men know that engineers do not build alone with concrete and steel or by formulas and charts, but more than anything else by faith, hope and charity—faith in their methods, their training, in the men with whom they work, faith in humanity, in the worth-whileness of life; hope that by use of these they may find men, money, materials and methods, not blind wishes but judicious hopes; charity that involves a sympathetic understanding of the human element and willingness to work within the limitations imposed by human weakness. Engineers should decline to undertake enterprises on unsupported faith or vague hope and few engineers have much toleration for indiscriminating charity.

This discussion of culture may excuse a digression to a fascinating side line of structural engineering. Nearly everyone is given to some hobby of collecting. Most undergraduates have a passion for collecting formulas and graduate students are much given to collecting all sorts of methods of analysis. Both varieties of bird's-egging are likely to become vicious, and engineers might try, as an out let for such postage-stamp proclivities, an excursion in some field such as bridge collecting. By photographs and descriptions, accumulation of historic associations and of artistic detail, one can build up a museum which is not only of interest as a hobby but has value also as a background for professional work. It is a real pleasure to turn from the exact mathematics of analysis or the details of connections to a more general view of the function of bridge structures. A group of bridge pictures will enable the engineer to see bridges, not as formulas, but as studies in light and shadow.

A bridge must be structurally sound, correct in form, adequate in detail, of good materials properly used; but it should also fit into the landscape and with grace and dignity carry the roadway over from street to street or from hill to hill. The distinction between architect and engineer is quite recent and in bridge architecture it is almost impossible to enforce it. One who would design a beautiful bridge must have correct concepts of structural action; the artist must be something of an engineer, the engineer an artist and planner.

One of Maxfield Parrish's murals has an inscription in Gaelic. "Here's to the bridge that carries us over." That's what a bridge is for, to carry the roadway over, but it may do it in any one of many ways. The bridge is a part of the road way, and also a part of the landscape and of the river or valley that it crosses. It must harmonize with its environment; it must meet the spirit of its associates. In a park it may be a jolly little bridge, and play, as a little suspension bridge over the lake seems to play in the public gardens of Boston, but it must be a very serious-minded bridge where it is to carry a railway over a gorge. If it lives in pine forests, the bridge will perhaps want to be of

timber and feel that it fits into the neighborhood, but rock gorges call for cut-stone masonry or concrete, and for huge spans the strength and grace of steel are used.

Paris, with all its fascination, center of art, ancient seat of learning, city of great vistas, of magnificent gardens, is also a city of beautiful bridges. Artist, architect and engineer find fascination along and between the banks of the Seine. Pont Alexandre, Pont de la Concorde; Pont Royal and all the bridges connecting the island with the banks fit grace fully and harmoniously into the magnificent vista from Notre Dame to the Trocadéro. At Paris, as elsewhere in Europe, the accumulation of beautiful bridges has been accomplished through long selection. The beautiful bridge is a bridge well designed; a bridge well designed is, in general, durable. As the years go by, it becomes part of the life and affections of the people, a part of a city, a focus for civic development. It captivates the fancy of artists and poets, and so endears itself that it is permitted to survive with small change as the years pass.

Europe has many examples of the quaint and the beautiful in bridge architecture in so far as Europeans have been able to preserve the best of their ancient bridges. However, their more recent bridge architecture is not superior to that in America. This may be seen in the newer bridges over the Seine and the Marne. At Château-Thierry, for example, the modern bridge of reinforced concrete seems mediocre and harmonizes little with the ancient buildings along the river or with the moldering castle on the heights; one feels a little sympathy for this new material forced into such ancient and distinguished company.

America today is developing excellent standards in bridge architecture. In the past American engineers have been so busy building bridges that they have sometimes forgotten that beauty as well as usefulness is an important property. But where a bridge has been "right", of materials that obviously fit into the community and of design that is structurally correct, American bridges have a dignity not surpassed in Europe.

Europe has few bridges that could be called large; the bridge over the Elbe at Hamburg and the Forth Bridge are among the few that by their size alone would attract attention in the American technical press. To these may be added a few over the Rhine and perhaps over the Danube. But some of their larger bridges fascinate by their curiousness rather than by their beauty. Forth squats spraddle-legged in the Firth like an antediluvian dinosaur, magnificent in size, but not distinguished in proportions. America is the home of the great bridge.

Bridges present one face to river travelers, another to those journeying by land, and a third to those who loiter by the parapets to fish or rest or dream. Much fine art has gone into the study of approaches, of pier forms, of details of balustrade. Each bridge has its own environment; it may be merely an extension of the street and be dominated by neighboring buildings, as is the case of Ponte S. Trinita; or it may itself dominate the view as does Risorgimento.

Fine bridges have a personality of their own. The Lars Anderson bridge in Cambridge, Massachusetts, charms because of its companionship with the river; the bridges of Venice are part of that glorious ensemble of renaissance architecture; James B. Eads's bridge has grace and strength of line in keeping with the dignity of the Father of Waters; the Charles Bridge over the Moldau at Prague fascinates with its Jew's Cross and other fine statuary; some bridges play in the park, some majestically span great

rivers, but the bridges that impress themselves on the imagination always fit into their environment. Ponte Vecchio is charming over the Amo, Ponte di Rialto is part of the Grand Canal, but the Chicago River is another stream with another tempo.

Europe seems to have loved its rivers and its bridges more than Americans have loved theirs. The embankments of the Seine, of the Thames, of the Tiber, of the Alster Basin all reflect the fact that in Europe the riverbanks have been more fully developed to charm and rest those who pause to enjoy the hospitality of the bridges. Americans have appreciated the rivers in their own cities much less than they should have done and less perhaps than they will in the future. Boston has done marvelously with her Charles River Basin; Chicago is changing its river from a great sewer to a ribbon of restfulness; Pittsburgh is discovering the waterways whose junction made her a trading post; and Indianapolis has found that the White may be a thing of beauty as well as a flood maker.

Engineering then is not merely mathematical science. It must be approached with a sense of proportion and aesthetics. In so far as engineers deal with facts that can be measured they use mathematics to combine these facts and to deduce conclusions. But often the facts are not subject to exact measurement or else the combinations are of facts that are incommensurable. There is no special difficulty in comparing two distances, but many a car driver argues with his family over the relative importance of miles of driving and mountain scenery. The work of the engineer deals with human customs as well as material facts. Municipal engineering furnishes familiar examples — the relative importance of parks and parking space, of convenient neighborhood stores and zoned residential districts, of subways and sunlight. The importance of such problems emphasizes the need — the very practical need— of the engineer for a knowledge of history and literature, a key to how the mind has worked in the past or will act in a new environment.

An important duty of teachers is to force students repeatedly back into the field of reality and even more to teach them to force themselves back into reality. Some seniors forget that the laws of mechanics make them fall and bump their heads, that British thermal units scald their fingers, that energy may kill. In fact, there is scarcely any absurdity to which seniors will not agree if it is presented with enough Greek letters and integral signs. Some of them seem to have lost completely any will to check their conclusions with everyday reality.

Many teachers attempt to overcome this difficulty in the laboratory. But the laboratory model is not the same as the structure in the field and is often far from it. An engineer once described a certain test for materials as a test applied to a material in order to determine whether or not that material would pass that test. Often the sense of reality seems to decrease with the elaborateness of equipment and finally disappears completely from laboratory work.

The usefulness of technical devices should be measured largely by the degree to which they are based upon the world of reality and experience. Standardized tests, symbols, formulas and technical terms should not be permitted, as they often do, to supplant reality in college courses.

It is easy, as many engineers know, to go too far in the pursuit of this elusive reality in college; it is a common failing to assume that if students see enough bridges

and pictures of bridges they really do not need to know much about the analysis of them. "Practical" courses dealing with how-it-is-done, to the exclusion of why-it-is-done and of how it-might-be-done, are largely a waste of time.

What does happen in the structure is frequently not as important as what may happen. What may happen may never happen; probability is a concept, not a reality. This elusive illusion of reality, however, is not the difficulty that undergraduate students encounter. They have lost even the illusion of reality. If they are asked to draw a structure deflected under loads, they will draw a wiggly line which any bumpkin on a springboard should know is not even approximately correct. They compute a negative reaction on a cantilever beam without interest in the meaning of the negative sign. This seems to show that the schooling process has destroyed in students something of great value; certainly either the student or the course has lost something vital.

Good engineers have a vivid sense of reality. The judgment of the engineer who has it is worth much more than computations by men in whom it is feebly developed. There is no more important question for teachers of engineering to think about than how best to develop it.

Engineers should be persistent and also judicious in their wants. There is here a combination of two things, a nice adjustment of individualism with regimentation; the one permits the individual to express himself in his work, the other precludes extravagant and unprofitable experimentation. This is not meant as a discussion of the desirability of regimented humanity or of complete freedom for everyone at all times. All want more individualism in design and more standardization in detail, the two are not discordant and incompatible but are desirable and coordinate. There is also a persistent interest in use and convenience. Engineers are primarily conscious of and intimately concerned with the consequences, social and political, of the works that they have in hand. If there is any blame here it rests with promoters and financiers and not with engineers.

Another important element of intellectual training is coordination of analysis and synthesis. The present age almost certainly tends to carry analysis too far, and engineering schools in most cases have favored this tendency. The ultimate objective for engineering is planning and building. The function of analysis is incidental to this, but it serves as a guide to the ultimate carrying through of the plan.

Most important in this picture of design is the sense of scale. Some men never seem to get it—the ability to recognize quickly that certain phenomena, certain stresses are important and others not; the significant ability to put first things first; the ability to weigh the consequences of failure and adapt a factor of safety to the probability and to the consequences.

"Scholarship," "research," "productive investigation," are often the last refuge of academic charlatans. Scholarship for engineers means first, that they know accurately what they are talking about. This implies, as a fundamental, complete honesty, as well as high intelligence and a lot of lonely hard work. It implies, as corollaries, accuracy of quotation, accuracy and precision of documentation. Scholarship for real accomplishment and love of culture are high ideals, but it is ever true that men are broad and cultured because they are great and did not achieve greatness by pursuing culture.

Engineers are often so anxious to do that they are not very systematic in knowing. Their papers are too often poorly documented, their quotations are too often secondhand. Now perhaps engineers do not need to be good scholars, but they do need to pay more attention to some established rules of scholarship. These rules have been used more systematically in the fields that have a long bookish heritage than in engineering, where many of the important thoughts and facts never get into print at all. It may be very annoying to read that certain statements are supported by tests without any suggestion as to where the test records may be found; it is amusing to find an author relying on the authority of an author who quotes another; it is disgusting to find references to sources not available to the author or in a language that the author cannot read. These cases are violations of plain rules of intellectual honesty. However, some authors apparently do not recognize them as such. Intellectual honesty implies an intellectual tradition comparable with the material tradition back of material honesty.

Seniors should be made to realize that the university is a place to get into as much intellectual trouble as possible, a place to make mistakes, many mistakes, and to rectify them. They usually think they know what this means but actually they do not. It is not the quantity of their mistakes that should be improved — they make enough of them— rather it is the quality. They do not get into any new troubles; there is rarely the charm of individuality or originality in their errors because they lack the courage to try intellectual experiments. Juniors are taught to get one reaction of a beam on two supports by taking moments about one support. It never occurs to them to take moments about two other points to get the two reactions. That would be an experiment and if they tried it they would see why that is not done and would find out a trick in thinking that has wide applications in engineering.

Does the engineering curriculum train for leadership? This jargon of leadership is mostly nonsense. The university can take men of reasonable health, ambition, character and intellect, and put them in an environment in which they will learn something of leadership, of its realities and its failures. Clearly all men cannot lead. There is a great deal of misunderstanding of leadership, a cynic has defined an executive as one who assumes all prerogatives and avoids all responsibilities. Engineering training can provide two things that are somewhat difficult to get except in similar fields of thought: ability to observe and ability to interpret important phenomena of nature with some measure of accuracy. How hard does the wind blow? How much will it rain next year? What is the probability of flood? What is the force of storm waves? What is the strength of timber or stone or brick? The value of being able to observe and critically interpret is greatly enhanced if students learn to arrange their information in a usable way. They can be taught the difference between a fact and what someone claims or hopes is a fact. Much that must be taught to those who are trying to become engineers consists of definitions of terms, important principles in algebra and geometry, arrangement of computations and the language of drawing. Much of it consists of teaching the language. In addition they should be given certain information about materials and sometimes about methods of construction.

Engineering changes —the character of the literature, the problems, the types of structures and machines— and there is pressure to modify radically the training given

to engineers. This pressure is especially strong from three groups: the humanitarians, the research laboratories, and the graduate schools.

Engineering is an old art. It has always demanded ability to weigh evidence, to draw common-sense conclusions, to work out a simple and satisfactory synthesis and then see that the synthesis can be carried out. Because the art constantly adapts itself to the use and convenience of man and because there are changes in this use and convenience, the emphasis in the development of the art varies from generation to generation, from decade to decade. It forever adapts itself to change and yet the more it changes the more it remains forever the same and this must be true of the education of engineers. If the young men of America learn the importance of judicious wanting, are trained in digesting evidence and learn to study the customs and convenience of mankind, they will be able to adapt themselves to new problems and new materials.

Should students be trained to be conservative? Here they can learn that there are laws and forces that they cannot modify. Should they be taught that they can't get something for nothing? All engineering design emphasizes that, has always been based on that. Should they be given resistance to propaganda, to directed statistics?

Teachers are important, very important. They cannot completely ruin a good man nor can they make a barrel out of a bunghole, but they can accomplish much in either direction. Undoubtedly they can be invaluable in indicating those methods of thought and study that are commonly unprofitable or actually harmful. They can help the man to grasp the idea that engineering is not a branch of mathematics, though mathematics is useful to the engineer; they can discourage purely speculative studies that have no purpose, they can get men to realize that engineers ask "What of it?" as quickly as "What is it?"

Perhaps the most valuable training that the college can give is in the use of books. Few students know how to use them. Few can realize the hesitation with which a discriminating author selects his material or how reluctant he would feel to say that all this is to be swallowed and that's all there is to the subject. The information in books is secondhand to the student and secondhand information carries the same dangers of disease germs as secondhand clothes. The student must be made to proceed cautiously before accepting such an offering.

Critics of the education given to those who wish to become engineers are not helpful when they start with the thesis: "Sugar and spice and all things nice, that's what humanitarians are made of; rats and snails and puppy dogs'tails, that's what engineers are made of." Often their criticism is based on conclusions determined by misapplying methods of thought that they got from engineers. They condemn engineering education because of inconclusive miscellaneous information and "statistical data" that the engineer would at once reject because of loose definition, in accurate collection, confused classification.

Some today would prefer engineers trained as psychologists, sociologists, economists, politicians each exclusively and each under the guise of adapting engineers to the world in which they live. Others suggest that young engineers be made into research specialists, experimenters, physicists. Still others urge that they should be given character and common sense and conservatism. Some seem to mistake the teacher for the Almighty.

As a consequence, the curriculum of engineering is being pulled in different directions by followers of different philosophies. One group would emphasize research, another the creative elements, and others would include so much of the general knowledge of other disciplines as to leave little room for essential training. The demands are for general surveys of civilization, of the continuing elaboration of mathematical mechanics, of laboratory training in technique, of design, of details. This conflict of demands is wholesome; life, if full and dynamic, is like that. All these things or at least some of them should be and usually are—in the curriculum, but it does not at all follow that they should be there as separate courses.

Setting up new courses does not and never will meet old needs. Men can learn a good deal of sociology and economics and political economy in connection with a course in sanitation or highway engineering or in almost any other traditional course in engineering.

If somewhere engineering—including detailed design, analysis, synthesis—is taught, all these matters become involved; what is done in four or five or six years is important only as it trains for the remaining thirty or forty years of useful life. There is sometimes cause to fear that scientific technique, the proud servant of the engineering arts, is trying to swallow its master. In regard to the multiplication of courses in the curriculum, it has been said that some seem to overlook the invention of Gutenberg.

Men who guide the training of engineers should keep the long-range objective ever in view and remember that there are several stages in the growth of engineers if they are so fortunate as to complete their growth. They start, as Shakespeare suggested, in the nurse's arms—the protective arms of Alma Mater—with complete excremental analogy. After graduation they get jobs doing a fairly specific thing in a pretty definite way. During those first few months no one expects from them great constructive thought. They are asked to carry out a few fairly well-defined procedures. Before many years they pass into another stage in which they put together information from several sources, bring into their problem the human values that affect it. Later still they begin to create the problem themselves and so they grow, from young engineers to managers of industry or of great projects and are then perhaps not called engineers at all.

Probably few doubt the importance of proper training for men who will plan or be associated with the planning of engineering works in America. America is the land of great engineers. These men must know how to use science to further the welfare of men, though they need not necessarily be scientists in a narrow sense, nor academic specialists either in defining welfare or classifying men.

Their work is outside ivy-covered walls, where the world's work is ultimately done and where on a broad level it is best thought out.

Science and system, law and custom, men and manners. The universities will not correlate these, but the universities have a great obligation, a great opportunity to show students that later they themselves must try this correlation and that the sooner they start, the better. The engineering curriculum is full of science and system; more of it cloaked as sociology or statistics or formal mathematics does not help. Examples of constructions, machines and processes not well-adapted to people, of customs and usages that conflict with mechanical progress teach the man that unchanging nature must be directed for changing life. "The art of directing the great sources of power in

nature for the use and convenience of man" — art, not merely science; directing, not merely observing; convenience, as well as use; man imperfect and apparently not perfectible but very much alive. This definition is still good; it is really too bad that it is so often forgotten.

*"Listen with credulity to the whispers of fancy and pursue
with eagerness the phantom of hope. "*

MINARETS ABOVE THE IVY

GRADUATE STUDIES, DISSERTATIONS, RESEARCH

The engineering curriculum for undergraduates must be changed from time to time not so much to keep it up to date —up to what date ?— but to keep it alive, to keep it out of the museums. The more it changes the more it will remain the same, like the wind and the waves and the mud. In recent years the undergraduate curriculum in engineering has been subjected to an influence that scarcely existed thirty years ago, the graduate curriculum. Although some are still skeptical of its usefulness, it's here to stay. It can be a powerful stimulant to the vitality of the undergraduate curriculum but, like most stimulants, it is dangerous. Forty years ago the graduate curriculum was going to rescue the undergraduate curriculum from inanition in the field of liberal arts and many have seen it throttle the old girl while pretending to wake her from her sleep.

Graduate study is relatively new in engineering and for this reason the profession has a chance to save itself from some evils observed in older fields of study. Some successful engineering organizations consider a master's degree so important that it almost becomes a necessity for promotion; they even ask for men with doctor's degrees. More and more of the inquiries for teachers specify the master's degree. Much of the material in the transactions of various societies is a rearrangement of theses submitted for higher degrees. The productivity of the large graduate schools is enormous in volume. Very little of it is worth publication, but this does not mean at all that it did not serve its purpose.

It is not fair to feed students entirely on secondhand information. College instructors should be able sometimes to tell their students that such and such is true

because they saw it in their own laboratory. Students must be brought close to the original source of knowledge. It is staggering at times to realize that some men have much schooling with out ever knowing that there is such a thing as an original source of knowledge. Students should be taught not to jump at conclusions because someone wishes them to do so, not to accept too naively all the test data presented, not to try blindly to do what cannot be done. Sometimes this can be accomplished by having them review articles by great authorities that happen to contain flaws easily identified—the bigger the authority the better the lesson. American colleges carry a moral responsibility not to live on begged or borrowed brainwork, but to pay their way in the intellectual world in any field of learning that they sponsor. They cannot each live exclusively on the intellectual product of another institution. At the same time great universities owe it to the country to contribute collectively, through their research, an accumulation of knowledge in order that the present may pay its obligation to the past. This is an ambitious program, but it has been done before and it can be done again.

Graduate study in engineering should be a part of the general process of education, the purpose of which is to prepare a whole man to live a full life in a whole world. This statement is too general to be very useful in formulating curricula or setting standards for degrees, but it is important not to forget the ideal. There is an important difference between undergraduate and graduate students. The difference is not in their over-all objectives, but rather in the fact that undergraduates must be led while graduate students should begin to lead, so to speak, should be encouraged to develop personal responsibility. At times study on the graduate level should proceed much less rapidly than on the undergraduate level because time must be taken to examine critically all assumptions; at other times it should proceed much more rapidly because the undergraduate studies already completed have got some details out of the way.

In undergraduate work there is time to give individual training only superficially, if at all; in graduate work students are put more and more on their own responsibility until finally they have some idea of what is meant by accuracy of statement and have learned some discriminating humility. Too much emphasis on ignorance produces men who can argue all sides of questions and yet not settle anything even tentatively; too great elaboration of knowledge produces a dangerously erudite and clumsy pedant. These extremes can be—must be—reconciled.

It has been said that "In research, there are no standards." This comes near the truth in graduate study; but here again "All generalizations are false." The general objectives of graduate study are to indicate the broad scope of practical knowledge, to teach the importance of accuracy and precision in securing evidence, to give practice in presenting conclusions, to develop intellectual imagination, courage and honesty. To do this requires a well-balanced curriculum and a faculty presenting some diversity of personality, experience and outlook. In graduate training, as in a well chosen library, "much should be tasted, a part may be swallowed, some must be thoroughly chewed and digested."

Graduate study in engineering may be considered from the points of view of the general public, of the institution concerned and its faculty and of the individual student. These are intimately related and probably no one of them is considered

exclusively by any American faculty; from any of these points of view it is in the end the trained student that is valuable to the world.

Certainly graduate study in all fields should be sanely directed for the interest of the community; how large is this community—state, national, international—depends upon the institution and the nature of the study.

For the institution, graduate work performs several related functions. It forces the faculty to re-examine critically the fundamentals of knowledge, since no honest graduate teacher can sleep long. Professors of engineering are obliged to keep themselves informed on the progress of research in their field and should be constantly doing some sort of original investigation experimental, analytical or interpretative—if they are to do good teaching. But the teacher must use discrimination in presenting the results of these researches to the students; the university must be a filter, not a spout, lest it drown instead of educate.

Graduate study also furnishes a relatively uninhibited field for experiment in education where methods of thought and instruction may be worked out for use in undergraduate courses; it raises the general level of thought in the academic life of the university. The investigations may and sometimes do enhance the reputation of the institution in the scholarly and professional world, though this aspect of graduate study is much overstressed; it is generally the by-products of training or improvement of technique that are valuable.

Graduate study in engineering should be based on the theory that a man is best trained who is best able to combine an intimate and critical ability in one of the many aspects of the field with a full appreciation of how broad that field is.

It is perfectly true that men cannot know a little about many things until they know much about some one field. Thus, one of the values of graduate study is that students look rather deeply into a subject in which they are interested instead of spreading their energies superficially over many fields, as some unfortunately wish to do. The value lies in this, that if the students are really of graduate caliber? really capable of thinking out new problems in new ways, by looking deeply into the methods of thinking in one phase of engineering, they have looked deeply into many phases of engineering. For instance, structural engineering may be chosen as the field of concentration. In this field, the data—from analysis, from the laboratories, from the literature of experience have been quite accurately classified. Here a careful study can be made of methods of collecting and weighing evidence, of interpreting the evidence and of correlating the technical evidence with the data of legal, economic, governmental and sociological usage.

Obviously, this does not by any means suggest that engineering is restricted to the field of structural works, but it does mean that methods of correlation and synthesis studied in one field may be readily extended to other fields.

To avoid narrow specialization, a general course in planning may be closely correlated with the work in structural engineering and in mechanics. This course should cover planning for the use of land in cities or in highway and rail way systems and the terminals of marine, motor, railway or air transportation and designs for the use and control of water for water supply and sewage disposal, for flood protection and the control of rivers, for the development of hydraulic power.

Courses dealing with structural design are usually concerned chiefly with collecting, correlating and interpreting data; to use these data constructively involves much imagination. Such imagination may be developed by planning projects in engineering involving the layout of cities and of their sanitary, transportation, industrial and power facilities. Such studies should consider the regions in which cities lie so that the natural assets of states, littorals, districts and of the nation may be fully and effectively brought to the advantage of the people. Structures, in the broadest use of the term, are one of the most important factors in the development of such facilities.

Training in laboratory technique and in the interpretation of data from laboratories is essential for judging the value of evidence to be used in deciding engineering problems. Such training may be secured in studying the common but variable material, earth. A course in foundation engineering may be highly successful for general engineering education.

A course in research methods may offer wide opportunities for specialization to those who wish to follow individual interests. It is a common fault of schools that they concern themselves too much with unusual erudite problems; they insist on experiments with a capital E to the neglect of experience with a little e, they pursue research with a large R to the exclusion of thinking with a little t. Charles F. Kettering, one of the greatest of industrial research men, is quoted: "All the money in the world and all the people in the world can't solve a problem unless someone knows how. Problems are solved in some fellow's head. They are not solved in a laboratory at all. It does take an awful lot of effort to get a perfectly obvious thing organized in a man's head." And again, "The only reason you try an experiment is to cultivate your own thinking. You say an experiment failed. That is just your alibi. It was your thinking that failed."

But this does not affect the fact that beginners would do well not to think of themselves as specialists. In doing so they handicap themselves at the beginning of the race. Specialists suffer a good many handicaps. If they will look beyond their specialty, they will find many new ideas or improved points of view developing in other fields, and if they have imagination, they will see that with proper modification these ideas have much value in their own field.

But engineering deals with nature —not with its description but with its control. Nature does not conveniently split up into little pockets so that a man can say, "I am going for a walk and I shall walk on rock but not on clay or concrete or roads or bridges." The problems of railway roadbeds are not entirely unlike problems of building foundations; engineers must note the similarities without neglecting the important differences.

Graduate students are often quite vague about possibilities, objectives and methods in thesis writing. A thesis —some catalogues offensively call the doctor's thesis a "dissertation"— does not, or at least should not, differ from documents written every day by well-trained men dealing with practical affairs. To prepare these the students must be able to state the problem that they propose to study, to assemble good pertinent evidence; interpret, present and sum up this evidence. Students should be given the opportunity to proceed toward these ends largely on their own initiative and responsibility.

A good deal of time should be spent in exploring the field of investigation, finding out what has been done, what should be done, what can be done. This time is by no means wasted, for upon its judicious use is likely to depend the later development of the topic, but it is not immediately productive. Collection of data in laboratory, library or study is the next step. This is often the easiest part of the work, for if the students know what they want and where it is, it is usually not difficult to go and get it. The great difficulty, of course, is to know what to want. In spite of a popular aphorism, properly asking questions is usually more difficult than correctly answering them.

It seems so simple but is really difficult to state a question in engineering in such form that it is possible to investigate it. One of the most difficult things to teach graduate students is the great value of men who ask significant questions in such form that they can be investigated by available techniques. The list of titles of graduate theses is pretty drab to an experienced man; this is probably unavoidable, for beginners must learn to toddle before they stride. Nevertheless, graduate students should learn that the conventional question is often not the important question at all.

To collect the evidence involves knowledge of the literature of the field and of methods that might furnish data; analysis and synthesis, mathematics, experiment, observation, common sense are all important, and data may either be original or from records. Relative importance and dependability of sources vary with the fields of study and the nature of the problem. To appraise the evidence intelligently involves knowledge of the dependability of the sources and requires much independence and courage in forming judgments; it requires a scholarly accuracy that comes only from arduous training.

First work with graduate students should be to try to get them to develop honesty. This doesn't come naturally; it takes lots of work and training. New men will state quite definitely some technical generalization. If they are asked how they know that, they'll reply that all the books say so; all right, then, if they are depending on the books, they'd better say so. Later they will report that certain researches showed this. Much later they are prepared to say that they looked up reports of the tests, that the author claims that the generalization seems to be safe—not necessarily exact—and that his data seem to bear out the conclusion. Of course life's too short to do this sort of thing with every detail of the day. But in a specialty, where others are depending on accuracy, it becomes a duty. Many men not only do not try to do it, but do not know that it is possible or desirable to do it.

To arrange and digest evidence demands practice, assisted by study of good reports as models. The manner of arrangement depends on the scale of training and of ability, for almost anyone can collect some data but it requires skill to put them in proper or usable order. Moreover, some of these data should certainly be discarded or discounted or given relatively less importance. One of the most useful tools available to research men is a wastebasket. Unfortunately, too few have the courage to say frankly that something they dug up with much patience and effort has turned out on careful study to be either not very dependable or not very valuable or is irrelevant to the immediate purpose.

The data, after being collected and classified, must be presented. This is not so simple as it seems to the beginner. Presentation of the evidence requires a mastery of technique and of good manners and good taste in presentation. Engineers use four methods to present evidence: graphical —drawings, pictures, sketches; statistical —charts, tables, pictorial charts; symbolic —mathematics in the broader sense of the term; verbal. In using these they must exercise good sense. Drawings or charts that are not readily comprehended show incompetence; bad spelling or diction or punctuation, labored style, lack of unity or coherence or emphasis are serious defects; documentation and general editing should be uniform and adhere to some reasonable standard; brevity is always desirable.

In technical writing every word has a rather definite meaning, and even if the words are used with these meanings it is commonly a problem to make the idea clear to the reader. Sentences should have both subjects and predicates, the sources of information should be clearly indicated and in general the rules of good style, so far as they are a matter of rules, should be observed. In any case the purpose is to present the evidence, the data, the "facts" clearly, briefly and simply. Needless technical terms usually confuse and seldom impress; it is much better to write in a natural and unaffected way. Many students seem to think that some stilted form of words is essential to scholarship, that affectation will cover inaccuracy or that elaborated formalism is a valuable substitute for graceful simplicity. Some might even think that the introduction to a thesis on suspension bridges would be filled if it began: "When our simian ancestors first descended from their arboreal haunts, the pendant draperies of the luscious vine, so familiar to their parents, offered a mode of transportation over otherwise impassable intervals."

Most students think that the difficulty is to collect the evidence; interpretation and presentation are too often left, in spite of all hopes and prayers of advisers, as an easy week-end chore. To interpret involves much use of the imagination, a well-developed sense of proportion as to the relative importance of the sources, knowledge of the logic of the field of study and of the general fields of science pure and applied; it also requires fast and prayer.

Interpretation of the evidence is always difficult. Correct and gifted interpretation represents the highest attainment of the scholar. No one can avoid all blunders; but even a beginner should be able to avoid some. A frequent error is the attempt to draw too many conclusions. Often the data are inadequate to draw any conclusion; to show this clearly may be a valuable contribution to learning, much more so than to seduce the reader into some conclusion not warranted. Not enough use is made of the simple statement, "I don't know."

Clearly the summing up is important; students will learn more and more during the next forty years how difficult it is. A brief and clear summary may be the crowning glory of a good engineering report and a good summary is very hard to write.

The main purpose of the thesis is the training that students get from this work —collecting data, either their own or that published by others, evaluating these data and arranging them, weighing the evidence and indicating the probability and importance of the conclusions, and presenting all this in a way convenient and useful to the reader.

Now this is the essence of all engineering reports, it is a professional attainment of great importance to anyone who is to be valuable as a leader either in engineering or in the many fields, often not designated as engineering, into which engineering may lead.

There is much talk of "research", of "original contribution" and of the "progress of science." That is excellent, provided these terms are sanely interpreted. It is perfectly true that a compilation made without judgment or discrimination should not be presented as a graduate thesis. On the other hand, truly original contributions in any field are rare in any generation if by that is meant that the originality presents a quite new way of thinking about the world and its affairs. There is little originality in the solution of a problem of stress analysis the equations for which have not previously been written in the special form used, but which result from manipulation of Lagrange's equations by methods pretty well standardized. At the same time this may be a very good and even a valuable piece of work and, if properly presented, may constitute a very acceptable thesis.

Theses may be experimental or analytical, using the latter term as the equivalent of "mathematical"; they may be bibliographical —some rarely valuable work has been done by listing, rating and judiciously classifying existing knowledge. They may be what is best called "synthetic", in that they collect conflicting data from many sources and try to "weigh the evidence" and present the basis on which it is weighed. Or a thesis may be a design; if so the evidence bearing on the strength or other physical characteristics of the proposed structure must be weighed, and this evidence correlated with the intangibles —"usefulness," "convenience", "social value"— to give a worthwhile synthesis.

Students rarely weigh properly the relative difficulties of these types of work. A paper that discusses a "broad" topic may seem easy to write but only a master can present a paper of true value on such a topic. The mathematical thesis in structural engineering seems to many the highest attainment of scholarly effort. However, it is common because it can be satisfactorily produced with such training as can be given the inexperienced student in a classroom. The same is true of much experimental work.

What all this comes to is that choosing a subject and writing a thesis are pretty much a matter of common sense. Students should do a useful piece of work on some subject that interests them and show that they can use the tools that have been presented to them for such work. They should get some fun out of it, and so should the men who direct the work. Unless the work develops in an unusual way and really opens up a very specialized life interest, the thesis is something to be written as a part of a man's training and then forgotten. Too many men try to go on with them in later years when there are other things calling for their attention; too many of them are published in spite of wastebaskets.

The time involved in various phases of the work is important. Perhaps a general estimate might divide the time nearly equally between definition of the question or purpose of the thesis, collection of the data, study of the data and writing the thesis. Unfortunately many students get their schedule badly off balance, especially by underestimating the time needed for the writing. A good plan is often to try, if possible, to carry on the different operations simultaneously.

A difficult problem is the distinction that must be made between theses for the master's and for the doctor's degree. Most graduate students in engineering are candidates for the master's degree. An increasingly large number, however, want the doctor's degree; whether this is good has nothing to do with the facts. If the trend is to continue and it probably will—a new philosophy for this type of training should be evolved. Many of the candidates for the doctorate have planned to go right into teaching. This is almost certainly bad, for one who is to become a teacher of engineering should be trained primarily to be an engineer, and association with the profession outside of the ivory towers of learning is absolutely essential.

Candidates for the doctorate should come up with some such attitude as this: "I am interested in this field of study and I am pretty sure that I can contribute to it something useful enough to justify the special time and attention that my training will require." A candidate must not be urged or even encouraged, in general, to undertake the doctorate. The profession does not want or need many doctors. Their training, if at all well done, requires individual attention and is necessarily expensive. Candidates must satisfy the committee that they are interested and can contribute.

Men studying for the doctorate gain valuable experience through two oral examinations; and at the same time these interviews serve a useful purpose for the examining committee. Both examinations for the doctorate impose a severe burden on the self-confidence of the candidates. Of the two, the preliminary should be the more inquisitorial. If candidates cannot clearly explain and defend their thesis in the final examination, they are not authorities nor are they likely ever to become authorities on any subject; the familiarity of the candidate with his subject in this examination should make him master of the situation.

If the preliminary examination tests the information acquired by the candidates in individual courses, it is a waste of time; knowledge of individual courses should have been tested in the courses themselves. This examination should be a test of the quality of the mind, of each man's method of thought in the field studied, of the genuineness of his interest in this field of study rather than in a curriculum and in a degree.

The proper conduct and therefore the usefulness of both examinations presupposes a competent, honest and courageous examining committee. Members of an examining committee are not very useful unless they are able to judge whether the candidate can think clearly. Members must be really trying to get at the facts, not merely seeking to justify a predetermined conclusion. To decline to pass a candidate is one of the most unpleasant duties that they may have to perform; they are, however, employed to form and state an honest judgment.

Some candidates become confused more readily than others. Then that's that; these men are to become authorities. The committee should be human, and most of them personally know the candidate. They should and usually can get below the superficial evidence and find out how much of the confusion is nervousness and how much is fundamental uncertainty.

There is to the candidates themselves a great deal of value in these examinations. They know that they cannot pass a course and then forget all about it.

They must organize and digest their knowledge; they must correlate the test data from one source with the analytical theory of another. They are to be examined not on courses but on a field, and if there are gaps between courses they must have filled these by reading or by conference.

There is as yet a good deal of prestige attached to the doctorate. There is no more important academic responsibility than passing upon candidates; ambition to increase numbers of graduates or to be kind to aspiring young men must not blind committee members to that responsibility or tempt them to put the stamp of distinction on mediocrity.

*"All the days of the earth, seedtime and harvest, cold
and heat, summer and winter, night and day,
shall not cease. "*

FOR MAN'S USE OF GOD'S GIFTS

CONCEPTS OF ENGINEERING ART

The constant and insistent need that engineers feel for any scrap of fact from which they may predict natural phenomena tends to develop a hunger for anything that even resembles a fact. This in turn may lead to a wolfish and gluttonous attitude, a gobbling up of every statement or opinion, figure or formula, indiscriminately and incessantly. The result is often intellectual autointoxication from "hunks and gobs" of unselected, undigested and indigestible material.

Rather engineers need to select their mental diet carefully and when they go a-fishing after facts they want a fish fry and not a chowder. Their fishing trips are often long and arduous and it is important that they take along only the simplest and most useful equipment; complicated toys, however beautiful, are to be avoided on these mental journeys. Definitions of terms are like the names of towns along the way, mathematical relations make a sturdy canoe to bear them and desire for engineering facts drives them on. At last they find their country, a land of lakes and rivers teeming with fish —facts of nature borne on by the unceasing current of natural phenomena, all sorts of facts, some useful and some useless to them. And they spread their nets and catch these fish and select what they want and use them. And later they often tell about it after the manner of all fishermen.

The net that catches mental fish is made of questions bearing on the subject studied. Hence, men trained in collecting information begin first by collecting questions rather than by collecting data. Indeed men's knowledge of a subject can be measured

better by the questions that they ask than by the answers that they give; there is no surer mark of ignorance than the assurance of complete knowledge. When a subject is first studied, there are few questions; the mesh of the net is large and important facts slip through unnoticed. But if the student is awake each new fact adds new questions and, as the data are reviewed, new facts are perceived and held fast in the mesh. At first the net is not very well made and at this stage it is not always best to get a great many facts, for the net cannot hold a large number of fish even if it catches them. But if the threads are made stronger, if the questions become more clear and definite as the study proceeds, the net will eventually hang each little fact by its gills. Then all the trout or perch or catfish can be strung on separate strings and eventually put in the frying pan of design. If the net is not allowed to rot but is turned over in the sun occasionally, it's all ready for another fish fry some other day.

Of course, there are other ways to have fish fries. One way is to dynamite a pond; that's "messy" and ruins the technique of the fisherman. Or several barrels of assorted fish can be bought and the fishermen can see how they like them. The trouble with this procedure is that the facts may be spoiled if got from an undependable person. Or you can go to a restaurant; but this is a discussion of how to be an engineer, not how to use handbooks.

To drop this metaphor, these last three ways of having a fish fry correspond in reverse order to three definite human tendencies of our minds, all based on the same motive. They may lead—and often do—to mental ailments, the pathologies of which are distinctive and important. Most people will go to any amount of trouble, effort and inconvenience to avoid the supreme agony of concentrated thought; and yet they know that no trouble or effort or inconvenience can avoid the final need of it. And so from fear of mental exercise they become exposed to the maladies of formularitis, translaititis and experimentalitis.

Formularitis appears at every age, in every clime, in every field of thought. It attempts to reduce cases to formulas, causing those who suffer from formularitis to congratulate themselves that they are all through with that group of cases and do not have to worry about them any more. Everyone tries to get some general rules to go by and so avoid the need of thinking things out from the beginning each time. It is popular to have a formula telling what to do, when to do it and how.

This is not a special failing of engineers; it is a common human trait, today, yesterday, ever. By the use of formulas people expect to get the maximum results with the minimum of time, effort and, especially, of responsibility. If the formula is wrong, that's not their fault; if they misunderstand it, that's because it isn't clear anyway.

And as this is argued, devils gibber and angels weep. In real life the formulas do not work very well. There are lots of such rules in the wise saws of the people, in the epigrams dear to poor Richard, in the advice to Laertes of that dear old bore Polonius; the early twentieth century was plagued with them.

The formulas are applicable when they apply and are useful when they work; that's all. An engineer claims that he was promoted for telling the chief engineer that he (the chief) didn't know what he was doing, and another man claims that he established a

record in his office by admitting that he (the man) didn't know what he was doing; neither method is recommended as a general formula.

In fact there is no general formula for success because you are you and the other fellow is an entirely different animal. What is success for one man is a rather trivial accomplishment for another. What seems success at six is not attainment at sixty; men of forty do not all wish they had been firemen, or policemen, even though many still cherish an occasional secret ambition to chuck their professions and be Daniel Boone.

If people know just what they want, they can probably get it. But they'll have to pay for it. They may have to sacrifice peace or comfort or happiness or honor or friends or liberty. The trouble is that most people don't want to pay the price; they want to have their cake and eat it too. They think the fellow next door had his cake and ate it. It can't be done; they must always pay. Formularitis, though extremely common and sometimes epidemic, is rarely incurable in engineers; vigorous mental exercises in the fresh air of natural phenomena is recommended.

Translatitis is imported. It consists in exaggerating the value, importance and credibility of facts because they came from a considerable distance and were translated into English with some effort. Of course, it is true that facts bearing on any work should be at hand from the laboratories and literatures of all countries; it is not always possible, but it is desirable. However, quite unconsciously as a rule, many tend to measure the value of information by the distance from which it came and the effort devoted to its translation, as if engineering bore any similarity to postage stamps or tropical orchids. A leading engineer once tried to find the basis for an important rule which was at variance with usual practice. He was able only to learn that one member of the committee which formulated it had seen a statement in a certain foreign book that tests supported that rule, but the committee could not find the tests.

Perhaps the case just cited was complicated by experimentalitis. Experiments are very helpful, but a few or even many experiments may tell little. There is no field of study that requires more careful training or a keener intellect than the devising and interpreting of experiments. The shortest road to a fish fry of engineering facts is not promiscuous, indiscriminate experimentation—a process of dynamiting the pond of knowledge. Many tests give few facts and unless well devised they give none that anyone can be sure of. It is not good to eat fish all messed up with mud and driftwood. Except for the work of a few men of peculiar genius in the interpretation of test data, the least valuable part of any report of tests is the conclusions. To use those data safely, each man should draw his own conclusions. A more general tendency to do so would discourage the amateurish idea that this is an easy way to acquire knowledge and would further discourage the very objectionable custom of merely stating that tests indicate thus-and-so without explaining how the tests were made or how they showed what they are supposed to have shown. Students are prone to refer to tests when they can neither describe them nor even imagine tests to prove the alleged fact. What they generally mean is that they have seen or heard it stated that tests prove it and that they know nothing else about the matter.

Engineers get their information from several distinct sources: from their own experience in observing the action of natural forces or human customs and from records of observations by others; from mathematical analysis or models corresponding to such analyses; from experiments on the properties of materials or on structures or machines; from hunches and common sense; from weighing, interpreting, correlating and using such information. Experience is a guide which may be miscellaneous, fragmentary, unsatisfactory, often secondhand, frequently inaccurate, but no engineer will discount its tremendous importance as evidence.

All nature is trying to tell something of how its forces act. The best information, the most valuable material, comes directly from nature. Men may try to duplicate her phenomena in a laboratory but we never exactly reproduce the true natural problem, never fully ferret out her secrets. The greatest engineers are undoubtedly those who best learn to speak the language of nature.

Mathematical analysis in every field is dependent on assumptions. The structural engineer must accept certain conditions concerning elastic or plastic action. He must consider what goes on at working loads and also what conditions exist prior to failure. Engineers should put down some figures here, perhaps write some equations, but always remember that they are getting only some of the evidence in the case. This procedure may be frankly approximate and descriptive, as it usually is, or it may seek greater precision by the use of advanced mathematics.

The statistical method is recognized by scientists and engineers as a tool which may be dangerous if used carelessly. Unfortunately its dangers are often forgotten and its misuse has led to many errors. Those who have gone astray, however, have done so not by drifting into Mark Twain's group of climatic liars, but by failing to remember how pointedly true in engineering is Josh Billings's advice that "It's better not to know so much than to know so many things that ain't so."

There is an unfortunate tendency to burden engineers, through books, with endless techniques and procedures of mathematical analysis. Few students know that at best books can furnish only a perishable net of large mesh through which they may begin to strain their information and that every fiber of that net must be rewoven from man's own thinking and that many new strands must be added if it is to be permanent and reliable in holding the selected data of years of engineering practice. Books present the sets of tools; it is the task of the analytical engineer to select those tools which can be used most advantageously.

Of course, there can be no discrepancy between correct theory and good practice. However, theories are not entirely correct, because they are based on assumptions which limit their application; and a theory which will not work is a wrong theory. Yet all engineering is dependent on theory, for it is only by theory that the profession can correlate experience or interpret experiments; burning down a house to roast a pig is too expensive. All theory is limited in application, but it cannot be dispensed with by the relation of cause and effect, by experience or experiment, by neglecting it or even by common sense. Common sense is only the application of theories which have grown and been formulated unconsciously as a result of experience. But those who assume that the first thing to be done with an engineering problem is to begin industriously

computing areas, moments and stresses will appear as absurd as did the little jurors in Alice in Wonderland who began busily to add up all the dates in the evidence and reduce the sum to pounds, shillings and pence.

Laboratory experiments may give valuable evidence. Engineers cannot take structures into the laboratories, but they can get evidence in laboratories with regard to the action of the structures. The multiplicity of factors involved is a source of great difficulty; many specimens of many types must be made and tested in many ways. The genius of experimentation must devise experiments that do not involve, in their interpretation, a theory more doubtful than that which the experiment was intended to investigate. There is a bad tendency in this field of study to drift into statements such as "Tests show that this is true." The more cautious engineers state and mean that these tests show that sometimes this is true, or even more cautiously that the results of these tests are not opposed to this conclusion. Exactly the same thing may be said of analytical procedures or of the experiments now popular with models. Engineers know that analyses, whether mathematical or by models, experiments and experience are all merely evidence bearing upon their problem, to be judiciously weighed in drawing conclusions.

All these sources of evidence provide needed information. The ability to correlate this knowledge and season it with dependable common sense is the rarest, the most valuable and the most difficult skill for an engineer to acquire. Sense of proportion, judgment of relative value can not be learned from books, though books may guide in its attainment; teachers cannot guarantee it, though they may hasten its development; it will not automatically come with any length or variety of schooling or experience. Men must give it to themselves and if they do acquire it, it will bear the mark of their own individuality.

The idea that common sense is a gift of the gods is overdone. Some men will never have common sense in engineering problems; but it can be developed to some extent by those who work hard and hopefully and then repeatedly look over the whole field in which they have worked. They must try to see the hills and valleys, try to appreciate what parts are important and what parts are less important, try to be synthetic as well as analytic, to give due attention to probability, to develop some sense of relative importance. To these men will come in time what seems an intuitive faculty of getting the answer. Common sense provides a rapid qualitative approach to problems. In the hands of many it is a powerful source of evidence. It is true that many think they have it who lack it. The fact that it is dangerous does not make it either necessary or desirable to abandon it or to neglect it.

In studying an unfamiliar structural type, engineers may find all stresses under all loading conditions. Then they need a knowledge of the properties of the materials in the structure and no one may be quite prepared to say what these properties are. It is never conclusive and rarely easy to tell a manufacturer of steel or of aluminum what properties structural engineers require in their metal. They will not find all the properties of the material because they must define before they find and imagine before they define, which presupposes that rare animal—a good imaginer. And after finding these stresses and these properties, the engineer must study seriously the probable type of failure and combination of loads causing it.

Much of the best work of engineers is the result of hunches, vague analogies to other cases with which they have worked. It is undoubtedly true that good results come from hard work, but it is also strangely true that they often come from hard work done at some other time on some other problem. Hard work has a surprising way of paying unexpected dividends through later inspirations. However, one must clearly realize that hunches, because they are vague and formless and unreasoned, are dangerous. An analogy is not a reason —comparison n'est pas de raison— nor does similarity constitute identity. The idea suggested may prove true, or it may be nonsense; and yet the persistent hunch of a trained thinker should not be treated lightly. One does in time develop what has been called, with needless erudition, a "power of unconscious ratiocination."

So there is evidence from several sources. Rarely does this evidence all completely agree. None of the sources is in itself more dependable, more scientific, more satisfactory than any other one. All have at times given tremendous aid; all have at times grossly misled. It is necessary to do here what humanity has always done in its practical relations. The evidence must be assembled and importance given to the part that judgment indicates is most dependable.

Thoughtful engineers weigh the findings presented to them through all or any one of these sources with a full appreciation of the effect their personal prejudices might have on conclusions drawn from the evidence. Any man over forty has acquired so large a junk pile of prejudices, preconceptions, biases, convictions, notions, loves and hates that it is very hard for him to tell why he thinks what he thinks. It's tremendously hard at any age to be honest; it's hard for men when they are young because, though they have few prejudices, they also have few data, and it's harder later because they then have acquired bias as fast as or faster than they have gotten facts.

Ideas which men think they have created and of which they are so proud, on art or on science or with regard to literary forms or styles, are often merely depraved and impoverished hangovers —hand-me-downs— from worked over Grecian notions in the European renaissance or from Francis Bacon and the Cartesian revolution or from Scott and the romanticists or Addison or Smollett.

In Europe the river problem has been largely that of navigation, not of floods, so their literature has been influenced, at first avowedly and later unconsciously, by a desire to make the streams floatable. The Mississippi River Commission at first had to justify its existence as a Federal body on the grounds that it sought to improve the waterway to the Gulf.

It is not that writers and investigators of flood control have been morally dishonest but that they have often been intellectually disingenuous, borrowing from this school of thought or that group of interests, ideas and theories to the support of which they molded their facts. This is so common a practice that it often may be expected and when a man has expressed one opinion some people jump to the conclusion that they can predict all his opinions —and sometimes they can.

There is, of course, a certain advantage in being prejudiced. It gives men something to start from on the voyage or something to tie to if a storm comes and they

want to stay in port. Some people are so devoted to the ideal of forming unprejudiced opinions that, when they start to study a subject, they carefully avoid reading anything in that field or discussing the subject with others. The result is that their conclusions may be just as much prejudiced, but the prejudices are all their own. However, what may be lauded as an unprejudiced frame of mind, breadth of view, intellectual liberalism, is often the most arrant twaddle anemic intellectual sponginess.

On the other hand, while freedom from prejudice and preconception are practically impossible, it is very important to recognize and identify one's own personal prejudices, especially in engineering work. Engineers deal invariably with both human ways and natural forces; their work is both a product of and a foundation for the civilization and culture of the race. But civilization and culture are not built in a day. Some conclusions and opinions in engineering have been inherited from a professor who studied under some other professor who got his ideas from a German scholar—and so the house that Jack built. On the other hand there was a distinguished engineer who designed an approach up a steep hill in an Eastern city—a technically excellent solution of a difficult problem—in such a way that it marred the view of an old and loved church of which the whole town was proud—a conspicuous neglect of prejudice.

All engineers have passed through recurrent periods of conflict between what may be called the "practical" and the "theoretical" approaches to engineering problems. Some who think themselves practical show little sympathy for analytical investigations. Their attitude is that they know by divine intuition and experience how to do their job and they do not consider that many details of this job are subject to a completely rational analysis. As opposed to these are those popularly conceived to be typical college professors, who think it possible to rationalize every procedure and to reduce it to rigid rules.

It may be agreed that in the field of structural engineering—perhaps some will even agree in the field of government—there is no need to adopt exclusively either the point of view of rugged individualism or that of planned economy. A judicious combination of the two is necessary. The individualist is, however, both by temperament and training, somewhat unfitted for planning, and the theorist is quite commonly unfitted for bold and imaginative excursions into new types of construction.

Many articles purporting to be new appear in the field of analysis. Sometimes such articles are useful; often they are harmful. Very much needed are methods of thinking in the analytical field that utilize the language and preserve the concepts familiar to constructors and men who have a natural and intuitive gift for imagining structural action. The burden here seems to lie on the theorists rather than on the practical men; they must meet the practical men more than halfway. In the field of civil engineering the designers and builders are the men on the firing line.

Analytical procedures in mechanics should be so simple and flexible that they may give quickly either a quantitative or a qualitative method of thinking. They should draw a picture of a structure in action. Great builders for thousands of years have necessarily formed in their minds some such pictures. The probability is that if someone

tried to explain some of the "new" modern concepts to Michelangelo or to Peter of Colechurch or Galileo they would easily grasp the procedure. As a matter of fact, it would not be surprising if they replied that they knew the method all along.

For formal analysis, methods may be used that are not primarily methods of thinking at all. These are often very formalistic, like a sausage grinder. If certain numerical data are fed into one end of the analysis and a crank is turned, a lot of little sausages—moments, reactions, stresses, movements—come inevitably out of the other end of the machine. It works quite smoothly; in fact it works with deceiving smoothness. Because the sausages seem uniform and regular, it is often assumed that the meat cannot be spoiled.

"Alike fantastic."

NEW LAMPS FOR OLD

NOVELTY OR LIGHT

Engineering has passed from the rugged individualism of, say, 1850 through a fairly judicious combination of rugged individualism and planning of perhaps 1900 into an era in which much emphasis is put on analysis. There are three quite distinct approaches to problems in engineering —analytical, experimental, synthetic. None of these can progress independent of the others and none of them should become subservient to the others. Engineers may become entirely too practical for the good of the profession; analysts may become too theoretical, too abstruse. It is even more dangerous if the analysts become too practical and the engineers too theoretical.

Consideration of prejudices is neither more nor less important than dependability of facts. Truth does not always come labeled as such and quite frequently some so-called scientific facts —all dressed up in dress suits and top hats— are not genuine. Fallacies —illusions of great truths or seductive novelties— may be compared to leading ladies and chorus girls. Engineers must remember that it may be all right to flirt with the chorus ponies provided you don't marry them. Some may be very nice girls and some grow up to be fat and sensible, but the main thing is not to marry them or at any rate not to marry too many of them or, anyway, not to marry too many of them too hastily. In other words, careers must not be irrevocably tied up, early or late, with new and pretty but untried theories, however interesting. It is the young men who must maintain extreme caution since most older engineers are too intellectually bald to start more flirtations.

In the engineer's world, the world of practical affairs, life is very real and very earnest and the goal is clearly defined. The function of engineering is to produce human wealth, which really means human comfort.

But to identify the facts, truths, laws which must precede this production of wealth is difficult and often disappointing. Much distraction comes from fallacious theories advertised by this school of thought or that group of thinkers.

Few systems of thought are free from fallacies, but theories based on fallacies are not necessarily wrong. In 1890 we knew that eating melons in the patch on a hot day was likely to cause malaria, which is very true unless a mosquito net is worn, but the form of the dogma involved a fallacy. In fact it is probable that most thinking either involves fallacies—defects of logic—or is closely associated with them. Someone has said that the whole theory of structural design is built up by attributing impossible properties to non-existent materials.

Some fallacies are like sisters and aunts, familiar members of the family, and intimate association with their faults serves only to further endear their virtues. Others are of the chorus type, too pretty, too perfectly fascinating by their novelty. They distract attention from their shallowness by a lavish display of irrelevant extremities.

Many erudite fallacies are distortions of the views of some great thinker, from whom lesser disciples borrow opera glasses but fail to focus them for their own eyes. These disciples miss the great vision, the great purpose, and leave to the world a detailed record of futility in seven volumes. And those seven volumes pass into the hands of a number of specialists, each of whom produces seven other volumes and lays out a jigsaw puzzle that will never again fit together.

The great truths of engineering are simple; they can be simply stated and simply applied. This is a very different thing from saying that anyone has yet stated them simply or showed how to apply them with ease. An endlessly complex description or explanation of an engineering fact indicates complications in the brain of the propounder rather than the complexity of nature. Whatever cannot be stated in plain English is half-baked, though no man may yet be able to finish the baking and half-baked is better than no bread. But still what is half-baked is prolific of indigestion.

The field of structural engineering, for example, has recurrent periods of growing complexity, a piling of Pelions of theory on Ossa of experiment, partial differentials pursuing herds of test data, fineness moduli and colloidal ratios shriek gibberingly in the din of equations and diagrams and strain gage records. And out of it usually comes sanity and simplicity and better structures and materials, —some of the chorus have danced their last and some retire for a season.

The period of medieval scholasticism stretches from the ninth to the fourteenth century. It was a strange period, when wise men solemnly discussed the logical attributes of omniscience. And toward its end came John Duns Scotus, leader of the Scotist school of Franciscan scholars, Thomas Aquinas of the Dominicans, and Roger Bacon, forerunner of modern science.

Scotus was a fellow of Merton College, Oxford, doctor and dean of theology of the University of Paris; his defense of the doctrine of the Immaculate Conception finally led the University of Paris to require all candidates for the doctorate to forswear

Thomist and Dominican errors. The subtle doctor lightly brushed aside the immature irrelevancies of his subordinates.

Roger Bacon also graduated from Oxford and Paris and joined the Franciscans. He listed the four causes of error as follows: authority, custom, the opinion of the unskilled mass of men, concealment of real ignorance with pretense of knowledge. Of these he says that the last is the most dangerous and the cause of all the others. He was forbidden to teach at Oxford.

It is accepted that Roger Bacon's thesis has a certain appositeness today and he is hailed as the precursor of modern scientific curiosity. And the name of Duns Scotus, the great dean of theology at the University of Paris, has been retained in our language, for a stupid fool is now called a "dunce."

But this was six centuries ago and today people are much wiser. Or are they?

Error always remains, part and parcel of the intellectual life. As Mr. Roget would phrase it, people have errors and fallacies, misconceptions, misapprehensions, misunderstandings, misinterpretations, misjudgments, heresies, misstatements, mistakes, faults, blunders; errata, delusions, illusions, hallucinations, absurdities, imbecilities, stupidities, puerilities, senilities, fatuities and nonsense. All of us make them, live by them and thrive on them.

The great intellectual tragedy is not in the chorus of fallacies nor with the beaux who flirt at the stage door. The stage-door Johnnies usually suffer from a damnable malady the name of which is youth, but nearly everyone who lives long enough gets over it.

The tragedy, the real tragedy, is with the Johnnies who marry one of the chorus. Young men should go to the intellectual music hall if they will and look 'em over, even sit in the front seat through one performance of "The Fallacies of 1952." However, they should be careful to pin their faith on something more enduring than paint and powder and periwigs, forms or formulas or fancies. When they feel sure of the soundness of some new theory, new method, new material, new type of structure, new machine, they should take their new idea on more than one buggy ride before they see a justice of the peace.

There is an old adage that says any fool can ask a question that the wisest cannot answer. A more important statement is that only the very wise can ask questions in such a way that any fool can answer them. If the questions are good questions the answer can probably be found and if they are poor questions no one can answer them.

The question of many children, "What does God look like?" is a poor question; it implies that He is not God. But there have been many pictures of gods, many images. If the little children try to draw pictures of God as they see Him they may revise their question and ask, "What is God?"—quite another question.

For many years now a particular question has been asked in various ways: "What is rigidity?" "Why is it desirable for structures to be rigid?" "Is it always desirable for structures to be rigid?" "What is the proper measure of rigidity?" "Is the measure always the same?"

From time immemorial men have sought in their structures some property which they may call "rigidness" or "rigidity." Structural types are often said to have

been selected on the basis of their relative rigidity. And yet after many years no one really knows what the word means.

Some engineers profess to know—they think they know, they think they think they know—that there is such a property; they do believe the cat they're looking for really exists though they're not quite sure what room he is in. Perhaps he is several cats, or it may be one cat living nine lives in different places. Yet the term and the synonyms of it are in such general use that we do know something about it; this cat is not entirely black.

A few rays of light may come from the synonyms. There are many words describing types of motion: wiggle, wobble, shiver, stagger, reel, roll, pitch, toss, gyrate, skip, hop, sway, shake, vibrate, twitch, switch, twist, bend, curl, jerk, squirm, wriggle, writhe, leap, bound, jump, swing, oscillate, wave, whirl, swirl, eddy, swish, tremble, waver, totter, quake, quiver.

People are obviously very conscious of types of movement, and what some people think all the time may not be significant and what everybody thinks sometimes may be in error but what all the people think all the time is important.

Of course engineers must look in all of the rooms because they're not quite sure whether they're talking about displacement, velocity, acceleration, or change of acceleration or all of them at once. They're not quite sure whether they're talking psychology—animal reaction to movement—or structural integrity and durability—the effect on a structure of movement. Probably they should look into the properties of materials as affected by shock or by repetition, and so they leave bunches of catnip around in the Materials Testing Laboratory.

But this is a consideration of questions, not rigidity. Until men ask the right question in the right way they'll not get far in studying rigidity, and when the questions are asked correctly the answer will probably be simple.

Pictures are the necessary supplement to questions. Students should be encouraged more to draw pictures of what they are talking about. They should draw pictures of deformed structures, pictures of structural failure, pictures of stress distribution. To try to draw them raises, or should raise, hundreds of questions. If men can't draw them they don't know what they are talking about and the degree of detail shows the amount of familiarity with the subject. To try to draw a picture, as the little children did, will frequently answer or invalidate a question.

Now there are many different types of pictures—photographs, cartoons, conventionalized diagrams. And there are many ways of drawing them—line diagrams, word pictures, mathematical descriptions, sketches. It is usually well and often necessary for an engineer to draw them in several ways. No one can take a photograph of stress distribution but there are ways of drawing conventional pictures representing it. Much education and thought goes into such pictures.

The sum and substance of this is that men's technical knowledge can be sized up better from the questions asked than from the answers given, and answers can be evaluated best by the pictures that accompany them. The first demand that the profession makes is for pictures. But never before in any field of technical study was there greater need for men who can ask the right questions.

Textbooks rarely ask important questions. Few professors do. The texts and the professors are too busy telling what they know to emphasize what they don't know. But the latter is often more important—to know the limitations of knowledge and to ask questions, simple questions, that may open up holes through which light can filter into our dark rooms. Only when we try to draw the pictures do we ask these questions, and we must ask them because we find that so much of the landscape to be painted is as yet hidden from view.

"Engineering is the art of directing the great sources of power in nature for the use and convenience of man."

LIGHTS IN THE IVORY TOWER

FAITH AND HOPE—PERHAPS SOME CHARITY

The Institute of Civil Engineers of Great Britain was organized over a century ago. At that time "civil engineer" meant any engineer not formally engaged in military work. Thomas Tredgold, a successful practitioner and well-known writer on engineering topics, was asked to write a definition of the term; his statement was adopted and is today printed on all publications of the Institute. "The art of directing the great sources of power in nature for the use and convenience of man"; nothing better has been written for the purpose. It is still a good definition for all branches of the profession.

"For the use and convenience of man." This is as important a part of Tredgold's definition as any. Note the nice distinction between use and convenience; they are not always identical. Engineering does not try to tell men what they should want or why they want it. Rather it recognizes a want and tries to meet it. Hence engineers, perhaps more than other men, are interested in man, are interested in what men want and how men live and how men react to their environment.

Usefulness and convenience are relative terms. Obsolescence results from changing degrees of use and convenience. To take an oft-repeated example, the automobile in America has made many highways neither useful nor convenient.

A problem of continuing importance is the use and control of water. This assembles economic factors, charts of flow, prediction of rainfall and flood, structural

problems of the design of dams, hydraulic problems of the control of water in canals or in turbines, and all of these reach far back into details of investigation in pure and applied science.

Engineering is devoted to the "use and convenience of man." As man's needs and desires have changed so has the art of engineering progressed, and consequently the historical development of the United States and of the world illustrates well the advance of engineering.

The history of engineering in America, and to a considerable degree the history of America itself, may be traced in terms of successive obstacles imposed by nature on the westward march of the people. First settlers on the East coast developed the harbor facilities and, in a rather unsuccessful way, the routes of transportation by land and water near the coast; by 1800 they met the great Allegheny escarpment. This barrier stretches from the Canadian border almost to the Gulf, a hundred miles or so from the Atlantic. There are only a few breaks, one through the Mohawk-Hudson depression, another in the low gaps between the headwaters of the Susquehanna and the Allegheny. In Virginia the headwaters of the James lead to those of the New River. Sherman's army followed another gap. A most dramatic story is that of the fight of Charleston to reach the west country. Boston was cut off by the Berkshires, but New York found a travel route of low grades at its door, pioneer rail lines crawled through the gaps as Philadelphia reached through Pennsylvania at about the same time that Baltimore completed the Baltimore and Ohio into Wheeling. The Chesapeake and Ohio reached up the valley of the James toward the Ohio.

Development of transportation follows the succession of available facilities and modes of travel. There were coastal canals, local canals, through canals such as the Erie. In time the relatively inefficient canal gave way to the railway, which brought with it problems of track and equipment and terminals. Each of these subjects has since been elaborated in detail by specialists. Track, for example, has received much technical investigation involving study of flexure, of the strength of soils and of rail fastenings, of ties, of the underlying roadbed itself. Track has become one of the critical problems of railway systems.

Westward-marching America finally reached the great valley with its far-flung system of floatable rivers. The heyday of the river steamboat was short; the railway, in the hands of brilliant engineers of that period, proved a more efficient servant of the people.

Then there was the rail crossing of the Mississippi. James B. Eads built the great structure that is still a model of grace and a marvel of technical work. The early dreams of Mississippi River crossings, which seemed so impossible of achievement, were finally realized. After Eads came bridges at Memphis and Thebes, Cairo, Cape Girardeau, Vicksburg and finally at New Orleans.

In time there were crossings of the Missouri, tunnels and grades through and over the Rockies and the Sierras. Railways followed approximately the lines of the Oregon and Santa Fe Trails.

The history of America is here, the Erie Canal or the building of Brooklyn Bridge, the opening of the Baltimore and Ohio, the direct railway connection of St. Louis with the East, the building of the Central Pacific, the Soo Canal, the conquest of

floods on the Miami, the development of the Tennessee Valley, the Woolworth tower, the Empire State Building, the George Washington or Transbay Bridges or that at Golden Gate.

Toward the end of the last century this country had a great volume of work to be done, but had few standards and analytical procedures or experimental data with which to work. Young men went abroad in the 70's and 80's to secure these. Most of them went to Germany and brought back elaborated products of German scholarship and America had to digest this technical formality. To use a homely phrase, America had to chew all of these fish and spit out the bones, and frequently the bones stuck in her throat. The German mind has a tendency to elaboration, often to complexity and recurrently a lack of discrimination in interpreting evidence. Structural literature in America at the beginning of the century was cluttered with a great deal of undigested technique, and much of it was bad. Some of it has been thrown away, and more of it should be discarded. However, it did serve its purpose because at that time it removed to some extent, though not by any means sufficiently, certain limitations on evidence.

Men sent to Europe in the 1920's to study laboratory methods in hydraulics absorbed more rapidly and with more discrimination. The greatest hydraulics laboratories today without exception are in America, thanks to the wholesome and mellowing influence of Yankee common sense.

In some fields of engineering that stage has now passed. Certainly in the future it will not be necessary to turn to Europe for technical thought; Americans will catch their own fish. Perhaps they will become more expert in spitting out the bones than they have been in the past.

Civilization still lives on a frontier, but the type of frontier changes. Anyone who travels over America realizes how much there remains to be done; it will take men of quantitative sense, trained to think precisely where precision is justified and trained also to know the limitations of precision.

Henceforth American destiny will be thought out at home. Britain and the Continent will still be a source of many thoughts and dreams, but the American people from now on must develop concepts of culture, methods of thought and philosophies of service along lines traditional in America. The factory system, the beginnings of modern transportation, systematic studies of water supply and sanitation appear early in our history. America did not impose modern methods on a medieval society but grew through and with its engineers. It is important to recognize this in interpreting the "American way of life" and contrasting it with the problems of sections where the benefits of good engineering are not familiar. It may appear that today history is more in need of philosophic concepts from engineering than is engineering in need of historical perspective.

More development of natural resources will take place in the next twenty than has taken place in the past fifty years. To originate and plan this work it is important that some where there be men with a very clear understanding of the physical limitations placed by nature on the activities of men, limitations as to what can be provided for the "use and convenience of man."

In an obvious and dramatic sense our frontiers passed before the beginning of the century, but some people seem to have been rather slow in realizing it. The frontier

of engineering, however, never passes; the problems are as insistent today as they were a hundred years ago. Harbors, rivers, sea beaches are to be cleaned up for better living, highway systems must be revised, better control of floods and of pollution of streams is urgent. There is much—very much— still to be done. The use and convenience change but the art itself does not appreciably change. This art reaches into every aspect of human relations. Robert Louis Stevenson, son and grandson of engineers, says of it:

"My grandfather was above all things a projector of works in the face of nature, and a modifier of nature itself. A road to be made, a tower to be built, a harbour to be constructed, a river to be trained and guided in its channel—these were the problems with which his mind was continually occupied, and for these and similar ends he travelled the world for more than a half of century, like an artist, note book in hand.

"What the engineer most properly deals with is that which can be measured, weighed, and numbered... not only entries in note books, to be hurriedly consulted; in the actor's phrase, he must be stale in them; in a word of my grandfather's, they must be 'fixed in the mind like the ten fingers and ten toes.'

"These are the certainties of the engineer; so far he finds a solid footing and clear views. But the province of formulas and constants is restricted... With the civil engineer, more properly so called (if anything can be proper with this awkward coinage), the obligation starts with the beginning. He is always the practical man. The rains, the winds and the waves, the complexity and the fitfulness of nature, are always before him. He has to deal with the un predictable, with those forces (in Smeaton's phrase) that 'are subject to no calculation'; and still he must predict, still calculate them, at his peril. His work is not yet in being, and he must foresee its influence: how it shall deflect the tide, exaggerate the waves, dam back the rainwater, or attract the thunderbolt... he must not only consider that which is, but that which may be.

"It is plain there is here but a restricted use for formulas. In this sort of practice, the engineer has need of some transcendental sense... The rules must be every where indeed: but they must everywhere be modified by this transcendental coefficient, everywhere bent to the impression of the trained eye and the feelings of the engineer."

Most of the economic, industrial and cultural life of America lies within a zone between parallels Thirty-five and Forty-five north. The Fortieth Parallel passes through Philadelphia, Wheeling, Columbus, Springfield, Illinois, follows the Kansas-Nebraska border, passes through Denver and reaches the Pacific at Cape Mendocino just north of San Francisco. This zone extends on the East coast from East port to Halteras (to quote the fascinating phraseology of the weather bureau), from Memphis to Minneapolis, from Salem to Santa Barbara. The Fortieth Parallel seems to be particularly congenial to humanity; in Europe this congenial zone is pushed northward along the west coast by the warmth of the Gulf Stream and hence runs diagonally northwest and southeast from Scandinavia to the Levant. If the map of the United States were laid down on that of Europe, it would extend from Belfast to Baghdad and from Madrid to Moscow. This would cover practically all of that part of Europe represented by the civilization of the Near East and of western Europe. In Asia the Fortieth Parallel passes through Peiping, and not far from Tokyo.

Along this belt —U.S. Route 40— Americans have met most of their engineering problems —transportation, sanitation, industrial development, problems of "forge and farm and mine and bench." To solve these problems engineers experiment and analyze, chart the past to predict the future, plot data geological, climatological, meteorological, hydrological, pathological, study theories of physics and chemistry. Somehow they put them together for the use and convenience of man. On the whole the job has been well done; it is, at least, a marvel to other nations.

Engineering deals with man in his natural environment, with machines as substitutes for man and with the power to drive those machines, with materials and their methods of manufacture. From this rather obvious classification of men, machines and materials, there arises, in the academic world and in professional classifications, a breaking down into all sorts of specialties. The study of man in his natural environment would probably best fit into what is now commonly called civil engineering; machinery and power are represented by mechanical and electrical engineering; the development of new materials by the fields of metallurgy and chemical engineering. In some universities there are departments of ceramic engineering, agricultural engineering, aeronautical engineering and so on indefinitely.

In general the problems of civil engineers are given to them by God Almighty. They are problems in nature. On the other hand, mechanical and electrical work has problems which man, to a certain extent, has created for himself. This difference is in some ways fundamental to the type of problems to be studied, the method of studying it and the control over the result after the problem has been studied.

In primitive society the family needs shelter, water, some paths for getting food to the cabin and some way of disposing of its refuse. In a slightly more complex state of society it may wish to use the water to turn a mill wheel. Civil engineering builds the shelter, gets the water, opens the path. Wind and wave, flood and fire, earthquake and landslide, mud and rock and the eternal pull of gravity; man's need to sleep and work in safety and comfort, store and transport harvests, travel quickly and without danger by sea and by land, drink pure water and live in sanitary surroundings —these supply the problems of civil engineers.

Engineers study both human needs and natural phenomena; they must predict how much it will rain, how much of this rain they can store and where, but also they must know how much water people need and how many people will need it. These two fields of study give essential unity to the profession, for all engineers, whatever their specialty, must know both human ways and natural forces. Their work is to control and tame these forces. The civil engineers, in turn, are ever dependent on mechanical and electrical engineers to supply them with machines for accomplishing these ends and on chemical and metallurgical engineers to produce the necessary materials of construction.

Engineering is, and has always been, coexistent with civilization. Palaces and walls of Nineveh or Babylon, pyramids of dead Pharaohs, wharves of Mediterranean merchants, harbors of the Hanseatic League, Roman aqueducts and roads, bridges of Tiber or Thames, Rhine or Hudson, Hoover Dam or Grand Coulee, the Cloaca Maxima

of Rome, Panama Canal, Galveston sea wall or Mississippi jetties, steel mill and weave shed, warehouse and workshop, the imagination races with the kaleidoscopic picture — each tells a story of the kind of men who lived and how they lived and why they lived and what they knew and how they thought. All the monuments that man has reared to prince or potentate, to Zeus, Jupiter or Jehovah, to commerce, industry or pleasure, were dreams and plans of the men who built them and record the history of the race, the progress of civilization, the foundations of today and tomorrow.

The legions march again, the Ecclesiastic procession enters, the holiday crowds roll by in their automobiles. Most men think of this as an immediate accomplishment, but it is rather the result of a long, gradual development which began back at the dawn of history.

Poor engineering entails failure and misfortune, inconvenience, suffering and death. Overestimate of available power of a stream or of the yield for water supply, imperfect sanitary provisions, poor location or construction of transportation routes, unsafe bridges and buildings, power plants without a market, railways without traffic; eventually each of us pay the bill for these errors in money, convenience or health. Errors of judgment will occur; we live in a world of misunderstandings and misinterpretations, misjudgments and mistakes. For just this reason competent engineers, on guard against errors, go back to test their conclusions by simple truths; for the great principles of engineering are always simple, can be simply stated and simply applied, though in some fields no one may have achieved this simplicity. The simple perception and application of these truths characterize those whose work has been of distinction.

As the evening ferries leave lower Manhattan, the details of the great buildings fade into the darkness and the splendor of a fairy city shines out, the graceful towers of the Woolworth and Singer and the broad fronts of the Equitable or Whitehall seem to float out in glory, windows of the upper stories traced by the lights of late workers. Below are steel columns and girders and grillages and concrete caissons to the schist a hundred feet underground. Within the island run tubes, tunnels, sewers, conduits, subways, all planned to the inch, functioning to the minute. Here lie the entrails and there towers the head of civilization.

It may be objected that such a civilization stands on feet of clay. Perhaps, but if modern sanitation or transportation lead to materialism, let this civilization make the most of them; read Defoe's *Journal of the Plague Year* or travel narratives of the eighteenth century. Artist and poet have sought this vision —the genius of mankind brooding over nature and making chaos fertile, invoking the power of the Almighty to shield life and goods and home against torrent and tempest, famine and pestilence; both artist and poet often fail to portray vividly the pageant of human progress because they misconceive the anatomy of the forms they would delineate.

We may argue forever as to the relative "breadth" of professional activities, of studies of men's souls or minds or bodies or customs or language. It is not very important whether engineering is called a craft, a profession or an art; under any name this study of man's needs and of God's gifts that they may be brought together is broad enough for a lifetime.

OBRAS PUBLICADAS

WORKS PUBLISHED

OBRAS PUBLICADAS

- 1969 "FILOSOFÍA DE LAS ESTRUCTURAS", de Félix Cardellach. Edición numerada, en español, de 300 ejemplares. Reproducción de la edición de Barcelona, 1910.
- 1970 "CÓDIGO DE HAMMURABI" Edición numerada, en español e inglés, de 750 ejemplares. Traducción de la edición latina del Instituto Pontificio de Estudios Bíblicos.
- 1971 "TEATRO DE LOS INSTRUMENTOS Y FIGURAS MATEMÁTICAS Y MECÁNICAS", de Diego Besson. Edición numerada, en español e inglés, de 750 ejemplares. Reproducción fotográfica de la edición de Lyon de 1602.
- 1972 "HISTORIQUE ABRÉGÉ DES RECHERCHES SUR LA RESISTEN-CE ET SUR L'ÉLASTICITÉ DES CORPS SOLIDES", de Barré de Saint Venant. Edición numerada, en francés, de 750 ejemplares. Reproducción de la edición de París de 1864.
- 1973 "CARTAS DE LEONARDO EULER A UNA PRINCESA DE ALEMANIA SOBRE LAS CAUSAS DEL FLUXO Y REFLUXO DEL MAR". Edición numerada, en español e inglés, de 800 ejemplares. Reproducción de la edición de Madrid de 1798.
- 1974 "DEL TRANSPORTE DEL OBELISCO VATICANO Y DE LAS OBRAS DE NUESTRO SEÑOR EL PAPA SIXTO V", de Domenico Fontana. Edición numerada, en español e inglés, de 1.000 ejemplares. Reproducción de la edición de Roma de 1590.
- 1975 "LA SEGURIDAD EN LAS CONSTRUCCIONES Y SU CÁLCULO APLICANDO LOS ESFUERZOS LÍMITE EN LUGAR DE LAS TENSIONES ADMISIBLES", de Max Mayer. Edición numerada, en español e inglés, de 1.000 ejemplares. Reproducción de la edición de Berlín de 1926.

WORKS PUBLISHED

- 1969 "FILOSOFÍA DE LAS ESTRUCTURAS", by Félix Cardellach. Limited issue in Spanish, 300 copies. Reproduction of the Barcelona issue of 1910.
- 1970 "HAMMURABI'S LAW CODE" Limited issue in Spanish and English, 750 copies. Translation of the Pontifical Institute of Biblical Studies' Latin issue.
- 1971 "DISPLAY OF THE INSTRUMENTS AND MATHEMATICAL AND MECHANICAL FIGURES", by Diego Besson. Limited issue in Spanish and English, 750 copies, Photographic reproduction of the Lyon issue of 1602.
- 1972 "HISTORIQUE ABRÉGÉ DES RECHERCHES SUR LA RESISTEN-CE ET SUR L'ÉLASTICITÉ DES CORPS SOLIDES", by Barré de Saint Venant. Limited issue in French, 750 copies. Reproduction of the Paris issue of 1864.
- 1973 "LEONARD EULER LETTERS TO A GERMAN PRINCESS ON THE CAUSES OF EBB AND FLOW OF THE SEA". Limited issue in Spanish and English, 800 copies. Reproduction of the Madrid issue of 1978.
- 1974 "ON THE CONVEYANCE OF THE VATICAN OBELISK AND THE WORKS OF OUR LORD POPE SIXTUS V", by Domenico Fontana. Limited issue in Spanish and English of 1.000 copies. Reproduction of the Rome issue of 1590.
- 1975 "SAFETY IN CONSTRUCTIONAL WORKS AND ITS DESIGN ACCORDING TO LIMIT STATES INSTEAD OF PERMISSIBLE STRESSES", by Max Mayer. Limited issue in Spanish and English of 1.000 copies. Reproduction of the Berlin issue of 1926.

- 1976 "NOTAS SOBRE EL ACCIDENTE DEL PUENTE DE LOS INVÁLIDOS", por M. Navier. Edición numerada, en español e inglés, de 1.000 ejemplares. Selección de textos de la Nota de Navier, de París, 1830.
- 1977 "LECCIONES DE POTENCIA RESTITUTIVA, O DEL RESORTE", por Robert Hooke. Edición numerada, en español e inglés, de 1.000 ejemplares. Reproducción facsimil de la edición de Londres de 1678.
- 1978 "UNA RELACIÓN ACERCA DE LA CONSTRUCCIÓN Y UNA DESCRIPCIÓN DE LA ERECCIÓN DEL FARO DE EDDYSTONE EN PIEDRA", de John Smeaton. Edición numerada, en español e inglés, de 1.100 ejemplares. Reproducción parcial de la Edición de Londres de 1791.
- 1979 "HISTORIA DEL CANAL DE SUEZ", de Ferdinand de Lesseps. Edición numerada, en español y francés, de 1.000 ejemplares. Reproducción de la edición de París de 1870.
- 1980 "RELACIÓN DE LA GRAN EXPERIENCIA DEL EQUILIBRIO DE LOS LÍQUIDOS", de Blaise Pascal. Edición numerada, en español y francés, de 1.000 ejemplares. Reproducción de la edición de París de 1638.
- 1981 "DIÁLOGOS SOBRE DOS NUEVAS CIENCIAS - JORNADA SEGUNDA", de Galileo Galilei. Edición numerada, en español e inglés, de 1.100 ejemplares. Reproducción parcial de la edición de 1698.
- 1982 "MEMORIE ISTORICHE DELLA GRAN CVPOLA DEL TEMPIO VATICANO (I)", de Giovanni Poleni. Edición numerada, en italiano, de 1.100 ejemplares. Reproducción parcial de la edición de 1748.
- 1983 "MEMORIE ISTORICHE DELLA GRAN CVPOLA DEL TEMPIO VATICANO (II)", de Giovanni Poleni. Edición numerada, en italiano, de 1.100 ejemplares. Reproducción parcial de la edición de 1748.
- 1984 "ENSAYO FILOSÓFICO SOBRE LAS PROBABILIDADES", del Conde de Laplace. Edición numerada, en español y francés, de 1.100 ejemplares. Reproducción de la edición de París de 1814.
- 1985 "ENSAYO SOBRE ALGUNOS PROBLEMAS DE ESTÁTICA RELATIVOS A LA CONSTRUCCIÓN", de Charles Augustin de Coulomb. Edición numerada, en español y francés, de 1.100 ejemplares. Reproducción de la edición de París de 1773.
- 1986 "EN TORNO A LOS SISTEMAS ELÁSTICOS", de Alberto Castigliano. Edición numerada, en español e italiano, de 1.100 ejemplares. Reproducción de la edición de Torino de 1873.
- 1987 "DE LA HORA SOLAR A LA HORA LEGAL", de Luis Benito Quintana. Edición numerada, en español e inglés, de 1.300 ejemplares.
- 1988 "MEMORIA PRESENTADA EN APOYO DEL PROYECTO DEFINITIVO DEL VIADUCTO DE GARABIT", de M. G. Eiffel. Edición numerada, en español y francés, de 1.300 ejemplares.

- 1976 "NOTES ON THE FAILURE OF THE INVALIDES BRIDGE" by M. Navier. Limited issue in Spanish and English of 1.000 copies. A sélection of texts from Navier's Note, Paris 1830.
- 1977 "LECTURES DE POTENTIA RESTITUTIVA OR OF SPRING", by Robert Hooke. Limited issue in Spanish and English of 1.000 copies, Facsimil reproduction of the London edition of 1678.
- 1978 "A NARRATIVE OF THE BUILDING AND A DESCRIPTION OF THE CONSTRUCTION OF THE EDDYSTONE LIGHTHOUSE", by John Smeaton. Limited issue in Spanish and English of 1.100 copies. Reproduction in part of the London issue of 1791.
- 1979 "HISTOIRE DU CANAL DE SUEZ", by Ferdinand de Lesseps. Limited issue in Spanish and French of 1.000 copies. Reproduction of the Paris issue of 1870.
- 1980 "RECIT DE LA GRANDE EXPERIENCE DE L'EQUILIBRE DES LIQUEURS", by Blaise Pascal. Limited issue in Spanish and French of 1.000 copies, Reproduction of the Paris issue of 1698.
- 1981 "DIALOGUES ON THE TWO NEW SCIENCES SECOND DAY", by Galileo Galilei. Limited issue in Spanish and English of 1.100 copies. Reproduction in part of the issue of 1638.
- 1982 "MEMORIE ISTORICHE DELLA GRAN CVPOLA DEL TEMPIO VATICANO (I)", by Giovanni Poleni. Limited issue in Italian of 1.100 copies. Reproduction in part of the issue of 1748.
- 1983 "MEMORIE ISTORICHE DELLA GRAN CVPOLA DEL TEMPIO VATICANO (II)", by Giovanni Poleni. Limited issue in Italian of 1.100 copies. Reproduction in part of the issue of 1748.
- 1984 "ESSAI PHILOSOPHIQUE SUR LES PROBABILITÉS", by Le Comte Laplace. Limited issue in Spanish and French of 1.100 copies. Reproduction of the Paris issue of 1814.
- 1985 "ESSAI SUR QUELQUES PROBLEMES DE STATIQUE RELATIFS A L'ARCHITECTURE", by Charles Augustin de Coulomb. Limited issue in Spanish and French of 1.100 copies. Reproduction of the Paris issue of 1773.
- 1986 "INTORNO AI SISTEMIELASTICI", by Alberto Castigliano. Limited issue in Spanish and Italian of 1.300 copies. Reproduction of the Torino issue of 1873.
- 1987 "FROM SOLAR TIME TO STANDARD TIME", by Luis Benito Quintana. Limited issue in Spanish and Italian of 1.300 copies.
- 1988 "MÉMOIRE PRÉSENTÉ A L'APPUI DU PROJECT DÉFINITIF DU VIADUCT DE GARABIT", by M. G. Eiffel. Limited issue in Spanish and French of 1.300 copies.

- 1989 "SOBRE ALGUNOS ERRORES COMUNES EN EL PROYECTO DE PUENTES METÁLICOS", de W. C. Kernot. Edición numerada, en español e inglés, de 1.300 ejemplares.
- 1990 "RESUMEN DE LAS LECCIONES DADAS EN LA ESCUELA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS, SOBRE LA APLICACIÓN DE LA MECÁNICA AL ESTABLECIMIENTO DE LAS CONSTRUCCIONES Y DE LAS MÁQUINAS", por M. Navier. Edición numerada, en español y francés, de 1.300 ejemplares.
- 1991 "DOCUMENTOS RELATIVOS A LA DESECACIÓN DEL VALLE DE MÉXICO". Compilación y Estudio Crítico por Ana María Calavera.
- 1992 "SOBRE LOS ARCOS", Charles Agustín Coulomb. Edición numerada en español, francés e inglés, de 1.200 ejemplares.
- 1993 "TRES APORTACIONES ESPAÑOLAS A LA CONCEPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS". Edición numerada, en español e inglés, de 1.200 ejemplares.
- 1994 "NORMAS PARA LA UTILIZACIÓN DEL HORMIGÓN ARMADO". Edición numerada, en español e inglés, de 1.100 ejemplares.
- 1995 "LA CONSTRUCCIÓN EN HORMIGÓN ARMADO, SU TEORÍA Y PRÁCTICA", Emil Morsch. Edición numerada, en español e inglés, de 1.300 ejemplares.
- 1996 "ENSAYOS SOBRE AUTOMÁTICA. EL ARITMÓMETRO ELECTROMECAÁNICO" de L. Torres Quevedo. Edición numerada en español, inglés y francés de 1.300 ejemplares.

- 1989 "ON SOME COMMON ERRORS IN IRON BRIDGE DESIGN", by W. C. Kernot. Limited issue in Spanish and English of 1.300 copies.
- 1990 "RÉSUMÉ DES LEÇONS DONNÉES A L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES, SUR L'APPLICATION DE LA MÉCANIQUE A L'ÉTABLISSEMENT DES CONSTRUCTIONS ET DES MACHINES", by M. Navier. Limited issue in Spanish and French of 1.300 copies.
- 1991 "DOCUMENTS CONCERNING THE DRAINAGE OF THE MEXICO VALLEY". Edited by Ana María Calavera.
- 1992 "ON ARCHES", of Charles Agustín Coulomb. Limited issue in Spanish, French and English of 1.200 copies.
- 1993 "THREE SPANISH CONTRIBUTIONS TO THE CONCEPT OF STRUCTURES". Limited issue in Spanish and English of 1.200 copies.
- 1994 "STANDARD BUILDING REGULATIONS FOR THE USE OF REINFORCED CONCRETE". Limited issue in Spanish and English of 1.100 copies.
- 1995 "REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION, THEORY AND PRACTICE" by Emil Morsch. Limited issue in Spanish and English of 1.300 copies.
- 1996 "ESSAYS ON AUTOMATIC. ELECTROMECHANICAL CALCULATING MACHINE", by L. Torres Quevedo. Limited issue in Spanish English and French of 1.300 copies.