

Introducción a la ingeniería

**Una perspectiva desde el currículo
en la formación del ingeniero**

ECOE EDICIONES

**Oscar González Ortiz
Martín Elías Villamil Rozo**



INGENIEROS LEAN

Para más contenido como este, síguenos en:



LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/ingenieros-lean>



Facebook: <https://www.facebook.com/IngenierosLean>



YouTube: https://www.youtube.com/channel/UCf9EhLUPE-TFRh-wIJ1Z0g?view_as=subscriber

Si tienes la facilidad y te gusta este tema, apoya al autor comprando este libro.

#SomosIngenierosLean

¡Creece con nosotros!

Martín Elías Villamil Rozo

Docente de planta de la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá, Colombia, desde 2007, donde actualmente se desempeña como Director del Programa de Ingeniería Industrial y como tutor de diferentes asignaturas en la Facultad de Estudios a Distancia.

Ingeniero Industrial egresado de la Universidad Católica de Colombia. Con estudios de posgrado en pedagogía y educación. Cuenta con amplia experiencia, en lo académico, en educación a distancia, y en lo profesional en las áreas de compras, logística y calidad. Par académico del Ministerio de Educación Nacional. Coautor del libro Administración de la producción, publicado por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) en 2003.

Oscar González Ortiz

Profesor de planta de la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá, Colombia, desde 1997, donde se ha desempeñado como docente de diferentes asignaturas. Cofundador y exdirector del Programa de Ingeniería Industrial, exvicedecano de la Facultad de Ingeniería y asesor del Programa de Ingeniería Industrial a Distancia.

Ingeniero industrial egresado de la Universidad Incqa de Colombia. Adelantó estudios de posgrado en varias áreas de su especialización y en educación superior, específicamente en docencia universitaria. Cuenta con una experiencia profesional en el sector industrial y comercial de más de 45 años, desempeñándose en diferentes áreas de la ingeniería industrial. En el sector educativo y académico ha sido profesor por más de 45 años en diferentes universidades del país. Es par académico del Ministerio de Educación Nacional de Colombia. Cabe destacar que ha regentado la cátedra de Introducción a la Ingeniería durante más de catorce años, en la cual se ha distinguido por confrontar la teoría con su experiencia práctica.

Introducción a la ingeniería

*Una perspectiva desde el currículo
en la formación del ingeniero*

*Oscar González Ortiz
Martín Elías Villamil Rozo*

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

González Ortiz, Oscar

Introducción a la ingeniería : una perspectiva desde el currículo en la formación del ingeniero / Oscar González Ortiz, Martín Elías Villamil Rozo. – 1^a. ed. – Bogotá : Ecoe Ediciones, 2013
268 p. – (Ingeniería y Arquitectura. Ingeniería)

Incluye bibliografía

ISBN 978-958-771-027-4

1. Ingeniería – Historia 2. Ingeniería – Enseñanza 3. Ingeniería como profesión I. Villamil Rozo, Martín Elías II. Título III. Serie

CDD: 620 ed. 20

CO-BoBN- a850822

Colección: *Ingeniería y Arquitectura*
Área: *Ingeniería*

Primera edición: Bogotá, septiembre de 2013

ISBN 978-958-771-027-4

© Oscar González Ortiz

e-mail: oscar.gonzalez@unimilitar.edu.co

© Martín Elías Villamil Rozo

e-mail: martin.villamil@unimilitar.edu.co

© Ecoe ediciones

e-mail: correo@ecoediciones.com

www.ecoediciones.com

Carrera 19 No. 63C - 32

Pbx. 248 1449

Coordinación editorial: *Andrea del Pilar Sierra*

Diagramación: *Alexánder Acosta Q.*

Carátula: *Wilson Marulanda*

Impresión: Gráficas de la Sabana

Cra 69 H # 77 - 36, Bogotá

Tabla de contenido

Prólogo.....	1
Agradecimientos.....	5

Capítulo 1. Origen e historia de la ingeniería 7

1.1 Introducción.....	9
1.2 Evolución de la ingeniería en la prehistoria y la historia	9
1.2.1 Región del Cercano Oriente	12
Mesopotamia	13
Egipto	15
1.2.2 Grecia	17
1.2.3 Roma.....	19
1.2.4 Edad Media	21
1.2.5 Renacimiento	24
1.3 Resumen del capítulo	26
1.3.1 Época prehistórica	26
1.3.2 Época antigua.....	26
1.3.3 Edad Media	27
1.3.4 Renacimiento	27
1.4 Actividades de aprendizaje.....	28
Bibliografía.....	29
Cibergrafía.....	29

Capítulo 2. Desarrollo de la ingeniería en la época moderna y posmoderna..... 31

2.1. Introducción.....	33
2.2. Primera Revolución Industrial.....	33
2.3. Segunda Revolución Industrial	36
2.4. Descubrimientos en ciencia y tecnología que dieron origen a las diferentes ramas de la ingeniería	39
2.4.1. Ingeniería de minas y metalúrgica	39
2.4.2. Ingeniería civil.....	41
2.4.3. Ingeniería química.....	42
2.4.4. Ingeniería mecánica	43

2.4.5. Ingeniería eléctrica	43
2.4.6. Ingeniería industrial.....	44
2.4.7. Ingeniería mecatrónica	45
2.5. Formación de las escuelas de ingeniería.....	46
2.5.1 Francia	47
2.5.2. Inglaterra.....	47
2.5.3. Alemania.....	48
2.5.4. Estados Unidos.....	48
2.6 La ingeniería moderna.....	50
2.7. Resumen del capítulo	53
2.7.1 Primera Revolución Industrial.....	53
2.7.2 Segunda Revolución Industrial	53
2.7.3 Descubrimientos de ciencia y tecnología que dieron origen a las diferentes ramas de la ingeniería	54
2.7.4 Escuelas de ingeniería	55
Francia.....	55
Inglaterra.....	55
Alemania	56
Estados Unidos.....	56
2.7.5 La ingeniería moderna.....	57
2.8. Actividades de aprendizaje.....	57
Bibliografía.....	58
Cibergrafía.....	58

Capítulo 3. Fundamentación científica y tecnológica de la ingeniería ...	61
3.1 Introducción.....	63
3.2 Definiciones de ingeniería.....	63
3.2.1 Definición filosófica	64
3.2.2 Definición disciplinar.....	65
3.2.3 Definición como profesión legalmente regulada.....	67
3.3 Componentes generales de la ingeniería.....	68
3.3.1 Primera trilogía: ciencia pura, ciencia aplicada e ingeniería	70
Ciencia pura	70
Ciencia aplicada	70
Ingeniería.....	71

3.3.2 Segunda trilogía: ciencia económica, finanzas e ingeniería	71
Ciencia económica	71
Finanzas.....	72
Ingeniería.....	73
3.3.3 Tercera trilogía: relaciones sociales, relaciones industriales e ingeniería	73
Relaciones sociales	73
Relaciones industriales.....	73
Ingeniería.....	74
3.4 Ingeniería, arte y ciencia	74
3.5 Resumen del capítulo.....	76
3.6 Actividades de aprendizaje.....	77
Bibliografía.....	78
Capítulo 4. Ciencia, tecnología, técnica e ingeniería	79
4.1 Introducción.....	81
4.2 Ciencia.....	81
4.2.2 Características del conocimiento científico.....	83
4.3 Tecnología	84
4.3.1 Contexto histórico y social de la tecnología.....	85
4.3.2 La tecnología y la ética.....	86
4.3.3 Impacto de la tecnología en la sociedad.....	86
4.4 Técnica	87
4.4.1 Desarrollo histórico	88
4.5 Ingeniería: base científica, disciplina, ramas y especializaciones	88
4.6 Innovación	91
4.7 Investigación y desarrollo (I + D)	91
4.8 Desarrollo sostenible	92
4.9 Paradigmas sobre la ingeniería	92
4.10 Resumen del capítulo	95
4.11 Actividades de aprendizaje.....	96
Bibliografía.....	97
Capítulo 5. Ciencias básicas de la ingeniería.....	99
5.1 Introducción.....	101

5.2 El papel de las matemáticas en la ingeniería.....	101
5.2.1 Ramas de las matemáticas	103
Álgebra	103
Geometría.....	104
Trigonometría	104
Cálculo	104
Estadística	104
5.3 Las ciencias naturales y la ingeniería.....	108
5.3.1 Clasificación general (figura 5.6)	108
5.3.2 Utilización de las ciencias en ingeniería.....	109
5.3.3 Conceptos básicos y fundamentales de las ciencias en ingeniería	109
Estados de agregación de la materia (figura 5.8):	109
Ley de la conservación de la energía, de Einstein (Figura 5.8)	111
5.4 Aplicación de las ciencias básicas en el diseño	
de soluciones ingenieriles	111
5.4.1 Generalidades	111
5.4.2 Transformación y usos generales de la energía	112
Descripción del problema	112
Desarrollo del proceso de solución	112
Escogencia de la fuente.....	113
Generación de energía eléctrica (conversión de	
energía mecánica a energía eléctrica)	113
Producción de energía térmica, lumínica, química y	
acústica partiendo de la energía eléctrica.....	115
5.5 Resumen del capítulo.....	120
5.6 Actividades de aprendizaje o ejercicios recomendados.....	121
Bibliografía.....	122
Cibergrafía.....	122
Capítulo 6. Especializaciones o ramas de la ingeniería	123
6.1 Introducción	125
6.2 Orígenes y propósitos generales de la disciplina de la ingeniería	125
6.3 Campos y perfiles de los ingenieros en general	126
6.3.1 Perfil disciplinario	126
6.4 Algunas “ ramas” o especializaciones de la ingeniería	126

6.4.1	Ramas tradicionales de la ingeniería.....	126
	Ingeniería civil	127
	Ingeniería mecánica.....	129
	Ingeniería eléctrica.....	131
	Ingeniería química	134
6.4.2	Ramas modernas de la ingeniería	136
	Ingeniería de sistemas	137
	Ingeniería mecatrónica.....	138
	Ingeniería en telecomunicaciones	141
	Ingeniería en multimedia	142
	Ingeniería industrial	144
6.4.3	Otras ramas de la ingeniería.....	145
	Ingeniería biomédica	145
	Ingeniería aeroespacial	147
	Ingeniería de materiales	147
	Ingeniería de petróleos.....	148
	Ingeniería ambiental	149
6.5	Resumen del capítulo.....	150
6.6	Actividades de aprendizaje	151
	Bibliografía.....	152
	Cibergrafía.....	152
	Capítulo 7. La educación y formación del ingeniero	153
7.1	Introducción	155
7.2	Definición de ingeniero	156
7.3	Cualidades de un ingeniero competente	156
7.4	Entrenamiento, instrucción, educación y formación.....	157
7.4.1	Entrenamiento	157
7.4.2	Instrucción	157
7.4.3	Educación	157
7.5	Paradigmas de la educación del ingeniero	158
7.6	El currículo como estrategia de formación de un ingeniero	159
7.6.1	Definición y propósitos del currículo.....	160
7.6.2	Conceptualización y construcción del currículo.....	160

7.6.3 Definición de ingeniería como base del currículo y del plan de estudios	161
7.6.4 Perfil profesional y ocupacional	162
Perfil profesional o disciplinar.....	162
Perfil ocupacional	163
7.6.5 Estructuración del currículo y del plan de estudios de ingeniería.	164
Área profesional, tecnológica o de ingeniería aplicada	164
Área ciencias de la ingeniería o ciclo básico profesional.....	165
Área de ciencias básicas	165
Área económico-administrativa.....	169
Área humanística	169
Área complementaria.....	170
7.7 Formación por competencias	170
7.7.1 Concepto o definición.....	170
7.7.2 Componentes	171
Conocimientos.....	172
Habilidades y destrezas	172
Actitudes y cualidades	172
7.8 Formación por competencias y el Proyecto Tuning.....	173
7.8.1 Competencias genéricas	173
Aprender a aprender	175
Competencias comunicativas.....	176
Gerenciamiento personal	176
Adaptabilidad y trabajo en equipo	176
Competencias específicas	177
7.8.2 Formación integral	178
7.8.3 El Sistema de créditos académicos T3.....	179
Qué es un sistema de créditos académicos	180
Objetivos o propósitos del sistema de créditos académicos.....	180
Determinación del crédito académico	181
Qué mide el crédito académico	182
Tipos de créditos	183
7.8.4 Momentos de aprendizaje	183
7.9 Los estudios de posgrado en ingeniería	185
7.9.1 Reflexiones y paradigmas sobre los estudios de posgrado.....	186

7.9.2 Los trabajos de grado.....	187
7.9.3 Dónde trabaja el ingeniero del siglo XXI.....	188
7.10 Resumen del capítulo.....	189
Actividades de aprendizaje.....	191
Bibliografía.....	192

Capítulo 8. El enfoque ingenieril y el diseño en la solución de problemas..... 193

8.1 Introducción	195
8.2 El enfoque ingenieril y la metodología de investigación científica.....	195
8.3 Concepto de problema en ingeniería	198
8.3.1 Definición de problema.....	198
8.3.2 Componentes o partes de un problema	199
8.4 El diseño en el enfoque ingenieril	199
8.4.1 Etapas del enfoque ingenieril y del diseño en ingeniería.....	200
8.4.2 Identificación y formulación del problema	201
Identificación	201
Formulación.....	202
8.4.3 Ejemplo de identificación y formulación del problema	202
8.4.4 Ejemplo de formulación y alcance del problema	203
8.4.5 Análisis del problema	205
Criterios	205
Restricciones.....	206
Herramientas de análisis	209
8.4.6 Búsqueda de soluciones alternativas.....	215
Obstáculos en la búsqueda de soluciones	215
Exploración del espacio y fronteras de soluciones.....	216
Generación del mayor número posible de soluciones alternativas	217
La creatividad y la inventiva.....	218
Técnicas de mejoramiento de la inventiva	220
Métodos sistemáticos de búsqueda de soluciones	221
8.4.7 Evaluación de alternativas de solución y selección de la óptima .	222
Criterios de diseño	222

Concepto de optimización	222
Evaluación de las alternativas.....	223
Evaluación numérica de las alternativas de solución	229
Especificación de la solución escogida.....	229
Modelos.....	230
Informe final	231
8.5 Ejemplo de la aplicación del enfoque ingenieril en la solución de un problema de ingeniería	232
8.6 Ingeniería concurrente	238
8.6.1 Diseño tradicional contra diseño concurrente	240
8.6.2 Tipos de diseño en la ingeniería concurrente.....	241
8.7 Desarrollo sostenido. Producción más limpia e ingeniería	244
8.7.1 Producción más limpia	244
Antecedentes	245
Conceptos básicos	245
Herramientas de PML.....	246
8.8 Ecoingeniería	247
8.9. Resumen del capítulo.....	248
8.10 Actividades de aprendizaje	250
Bibliografía.....	251

Listado de figuras

Figura 1. 1.	Las primeras civilizaciones se desarrollaron en cercanías a los ríos Nilo, Éufrates e indo.....	11
Figura 1.2.	Región del Cercano Oriente.....	13
Figura 1.3.	Tableta con escritura precuneiforme Mesopotamia del Sur, cuarto milenio a. C. Tierra cruda, alto 7,2 cm.....	14
Figura 1.4	Pirámides de Keops, Kefren y Micerino.....	15
Figura 1.5.	Ubicación de la antigua Grecia.....	17
Figura 1.6.	La disposición de las calles y su pavimento demuestra la capacidad previsora y práctica de los romanos.	20
Figura 1.7.	El Pont du Gard, al sur de Francia, fue construido hacia el año 19 a. C.	21
Figura 1.8:	Pirámide social en la edad media.....	22
Figura 1.9.	Catedral de Milán, estilo gótico.....	24
Figura 1.10.	Leonardo Da Vinci y algunos de sus diseños.....	25
Figura 2.1.	El carbón y el acero son los símbolos materiales de la Revolución Industrial, de la misma manera que el vapor fue su motor.....	35
Figura 2.2	Submarino Nautilus.	35
Figura 2.3	Motor de combustión interna (4 tiempos) conformado por cilindros y pistones, a través del cual se logró mover vehículos (carros). Este motor fue inventado por Nikolaus Otto, quien llevó a la práctica un sistema de operación del motor a base de válvulas cuyo uso se ha generalizado y se aplica prácticamente en la mayoría de los diseños de motores para automóviles.	36
Figura 2.4.	Cadena de montaje creada por Henry Ford en 1908	38
Figura 2.5.	Acerías Berisso es una empresa argentina líder en fabricación de moldería para la industria del vidrio.	40
Figura 2.6.	Mina de cobre en Utah - EEUU.....	40
Figura 2.7.	El Coliseo Romano – Roma - Italia	41
Figura 2.8.	Primera fresadora universal, fabricada por Joseph R. Brown en 1862. Estaba equipada con divisor, consola con desplazamiento vertical, curso transversal y avance automático de la mesa longitudinal con la aplicación de la transmisión Cardan.....	43
Figura 2.9.	Trabajadoras de una fábrica textil Inglesa en el sigloXIX	44
Figura 2.10	Robots industriales ensamblando vehículos	45
Figura 2.11	Salón de clases de finales del siglo XIX	46
Figura 3.1	Componentes generales de la ingeniería	68

Figura 4.1	Disciplina, ramas o especializaciones y subespecializaciones.....	89
Figura 5.1	Clasificación general de las matemáticas en ingeniería	103
Figura 5.2	Ejemplo histograma de frecuencia.....	105
Figura 5.3	Curva normal o campana de Gauss.....	106
Figura 5.4	Ejemplo de operaciones con vectores - suma	107
Figura 5.5	Ejemplo de operaciones con vectores - resta	107
Figura 5.6	Clasificación general de las ciencias naturales en ingeniería.....	108
Figura 5.7	Energía y la forma como se manifiesta en la naturaleza.....	110
Figura 5.8	Concepto de masa o materia y ley de la conservación de la energía	110
Figura 5.9	Aplicaciones de las ciencias básicas al diseño de soluciones de ingeniería.....	112
Figura 5.10	Generación electromagnética de corriente eléctrica.....	114
Figura 5.11	Generadores de energía eléctrica	115
Figura 5.12	Conversión de energía eléctrica a energía térmica y lumínica - el bombillo.....	116
Figura 5.13	Conversión de energía eléctrica a energía térmica y lumínica – Partes y funcionamiento del bombillo.....	116
Figura 5.14	Pila galvánica.....	117
Figura 5.15	Componentes fundamentales de un televisor	119
Figura 5.16	Partes generales de un televisor.....	119
Figura 6.1.	Torre Eiffel ubicada en París -Francia	128
Figura 6.2	Motor de un automóvil	130
Figura 6.3	Vehículos y dispositivos elaborados por profesionales de la ingeniería mecánica	130
Figura 6.4.	Central Eléctrica, Generadora de Electricidad.	132
Figura 6.5.	Dispositivos desarrollados gracias a la energía eléctrica.....	133
Figura 6.6.	Variedad de productos desarrollados gracias a la ingeniería química.....	135
Figura 6.7.	Diferentes disciplinas que aportan conocimientos a la ingeniería Mecatrónica.....	139
Figura 7.1.	Mapa conceptual del currículo en ingeniería	161
Figura 7.2.	Símil de una mesa y el concepto de competencias.....	172
Figura 7.3.	Formación integral	178
Figura 7.4	Símil de una mesa y el concepto de formación integral.....	179
Figura 7.5	Preclase o trabajo independiente.	184
Figura 7.6.	Clase o trabajo con acompañamiento	184
Figura 7.7.	Posclase o trabajo con o sin acompañamiento.....	184
Figura 8.1.	La metodología de investigación científica y el enfoque ingenieril	196
Figura 8.2.	Estados A y B de un problema	199
Figura 8.3.	Etapas o fases del enfoque ingenieril	200

Figura 8.4.	Amplitud en la formulación del problema.....	205
Figura 8.5.	El método de la caja negra	209
Figura 8.6.	Diagrama causa efecto.....	211
Figura 8.7.	Hipótesis de causa del bajo rendimiento.....	213
Figura 8.8.	Síntomas, efectos o consecuencias provenientes de una causa.....	214
Figura 8.9.	Ejemplo de síntomas, efectos o consecuencias provenientes de una causa	214
Figura 8.10	Ejemplo de síntomas, efectos o consecuencias provenientes de una causa	214
Figura 8.11	Ejemplo de hipótesis de causas	215
Figura 8.12	Espacio y fronteras de soluciones posibles	216
Figura 8.13	Ampliación y reducción de las fronteras del espacio de soluciones	217
Figura 8.14.	El mejoramiento de la inventiva	220
Figura 8.15.	Búsqueda sistemática de soluciones.....	221
Figura 8.16.	Ejemplo de optimización matemática	223
Figura 8.17	Proceso de la fase o etapa de especificación	229
Figura 8.18	Modelos de representación de la solución escogida.....	230
Figura 8.19	Marco teórico del problema.....	232
Figura 8.20	Formulación del problema	233
Figura 8.21	Restricciones y variables de solución	234
Figura 8.22	Criterios de diseño	235
Figura 8.23	Selección y especificación de la solución preferida.....	235
Figura 8.24	Etapas de diseño secuencial.....	239
Figura 8.25	Ingeniería secuencial contra ingeniería concurrente.....	240
Figura 8.26	Ejemplo de diseño para montaje	242
Figura 8.27	Ejemplo de diseño teniendo en cuenta la fabricabilidad.....	243

Listado de tablas

Tabla 7.1.	Formación por competencias - componentes	171
Tabla 7.2	Componentes del crédito académico	183
Tabla 8.1.	Cuadro de evaluación de alternativas para comunicar las actividades que se realizarán en una universidad durante la semana cultural	224
Tabla 8.2.	Matriz de alternativas de solución contra características	228
Tabla 8.3.	Matriz de alternativas de solución contra restricciones.....	236
Tabla 8.4.	Matriz de alternativas de solución contra criterios.....	237

Prólogo

La dinámica de los planes de estudio y el currículo de los programas de ingeniería, en general, no permite que el estudiante empiece a familiarizarse con lo que realmente es ingeniería, sino hasta cuando comienza a cursar las asignaturas de tipo profesional (hacia el quinto semestre); por tal motivo, no aprecia el alcance de los cursos que recibe iniciando la carrera y, debido a ello, no los aprovecha cabalmente.

Se ha comprobado que gran parte de los fracasos de los estudiantes de ingeniería (aunque también se da en casi todas las profesiones), radica en el hecho de que muchos de los aspirantes a convertirse en ingenieros no tienen un conocimiento claro de lo que es la ingeniería, ni de las habilidades y destrezas necesarias para cursar con éxito una carrera de ingeniero. Aún más, cuántos estudiantes de ingeniería, e incluso profesionales, se dan cuenta de lo que han estudiado solo hasta los últimos semestres o después de haber fracasado en los primeros años de su ejercicio profesional.

Es necesario, entonces, que todo plan de estudios contemple un curso donde el estudiante además de conocer, aunque sea de manera general, en qué consiste la carrera o profesión que escogió como proyecto de vida, se entere también de las exigencias académicas que ella demanda.

En este sentido, este texto también va dirigido a profesores de ingeniería, pero que no son ingenieros, como por ejemplo economistas, contadores, estadísticos, matemáticos, físicos y químicos puros, entre otros, que saben más de las materias que dictan que los mismos ingenieros, pero que no entienden en detalle su aplicación a los problemas de ingeniería.

Toda disciplina, cualquiera que sea, se respalda en teorías y conceptos que le dan soporte y contribuyen a su consolidación como profesión; la ingeniería no es la excepción, y para proceder a la práctica es importante conocer los principios y fundamentos sobre los cuales se sustenta para su aplicación. Esta es la razón fundamental para incluir en el texto los capítulos 3 y 4 que tratan cerca de la fundamentación científica, así como de los componentes y diferentes definiciones de la ingeniería como disciplina y profesión.

Como lo expresan todas las definiciones de ingeniería, se puede afirmar que en esencia la ingeniería como disciplina es básicamente la aplicación de las ciencias matemáticas y las ciencias naturales (física, química y biología) junto con otras disciplinas, conceptos y conocimientos derivados o afines a ellas, para manipular, utilizar y transformar los “recursos y fuerzas” de la naturaleza con el objeto de diseñar y construir soluciones a determinados problemas de la sociedad y de la humanidad en general. El capítulo 5 desarrolla esta temática como complemento de los capítulos 3 y 4.

Una de las mayores confusiones que tienen los aspirantes a cursar una carrera de ingeniería, e incluso muchos ingenieros, profesores y la gente en general, consiste en confundir la ingeniería como disciplina y la ingeniería como profesión; en el capítulo 6 hemos tratado de explicar la diferencia entre los dos conceptos mencionando y analizado brevemente algunas de las ramas o especialidades de la ingeniería.

Para un aspirante a cursar una carrera relacionada con la disciplina de la ingeniería y futuro ingeniero, a quien va dirigido principalmente este texto, es importante conocer aspectos de índole académico acerca del programa que aspira a cursar, lo cual le permitirá tener una visión general del contenido de la carrera y de las competencias con las que saldrá a enfrentar el mercado laboral. En los planes de estudio de las instituciones dedicadas a la formación de ingenieros se incluyen asignaturas que son “integradoras” o “articuladoras”, como los cursos de diseño, pero los profesores no les muestran a sus estudiantes este aspecto en forma taxativa. Los estudiantes normalmente aprenden o cursan las asignaturas de manera paralela y desarticulada. Por lo anterior, en el capítulo 7, se presentan los aspectos curriculares más relevantes de un programa típico de ingeniería, entre los cuales se destacan su estructura general, sus dimensiones y componentes, las competencias a desarrollar, una breve descripción de la organización del currículo de ingeniería en relación con los componentes, áreas y asignaturas que lo conforman, así como una idea general de los conocimientos, habilidades y destrezas, y de las competencias que deberá desarrollar durante su formación como ingeniero.

El ingeniero es básicamente un solucionador de problemas, para lo cual se vale de una metodología especial denominada el “enfoque ingenieril” y el “diseño en la solución de problemas”. El diseño, por otra parte, es la actividad central y principal del ingeniero, o el medio por el cual este aplica su conocimiento especializado, sus habilidades y destrezas, sus competencias y su punto de vista a la solución de determinados problemas de la sociedad y de la humanidad en general, razón por la cual el último capítulo (8) del texto trata con especial profundidad esta temática.

No obstante lo anterior, consideramos de vital importancia que el futuro estudiante de ingeniería y posteriormente profesional en esta área, conozca los orígenes y el desarrollo de la profesión, temática que se trata y estudia en los dos primeros capítulos.

También es claro que la intención de este texto, no es indicar como debería ser el currículo en la formación de un ingeniero, sino mostrar en forma resumida los aspectos más importantes de este.

En resumen, el objetivo principal y el valor de este texto es servir de guía a los aspirantes a cursar una carrera de ingeniería, y a los estudiantes de ingeniería, especialmente de los primeros niveles, para ayudarles a entender el currículo empleado para la formación del ingeniero como un todo integrado y, finalmente, a los profesores de ingeniería, sean o no ingenieros, para comprender el papel que desempeñan la asignatura o las asignaturas a su cargo en la formación integral del futuro profesional de ingeniería.

Agradecimientos

Son muchas las personas a las cuales debo agradecer por sus aportes a la producción de este libro. Sin embargo, es necesario hacer especial mención a mi señora, María de Piedad Sarmiento, autora de la mayoría de los diseños de las tablas y figuras que aparecen en el libro, los cuales son el producto de su inigualable creatividad; a su hija Rocío Velasco Sarmiento, quien hizo parte de este libro con el diseño de algunas figuras y, ante todo, con el magnífico diseño de la carátula . No puedo dejar de agradecer el aporte de mis estudiantes del curso Introducción a la Ingeniería, quienes con sus inquietudes y cuestionamientos juveniles me mostraron la forma moderna como ellos ven lo que debe ser su formación profesional, sirviendo además de "modelos" en la aplicación de los conceptos y teorías durante el desarrollo de su carrera para optar por un título profesional en una rama de la ingeniería.

Oscar González Ortiz

A mi hija Michelle Nicole, quien llegó a este mundo como una tenue brisa y con el pasar de los años se ha convertido en un viento huracanado que hace vibrar mi corazón y mi espíritu. A esta hermosa niña, sinónimo de ternura e inocencia, va este escrito.

Martín Elías Villamil Rozo



Capítulo
uno

*Origen e
historia de la
ingeniería*

1.1 Introducción

Para situarnos en el contexto de la ingeniería es importante comprender su evolución, la cual ha ido a la par con la historia del hombre. Conocer cómo vivieron y se desarrollaron nuestros antepasados sin la ayuda de la tecnología actual nos maravilla e impulsa a descubrir sus secretos. En la actualidad, ingenieros, científicos, antropólogos y arqueólogos, entre otros, se dedican a investigar la manera en que los antiguos pobladores llegaron a tal perfección en la construcción de obras que todavía se conservan, con un mínimo de las facilidades que existen ahora.

Desde que el hombre apareció en la Tierra, este empezó a explorar, a realizar construcciones, a inventar y a descubrir cosas; cada civilización tenía como objetivos la supervivencia y la supremacía. Algunas culturas como la egipcia y la romana lo consiguieron, gracias a un gran número de construcciones, inventos y descubrimientos. Estas civilizaciones se recordarán a lo largo de todos los tiempos.

El ser humano ha sido hasta ahora la única especie viva preocupada por conocer su origen y su pasado, valiéndose para esto de la historia, que estudia al ser humano en el transcurso del tiempo. Para facilitar su estudio la historia se divide en dos períodos: el prehistórico y el histórico.

El periodo prehistórico comprende una etapa muy larga de la humanidad, antes de que se conociera la escritura. Debido a que no existen testimonios escritos de esta época, la historia se ha valido de la arqueología, que durante muchos años ha investigado y sometido numerosos objetos y despojos de interés científico a diferentes pruebas cronológicas. Los restos y desechos de huesos y plantas, los vestigios y utensilios en piedra, madera o metal, hallados, lo mismo que los tipos de sedimentos de vivienda encontrados, nos brindan una idea de quienes eran las personas que los usaron, como vivían, que actividades realizaban y sobre todo nos dan información para conocer aspectos tales como su rango social, jerarquía, clase de gobierno y prácticas religiosas, entre otros.

El periodo histórico se inicia con el uso de la escritura por parte de las primeras civilizaciones y su estudio no termina mientras el hombre exista y ejerza una actividad transformadora del entorno.

Asimismo, en el transcurso de estos períodos se presentaron acontecimientos muy importantes que promovieron el desarrollo y condujeron al surgimiento de la actividad de ingeniería, desde los primeros ancestros hasta nuestros días.

1.2 Evolución de la ingeniería en la prehistoria y la historia

La etapa prehistórica se desarrolla de manera diferente, de acuerdo con el ámbito geográfico. Los primeros asentamientos humanos se localizaron en cercanía a los ríos, donde se facilitaba la obtención del agua necesaria para la supervivencia

y la tierra ofrecía sus mejores frutos. Los principales avances tecnológicos se dieron primero en sitios donde las condiciones del suelo eran muy favorables, pero en la mayoría de las ocasiones a su alrededor había desiertos y la lucha por poseer la tierra se hacía cada día más fuerte. Los hombres debían no solamente sobrevivir, sino defender su territorio. En América este desarrollo se dio más tarde, con la llegada de colonizadores provenientes de Asia, que cruzaron el Estrecho de Bering.

La prehistoria tiene dos períodos importantes: el Paleolítico y el Neolítico. El periodo Paleolítico es la etapa más larga de la prehistoria, que comprende desde la antigüedad hasta los primeros instrumentos de piedra. Por su parte, el periodo Neolítico se caracteriza por el paso de los instrumentos hechos de piedra tallada a los elaborados con piedra pulida.

Ahora bien, en algún momento el hombre prehistórico encontró la forma de producir fuego. Este fue un gran descubrimiento, ya que con él podía protegerse, calentarse y asar o tostar algunos alimentos. También golpeando rocas aprendió a fabricar instrumentos como cuchillos, hachas de piedra y puntas para lanzas; técnicas que le facilitaron la caza de animales, el aprovechamiento de su carne y de su cuero para abrigo. Con los huesos de animales fabricó las primeras agujas para unir pieles (Tineo I Marquet, 1984).

Debido a que sus recursos los obtenían de la recolección y de la caza, los primeros hombres progresaron lentamente, ya que debían permanecer en grupos pequeños y habitar un solo lugar mientras se agotaban los recursos de subsistencia. Tenían que llevar muy pocas pertenencias, no más de las que se pueden transportar en largas jornadas de camino. Por los cambios en el clima, pasaban tanto por períodos de escasez y hambre como por períodos de abundancia. A esta condición de no tener un lugar fijo de vivienda se le ha denominado “nomadismo”.

Al permanecer agrupados los primeros humanos crearon una cultura que les permitió comunicarse usando un lenguaje propio que podía, además, representarse mediante dibujos, nudos, etc. Gracias a la comunicación entre ellos, pudieron predominar sobre especies más rápidas y fuertes (Silíceo, Casares y González, 199).

Los vestigios de primeros albergues que han hallado los arqueólogos son las cavernas naturales, utilizadas para protegerse de las inclemencias del tiempo y de los peligrosos animales. Debieron existir, además de los refugios en cuevas, formas de protección contra la intemperie y la acción de los depredadores; es posible que fueran “construcciones” efímeras de las que no han quedado vestigios.

En ese orden de ideas, el desarrollo de la ingeniería como tal comenzó en Asia Menor o África con la revolución agrícola o periodo Neolítico, hace unos 8000 años, cuando los hombres motivados, tal vez por la creciente población o por la disminución de animales de caza, dejaron de ser nómadas y vivieron en un lugar fijo para cultivar plantas y criar animales domesticados. Estos cambios revolucionaron la cultura, ya que implicaron modificaciones en su forma de vida:

se desarrolló la cerámica, la cestería, los tejidos manuales y el conocimiento de los metales. Hacia el año 4000 a. C. se constituyeron los primeros asentamientos permanentes alrededor de los ríos Nilo, Éufrates e Indo, confirmados por la aparición de los primeros recipientes de barro para cocinar y almacenar alimentos, cuya ubicación se puede observar en la figura 1.1.

Figura 1. 1. Las primeras civilizaciones se desarrollaron en cercanías a los ríos Nilo, Éufrates e Indo



Fuente: <http://www.kalipedia.com/historia-universal/tema/edad-antigua/graficos-civilizaciones-fluviales.html>

La agricultura facilitó varios adelantos y descubrimientos, iniciándose con ello la construcción de viviendas permanentes fabricadas con madera, barro secado al sol y posteriormente, ladrillo. En este periodo se perfeccionó el uso de herramientas de trabajo y se dio paso a la utilización de metales para elaborar adornos, ollas y armas de guerra, entre otros. Por la calidad de los instrumentos y objetos elaborados, los historiadores han denominado a esta época Neolítica.

Los asentamientos permanentes instituyeron el sentido de la propiedad y originaron las ciudades, donde se inició el primer influjo de la ingeniería, ya que se requería satisfacer nuevas necesidades con la construcción de acueductos, alcantarillados, vías, etc., lo cual provocó modificaciones en las relaciones interpersonales y en la distribución de la producción, dando paso a civilizaciones que comenzaron a utilizar la escritura y establecer sistemas de gobierno.

Los primeros ingenieros construyeron edificaciones y muros para la protección de las ciudades; otros se ocuparon de la irrigación de los cultivos, pero como las tierras más fértiles eran frecuentemente atacadas, aparecieron los ingenieros militares, encargados de defender las zonas de cosecha y las ciudades.

La comunicación ejerció un papel muy importante en el avance tecnológico de las diferentes culturas. Algunos grupos nómadas permanecieron aislados, por lo que no participaron en este proceso de cambios y siguieron viviendo en el Paleolítico, mientras que las poblaciones ubicadas a lo largo de rutas comerciales desde China a España progresaron más rápidamente, debido a que a estas les llegaba el conocimiento de innovaciones realizadas en otros lugares.

A continuación se presentan las regiones más destacadas de ese tiempo, en cuanto a avances en ingeniería y ciencia. Se estima que la escritura termina con la prehistoria y da comienzo a la historia que se inicia en la zona conocida como Cercano Oriente, donde se unen los continentes de África, Asia y Europa.

1.2.1 Región del Cercano Oriente

La región del Cercano Oriente comprende de Mesopotamia a Egipto, desde los tiempos más antiguos hasta la época islámica. Según pruebas de datación cronológica, en Egipto y Mesopotamia se instalaron las primeras civilizaciones con base tecnológica.

Ahora bien, el territorio de dominación de los egipcios se extendía a lo largo del valle del río Nilo, mientras que Mesopotamia se instaló alrededor de los ríos Tigris y Éufrates, extendiéndose hasta el actual territorio de Siria, como se puede ver en la figura 1.2. El valle fértil de los dos ríos es una región pequeña, rodeada por el desierto, donde la supervivencia sin agua es casi imposible, hecho que fomentó las guerras, debido a las constantes invasiones y a la lucha por la pertenencia de los terrenos.

A partir del desarrollo de la agricultura y el pastoreo, las comunidades sedentarias enriquecieron su dieta y fabricaron vasijas de cerámica y metal. Este hecho indujo un aumento de la población con nuevas necesidades: ampliar las áreas de cultivo, introducir sistemas de irrigación, aumentar el tamaño y el número de los rebaños y proteger al grupo de ataques contra la propiedad.

Junto a los agricultores y pastores aparecieron alfareros, cesteros, sacerdotes y guerreros. Se inició el comercio entre comunidades, lo cual permitió la mezcla de culturas con intercambio de tecnología y, debido a la diferencia en las ganancias, surgen las primeras clases sociales y con ellas los primeros reinos.

Como resultado del deseo de perpetuar la cultura y destacarse entre los demás pueblos surge el arte monumental que se manifiesta en la construcción de templos y obras públicas. La necesidad de contabilizar los bienes destinados al comercio también fomentó el desarrollo de la escritura.

Figura 1.2. Región del Cercano Oriente

Fuente: <http://www.aplicaciones.info/sociales/historia/histo04.htm>

Mesopotamia

La cultura mesopotámica se desarrolló en el valle de los ríos Éufrates y Tigris, y se concentraba en las ciudades de Babilonia, Nínive y Ur, ampliando su área de influencia a territorios vecinos, en la zona que en la actualidad ocupan los estados de Irak, Irán y Siria. Mesopotamia fue uno de los primeros centros de civilización urbana, rodeada por el desierto, con un clima seco y caluroso, lluvias escasas en la mayor parte de la región, pero con un suelo fértil cuando se regaba a través de canales. Esta riqueza de la tierra motivó las continuas invasiones por parte de poblaciones más pobres de las regiones vecinas.

A lo largo de los dos ríos se extendieron pueblos que alcanzaron sucesivas épocas de esplendor, entre los cuales se encontraron los sumerios, los acadios, los caldeos, los asirios y los misarios. Circundando a estos pueblos de alta cultura, vivían los pastores nómadas y los beduinos de Arabia y Siria.

En ese orden de ideas, es casi seguro que al sur de Mesopotamia comenzaron los primeros trabajos de ingeniería civil de la región considerados como los más antiguos del mundo. Los sumerios fueron los primeros pobladores de la tierra que intentaron pegar piedras entre sí para formar muros, usando como ligante asfalto que conseguían en depósitos naturales de la región (Sarria Molina, 1999).

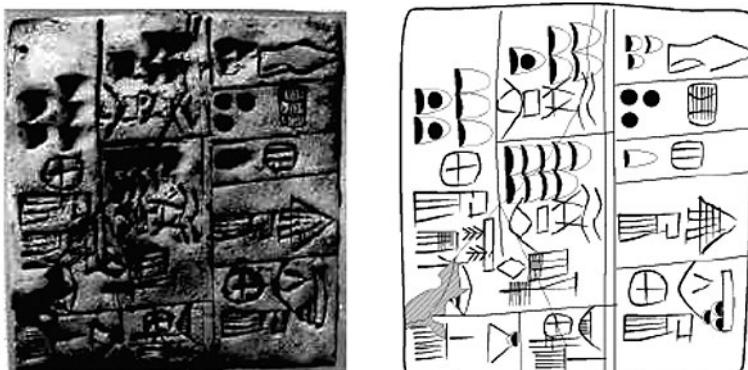
En algunas regiones de Mesopotamia no había piedra; la construcción se hacía con ladrillo de arcilla secado al sol (adobe) y ladrillo cocido. Los muros eran macizos y ciegos y, por su antiestética apariencia, eran revestidos con tabletas de cerámica cocida y vidriada, incrustada a modo de cuñas en el adobe.

Las ciudades de Mesopotamia se organizaban alrededor de un castillo fortificado en el punto más elevado de la ciudad. Tanto los palacios como las casas se construían en torno a un patio, mientras que los exteriores eran prácticamente ciegos. Las cubiertas eran planas y en terraza, y para las luces de entradas y ventanas se usaron cubiertas mediante arcos y bóvedas. Los templos o zigurats, consistían en torres de varios pisos cada vez más estrechos hacia el firmamento. Cada piso representaba alguno de los planetas conocidos y el piso superior se usaba para las ceremonias que se celebraban en la cumbre y como observatorio astronómico.

Los pobladores mesopotámicos aprovechaban el agua disponible durante todo el año para mantener el riego en los sembrados y desecaron los terrenos húmedos en las riberas de los ríos, lo cual posibilitó el cultivo de miles de hectáreas. A pesar de la poca evolución social y técnica, construyeron diques, presas y embalses de regulación. Inventaron también la escritura, la rueda, el arado y el dinero.

El conocimiento era empírico, obtenido partir de la experiencia repetitiva y se transmitía a través la comunicación oral, de una persona a otra, o mediante dibujos de los que se encuentran rastros en las cuevas rupestres. Una de las más antiguas representaciones muestra el uso de la rueda en Mesopotamia, hacia el año 3200 a.C. Gracias al intercambio mercantil y a la creciente complejidad de sus transacciones, al final del cuarto milenio antes de Cristo aparecen los primeros documentos escritos sobre tabletas de arcilla; se trata de textos contables en los que las cifras están representadas por muescas y las mercancías por pictogramas, como se puede ver en la figura 1.3. Con la aparición de la escritura se pudo perpetuar en parte el conocimiento; pero durante mucho tiempo se empleó la comunicación oral, ya que a la escritura solo podían acceder algunos privilegiados.

**Figura 1.3. Tableta con escritura precuneiforme Mesopotamia del Sur, cuarto milenio a. C.
Tierra cruda, alto 7,2 cm.**



Fuente: <http://www.historiaantigua.es/sumer/escritura/escritura.html>

El pueblo babilonio era un gran adorador de los elementos de la naturaleza y profesaba interés por el estudio de los astros, lo que más tarde lo condujo a dividir el año en doce partes y a asignar cada día de la semana a los dioses del planeta. Así mismo, tenían una gran atracción por conocer el cielo e indagar acerca de las estrellas que se divisaban en el firmamento.

En lo relacionado con las matemáticas fueron grandes avanzados, ya que lograron dividir la circunferencia en 360° , como resultado de la observación del cielo y de los ciclos repetitivos. También, se adentraron en la magia y la hechicería, así como en la astrología, dando con ello inicio a lo que hoy se conoce como el horóscopo de los doce signos zodiacales.

Egipto

Figura 1.4 Pirámides de Keops, Kefren y Micerino.



Fuente: <http://www.egiptologia.com/egipto-para-ninos/47-historia/207-las-piramides-de-la-meseta-de-guiza.html>

El imperio egipcio se inició en el valle del Nilo aproximadamente unos 3000 años a. C. Egipto era un país seguro, rodeado de desierto por tres lados y protegido de los posibles invasores que trataron de avanzar por mar a través del delta

del Nilo, al norte del país. Esto dio un carácter tranquilo a sus habitantes y les permitió tener tiempo libre para desarrollar sus artes y oficios, la literatura y la música. Los rasgos más destacados de esta cultura fueron su organización social y económica, su pensamiento religioso, su rica literatura y sus monumentales creaciones artísticas.

Pero por lo que más se reconoce la cultura egipcia es por la grandiosidad de sus obras arquitectónicas: las pirámides de Keops, Kefren y Micerino lo mismo que la gran Esfinge y varios monumentos de gran tamaño, que aún perduran y que nos asombran por la perfección de su construcción, para lo cual sólo emplearon la fuerza muscular y herramientas sencillas (figura 1.4).

La caza de aves, la pesca y los talleres de cerámica tejidos complementaron las actividades agrícolas y ganaderas. También emprendieron la explotación de minas de cobre en el Sinaí y de oro en Nubia.

En lo referente a conocimientos, los desarrollos en medicina fueron plasmados en papiros, en donde se describía la relación de enfermedades, síntomas y tratamientos; además por todos los vestigios y restos encontrados, se evidencia que conocían las técnicas de momificación.

En cuanto a la escritura se valieron del uso de jeroglíficos y dibujos, lo mismo que algunos fonemas, para poder transmitir sus mensajes y saberes.

Los egipcios construyeron diques, canales, esclusas y zanjas de irrigación para controlar las crecientes del río y aprovechar la zona cultivable del valle. También desviaron el curso del Nilo para construir la ciudad de Memphis. Construyeron las pirámides y los grandes monumentos en las arenas del desierto y a lo largo de los grandes acantilados empleando solamente la palanca, el rodillo, el plano inclinado y posiblemente una sierra larga de cobre. Cada bloque de piedra utilizado en las pirámides pesaba aproximadamente 2,5 toneladas, y fue extraído cuidadosamente de minas lejanas, cargado en lanchas a remolque y arrastrado de las orillas del Nilo a su actual sitio.

Así mismo, las teorías acerca de cómo se construyeron las pirámides, están fundamentadas en los jeroglíficos encontrados, de lo cual se planteó que para la gran pirámide de Keops, se utilizaron bloques rectangulares de piedra caliza blanca, sacados, en su mayoría, de las canteras de Mokattan, lugar que se encontraba cerca de la orilla del río Nilo.

Según Herodoto, la pirámide tardó en ser construida unos veinte años, con la ayuda de miles de operarios que eran relevados cada tres meses. Para el transporte de los grandes bloques se construyó una calzada de aproximadamente 900 m de longitud, 18 m de ancho y unos 36 m de desnivel sobre el Nilo. En cuanto a los hombres, para trasportarlos, se calcula que fueron unos 800, bien atados y situados en doble fila, correctamente alineados y coordinados, que tiraban al mismo tiempo de cuatro gruesas cuerdas.

1.2.2. Grecia

La cultura griega tuvo sus orígenes en la civilización cretense, raza de marinos y comerciantes, que llegaron a dominar el Mediterráneo. Produjeron vino, aceite y artículos de cerámica. El antiguo mundo griego se extendía por las costas de Asia Menor y del sur de Italia. A la parte peninsular se le llama Grecia Continental y a las islas y costas, Grecia Insular (figura 1.9). Durante el siglo VIII a. C. la escasez de tierras fértiles y el crecimiento demográfico provocaron tensiones sociales que impulsaron a los griegos a colonizar el Mediterráneo, dando origen a un activo comercio y a la expansión de la lengua griega como lenguaje comercial. Su interés por la navegación les permitió fabricar naves de remo y vela; construyeron un gran rompeolas de 365 m de longitud para proteger la bahía de Samos, en un lugar donde el agua alcanzaba 40 m de profundidad; esta fue la primera construcción registrada en una bahía artificial (Wright, 1994).

Figura 1.5. Ubicación de la antigua Grecia



Fuente: http://www.voyagesphotosmanu.com/mapa_grecia.html

Los griegos formaron ciudades independientes a las que llamaron polis. Cada ciudad tenía su propio gobierno, su territorio y sus colonias, por esta razón se han llamado ciudades Estado. Establecieron una extraordinaria civilización en la

cual las artes y las ciencias tuvieron un desarrollo maravilloso. Ninguna como la civilización griega ha influenciado tanto la historia humana, hasta el punto que sus enseñanzas siguen impariéndose y muchos de sus métodos siguen utilizándose actualmente. Así mismo, son conocidos sobre todo por su lógica abstracta y por su capacidad para teorizar y sintetizar el conocimiento del pasado.

Los primeros científicos de la historia que se formaron y laboraron en las ciudades griegas se concentraron en encontrar explicaciones racionales a los fenómenos de la naturaleza; estos eran muy versátiles ya que al mismo tiempo pudieron ser matemáticos, geógrafos y biólogos. Entre los principales representantes de la filosofía griega se encuentran: Sócrates, Platón y Aristóteles, reconocido este último como el padre de la lógica, por su razonamiento práctico y científico.

Por otra parte, a Tales de Mileto se le considera el padre de las matemáticas y la filosofía griega por su interés en estos campos, el cual se vio reflejado en el planteamiento de los postulados y teoremas relacionados con las áreas y los triángulos; también afirmaba que la esencia de toda la materia era el agua. Otro de los invaluables científicos y matemáticos de la cultura griega fue Arquímedes, quien desarrolló los cálculos para hallar gran variedad de áreas y volúmenes y enunció los principios de los cuerpos flotantes y las aplicaciones de las palancas y poleas.

De igual manera, uno de los principales aportes de estos hombres fue el haber utilizado el poder de abstracción geométrica, por ejemplo, la noción de la recta. También fueron los primeros en darse cuenta que un enunciado matemático debía ser demostrado mediante una deducción lógica a partir de ciertos hechos fundamentales llamados axiomas, y que no bastaba con ilustrarlo con un número bastante grande de casos en que se verificara. Pitágoras y Euclides fueron dos de los más importantes matemáticos desde esa época, por el desarrollo del conocido teorema de Pitágoras y los conocimientos geométricos, respectivamente.

La arquitectura griega se caracterizó por tener siempre en cuenta al hombre como medida de todas las cosas, es decir que en las construcciones el espacio interno no era importante, lo fundamental era que estas se acomodaran a las necesidades del ser humano.

Ahora bien, las casas griegas eran sencillas, pero las grandes construcciones, en general influenciadas por el concepto de hombre que se tenía, fueron de tipo netamente cívico (al servicio del público), es decir los teatros, templete, pórticos públicos y templos, entre otros, eran muy grandes sumptuosos y elegantes, con una arquitectura compleja y acabados muy finos.

Los griegos dejaron dos construcciones famosas por sus grandes dimensiones: el Faro de Alejandría y el Coloso de Rodas, construido en honor al dios Apolo. También edificaron varios templos, entre los cuales se encuentran el Partenón y el templo de Zeus, construido en la ciudad de Olimpia por el arquitecto Fidias y destruido por un terremoto en el siglo VI (Asociación Proyecto Clío, s. f.).

Aunque se destacaron por el razonamiento abstracto, sus aportes a la ingeniería fueron modestos, ya que desdeñaron la experimentación como factor de aprendizaje y de conocimiento del mundo y se empeñaron en la búsqueda filosófica de la verdad.

1.2.3. Roma

Si bien los romanos no hicieron grandes descubrimientos científicos, comparados con sus antecesores los griegos sí lograron avances notables en la técnica, es decir, en la utilización de las ciencias para resolver necesidades prácticas, especialmente en el ramo de la construcción de obras civiles, razón por la cual se consideran los más hábiles ingenieros de la antigüedad.

El Imperio romano se expandió a partir de la dominación de una gran cantidad de pueblos, de quienes adoptaron las mejores técnicas de construcción y donde crearon nuevas ciudades, aplicando también los conocimientos aportados por las civilizaciones egipcia, mesopotámica y griega. Las necesidades de comunicación, de abastecimiento y de dotación de infraestructuras potenciaron la ingeniería y llevaron al uso de materiales no empleados hasta entonces, como el cemento hidráulico, material obtenido mediante la combinación de ceniza volcánica con yeso y otros productos. Una vez descubierta la argamasa se hizo posible también la fabricación de hormigón, aunque se siguieron utilizando la piedra y el barro cocido al horno con el cual fabricaron ladrillo, tejas, tubería de cerámica, etc.

La piedra era el material más importante; con ella construyeron cimientos, canales, murallas, puentes y bóvedas, y se creó una red de caminos. Aprendieron que la piedra resiste mejor a los elementos si se coloca en el edificio en la misma posición en la que estaba en la cantera, y que las uniones de los bloques encajaban mejor si iban menguando ligeramente ambos lados desde el exterior hacia el interior.

Las construcciones más notables fueron obras públicas que buscaban satisfacer las necesidades más sentidas de la población: vías, acueductos, alcantarillados, puentes y edificios públicos, y aunque en la actualidad parecen obras simples, requirieron para su construcción una gran capacidad técnica y una considerable cantidad de trabajo. Construyeron edificios públicos para el gobierno, el culto y la diversión, entre los que se encontraban palacios, templos, foros, basílicas, teatros, anfiteatros, circos, mercados, baños y motivos de adorno o conmemoración como las columnas y los arcos de triunfo. Entre los principales edificios construidos por los romanos se destacan por su magnitud los dedicados a espectáculos públicos tales como teatros, circos y anfiteatros.

Las ciudades romanas estaban adornadas con estatuas y edificios, contaban con suministro de agua potable y calles empedradas, así como con murallas alrededor de la ciudad para defenderse de los ataques enemigos. Las aceras, como en la actualidad, se dejaban unos 15 cm por encima de la calzada, para evitar que los vehículos pudieran subir a la zona reservada a los peatones, como se puede

observar en la figura 1.6. En ocasiones se dejaban atravesados una hilera de bloques de piedras equidistantes para facilitar el cruce de los peatones y para evitar que los carros excedieran la velocidad.

Figura 1.6. La disposición de las calles y su pavimento demuestra la capacidad previsora y práctica de los romanos.



Fuente: <http://catedu.es/aragonromano/calles.htm>

Cuando llovía el agua era recogida por unas alcantarillas ubicadas bajo las aceras y en el caso que por una lluvia torrencial se formaran charcos en la calzada, los peatones podrían cruzarla sin ningún problema, gracias a aquellos bloques de piedra.

Construyeron una amplia red de caminos que se extendió por Europa desde el Mar Negro hasta España e Inglaterra, y desde Turquía bordeando el Mediterráneo hasta el estrecho de Gibraltar. Se calcula que la red principal de caminos media aproximadamente unos 90.000 km.

Para la construcción de sus calzadas aplicaron conceptos de planimetría y altimetría, con el fin de elaborar un trazado que permitiera bajas pendientes, para facilitar el paso de carros cargados y evitar el agotamiento de los animales de tiro.

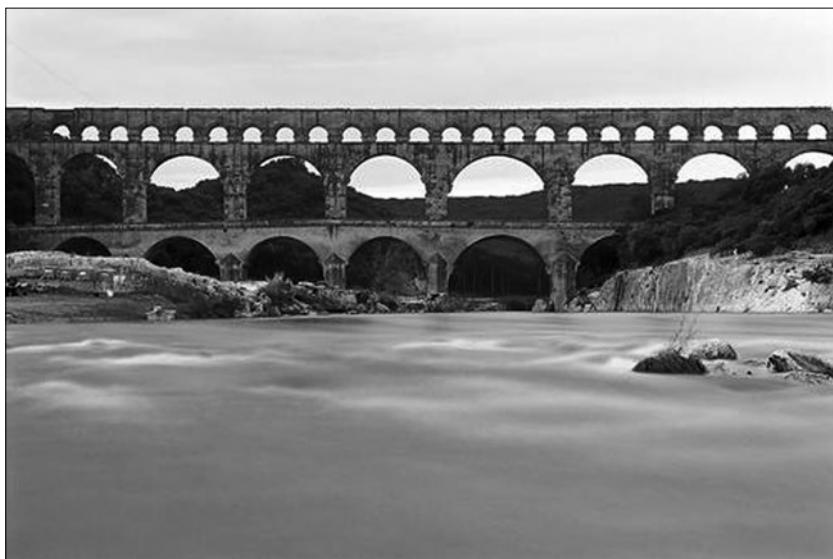
Colocaron varias capas de material resistente y, en ocasiones, construyeron sobre altos terraplenes para evitar que la lluvia se infiltrara y pusiera en riesgo la estabilidad de la vía. Como disponían de suficiente material y fuerza de trabajo, construyeron sus obras con la mayor calidad posible para garantizar su

duración, de tal manera que aún se conservan grandes tramos de vías en buen estado. En la actualidad se siguen utilizando los mismos métodos de diseño, pero lastimosamente ya las obras no se construyen con esos conceptos de durabilidad y de economía en el mantenimiento.

Así mismo sus acueductos alcanzaron un tamaño colosal y fueron tan bien construidos, a tal punto que aún se encuentran tramos de estos en funcionamiento, tal es el caso del acueducto sobre el canal de Francia (figura 1.7), el de Segovia en España y el de Éfeso en Turquía.

Construyeron también una amplia red de alcantarillados, que recorrían la ciudad siguiendo su trazado. Esta red conducía las aguas residuales hasta verterlas en los campos o, más frecuentemente, en los ríos cercanos.

Figura 1.7. El Pont du Gard, al sur de Francia, fue construido hacia el año 19 a. C.



Fuente: <http://whc.unesco.org/en/list/344/gallery/>

1.2.4. Edad Media

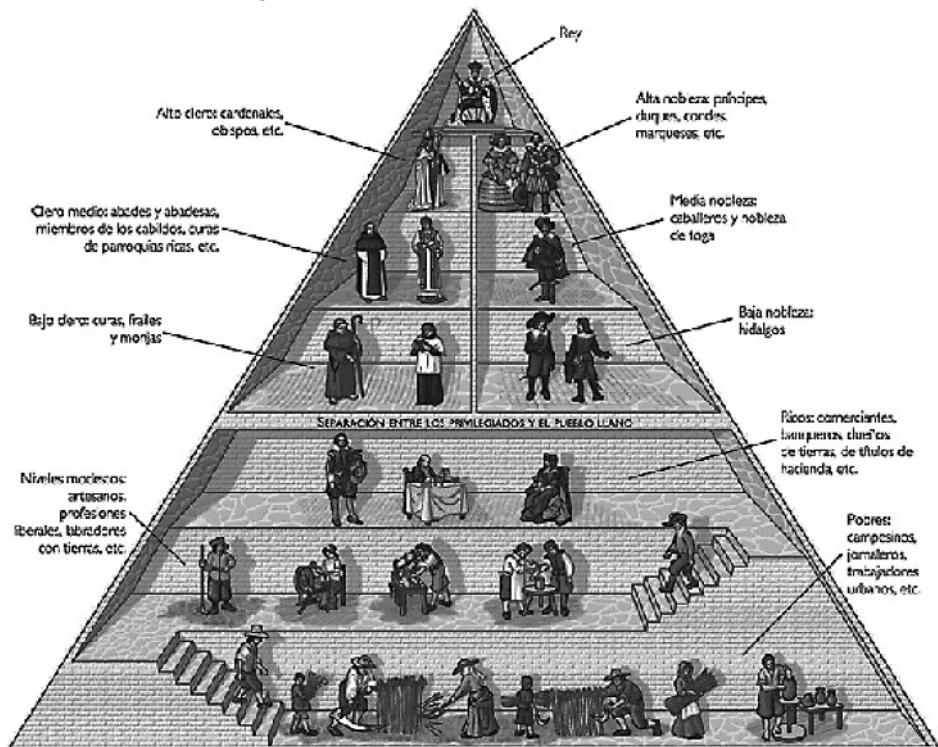
Se considera Edad Media a la etapa de la historia de Europa que se extiende desde la invasión de los bárbaros y la desaparición del Imperio romano, aproximadamente en el siglo V, hasta finales del siglo XV, cuando los primeros navegantes españoles y portugueses llegaron al continente americano. Esta etapa histórica tuvo una duración de mil años y ocurrieron pocos avances en ingeniería, aunque se desarrolló el diseño estructural en la construcción y se inventaron dispositivos y máquinas que economizaban energía e incrementaban la potencia.

En los antiguos dominios romanos se instalaron tres civilizaciones distintas: en Europa Occidental los pueblos invasores (germanos, franceses y godos), en el sur de Europa y Asia Menor se mantuvo el Imperio bizantino y a partir del siglo VII se extendió el Islam, religión musulmana árabe.

Luego de la invasión de los bárbaros hubo un gran desorden y retraso, por lo que la economía se arruinó debido a las guerras y a la inseguridad. La población disminuyó a causa de la pobreza y de terribles epidemias. Las ciudades perdieron importancia porque el comercio casi había desaparecido y era muy difícil abastecer a grandes poblaciones. Sin embargo, poco a poco volvió la estabilidad, los bárbaros se asentaron y se dedicaron a la agricultura y ganadería, se volvieron cristianos y adoptaron elementos de la cultura romana.

La tierra pasó a ser uno de los valores máspreciados durante esta época y pertenecía al grupo social más poderoso de la Edad Media: los señores feudales, quienes la recibían a cambio de colaborar al rey durante las guerras. Los campesinos (siervos) constituyían la gran mayoría de la población y trabajaban las tierras de los señores feudales, a quienes entregaban gran parte de las cosechas. La figura 1.8 ilustra la organización piramidal de la sociedad durante la Edad Media.

Figura 1.8: Pirámide social en la edad media.



Fuente: http://www.kalipedia.com/historia-universal/tema/edad-moderna/graficos-estamentos-sociedad-moderna.html?x1=20070717klphisuni_89.Ees&x=20070717klphisuni_189.Kes

Los terratenientes buscaban cuidarse a sí mismos y a sus propiedades, por lo cual construyeron casas fortificadas y castillos de muros gruesos, rodeados por un foso que se podía atravesar solamente mediante un puente.

Durante esta época los chinos alcanzaron adelantos técnicos como el papel, las primeras formas de imprenta, el cigüeñal, que permite convertir movimientos lineales en rotatorios y viceversa, y la pólvora. Con la invención de la pólvora y los cañones la construcción de castillos medievales terminó.

El conocimiento quedó relegado a los monasterios donde se conservaron las bibliotecas de la época. En cuanto a construcción surgió el estilo románico, caracterizado por gruesas paredes de piedra, ventanas pequeñas que le otorgaban oscuridad a los interiores y el uso del arco semicircular o de medio punto, al igual que la madera en la construcción de los techos.

En cuanto a la arquitectura en este periodo, en Francia se originó el estilo gótico, que rápidamente fue adoptado por países como Inglaterra, Alemania, Italia y España; quienes desarrollaron de manera eficaz y abundante dicho estilo, especialmente para el diseño y construcción de catedrales, iglesias y templos. El estilo gótico se caracterizaba por algunos elementos básicos como: los arcos apuntalados, las bóvedas de crucería, los sillares de piedra labrados, la ligereza en su estructura y la mayor luminosidad interior.

A principios del siglo VII surgió en Arabia el profeta Mahoma, creador del islam, que significa sometimiento a Dios. Pronto la religión musulmana se extendió y sus seguidores se obligaron a convertir a otros pueblos al islam, para lo cual avanzaron hacia occidente, ocupando el norte de África e invadieron España; hacia el norte dominaron Asia Menor, desplazando a Constantinopla, y se extendieron también hacia el oriente llegando a Persia, el centro de Asia y la India.

La ciencia y la técnica tuvieron un gran desarrollo en la civilización islámica, ya que esta conservó y adaptó los conocimientos de las culturas invadidas. Asimismo, organizó centros de estudio e investigación en las grandes ciudades. Los árabes inventaron los números dígitos y el sistema decimal, emplearon el cero y asignaron valor a los números según la posición que ocupaban.

Alrededor del 1100 empezaron a ocurrir cambios importantes: los países europeos se encontraban en paz y en el inicio de un ciclo de prosperidad económica; había un comercio floreciente y las primeras universidades comenzaron a funcionar en Europa. Se amplió el conocimiento en varias disciplinas gracias a los avances significativos en transporte y comunicaciones, lo que propició el auge de los descubrimientos científicos y de soluciones novedosas a antiguos problemas.

También se construyeron catedrales con sistemas estructurales innovadores: arcos ojivales en remplazo del arco de medio punto, bóvedas de crucería (cruce de dos arcos o nervios apuntados, que conforman una estructura resistente sobre la que se colocan los ligeros elementos de relleno que configuran la bóveda), muros más esbeltos apoyados lateralmente por arcos, cúpulas y vitrales que le dieron un nuevo

aspecto a la arquitectura, a la que se llamó estilo gótico (Grech, 2001). La figura 1.9 muestra la Catedral de Milán, Italia, que representa el más puro estilo gótico.

Figura 1.9. Catedral de Milán, estilo gótico



Fuente: <http://www.arteviaje.com/2011/03/catedral-de-milan.html>

1.2.5. Renacimiento

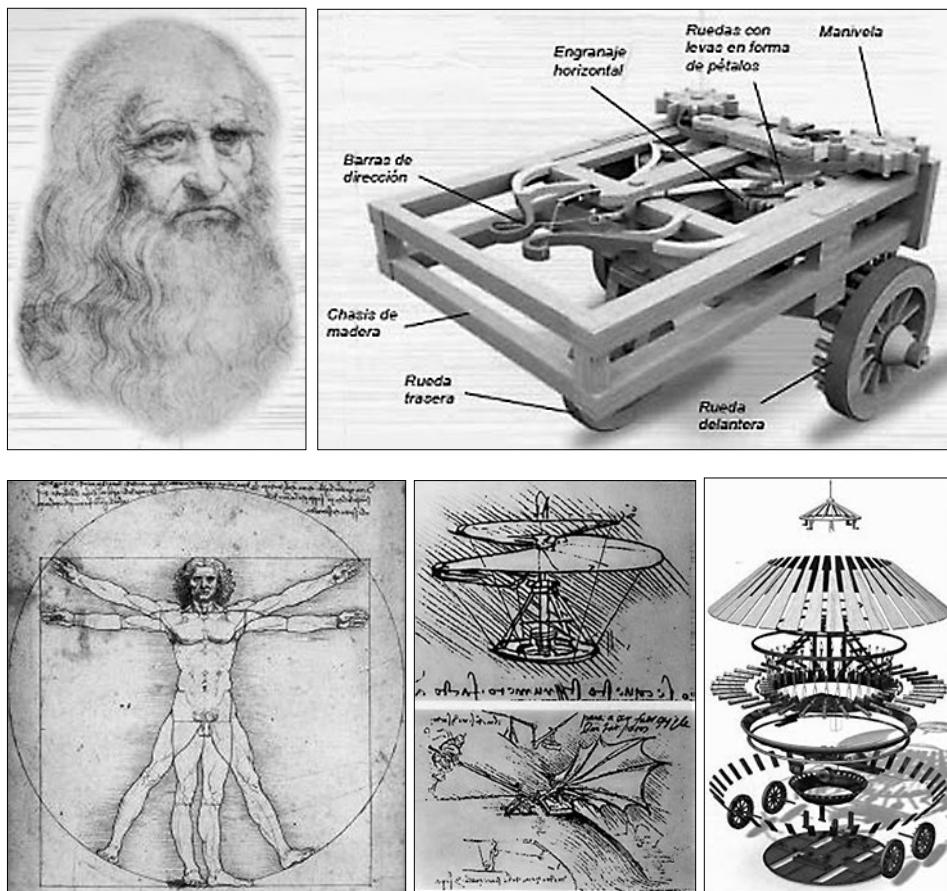
El Renacimiento es la transformación que experimenta la cultura europea con respecto a la Edad Media durante los siglos XV y XVI. Se caracterizó por un cambio en la actitud mental, reflejado en actividades como investigar, descubrir y contradecir lo aceptado durante siglos. En esta época se retornó al concepto de la cultura grecolatina como medida de la perfección y se desarrollaron ampliamente las artes, las ciencias y las letras. A este renacer se unen la aparición de la imprenta, que facilita la difusión de los libros, los descubrimientos geográficos (que amplían el mundo conocido y abren nuevas rutas al comercio), el desarrollo económico y el crecimiento de las ciudades. Con todo ello comienza el mundo moderno.

Durante esta época entró en auge la aplicación de métodos de observación como el inductivo y deductivo. Se dieron notables aportes en geografía, física, astronomía, matemáticas y ciencias naturales. Se destacaron en esta época hombres como Nicolás Copérnico, Leonardo Da Vinci, Galileo Galilei, Robert Boyle, Isaac Newton, Techo Brahe, Johannes Kepler, etc.

Nicolás Copérnico afirmó, a mediados del siglo XVI, que la Tierra no era el centro del Universo, sino que giraba en torno al Sol. Años más tarde Johannes Kepler descubrió cómo se movían los planetas y Galileo Galilei, utilizando un telescopio que él mismo construyó, observó la superficie de los planetas y encontró que varios de estos, como Júpiter, tenían también satélites.

Leonardo Da Vinci fue un genio humanista, científico, ingeniero y pintor, que en sus ratos libres imaginaba artefactos que ayudarían a los hombres a resolver algunos problemas de la vida diaria; varias de estas máquinas se construyeron cuatro siglos después de su muerte: la bicicleta, el helicóptero, elevadores y excavadores. Sus aportes a la ciencia, la técnica y el arte son notables. La figura 1.10 ilustra la imagen de Leonardo Da Vinci, así como los bosquejos de algunos de sus diseños.

Figura 1.10. Leonardo Da Vinci y algunos de sus diseños



Fuente: <http://www.teinteresaber.com/2012/03/leonardo-da-vinci-y-algunas-de-sus.html>

En esta época entran en pleno auge los descubrimientos geográficos y la colonización de América, con lo cual Europa recibe oro, plata y nuevos productos, lo que durante el siglo XVI da origen al mercantilismo, basado en la acumulación de capital, propiciando con ello el tránsito de la economía hacia el capitalismo actual.

1.3. Resumen del capítulo

La ingeniería surgió casi a la par con la aparición del hombre, e igualmente su evolución se presentó paralelamente al proceso de avance del ser humano. Los materiales de los cuales disponía el hombre en los diferentes períodos de tiempo, y las habilidades y destrezas con las cuales contaba le permitieron desarrollar diferentes herramientas, elementos y maneras de hacer las cosas, a lo cual se denominó tecnología. Esta tecnología, obviamente, estaba de acuerdo con la época en que se vivía.

Ahora bien, la tecnología creada por el ser humano se dio fruto del ingenio y la creatividad de este, razón por la cual las obras producto de la tecnología en la época actual se les dio el nombre de obras de ingeniería y a los que las realizaron se les llamó ingenieros.

En ese orden de ideas, entre los productos realizados por el hombre en su momento, a lo largo de diferentes etapas de la prehistoria y la historia (hasta el Renacimiento), y que tienen relación con la ingeniería se encuentran:

1.3.1 Época prehistórica

Se fabricaron instrumentos como cuchillos, hachas de piedra y puntas para lanzas; se emplearon técnicas que le facilitaron al hombre la caza de animales, el aprovechamiento de su carne y de su cuero para abrigo. Con los huesos de animales fabricó las primeras agujas para unir pieles (Tineo I Marquet, 1984).

Se desarrolló la cerámica, la cestería, los tejidos manuales y el conocimiento de los metales. Hacia el año 4000 a. C. se constituyeron los primeros asentamientos permanentes alrededor de los ríos Nilo, Éufrates e Indo, confirmados por la aparición de los primeros recipientes de barro para cocinar y almacenar alimentos.

1.3.2 Época antigua

Elaboración de acueductos, alcantarillados, vías, etc., lo cual provocó modificaciones en las relaciones interpersonales y en la distribución de la producción, dando inicio a la civilización con escritura y gobierno.

Los primeros ingenieros construyeron edificaciones y muros para protección de las ciudades, otros se ocuparon de la irrigación de los cultivos, pero como las tierras más fértiles eran frecuentemente atacadas, aparecieron los ingenieros militares, encargados de defender las zonas de cosecha y las ciudades.

Se fabricaron vasijas de cerámica y metal, lo cual indujo un aumento de la población con nuevas necesidades: ampliar las áreas de cultivo, introducir sistemas de irrigación, aumentar el tamaño y número de los rebaños, y proteger al grupo de ataques contra la propiedad.

Los sumerios fueron los primeros pobladores de la Tierra que intentaron pegar piedras entre sí para formar muros, usando como ligante asfalto que conseguían en depósitos naturales de la región.

Las ciudades de Mesopotamia se organizaban alrededor de un castillo fortificado en el punto más elevado de la región.

La cultura egipcia es conocida por la grandiosidad de sus obras arquitectónicas: las pirámides de Keops, Kefren y Micerinos protegidas por la gran Esfinge y varios monumentos de tamaño colosal, que aún perduran y nos asombran por la perfección de su construcción, para la cual solo emplearon la fuerza muscular y algunos instrumentos sencillos.

La construcción de los colosales acueductos de Roma.

1.3.3 Edad Media

Los terratenientes buscaban cuidarse a sí mismos y a sus propiedades, por lo que construyeron casas fortificadas y castillos de muros gruesos, rodeados por un foso que se podía atravesar solamente mediante un puente.

Durante esta época los chinos alcanzaron adelantos técnicos como el papel, las primeras formas de imprenta, el cigüeñal, que permite convertir movimientos lineales en rotatorios y viceversa, y la pólvora. Con la invención de la pólvora y los cañones la construcción de castillos medievales terminó.

También se construyeron catedrales con sistemas estructurales innovadores: arcos ojivales en remplazo del arco de medio punto, bóvedas de crucería, muros más esbeltos apoyados lateralmente por arcos, cúpulas y vitrales que le dieron un nuevo aspecto a la arquitectura, a la que se llamó estilo gótico.

1.3.4 Renacimiento

En esta época se inventó la imprenta, lo que facilitó la difusión de los libros, los descubrimientos geográficos, el desarrollo económico y el crecimiento de las ciudades. Con todo ello comienza el mundo moderno.

En este periodo vivió Leonardo Da Vinci, genio humanista, científico, ingeniero y pintor que en sus ratos libres imaginaba artefactos que ayudarían a los hombres a resolver algunos problemas de la vida diaria. Algunas de estas máquinas se construyeron cuatro siglos después de su muerte: la bicicleta, el helicóptero, elevadores y excavadores. Sus aportes a la ciencia la técnica y el arte son notables.

1.4. Actividades de aprendizaje

Empleando una línea de tiempo haga un recuento de los aspectos más relevantes y los sucesos que marcaron las diferentes etapas del origen y el desarrollo de la ingeniería en el transcurso de la historia.

Realice un mapa conceptual acerca de las civilizaciones que dieron origen a la ingeniería, y condujeron al avance y la evolución de esta disciplina.

Bibliografía

- Asociación Proyecto Clío. (s. f.). Grecia y Persia en el mundo antiguo. Las guerrasmédicas. Recuperado de <http://clio.rediris.es/articulos/grecia.htm>
- Forero, Catalina y Otros. (2004). Enciclopedia Temática Amphora, Tomo 3. Colombia: Editorial Norma S.A.
- Grech, P. (2001). Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño. Bogotá: Pearson.
- Montenegro González, Augusto. (1992). Historia y Geografía del Mundo. Colombia: Editorial Norma S.A.
- Sarria Molina, A. (1999). Introducción a la ingeniería civil. Bogotá: McGraw-Hill.
- Silíceo, A., Casares, D., y González, J. L. (1999). Liderazgo, valores y cultura organizacional. México: McGraw-Hill.
- Tineo I Marquet, J. A. (1984). Historia de la construcción. Barcelona: Montesino.

Cibergrafía

- Catedral de Milán. Web Arte Viaje, (2011), En <http://www.arteviaje.com/2011/03/catedral-de-milan.html>. Consulta realizada en mayo de 2012.
- Jara, Sira. Arquitectura Griega: El Partenón. Web GEOHISTORIA (2010). En <http://geohistoria-apuntes.blogspot.com/2010/12/arquitectura-griega-el-partenon.html>. Consulta realizada en marzo de 2012.
- La escritura cuneiforme. Web Historia Antigua, (2009). En <http://www.historiaantigua.es/sumer/escritura/escritura.html>. Consulta realizada en junio de 2011.
- La sociedad estamental. Web KALIPEDIA.COM (encyclopedia on line), (2009). http://www.kalipedia.com/historia-universal/tema/edad-moderna/graficos-estamentos-sociedad-moderna.html?x1=20070717klphisuni_89. Ees&x=20070717klphisuni_189.Kes. Consulta realizada en septiembre 2011.
- Las pirámides de la meseta de Guiza. Web Amigos de la Egiptología, (1996). En <http://www.egiptologia.com/egipto-para-ninos/47-historia/207-las-piramides-de-la-meseta-de-guiza.html>. Consulta realizada en junio de 2011.
- Las primeras civilizaciones. Web KALIPEDIA.COM (encyclopedia on line), (2009). En <http://www.kalipedia.com/historia-universal/tema/edad-antigua/graficos-civilizaciones-fluviales.html>. Consulta realizada en mayo de 2011.
- Lerida Lafarga, Roberto. Las calles y vías urbanas. Web Patrimonio Romano de Aragón, (2008). En <http://catedu.es/aragonromano/calles.htm>. Consulta realizada en septiembre de 2011.
- Leonardo Da Vinci y algunas de sus obras e inventos. Web Te interesa saber.com. En <http://www.teinteresasaber.com/2012/03/leonardo-da-vinci-y-algunas-de-sus.html>. Consulta realizada en marzo de 2013.

Mapa geográfico de Grecia. Web Emmanuel Buchot. En http://www.voyagesphotosmanu.com/mapa_grecia.html. Consulta realizada en diciembre de 2011.

Pont du Gard (Román Aqueduct). Web UNESCO World Heritage Centre, (1992). En <http://whc.unesco.org/en/list/344/gallery/>. Consulta realizada en septiembre 2011.

Ramo García, Arturo. Mesopotamia y Egipto. Web Revista de Aplicaciones didácticas, (2006). En <http://www.aplicaciones.info/sociales/historia/histo04.htm>. Consulta realizada en mayo de 2011.

Capítulo
dos

*Desarrollo de la
ingeniería en la
época moderna y
posmoderna*



2.1. Introducción

A mediados del siglo XVIII, con toda la renovación y el desarrollo de conocimientos por hombres tan adelantados y creativos como Leonardo Da Vinci, Robert Boyle, Isaac Newton y Tycho Brahe, entre otros, se comenzó a gestar un movimiento de avanzada en lo relacionado con la tecnología y la economía, lo que más tarde produciría un remeson total en los modos de producción, transporte y comercio que se venían utilizando, dando con ello inicio a lo que hoy en día se denomina era moderna en adelante, se ha venido presentando un desarrollo tecnológico acelerado y vertiginoso que ha incidido en el mejoramiento de la calidad de vida del hombre y de todo su contexto.

Con los desarrollos logrados a partir de la era moderna, el hombre avanzó en todos los campos, desde la medicina hasta la electrónica, logrando con ello conquistar el espacio, incursionar en la física cuántica, curar enfermedades terminales y reemplazar órganos del cuerpo humano, entre otros.

En ese orden de ideas, a continuación se presentan algunos de los eventos y acontecimientos que marcaron un hito en el desarrollo y la evolución de la ingeniería en la era moderna y posmoderna.

2.2. Primera Revolución Industrial

Un suceso de gran envergadura que dio origen a nuevos sistemas de producción y nuevas tecnologías fue la primera Revolución Industrial, acaecida entre 1760 y 1860.

A mediados del siglo XVIII, Gran Bretaña realizó una serie de transformaciones con las cuales se dio inicio a lo que hoy en día se conoce como Revolución Industrial, en donde lo más relevante fue:

- La invención de máquinas que ayudaban a mejorar los procesos productivos y abarataban costos, como por ejemplo la lanzadera, que consistía en un dispositivo especial que se utilizaba para tramar. Esta se usó en las industrias del algodón y tejidos, duplicando la cantidad de producción del tejedor.
- Los cambios en la estructura social, surgiendo con ello el proletariado industrial.
- El predominio del trabajo mecánico sobre el trabajo manual.
- El desarrollo de las grandes industrias que se sustentaban en el uso de la máquina de vapor, para incrementar la productividad.
- La evolución de la producción artesanal y familiar a la producción en masa (grandes cantidades), dando origen a las fábricas.
- La evolución del transporte: del uso de las bestias de carga y carretas para transportar, se pasó a los ferrocarriles (ver fig. 2.1) y el barco a vapor.

- El mejoramiento de los medios de comunicación: se inició la transformación y mejoramiento continuo de los caminos que existían y la creación de nuevas vías terrestres de comunicación.

Algunas de las causas que dieron origen a este fenómeno fueron:

- Mano de obra abundante, grandes yacimientos de carbón, colonias en ultramar, grandes redes fluviales que facilitaban el transporte de mercancías por el interior del territorio.
- La revolución agrícola, con la aplicación de nuevas tecnologías y formas de explotación de la tierra, lo cual incrementó la producción de alimentos.
- La revolución demográfica, que consistió en un significativo aumento de la población.

Asimismo, entre los inventos tecnológicos y los sucesos que se produjeron en esta época se encuentran:

- La máquina extractora de semillas, utilizada para la recolección de algodón.
- La aparición de las primeras fábricas textiles, que utilizaban máquinas desmotadoras de algodón, máquinas de hilar y cardadoras, innovaciones en la industria textil que desplazaron a las prendas de lana por las de algodón.
- Las tarjetas con perforaciones llevadas a los telares, a través de las cuales se colocaban los hilos para luego ponerlos en marcha, lo que sirvió de base más tarde a Charles Babbage para diseñar una máquina calculadora y posteriormente para almacenar datos o instrucciones aplicando las perforaciones en lugares determinados.
- La máquina de vapor, que trae como consecuencia la sustitución de la fuerza muscular en algunos trabajos.

Al respecto, es importante decir que más adelante estas máquinas comenzaron a fabricarse a gran escala, con peso y tamaño considerables.

En 1769, el inglés James Watt dio comienzo a la Revolución Industrial, patentando una máquina de vapor que mejoraba el motor de balancín, inventado por Newcomen, que ahorraba hasta un 75% en costo de combustible. La nueva máquina puso en movimiento minas de carbón, ferrocarriles y barcos, y transformó el sistema de trabajo del siglo XVIII. A comienzos del siglo XIX, Inglaterra, Francia y Estados Unidos comenzaron a aprovechar esta nueva energía para mover buques y ferrocarriles, y emprendieron un acelerado desarrollo industrial.

El primer modelo de barco a vapor para transporte de pasajeros fue construido por el ingeniero estadounidense Robert Fulton, el cual avanzaba a 8,5 Km/h, pesaba 150 ton y estaba equipado con una máquina de vapor y una rueda de pala. Al mismo tiempo, se vio un auge en la construcción de canales, entre los cuales se destacaron el Suez en 1869 y el de Panamá, puesto en servicio en 1914.

Figura 2.1. El carbón y el acero son los símbolos materiales de la Revolución Industrial, de la misma manera que el vapor fue su motor.



Fuente: <http://unmundoderevolucion.wordpress.com/>

En 1891 se probó el primer submarino de vapor, llamado Nautilus (ver figura 2.2), que quedó sumergido casi una hora. Aunque la primera locomotora se originó el 1801, en 1814 se creó una que arrastró vagones de carbón y en 1825 corrió el primer tren de carga y de pasajeros a una velocidad de 24 km/h. No tardó en construirse la primera imprenta de vapor, utilizada por el diario londinense *Times*, que permitió cumplir en dos horas con el trabajo que antes exigía un día.

Figura 2.2 – Submarino Nautilus.



Fuente: <http://www.neoteo.com/nautilus-el-primer-submarino-en-pasar-por-el-polo>

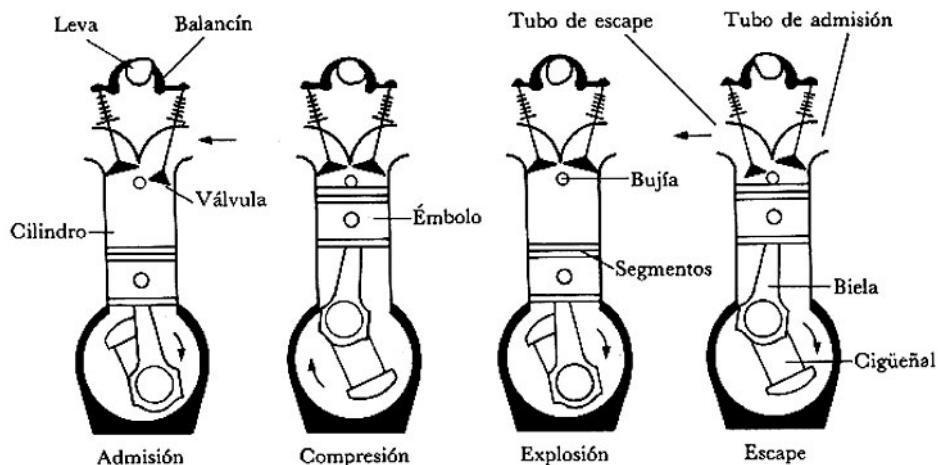
El maquinismo se originó y desarrolló primero en Inglaterra a finales del siglo XVIII, para posteriormente popularizarse en otros países de Europa y del mundo. Sin embargo, fue en Estados Unidos donde se realizaron los más grandes adelantos de carácter mecánico; allí se crearon nuevos medios de comunicación y de transporte, así como aparatos de uso doméstico que mejoraron las condiciones de vida diaria de las personas. Finalmente se perfeccionaron las máquinas a vapor y se inventaron los motores eléctricos y de explosión interna.

En esta etapa se comenzó a cimentar uno de los principios fundamentales de la industria moderna, el cual planteaba que los procesos de producción nunca eran definitivos ni acabados, con lo que se originó el problema de la obsolescencia tecnológica en períodos cada vez más breves.

2.3. Segunda Revolución Industrial

La segunda Revolución Industrial se inició a partir de 1860, cuando a causa del avance de las ciencias naturales se desencadenó el progreso de la ciencia y de la tecnología. Este avance está precedido por tres acontecimientos de enorme trascendencia: el proceso Bessemer para producir acero, inventado en 1956; el perfeccionamiento del dinamo o alternador eléctrico, en 1873, y la invención del motor de combustión interna en 1876 (ver figura 2.3).

Figura 2.3. Motor de combustión interna (4 tiempos) conformado por cilindros y pistones, a través del cual se logró mover vehículos (carros). Este motor fue inventado por Nikolaus Otto, quien llevó a la práctica un sistema de operación del motor a base de válvulas cuyo uso se ha generalizado y se aplica prácticamente en la mayoría de los diseños de motores para automóviles.



Fuente: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_10.html

Con la producción de acero se fabricaron vigas de hierro más resistentes que las de madera y se introdujo este elemento junto con el cemento Portland en la fabricación de estructuras más fuertes, dando origen al hormigón armado que revolucionó la construcción en el siglo XX.

Con base en los trabajos científicos de Volta, Franklin y Faraday fue posible generar energía eléctrica a partir del movimiento mecánico y transformar la corriente eléctrica en movimiento. El uso de la electricidad y el invento de la bombilla eléctrica por Thomas Alva Edison permitieron la iluminación de lugares públicos y de los hogares. Este invento también contribuyó al funcionamiento del tranvía eléctrico y de la locomotora eléctrica. El uso de la electricidad revolucionó los medios de transporte, así como los de comunicación, gracias al telégrafo y al teléfono, que a su vez abrieron camino a la radio y la televisión, inventada esta última en 1926. Entre otras grandes creaciones figuran la fotografía, el cinematógrafo, la máquina de coser, el fonógrafo y los sistemas de refrigeración.

Otro cambio trascendente, que causó revuelo en esta época, consistió en la utilización de los derivados del petróleo, el cual en un comienzo era muy escaso hasta que, en 1859, se perforó el primer pozo en Pensilvania. En 1876 Nikolaus Otto inventó el primer motor de combustión interna; más tarde, Karl Benz equiparía los motores de combustión interna con una chispa eléctrica que encendía el combustible. Asimismo, Rudolf Diesel creó el motor a petróleo, que se aplicó en las locomotoras y en el transporte marítimo y terrestre. Estos inventos revolucionaron la industria del transporte y de las comunicaciones: se incrementó el empleo de los ferrocarriles, que mediante el uso de combustible diésel podían alcanzar velocidades superiores a los 100 km/h, y se adecuaron sus espacios internos para dar mayor comodidad al pasajero.

A este avance siguió el invento del automóvil, movido por un motor de combustión interna, y más adelante el avión, iniciado por los hermanos Wright en 1903. Todos estos inventos siguen perfeccionándose en la actualidad, con el fin de alcanzar máximos niveles de confort, economía y seguridad.

Todos estos adelantos tecnológicos produjeron, a su vez, grandes cambios en la sociedad: se transformaron los métodos de producción, que pasaron al uso de la banda transportadora y el trabajo en serie, dando origen a la cadena de montaje (ver figura 2.4), en donde el individuo se dedicaba todo el día a una tarea simple y monótona que lo convertía más que en un productor, en un servidor de la máquina. Por otra parte, los investigadores y los laboratorios de las grandes universidades pusieron a disposición de la industria sus valiosos descubrimientos.

Igualmente, a finales del siglo XIX y comienzos del XX, las investigaciones realizadas por Frederick W. Taylor (ingeniero mecánico), en la industria del acero, originaron un nuevo enfoque para la producción, llamado administración científica, que estaba sustentado en cuatro principios que las empresas y fábricas de dicha época comenzaron a aplicar, cambiando totalmente la manera en la que estas se administraban y organizaban.

En ese orden de ideas, también se realizó un cambio en el estilo de vida de la sociedad: las ciudades, en un comienzo no planificadas para la industrialización, crecieron desordenadamente mientras recibían a los inmigrantes del campo que se instalaban allí para trabajar en las fábricas, las cuales fueron en principio sitios insalubres e inseguros, con largas jornadas de trabajo y bajos salarios en donde se empleaban a mujeres y niños.

Con la Revolución Industrial surge el capitalismo, que se caracteriza por una competencia feroz entre empresas, algunas de las cuales se eliminaron paulatinamente del mercado dando lugar al capitalismo monopolista, donde el mercado lo manejaban una o muy pocas empresas. Este sistema económico concentró el capital en pocas manos; del arraigo a la tierra se pasó al dominio de los bienes de producción y la riqueza se comenzó a medir según la posesión de dinero.

Asimismo, a comienzos del siglo XX con la Revolución bolchevique, surge la ideología socialista, que rechaza los aspectos degradantes de la vida urbana, critica la explotación del hombre por el hombre y busca una sociedad equilibrada, justa, donde predominen los valores éticos antes que el dinero y el poder.

Por otro lado, los medios de transporte que distribuían la producción agrícola e industrial a gran escala, facilitaron también el comercio, apareciendo con ello los supermercados que ofrecían al público variedad de productos, lo que dio origen a la competencia entre comerciantes y la publicidad. Se produjo intercambio de productos entre países y se generó un gran mercado a escala global.

La invención del automóvil y del ferrocarril, así como del avión, requirió nueva infraestructura y poco a poco se fue dando la reorganización de las ciudades, dotadas ya con servicios públicos de acueducto y alcantarillado, calles pavimentadas y hospitales.

Figura 2.4. Cadena de montaje creada por Henry Ford en 1908



Fuente: http://www.portalplanetasedna.com.ar/henry_ford.htm

"En resumen, la revolución industrial contribuyó enormemente al desarrollo de casi todas las ingenierías, generando las condiciones necesarias para que la tecnología y la ciencia avanzaran en forma mancomunada y produjeran los efectos espectaculares en el siglo XX" (Grech, 2001).

2.4 Descubrimientos en ciencia y tecnología que dieron origen a las diferentes ramas de la ingeniería

A la par con el proceso de evolución del ser humano, este fue creando y desarrollando artefactos, objetos y elementos, producto de la combinación de la materia prima con que se contaba y los conocimientos y habilidades de cada una de las personas en ese entonces, generando con ello lo que se denominó nuevas tecnologías.

Con el transcurrir del tiempo dichos productos tecnológicos no solo se incrementaron en gran número, sino que se diversificaron y ramificaron en distintas áreas como la minería, la electricidad, la mecánica, la construcción, las comunicaciones y la organización, entre otras, lo cual creó la necesidad de tener personas especializadas que fueran capaces de comprender, conocer y manejar la tecnología recién creada. Así fue como comenzaron a aparecer las diferentes ramas de la ingeniería, según las necesidades y el desarrollo tecnológico de la época.

A continuación se realizará un breve recuento de la manera en que algunas de las ramas de la ingeniería fueron apareciendo en el contexto socioeconómico y cultural del hombre.

2.4.1. Ingeniería de minas y metalúrgica

Entre los avances más significativos del ser humano se encuentra el paso de la edad de piedra a la edad de los metales, en donde se comenzó a trabajar el bronce y el hierro, lo cual condujo a un gran cambio en la tecnología utilizada por el hombre prehistórico. Igualmente, la mayoría de los métodos que utilizaban para cazar, construir y defenderse cambiaron.

El ser humano comenzó a utilizar los metales (cobre, hierro y bronce) y a transformarlos por medio del fuego (ver figura 2.5), buscando mejorar sus condiciones; es donde aparecen los primeros ingenieros metalúrgicos.

Unos miles de años más adelante el hombre aprendió a manejar gran cantidad de metales, piedras preciosas y otros materiales, los cuales se encontraban dentro de la Tierra (ver figura 2.6), algunos sobre la superficie y otros a grandes profundidades. Para conseguir dichos metales y piedras se debía encontrar su veta o su rastro, y luego proceder a planear y construir los túneles y socavones apropiados para su extracción. Para realizar lo primero se requerían conocimientos sobre geología, donde aparecen el ingeniero geodesta y el ingeniero geólogo, y para realizar lo segundo se requería el ingeniero de minas.

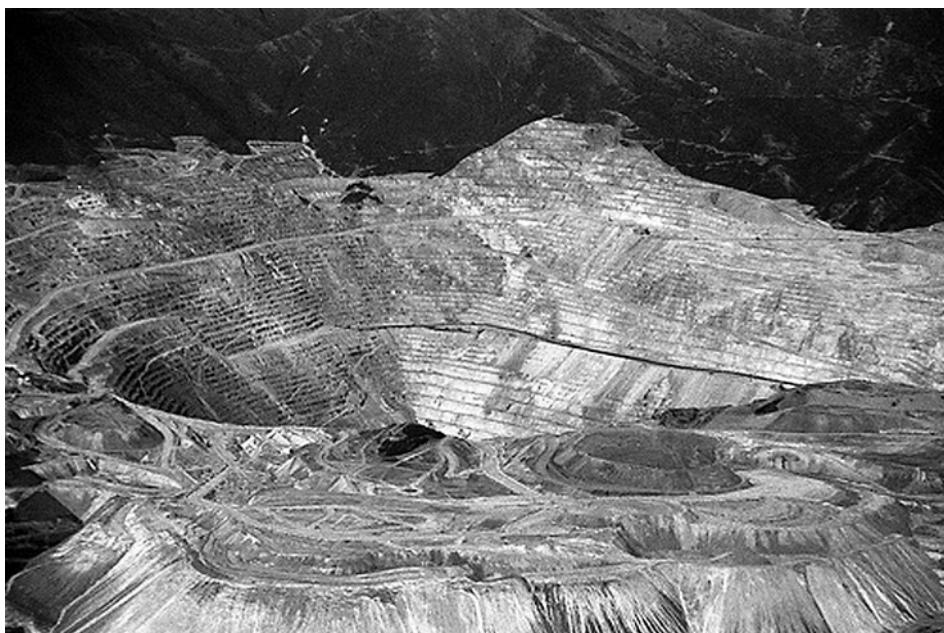
Figura 2.5. Acerías Berisso es una empresa argentina líder en fabricación de moldería para la industria del vidrio.



Fuente: Acerías Berisso (s. f.).

Ahora bien, para construir una mina y obtener los minerales del subsuelo de manera científica, es necesario hacer cálculos sobre el peso que deben soportar las paredes de la mina, el sistema de ventilación requerido para que los mineros puedan respirar bien y delinear túneles con diferentes entradas, los cuales se deben cruzar y encontrar en el fondo de la mina.

Figura 2.6. Mina de cobre en Utah - EEUU



Fuente: <http://www.nuevamineria.com/revista/2012/06/13/las-mineras-se-reunen-en-el-centro-de-la-tierra-en-busca-de-cobre/>

Además, para la localización del yacimiento, su explotación y la purificación del mineral, también se requirió de un conocimiento específico que llevó a la aparición del ingeniero de minas.

2.4.2. Ingeniería civil

La rama de la ingeniería civil es una de las más antiguas, pues desde tiempos inmemorables el hombre ha realizado diferentes construcciones (ver figura 2.7). En sus comienzos el hombre fabricó refugios elaborados de ramas, piedras y madera, e igualmente empleaba huesos de mamut recubiertos con pieles y delimitados con tierra compacta; más adelante se utilizó la madera y la paja para construir chozas, hasta llegar al bareque.

Con el correr del tiempo la elaboración no solo de las viviendas, sino de construcciones como puentes, monumentos, edificios y catedrales, entre otras, se hizo más compleja tanto estéticamente como técnicamente, exigiendo con ello conocimientos más profundos y específicos, lo cual trajo como consecuencia la consolidación y particularización de la ingeniería civil.

Figura 2.7. El Coliseo Romano – Roma - Italia



Fuente: <http://www.arqphys.com/construccion/coliseo-historia.html>

De igual forma, esta rama también tiene varias especialidades, algunas de ellas son:

- **Construcción:** el ingeniero calcula, planea y construye proyectos diseñados por arquitectos; también realiza la evaluación de costos, materiales y personal necesario para la obra.

- **Estructuras:** realización del diseño de estructuras para carreteras, túneles, puentes, presas, etc. Calcula los distintos momentos, fuerzas y tensiones con el propósito de seleccionar los diferentes materiales que se deben utilizar para que las construcciones soporten y resistan lo planeado en los diseños.
- **Geodesia:** a través de esta se localiza el área para hacer la construcción, utilizando para ello herramientas como la aerofotogrametría y las fotografías por satélite.
- **Geotecnia:** su objetivo es estudiar el terreno sobre el cual se va a construir, con el propósito de observar el comportamiento de la tierra y el suelo, y ver si este es apto para lo que se pretende.
- **Hidráulica:** estudia la localización de fuentes de agua potable y evalúa las ya existentes; asimismo diseña sistemas de riego y permite la construcción de presas para la generación de energía eléctrica.
- **Sanitaria:** se encarga de mejorar la calidad del agua, reduciendo su contaminación; suministra los conocimientos para el diseño de sistemas de acueducto y alcantarillado y plantas de tratamiento.
- **Transporte:** diseño de sistemas de tuberías para trasportar diferentes elementos y compuestos químicos como gas, gasolina y petróleo.

2.4.3. Ingeniería química

Desde que el hombre realizó el primer proceso para intentar cambiar la constitución de la materia (utilizando el fuego), se estableció la necesidad de entender más a fondo la naturaleza y sus transformaciones. Los primeros pasos se dieron cuando el hombre primitivo, mediante el fuego, logró moldear el hierro, con lo que se pasó de la edad de piedra a la edad de hierro.

En la Edad Media los árabes lograron fabricar el papel y los chinos la pólvora, igualmente aparecieron otros compuestos producto de la mezcla y manipulación de diferentes elementos; es así como en esta época también se fabricaron el vidrio, el aguardiente y la esencia de rosas mediante la destilación.

A finales del siglo XVIII, con el aumento del número de fábricas (Revolución Industrial) y el crecimiento hacia su interior, también se dio el aumento de los procesos industriales, los cuales abarcaban diferentes áreas como la industria, la metalurgia, la química, los alimentos, los textiles etc., en donde se requerían reacciones, composiciones y descomposiciones químicas.

El diseño y la operación de dichas fábricas se convirtió en una nueva alternativa para los ingenieros químicos, que fueron requeridos en gran número, consolidándose con ello la química como una de las ramas más importantes de la ingeniería.

2.4.4. Ingeniería mecánica

Su aparición se dio a partir de la primera Revolución Industrial en Inglaterra, a finales del siglo XVIII, cuando se inició la fabricación de las primeras máquinas como la de vapor, la desmontadora de algodón y la de hilar, entre otras.

Figura 2.8. Primera fresadora universal, fabricada por Joseph R. Brown en 1862. Estaba equipada con divisor, consola con desplazamiento vertical, curso transversal y avance automático de la mesa longitudinal con la aplicación de la transmisión Cardan.



Fuente: En <http://www.museo-maquina-herramienta.com/historia/Lehenengoko-erremintak/Fresatzeko-makinak>

Las máquinas (ver figura 2.8) de entonces y las de ahora están constituidas por piezas (metálicas, plásticas, neumáticas, eléctricas, etc.) intercambiables que requerían ser mantenidas o reemplazadas periódicamente.

Ahora bien, las primeras factorías (siglo XVIII) utilizaban dichas máquinas para la fabricación y producción de los correspondientes bienes, lo que dio pie para observar que estas necesitaban de mantenimiento y mejoras constantes, entonces surgió la necesidad de contar con personas expertas en aquellos menesteres y el ingeniero mecánico era el más apropiado.

2.4.5. Ingeniería eléctrica

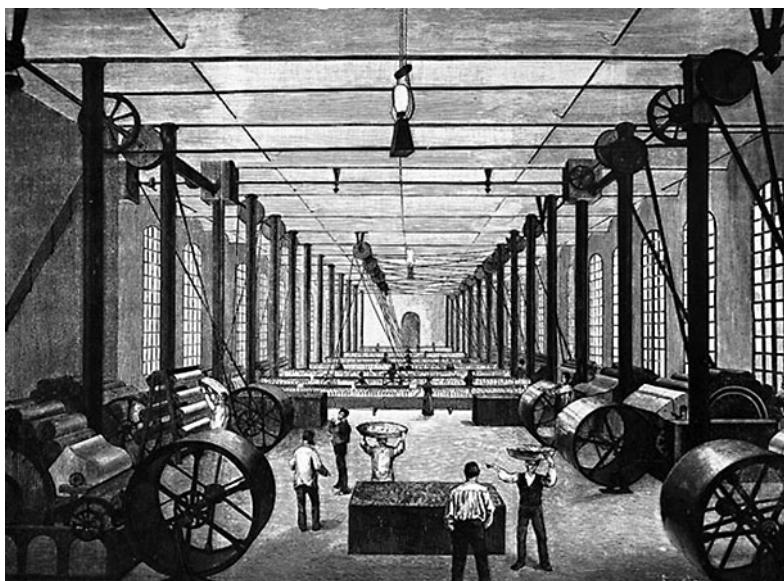
Después del surgimiento de la bombilla incandescente perfeccionada por Thomas Alba Edison en 1879, vinieron toda una serie de necesidades creadas por esta innovación: el alumbrado público, el alumbrado de las casas, el suministro de electricidad a máquinas y equipos, la transmisión del fluido eléctrico de un lugar a otro, etc., generando este fenómeno la aparición en escena del ingeniero eléctrico, el cual ha desempeñado y sigue desempeñando un papel muy importante en el desarrollo tecnológico e industrial de un país, ya que la corriente eléctrica es necesaria para poner en funcionamiento todo tipo de maquinaria y equipos.

2.4.6. Ingeniería industrial

Tanto la primera como la segunda Revolución Industrial dieron origen a un sinnúmero de tecnologías y nuevos sistemas de producción. Entre los adelantos y tecnologías que se dieron en esa época se encuentran:

- Conversión del taller familiar a la fábrica.
- Revolución del transporte.
- Incremento en la producción de alimentos.
- Máquina extractora de semillas.
- Maquinaria aplicada a los transportes y las comunicaciones.
- Modernización e incremento de la producción agrícola.
- Cambio del instrumental artesanal por máquinas a vapor movidas por carbón.
- Ampliación de los mercados extranjeros.
- Industrialización de las fábricas (ver figura 2.9).
- Invenio de maquinaria para el mejoramiento de procesos productivos.
- La racionalización del trabajo.
- La producción en masa.
- La administración científica.
- La línea de ensamble.

Figura 2.9. Trabajadoras de una fábrica textil Inglesa en el siglo XIX



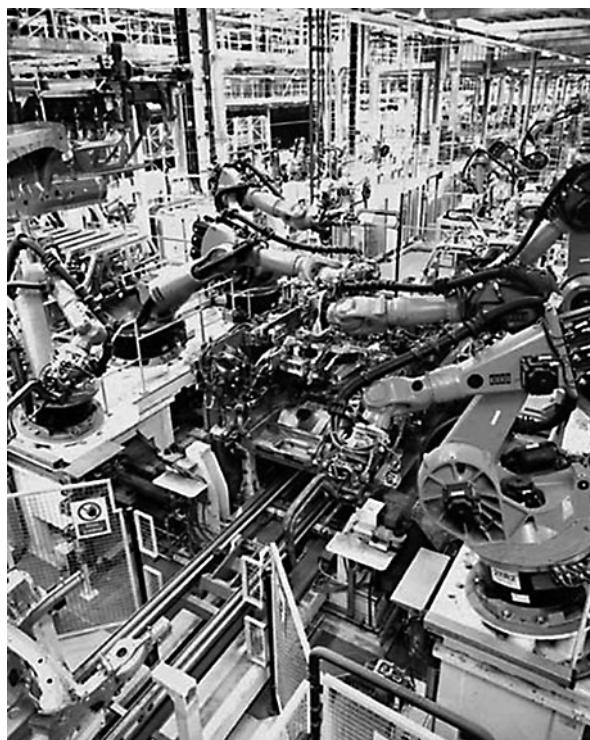
Fuente: http://www.kalipedia.com/geografia-espana/tema/geografia-economica/origenes-revolucion-industrial-1855.html?x=20070410klpgeodes_135.Kes&ap=0

Todo lo anterior condujo a que las empresas se ensancharan y crecieran, al igual que sus plantas de producción, en donde confluían gran cantidad de elementos y recursos como maquinaria, materia prima, insumos, herramientas, espacios y personas (operarios), entre otros; generando la necesidad de contar con personas que se dedicaran a planear, a programar y a controlar todas las variables que incidían en la producción dentro de la planta, con el propósito de incrementar la eficiencia del trabajo y optimizar los procesos productivos, dado que los otros profesionales, como el ingeniero mecánico y el químico, tenían su campo de acción bien especificado y delimitado, apareciendo en el panorama el ingeniero industrial.

2.4.7. Ingeniería mecatrónica

El rápido desarrollo tecnológico ha conducido a que la producción de bienes como equipos, herramientas e instrumental para diferentes campos (salud, industrial, educación, agrícola, etc.), se realice en plantas y con equipos altamente sofisticados, puesto que los artefactos a fabricar, así sean los más simples, tienen dentro de sus especificaciones características que conllevan gran precisión y exactitud, y están conformados por mecanismos que son controlados por sistemas tanto electrónicos como computarizados (ver figura 2.10).

Figura 2.10. Robots industriales ensamblando vehículos



Fuente: http://www.portaleso.com usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html

La elaboración de estos artefactos, la estructura de las plantas de producción y lo que se fabrique es una tarea que debe combinar la ingeniería mecánica, la ingeniería electrónica, la ingeniería de sistemas y el control digital, lo que originó la aparición del ingeniero mecatrónico, el cual es una mezcla de los profesionales antes mencionados.

2.5. Formación de las escuelas de ingeniería

En la historia del hombre, hacia 1600 (baja Edad Media) se dio una fuerte revolución técnica, la cual contempló la modificación e innovación de los elementos, instrumentos, objetos y mecanismos que se utilizaban en esa época, en los diferentes campos de trabajo del ser humano.

Esto trajo como consecuencia la proliferación de herrerías, platerías, carpinterías y talleres para triturar granos (molinos), alrededor de las pequeñas y grandes ciudades.

Figura 2.11. Salón de clases de finales del siglo XIX



Fuente: <http://gerenciamticpopayan.blogspot.com/2010/08/estudiantes-del-siglo-xxi-en-aulas-del.html>

De la misma manera, con el advenimiento del mercantilismo y por ende el aumento del comercio, se hace necesario tener personas capacitadas para poder enfrentar adecuadamente estos procesos, por lo que a partir de este momento comienzan aparecer en el ámbito europeo y mundial una serie de escuelas e instituciones que buscan dar cuenta de ello.

En ese orden de ideas, teniendo como referencia los países más fuertes económicamente en dicha época, a continuación se hace un breve recuento del surgimiento de estas escuelas.

2.5.1 Francia

En 1747 surge la primera escuela de ingenieros civiles, denominada Ingeniería de Puentes y Caminos; posteriormente aparecieron la Ingeniería de Minas y la Ingeniería de Construcción Naval, dichas instituciones eran de uso exclusivo de la nobleza y su administración y funcionamiento tenían características de tipo militar.

En 1794 se crea la Escuela Politécnica, cuyo programa se cursaba en tres años y tenía las siguientes particularidades:

- Preparatoria para todas las ingenierías.
- Gran connotación científica (física, química, matemáticas).
- Apertura para todas las clases sociales.
- Enfocada al servicio del Estado.

La Escuela Politécnica ha sido un gran referente en lo que tiene que ver la con la formación técnica para el mundo de la educación.

En 1794 también aparece el Conservatorio de Artes y Oficios, que incluía en los planes de estudio temas como los museos y los gabinetes de máquinas y oficios, las nuevas técnicas y cursos libres de reciclaje y actualización.

Entre 1806 y 1811 aparece la Escuela de Artes y Oficios, primera escuela de grado medio, creada para los hijos de las clases trabajadoras, la cual dependía del Estado. Dicha escuela fue muy importante en la formación de los jóvenes en las técnicas y las artes, y contribuyó enormemente en el desarrollo de Francia.

Por otra parte, en 1829 aparece la Escuela Central de Artes y Manufactura, de carácter privado, cuya filosofía era la búsqueda del equilibrio entre lo teórico y lo práctico.

2.5.2. Inglaterra

A pesar de que Inglaterra fue la cuna de la Revolución Industrial, en este país no existía una tradición de educación formal en la parte técnica, pues los ingenieros y técnicos se formaban en los talleres o al lado de otros técnicos e ingenieros de manera empírica, siguiendo las tradiciones de los artesanos.

Asimismo, el saber clásico y las ciencias puras tenían un estatus superior y se les confería más importancia que a las técnicas y el trabajo de taller, el cual estaba relegado a un segundo plano. Las universidades y escuelas que existían formaban por separado en las técnicas, exceptuando las escuelas militares.

Sin embargo, en contraposición a la falta de educación formal en la parte técnica, surgieron asociaciones de profesionales de índole cooperativo y de intercambio, en donde se destacó la Institución de Ingenieros Civiles. Con el transcurrir de los años este tipo de instituciones se fueron consolidando y multiplicando y, al

mismo tiempo, se fueron especializando. Igualmente, con el apoyo de la industria del ferrocarril surgió otra sociedad muy importante que se denominó Instituto de Ingenieros Mecánicos.

Por otro lado, la aparición de la ingeniería en las universidades sucedió hacia mediados del siglo XIX, con cursos en diferentes ciudades de Gran Bretaña; finalmente, en Londres se creó el Colegio Imperial de Ciencia y Tecnología, con el apoyo de las autoridades locales. En el periodo de transición entre el siglo XIX y el XX, las universidades de tradición como Oxford y Cambridge comenzaron a introducir cursos de ingeniería.

Lo anterior se dio por la aparición en escena de diferentes innovaciones como maquinaria, energía eléctrica y combinaciones químicas, para las cuales una formación netamente práctica no bastaba.

2.5.3. Alemania

En este país también predominaba la técnica del taller a finales del siglo XVIII y principios del XIX; sin embargo, la creación de la Escuela Politécnica en Francia influyó bastante en el ámbito cultural de Alemania.

En 1809 nació en Berlín un centro al que se denominó Universidad de Berlín, el cual combinaba la docencia con la investigación, esta última orientada en principio hacia el campo humanístico. A comienzos del siglo XIX se crearon varias instituciones politécnicas en Karlsruhe (Berlín), dependiendo de los municipios, con un enfoque más práctico y técnico que las universidades de Francia.

De dichas instituciones salieron ingenieros especialistas en mecánica, química, electricidad y construcción, entre otros, pero estos especialistas eran técnicos de grado medio que tuvieron mucho que ver con el desarrollo industrial de Alemania.

Hacia finales del siglo XIX la mayoría de las escuelas que existían en Alemania se convirtieron en instituciones superiores, es decir, con un rango universitario incorporando estudios y centros de investigación en ingeniería.

Las escuelas alemanas se distinguieron por conjugar la docencia, la investigación y la práctica en el laboratorio, y por tener una relación muy cercana con las empresas industriales.

En este mismo periodo, Gran Bretaña y Alemania rivalizaban por la supremacía industrial, lo que se evidenciaba también en los sistemas de educación de cada país.

2.5.4. Estados Unidos

Cuando América del Norte era una colonia inglesa, sus ingenieros se importaban de Gran Bretaña. Una vez Estados Unidos se independizó, creó la Academia Militar de West Point (1802), que fue la primera escuela técnica, la cual estaba influenciada por las escuelas Financiera Politécnica y de Puentes y Carreteras.

Algunos ingenieros europeos y los ingenieros militares educados y capacitados en West Point fueron los que construyeron los primeros caminos, vías, puentes y túneles en América del Norte. La expansión del ferrocarril, a partir de 1830 en adelante, creó la necesidad de una formación más específica para los ingenieros.

Una vez culminada la guerra civil en Estados Unidos (1865) las universidades e instituciones tecnológicas se orientaron a la educación técnica, apoyándose en una ley que autorizó a los Estados de la Unión la utilización de terrenos para la construcción de centros educativos dirigidos al desarrollo de la técnica agrícola e industrial.

Del mismo modo, dichos centros influenciados por las tendencias de las escuelas europeas (Francia, Inglaterra, etc.) conformaron programas con un alto componente práctico, en donde los estudiantes trabajaban y estudiaban al mismo tiempo, sin olvidar la parte teórica.

Después de la mitad del siglo XIX, gracias a los innumerables avances técnicos, se amplió el campo de acción de la ingeniería, con lo que se comenzaron a crear diversas especializaciones.

En 1865 el geólogo William Barton Rogers inauguró el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en donde en sus comienzos solo se estudiaban las ciencias que tenían que ver con la industria.

Con la entrada el siglo XX y la consolidación de la industrialización y la ampliación del espectro económico se disparó el campo de acción de los ingenieros, apareciendo gran variedad de disciplinas que se aplicaban en campos como la química, la aeronáutica, las telecomunicaciones, la electricidad, la electrónica, la ingeniería industrial y los materiales, entre otros.

Con el pasar del siglo XX se fortalecieron las disciplinas, incluidas otras que aparecieron después generadas por la tecnología del momento, lo que impulsó el surgimiento y el florecimiento de muchas escuelas y universidades tecnológicas que impartían conocimientos tanto de las disciplinas ya tradicionales como de las nuevas.

Igualmente, en el contexto de este desarrollo emergen dos tipos de instituciones que se distinguían por el enfoque en sus procesos de formación:

... el primero, las que propiamente otorgan el título de ingeniero, orientadas por una didáctica que permitía la elaboración de representaciones básicas para el diseño y construcción de máquinas e instrumentos y/o implementación de procesos. El segundo, las que proveen personal calificado para mandos medios en ambientes de ingeniería, con el propósito de atender situaciones de mantenimiento, muy distantes de producir conocimiento (Corchuelo, 2004).

2.6 La ingeniería moderna

La ingeniería prácticamente surgió con el hombre. En la época antigua, cuando aparecieron las diferentes ocupaciones, a la par de los agricultores, médicos, herreros soldados, surgieron los ingenieros, hombres primitivos que diseñaron y fabricaron utensilios, instrumentos, armas, construcciones simples y colosales (caminos, puentes, edificaciones, etc.), basados en un conocimiento empírico (práctico), la creatividad, la experimentación y, sobre todo, un gran sentido común. Estos ingenieros sabían muy poco acerca del conocimiento de la ciencia, pues esta no existía en esa época como se conoce hoy en día.

En ese orden de ideas, la ingeniería permaneció en este estado durante mucho tiempo. Fue hasta el Renacimiento que comenzó a perfeccionarse; es así que a finales del siglo XIX y principios del XX el conocimiento científico afloró, generando gran cantidad de información, teorías, leyes y principios en las diferentes áreas y campos, tanto de las disciplinas como de las profesiones. Fue entonces cuando los ingenieros se percataron del potencial que estos conocimientos científicos ofrecían para el hombre. Con este cambio fundamental se comenzaron a aplicar los principios científicos en la solución de problemas y se abrió paso en el nuevo siglo a la ingeniería moderna.

A diferencia de los ingenieros antiguos, los ingenieros modernos se sustentan en el conocimiento científico para diseñar y desarrollar sus modelos, aparatos, equipos y artefactos.

Cabe señalar que la ingeniería moderna se enfrenta básicamente a los mismos tipos de problemas de otros tiempos, la diferencia es que la ciencia se utiliza ahora de una manera más amplia para la solución de estos problemas; sin embargo, la creatividad, la inventiva, la experiencia y los conocimientos empíricos siguen estando vigentes y contribuyendo en gran medida a dichas soluciones.

Ahora bien, la segunda mitad del siglo XX estuvo marcada por varios factores de importancia: los grandes cambios sociales motivados por la ciencia y la tecnología, las primeras salidas del hombre al espacio exterior, la consolidación del bloque común europeo y el fin del enfrentamiento ideológico a gran escala, que se mantuvo durante varias décadas a través de la famosa Guerra Fría.

Los nuevos inventos dieron gran impulso al desarrollo de la ingeniería en el siglo XX. Los descubrimientos de la ciencia cada vez fueron más aprovechados para resolver problemas de ingeniería.

En los últimos cincuenta años se lograron más desarrollos tecnológicos que en toda la historia de la humanidad. Se dieron valiosos aportes para el desarrollo de la ingeniería química con la producción de fibras sintéticas, anilinas, productos farmacéuticos, caucho sintético, etc. La ingeniería civil se favoreció con el descubrimiento de nuevos materiales como el concreto reforzado, el uso de estructuras metálicas y de aluminio, que permitieron la construcción de estructuras más livianas y de mayor altura. Se desarrolló la producción de vidrio

de mejor calidad, que se complementa muy bien con el aluminio para construir edificios que, además de grandes y ligeros, son transparentes.

La producción del automóvil en masa exigió encontrar y explorar nuevos pozos de petróleo, así como la construcción de infraestructura que permitiera masificar el transporte, por lo que se construyeron nuevas vías, puentes, estacionamientos, etc. La aparición del avión desencadenó una serie de investigaciones relacionadas con la aerodinámica, nuevos materiales ligeros y resistentes, motores más potentes y eficientes. Las guerras también contribuyeron a que se perfeccionaran los transportes, el ferrocarril, la aeronáutica y la ingeniería naval.

Como resultado del fuerte aumento de la producción y de las empresas integradas surgen las primeras empresas transnacionales, las cuales invierten dinero y crean empresa en otros países, y en donde las actividades están bajo la tutela de una casa matriz. Dentro de las transnacionales más importantes que aparecieron en ese entonces se destacan, por Estados Unidos: Quaker Oats, Coca Cola, Heinz, Otis y Singer; por Europa: Siemens, BASF, Bayer y Philips.

En 1915 se elabora el primer modelo en términos matemáticos, del tamaño económico de lote para el manejo de mercancía o materia prima en inventario. Este trabajo fue realizado por F. W. Harris.

En 1924 el señor Walter Shewhart desarrolló unos trabajos a partir de los cuales se generaron medidas de control estadístico, con el propósito de garantizar la precisión y exactitud de partes intercambiables que requerían los desarrollos utilizados por Henry Ford en sus fábricas de automóviles. Con esto se dio origen a la técnica de marcar datos estadísticos en graficas específicas, con el fin de controlar los procesos.

A comienzos de 1931, L. H. C. Tipper, a través de sus trabajos, implementó y estableció lo que hoy se denomina la teoría del muestreo y del trabajo. Por ese mismo periodo, Walter Rautenstrauch planteaba la relación existente entre ingresos por ventas y costos del producto, dando lugar con ello a la determinación del punto de equilibrio a través de una gráfica.

Más adelante, en 1932, el término “ingeniería de métodos” fue acuñado y utilizado por H. B. Maynard y sus asociados; desde ese momento las técnicas para mejorar los métodos, como la simplificación del trabajo, tuvieron un desarrollo bastante acelerado.

En la década de los cuarenta aparece un enfoque interdisciplinario de los estudios de sistemas, con diferentes puntos de vista, entre ellos el desarrollado por Norbert Wiener denominado cibernetica, que trata de los sistemas de comunicación y control en los organismos vivos, las máquinas y las organizaciones, el cual fue aplicado en 1948 a la teoría de los mecanismos de control.

En ese orden de ideas, la cibernetica se desarrolló hacia la investigación de las técnicas por las cuales la información se transforma en la actuación deseada, dando con ello los primeros pasos hacia el origen de la inteligencia artificial.

Al mismo tiempo se popularizó la radio comercial y se inventó la televisión. Se descubrió la energía atómica, producto de la fusión del átomo, y en 1945 explotó la primera bomba atómica, con la cual se conocieron las funestas consecuencias de la radiactividad.

La segunda mitad del siglo se inició con el mayor genocidio cometido por la humanidad, al que siguió la exploración espacial y, con ella, el uso de nuevos materiales provenientes de la investigación. Apareció el computador, que evoluciona rápidamente en tamaño y funcionalidad, y a partir de ahí se dispara la era de las comunicaciones; en los países desarrollados la mayoría de personas deja de trabajar en manufactura y pasa a manejar información, datos estadísticos y conocimientos especializados. Los computadores y los medios electrónicos aceleraron el cambio.

En las décadas de los cincuenta y sesenta también se desarrollaron las técnicas de planeación y control de proyectos, denominadas Método del Camino Crítico (Critical Path Method – CPM) y Evaluación de Programas y Revisión Técnica (Program Evaluation and Review Technique – PERT), PERT-CPM , en donde se plantea el concepto de ruta crítica para controlar las actividades y su tiempo de realización dentro un proyecto. También aparece otra serie de técnicas pertenecientes a la investigación de operaciones, como son la programación lineal, la teoría de redes, la simulación, la simulación Montecarlo, el logaritmo exponencial y potencial, y algunas técnicas estadísticas que facilitaban la realización de proyecciones y diagnósticos. En los años sesenta la robótica y la informática hacen su aparición en países como Alemania, Japón y Estados Unidos.

En los años setenta se da origen a la miniaturización y la telemática, lo mismo que a un nuevo concepto, la estrategia de manufactura, en donde las capacidades de las fábricas se comenzaron a utilizar como armas estratégicas para lograr ventajas competitivas.

Hoy en día se tiene acceso desde el escritorio y a través de internet a la información más reciente de los hechos del mundo, de la ciencia, de las artes y de los acontecimientos diarios. Asimismo, los teléfonos celulares permiten comunicación al instante, incluso con las redes de información mundial. El mundo se ha convertido en una “aldea global”.

Por último, hace su aparición la ingeniería digital, que se prevé como una tercera Revolución Industrial. Se abre paso la realidad virtual, que permite al usuario interactuar con la computadora en un ambiente virtual donde puede ver el entorno, tocar y hasta manipular objetos creados con modelos matemáticos y programas informáticos que dan la sensación de estar inmerso en el mundo simulado. Estos nuevos desarrollos están permeando la sociedad y cambiando los hábitos de trabajo, ocio y consumo.

2.7. Resumen del capítulo

2.7.1 Primera Revolución Industrial

En esta etapa se aparecieron:

- La máquina extractora de semillas, utilizada para la recolección de algodón y diseñada en 1716.
- Las primeras fábricas textiles, que utilizaban máquinas desmotadoras de algodón, máquinas de hilar y cardadoras, innovaciones en la industria textil que desplazaron las prendas de lana por las de algodón.
- Las tarjetas con perforaciones llevadas a los telares, a través de las cuales se colocaban los hilos para luego ponerlos en marcha.
- La máquina de vapor patentada por James Watt, la cual hace que se sustituya la labor de la fuerza muscular.
- Los ferrocarriles y barcos movidos a vapor.
- En 1891 se probó el primer submarino de vapor llamado Nautilus, que quedó sumergido casi una hora.

2.7.2 Segunda Revolución Industrial

- Se comienza a producir acero.
- Se perfecciona el dínamo o alternador eléctrico en 1873 y se da la invención del motor de combustión interna en 1876.
- Con base en los trabajos científicos de Volta, Franklin y Faraday, fue posible generar energía eléctrica a partir del movimiento mecánico y transformar la corriente eléctrica en movimiento. Igualmente, mediante el uso de una máquina de vapor, una corriente hidráulica de suficiente fuerza u otros medios se indujo la rotación de un campo magnético entre los polos de un imán, lo que produce una corriente eléctrica aprovechable como fuente de potencia en las industrias.
- El uso de la electricidad y el invento de la bombilla eléctrica por Thomas Alva Edison permitieron la iluminación de lugares públicos y de los hogares. De este invento se sirvieron el tranvía eléctrico y la locomotora eléctrica. El uso de la electricidad revolucionó los medios de transporte; también los de comunicación gracias al telégrafo y al teléfono, que a su vez abrieron camino a la radio y la televisión, esta última inventada en 1926. Entre otras grandes creaciones figuran la fotografía, el cinematógrafo, la máquina de coser, el fonógrafo y los sistemas de refrigeración.
- El otro cambio revolucionario consistió en la utilización de los derivados del petróleo, que en un comienzo era muy escaso hasta que, en 1859, se perforó el primer pozo en Pensilvania.

- En 1876 Nikolaus Otto inventó el primer motor de combustión interna.
- A este avance siguió el invento del automóvil, movido por un motor de combustión interna y más adelante el avión, iniciado por los hermanos Wright en 1903.
- A finales del siglo XIX y comienzos del XX las investigaciones realizadas por Frederick W. Taylor (ingeniero mecánico), en la industria del acero, originaron un nuevo enfoque para la producción llamado administración científica.

2.7.3 Descubrimientos de ciencia y tecnología que dieron origen a las diferentes ramas de la ingeniería

Cuando el ser humano comenzó a utilizar los metales (cobre, hierro y bronce), y a trasformarlos por medio del fuego, buscando mejorar sus condiciones de vida, dio origen a la ingeniería metalúrgica.

En el transcurso del tiempo la elaboración no solo de las viviendas, sino de construcciones como puentes, monumentos, edificios, catedrales, se hizo más compleja tanto estética como técnicamente, lo cual exigió conocimientos más profundos y específicos, lo que trajo como consecuencia la consolidación y particularización de la ingeniería civil.

La aparición de las máquinas (a vapor y textiles) a finales del siglo XVIII y el incremento de la utilización de estas en las fábricas durante el siglo XIX, requirieron con urgencia personas especializadas en su construcción, reparación y mantenimiento, lo cual trajo como consecuencia el surgimiento de la ingeniería mecánica.

La aparición de ingeniero eléctrico se produjo a raíz del surgimiento de la bombilla incandescente perfeccionada por Thomas Alva Edison en 1879 y la generación de una serie de desarrollos como el alumbrado público, el alumbrado de las casas y el suministro de electricidad a máquinas y equipos, entre otros.

La primera y la segunda Revolución Industrial dieron origen a variedad de tecnologías y a nuevos sistemas de producción, lo que condujo a que las empresas crecieran, al igual que sus plantas de manufactura, aumentando con ello la producción. En dichas empresas confluyan gran cantidad de elementos y recursos como maquinaria, materia prima, insumos, herramientas, espacios y personas (operarios), entre otros, lo que generó la necesidad de contar con personas que se dedicaran a planear, a programar y a controlar todas las variables que incidían en la fabricación dentro de la planta, con el propósito de incrementar la eficiencia del trabajo y optimizar los procesos productivos, apareciendo en escena el ingeniero industrial.

2.7.4 Escuelas de ingeniería

A partir de 1600 se dio una fuerte revolución técnica, lo cual causó un incremento de las platerías, herrerías, carpinterías y talleres artesanales alrededor de los grandes pueblos y ciudades. Igualmente se presentó un notable incremento del mercantilismo y el comercio.

Todo lo anterior hizo que se comenzaran a crear las primeras escuelas de ingeniería en Europa, las cuales se consolidaron y aumentaron su número posteriormente, con la Revolución Industrial y el desarrollo de nuevos inventos y descubrimientos.

El surgimiento de dichas escuelas se realizó de la siguiente manera:

Francia

- Primera escuela de ingenieros civiles, denominada Ingeniería de Puentes y Caminos, surge en 1747.
- La Escuela de Ingeniería de Minas y de Ingeniería de Construcción Naval, dichas instituciones eran de uso exclusivo de la nobleza y su administración y funcionamiento tenían características de tipo militar.
- En 1794 se crea la Escuela Politécnica.
- En 1794 también aparece el Conservatorio de Artes y Oficios, que incluía en los planes de estudio temas como los museos y los gabinetes de máquinas y oficios, las nuevas técnicas y cursos libres de reciclaje y actualización.
- Entre 1806 y 1811 aparece la Escuela de Artes y Oficios, que fue la primera escuela de grado medio, creada para los hijos de las clases trabajadoras.
- En 1829 aparece la Escuela Central de Artes y Manufactura, de carácter privado, cuya filosofía era la búsqueda del equilibrio entre lo teórico y lo práctico.

Inglaterra

- Los ingenieros y técnicos se formaban en los talleres o al lado de otros técnicos e ingenieros de manera empírica, siguiendo las tradiciones de los artesanos.
- Las universidades y escuelas que existían ofrecían formación separada de las técnicas, exceptuando las escuelas militares.
- Se crearon asociaciones de profesionales de índole cooperativo y de intercambio, en donde se destacó la Institución de Ingenieros Civiles.
- La Industria del Ferrocarril generó otra sociedad muy importante que se denominó Instituto de Ingenieros Mecánicos.

- La aparición de la ingeniería en las universidades sucedió hacia mediados del siglo XIX, con cursos impartidos en diferentes ciudades de Gran Bretaña; finalmente en Londres se creó el Colegio Imperial de Ciencia y Tecnología, con el apoyo de las autoridades locales.
- Entre el siglo XIX y el XX, las universidades de tradición como Oxford y Cambridge comenzaron a Introducir cursos de ingeniería.

Alemania

- En 1809 nació en Berlín un centro universitario que combinaba la docencia con la investigación, esta última orientada en principio hacia el campo humanístico.
- A comienzos del siglo XIX se crearon varias instituciones politécnicas en Karlsruhe (Berlín), con un enfoque más práctico y técnico que las universidades de Francia. De estas instituciones salieron ingenieros especialistas en mecánica, química, electricidad y construcción, entre otros, pero estos especialistas eran técnicos de grado medio, que tuvieron mucho que ver con el desarrollo industrial de Alemania.
- Hacia finales del siglo XIX la mayoría de las escuelas que existían en Alemania se convirtieron en instituciones superiores.

Estados Unidos

- Despues de la independencia se creó la Academia Militar de West Point (1802), que fue la primera escuela técnica, la cual estaba influenciada por las escuelas Financiera Politécnica y de Puentes y Carreteras.
- La expansión del ferrocarril, a partir de 1830 en adelante, creó la necesidad de una formación más específica para los ingenieros.
- Despues de la guerra civil (1865) las universidades e instituciones tecnológicas se orientaron a la educación técnica y se construyeron centros educativos dirigidos al desarrollo de la técnica agrícola e industrial.
- Despues de mediados del siglo XIX, gracias a los innumerables avances técnicos, se amplió el campo de acción de la ingeniería, con lo que se comenzaron a crear diversas especializaciones.
- En 1865 el geólogo William Barton Rogers, inauguró el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), en donde en sus comienzos solo se estudiaban las ciencias que tenían que ver con la industria.
- A inicios del siglo XX, con la consolidación de la industrialización y la ampliación del espectro económico, surgió una gran variedad de disciplinas que se aplicaban en campos como la química, la aeronáutica, las telecomunicaciones, la electricidad, la electrónica, la ingeniería industrial y los materiales, entre otros.

- Con el pasar del siglo XX se fortalecieron las diferentes disciplinas, surgieron y florecieron muchas escuelas y universidades tecnológicas que impartían conocimientos tanto de las disciplinas ya tradicionales como de las nuevas.

2.7.5 La ingeniería moderna

A diferencia de los ingenieros antiguos, los ingenieros modernos se sustentan en el conocimiento científico para diseñar y desarrollar sus modelos, aparatos, equipos y artefactos.

En los últimos cincuenta años se lograron más desarrollos tecnológicos que en toda la historia de la humanidad. Se dieron valiosos aportes para el desarrollo de la ingeniería química, la ingeniería civil, la ingeniería mecánica y la ingeniería eléctrica, entre otras.

Investigaciones relacionadas con la aerodinámica, nuevos materiales ligeros y resistentes, y motores más potentes y eficientes, abren el panorama aún más para el desarrollo tecnológico del hombre.

Después de los años ochenta se dispara la era de las comunicaciones; en los países desarrollados la mayoría de personas deja de trabajar en manufactura y pasa a manejar información, datos estadísticos y conocimientos especializados. Los computadores y los medios electrónicos aceleraron el cambio. Hoy se cuenta con acceso a través de internet a la información más reciente de los hechos del mundo, de la ciencia, de las artes y de los acontecimientos diarios. Los teléfonos celulares permiten comunicación al instante, incluso con las redes de información mundial. El mundo se ha convertido en una “aldea global”.

2.8. Actividades de aprendizaje

- Por medio de una línea de tiempo haga un recuento de los aspectos más relevantes que marcaron las diferentes etapas o períodos de la historia y el desarrollo de la ingeniería.
- Empleando una línea de tiempo muestre los principales exponentes que contribuyeron al avance de la ingeniería, con sus respectivos inventos o desarrollos. Haga esta actividad a partir del Renacimiento.
- Realice un mapa conceptual acerca de las diferentes escuelas de ingeniería que fueron apareciendo en el contexto mundial.

Bibliografía

- Acerías Berisso (s. f.). Recuperado de <http://www.aceriasberisso.com.ar/?M=A>
- Grech, P. (2001). Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño. Bogotá: Pearson.
- Hicks, P. E. (1999). Ingeniería industrial y administración. Una nueva perspectiva. México: McGraw-Hill.
- Mantoux, P. (1982). La Revolución Industrial en el siglo XVIII. Madrid: Aguilar.
- Mijailov, M. I. (1964)La Revolución Industrial. Buenos Aires – Argentina: Editorial Cartago.
- Romero, O. et al. (2006). Introducción a la ingeniería. Un enfoque industrial. México: Thomson.
- Sarria Molina, A. (1999). Introducción a la ingeniería civil. Bogotá: McGraw-Hill.
- Siliceo, A., Casares, D., y González, J. L. (1999). Liderazgo, valores y cultura organizacional. México: McGraw-Hill.
- Tineo I Marquet, J. A. (1984). Historia de la construcción. Barcelona: Montesino.
- Wright, P. H. (1994). Introducción a la ingeniería. Wilmington, Delawere, USA: Addison-Wesley.

Cibergrafía

Antonio Bueno. Control y Robótica - Robotización. Web potraleso.com En http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html. Consulta realizada en mayo de 2013.

Caicedo, Juan José. Estudiantes del siglo XXI en aulas del siglo XIX, (2010). Web Dinamizadores de los Medios y Tecnologías de Información y la Comunicación MTIC Popayán. En <http://gerenciamticpopayan.blogspot.com/2010/08/estudiantes-del-siglo-xxi-en-aulas-del.html>. Consulta realizad en mayo de 2013.

Contreras, C. Las minerías se reúnen en el centro de la tierra en busca de cobre. Web Revista Nueva Minería y Energía, (2012). En <http://www.nuevamineria.com/revista/2012/06/13/las-mineras-se-reunen-en-el-centro-de-la-tierra-en-busca-de-cobre/>. Consulta realizada en mayo de 2013.

Chow Pangtay, Susana. Motores de combustión interna y octanajes de gasolina. Petroquímica y Sociedad, (1998). Web Biblioteca Digital ILCE. En http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/sec_10.html. Consulta realizada en enero 2013

Corchuelo, M. (2004, julio-diciembre). Una aproximación a los procesos de formación de ingenieros. Revista ieRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa [en línea], 1(1). Recuperado de <http://revista.ired.org/v1n1/pdf/mhcorchuelo.pdf>

El proceso de desarrollo industrial y su implicación en los medios de locomoción (transportes). Web Un Mundo de Revolución. En <http://unmundoderevolucion.wordpress.com/>. Consulta realizada en febrero de 2013.

El proceso de Industrialización. Web KALIPEDIA.COM (encyclopedia on line), (2009).

En http://www.kalipedia.com/geografia-espana/tema/geografia-economica/origenes-revolucion-industrial-1855.html?x=20070410klpgeodes_135.Kes&ap=0. Consulta realizada en mayo de 2013.

Fresadoras. Web Museo de la máquina herramienta. En <http://www.museo-maquina-herramienta.com/historia/Lehenengoko-erremintak/Fresatzeko-makinak>. Consulta realizada en mayo de 2013.

García, Ana Luisa. Historia del coliseo romano. Web ARQHYS ARQUITECTURA, (2007). En <http://www.arqphys.com/construccion/coliseo-historia.html>. Consulta realizada en mayo 2013.

Nautilus el primer submarino en pasar por el polo norte. Web Neoteo – Revista de Tecnología, (2010). En <http://www.neoteo.com/nautilus-el-primer-submarino-en-pasar-por-el-polo>. Consulta realizada en febrero 2013.

Pellini, Claudio Arnaldo. La vida de Henry Ford. Web Planeta Sedna. En http://www.portalplanetasedna.com.ar/henry_ford.htm. Consulta realizada en febrero de 2013.

**Capítulo
tres**

*Fundamentación
científica y
tecnológica de la
ingeniería*



3.1 Introducción

Toda disciplina, cualquiera que sea, se respalda en teorías y conceptos que le dan soporte y contribuyen a su consolidación como profesión; la ingeniería no es la excepción, y particularmente para proceder a su práctica, es importante conocer los principios y fundamentos sobre los cuales se sustenta para su aplicación.

Asimismo, para tener claridad y comprender la labor que ha de desempeñar el futuro ingeniero, tanto en el ámbito laboral como social, es necesario conocer su significado, su objeto de estudio y demás conceptos que ayuden a establecer dicha claridad en el estudiante.

Se ha comprobado que una gran parte de los fracasos de los estudiantes de ingeniería (aunque también se da en casi todas las profesiones), radica en el hecho de que muchos de los aspirantes a convertirse en ingenieros no tienen un conocimiento claro de lo que la ingeniería es, así como de las habilidades y destrezas necesarias para cursar con éxito una carrera de ingeniero. Aún más, cuántos estudiantes de ingeniería, incluso profesionales, se dan cuenta de lo que han estudiado solamente en los últimos semestres o después de haber fracasado en los primeros años de su ejercicio profesional.

En los planes de estudio de las instituciones dedicadas a la formación de ingenieros se incluyen asignaturas que son “integradoras” o “articuladoras”, como los cursos de diseño, pero los profesores no les muestran a sus estudiantes este aspecto de manera taxativa. Los estudiantes normalmente aprenden o cursan las asignaturas en forma paralela y desarticulada.

El análisis y el entendimiento claro de las definiciones, conceptos y componentes de la ingeniería muy seguramente contribuyen a subsanar esta falencia. Es por esta razón que se le dará una especial importancia a este aspecto.

3.2 Definiciones de ingeniería

Existen distintas definiciones de ingeniería, sin embargo, muchas de ellas no describen con certeza lo que significa esta disciplina, ni tampoco su esencia, que la distingue de las demás disciplinas y, en especial, de aquellas que tienen elementos y propósitos muy similares.

Se han escogido tres de ellas que se considera definen con cierta precisión tanto los elementos constitutivos de la ingeniería como disciplina y profesión, así como los problemas y problemáticas que se resuelven con la aplicación de esta.

El entendimiento y la asimilación de las definiciones, así como de los componentes de la ingeniería es fundamental para abocar con éxito el estudio de las diferentes asignaturas que conforman un currículo de ingeniería, así como para desempeñarse competentemente y profesionalmente como ingeniero en la vida real.

3.2.1 Definición filosófica

"Ingeniería es el arte de dirigir los grandes recursos y fuerzas de la naturaleza, para uso y conveniencia del hombre" Tredgold citada en Cross (1998, p.91)

La ingeniería, dice Cross (1998, p. 1), es todo un arte en el cual se diseñan, construyen y se prueban los objetos que se usan en la vida cotidiana; se trata, entre otras cuestiones, de la selección y aplicación de los materiales y de las fuerzas que intervienen sobre un objeto cualquiera. El uso de la ciencia es un medio para ese fin. El objetivo de la ingeniería es dar servicio a la humanidad.

La anterior definición, más que describir las características y componentes de la ingeniería, expresa el "deber ser" de esta, así como su objetivo principal. Se destacan de esta definición varios conceptos muy importantes:

La ingeniería tiene como razón de ser el hombre y todo lo que lo rodea, es decir, todo trabajo de ingeniería debe tener como objetivo el beneficio de la sociedad y la humanidad en general. Para asegurarse de que este propósito se cumpla, los Estados, y en general la sociedad, promulgan permanentemente leyes relacionadas con el ejercicio de la profesión de ingeniero a fin de salvaguardar la vida, la salud y la propiedad, y promover el bienestar de la sociedad.

Los ingenieros deben evaluar sus diseños objetivamente, asegurándose de que los efectos positivos superen los efectos adversos y que, al hacer un balance, sus soluciones sean para el beneficio de la sociedad y del hombre en general.

Los ingenieros siempre están en contacto con casi todas las fases de la actividad humana. No solamente deben tomar decisiones sobre los aspectos técnicos de su especialidad, sino que también se ven enfrentados a problemas sociales y a las reacciones humanas frente a sus proyectos y diseños, y constantemente se encuentran involucrados en problemas legales, económicos y sociológicos.

"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 definirla. Por tanto, los ingenieros, quizás más que otros individuos, están interesados en el hombre mismo, en las necesidades humanas, en la forma de vivir la humanidad y su reacción ante aquello que lo rodea" Cross, (1998, p. 93). La ingeniería debe estar al servicio del hombre, y no como sucede tantas veces, que es empleada para destruir y perjudicar al hombre y su entorno.

Los ingenieros emplean los recursos y las fuerzas de la naturaleza en la creación y el diseño de soluciones a problemas de su especialidad y, por consiguiente, son responsables de su buena utilización y conservación.

Al buscar respuestas para los problemas, los ingenieros utilizan los materiales (recursos) y las fuerzas de la naturaleza (representados en los principios y las leyes de la física, la química, la biología y demás áreas de estudio o disciplinas que se derivan de ellas), pero deben reconocer que las fuentes de materiales y de energía, al menos en la Tierra, no es ilimitado y deben ocuparse no solamente de su utilización, sino también de su conservación. Esto incluye el reciclaje, la conservación de los materiales existentes, la rehabilitación en lugar del remplazo

y la sustitución de los materiales escasos por materiales abundantes, y en lo posible renovables. También tienen la responsabilidad de buscar soluciones que sean eficientes desde el punto de vista de la energía y explorar nuevas fuentes de la misma para sustituir las que se estén agotando.

Los ingenieros deben buscar, además, soluciones que sean económicas, lo cual implica que los beneficios de sus soluciones y diseños deben sobrepasar los costos. En otras palabras, en sus diseños siempre deben considerar el concepto costo-beneficio. Esto significa que deben manejarse con sumo cuidado los recursos económicos, el tiempo, los materiales o recursos físicos, entre otros.

La ingeniería, a pesar de los grandes descubrimientos científicos y los avances tecnológicos, sigue siendo en gran parte un arte, aunque también es considerada como una ciencia. Por tanto, la ingeniería ha sido, es y seguirá siendo una artesanía; los ingenieros son artistas y artistas que, aunque siguen métodos sistemáticos y ordenados igual que los científicos, requieren, libertad para crear, innovar, trabajar nuevos conceptos, para el estudio de fenómenos conocidos o el rediseño de cosas antiguas pero mejoradas. Cross reafirma en su texto que la ingeniería es arte y no solamente ciencia y tecnología, dice: "El artista, el arquitecto y el ingeniero encuentran la seducción de la belleza cuando caminan a lo largo de la 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 (1998, p. 42).

Es importante destacar que las grandes obras, algunas denominadas las "maravillas del mundo", entre las cuales se incluyen el diseño y la construcción de majestuosos palacios y colosales construcciones, pertenecen a este grupo no solamente por el aspecto de ingeniería implicado en su construcción y el uso de tecnologías avanzadas y fuera de lo normal denominadas de punta, sino principalmente por su belleza y el carácter artístico de sus diseños.

Entonces, no basta con dominar los recursos y fuerzas de la naturaleza para diseñar soluciones ingenieriles a determinados problemas de la sociedad y de la humanidad para ser considerado un gran ingeniero, si el dominio de las ciencias básicas (matemáticas, ciencias naturales y sus aplicaciones) no viene acompañado de una gran dosis de inventiva, innovación, creatividad y estética.

Desafortunadamente, como bien lo expresa Cross (1998), muchos de los ingenieros actuales son lo que él denomina "ingenieros de catálogo": se limitan a emplear técnicas, métodos estandarizados de procedimientos, cálculos y especificaciones que la ingeniería ha viniendo acumulando con el tiempo; pero sin correr una raya el conocimiento, ni mucho menos ejercitar la creatividad y la inventiva como parte fundamental de sus diseños.

3.2.2 Definición disciplinar

"La ingeniería, es la aplicación de ciertos conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes, principalmente a la creación de obras y dispositivos físicos, que satisfagan necesidades y deseos de la sociedad. Los ingenieros son principalmente creadores

de artefactos u objetos físicos o tangibles; aparatos o dispositivos, estructuras y procesos. Son responsables de la creación de estas cosas, es decir, de su adecuación o diseño y de la dirección de su construcción Krick, (1998, pp. 61-62)".

"La ingeniería es el conjunto de conocimientos por los que las propiedades de la materia y de los recursos naturales de energía se hacen útiles al ser humano mediante máquinas, estructuras, etcétera Grech,(2001, p. 45).

"La ingeniería se considera tanto un arte como una ciencia. Abarca en sí un sistema de principios, métodos y técnicas que no pueden aprenderse simplemente estudiando. Deben aprenderse, al menos en parte, mediante la experiencia y la práctica profesional" Wright, (1994, Pag. 27).

Estas definiciones, en especial la primera, se refieren más a la ingeniería como disciplina que como profesión, y son generalmente reconocidas y aceptadas por la mayoría de miembros del mundo científico, en especial por la comunidad académica relacionada con la ingeniería; encierran y contienen los principales principios, fundamentos y teorías relacionadas con la ingeniería, además describen, en términos genéricos, lo que hacen las personas que saben o se dedican a la aplicación de la ingeniería, es decir, los ingenieros.

Las anteriores definiciones son principalmente en las que se basan todos los currículos y los planes de estudio de las instituciones dedicadas a la formación, educación y entrenamiento de técnicos, tecnólogos, profesionales y especialistas de la ingeniería.

Una de las principales virtudes de estas definiciones es que dan respuesta a inquietudes como: ¿qué es la ingeniería? ¿Cuál es el trabajo o actividad cotidiana de un ingeniero? ¿Qué aptitudes son importantes para tener éxito y satisfacción en este campo? ¿Cuáles son algunas de las áreas que proporcionarán oportunidades y desafíos a la habilidad de los ingenieros?, entre otras inquietudes.

Los principales conocimientos, no los únicos, que debe poseer un ingeniero competente, son los relacionados con las matemáticas y las ciencias naturales (física, química, biología), las llamadas "ciencias de la ingeniería", que están constituidas por aplicaciones muy directas de las ciencias básicas, así como otras áreas, disciplinas o asignaturas de un plan de estudios que se soportan en las anteriores.

La ingeniería, además de conocimientos propios de la disciplina, requiere habilidades y destrezas, así como actitudes, principios y valores para aplicarlos a la solución a problemas propios de su área, es decir, requiere de "competencias".

Aunque en la definición se afirma que los ingenieros aplican sus competencias, principalmente para crear obras y dispositivos físicos, esta afirmación debe tomarse en la actualidad con "beneficio de inventario", especialmente en algunas de las ramas de la ingeniería, tales como la ingeniería de sistemas , la ingeniería administrativa, así como mucha parte de la ingeniería industrial, donde el resultado de las creaciones y los diseños de los ingenieros no son propiamente dispositivos físicos y tangibles, como por ejemplo el diseño de un sistema de calidad bajo las normas ISO 9000, un manual de procedimientos administrativos o un programa de computador para una aplicación contable.

Por otra parte, los ingenieros no solo son responsables de la creación y el diseño de obras, dispositivos y procesos, sino que también se dedican a la dirección de su construcción, por ejemplo: un ingeniero civil que dirige la construcción de un edificio, un puente o un acueducto; un ingeniero industrial que dirige o administra un sistema productivo para la fabricación de automóviles, o un ingeniero eléctrico que opera o administra una planta generadora de energía eléctrica.

La ingeniería implica la aplicación de los conocimientos y destrezas adquiridos para darle solución a un problema, lo cual significa que no basta con adquirir los conocimientos, habilidades y destrezas necesarios, si estos no son aplicados a la creación de soluciones a problemas propios de cada especialidad.

3.2.3 Definición como profesión legalmente regulada

“La ingeniería es la *profesión* en la que los conocimientos de matemáticas y ciencias naturales (física, química y biología), primordialmente, obtenidos a través del estudio, la experiencia y la práctica, se aplican con juicio para desarrollar diversas formas de utilizar, de manera económica, las fuerzas y materiales de la naturaleza en benéfico de la humanidad”, definición utilizada por el Consejo de Acreditación para la Ingeniería y la Tecnología de Estados Unidos de Norteamérica, ABET (Revista Iberoamericana de Educación No 49, Bogotá, 2009).

Engine viene del latín *ingenium*, que significa talento natural o de un dispositivo mecánico; de estas palabras se derivan *engineer* (en inglés) e *ingeniero* en español, refiriéndose a la persona que diseña y construye máquinas.

Un ingeniero es, ante todo, un profesional que aplicando la ingeniería, es decir los conocimientos, habilidades y destrezas propias de esta disciplina, busca, recomienda y da solución a un determinado tipo de problemas, expectativas y deseos de la sociedad. Normalmente su problema comienza al ser consciente de una necesidad, carencia o deseos que puede satisfacer mediante el diseño y la construcción de un dispositivo, una estructura o un proceso. De esta última definición, es importante resaltar los siguientes aspectos:

No se debe confundir la ingeniería como *disciplina*, con la ingeniería como *profesión*. En la primera, el conocimiento sobre ingeniería no es exclusivo de los ingenieros, ni su estudio se realiza o se adquiere necesariamente en una institución educativa. Se refiere a un conjunto de teorías, principios, técnicas, habilidades y destrezas, así como a conocimientos relacionados entre sí sobre una temática o problemática específica, independientemente de cómo se adquirió este o de su aplicación.

Por el contrario, la ingeniería como *profesión* implica la aplicación práctica de estos mismos conocimientos, habilidades y destrezas, pero con una formación formalmente adquirida en una institución de educación, reconocida y aprobada oficialmente. Implica además un “título profesional”, legalmente adquirido y reconocido.

Se explicitan los conocimientos fundamentales de la ingeniería como matemáticas, física, química y biología, y demás áreas relacionadas o soportadas en las ciencias básicas, lo que conduce al concepto de que una carrera de ingeniería que no

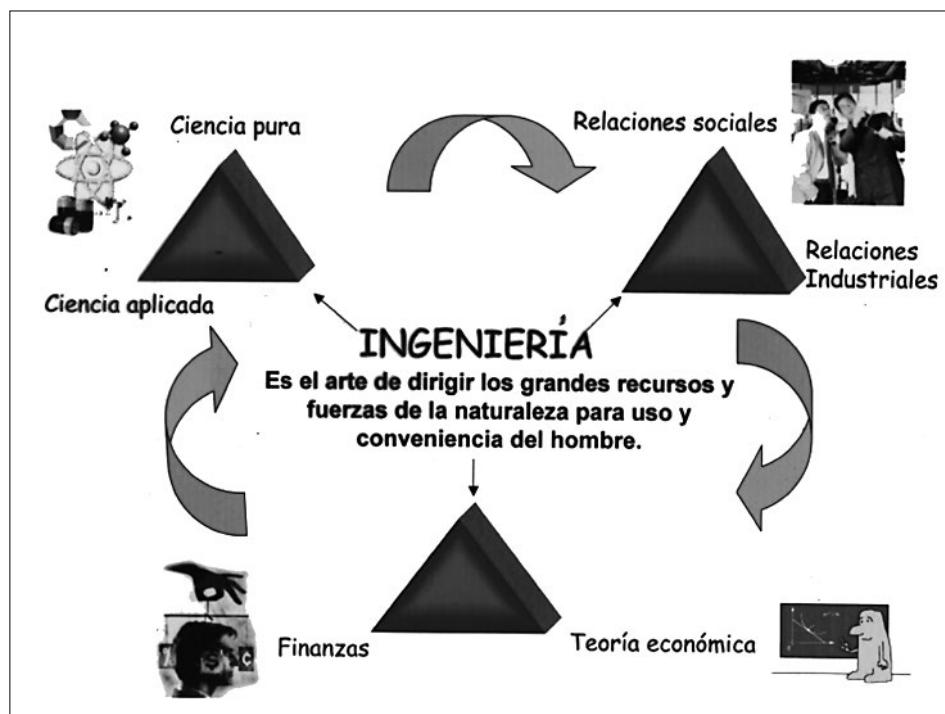
estudie con cierta profundidad estas asignaturas no podría considerarse ingeniería.

Sin embargo, esta definición puede dar la impresión a una persona no versada en la materia y, en especial a un recién ingresado a una de las especialidades de la ingeniería, de que esta solo implica este tipo de conocimiento, dejando de lado otros conocimientos fundamentales, como por ejemplo los tecnológicos, los económico-administrativos y el socio humanístico. Este aspecto se tratará con mayor detalle en el siguiente apartado.

3.3 Componentes generales de la ingeniería

Desde el punto de vista de la formación integral, la ingeniería no es solamente el conocimiento de matemáticas, física, química y biología, como bien se afirma en las diferentes definiciones de ingeniería expresadas en capítulos anteriores. La ingeniería comprende otros aspectos, como se muestra a continuación (figura 3.1).

Figura 3.1. Componentes generales de la ingeniería



Fuente: elaboración propia (Adaptado de Cross 1998).

Cuando aparecieron las primeras escuelas de ingeniería se consideraba, erróneamente, que la ingeniería era básicamente el estudio y la aplicación de las ciencias básicas (matemáticas y ciencias naturales), acompañadas de algunas técnicas, normalmente derivadas de las ciencias básicas, para la creación y el diseño de obras, estructuras, dispositivos y procesos para satisfacer ciertos deseos

o para dar solución a determinados problemas de la humanidad.

Hasta hace algunos pocos años, se decía, que un ingeniero no debía preocuparse por los aspectos humanísticos, administrativos y financieros, lo cual hacía que el ingeniero fuera un profesional que realizaba sus obras sin tener en consideración los contextos humanos, sociales y económicos.

Se consideraba al ingeniero como un profesional “cuadriculado” (haciendo referencia a las cuadrículas que los ingenieros utilizan durante la expresión gráfica de sus diseños y para sus cálculos), que no entendía otro idioma diferente a las matemáticas, la física y la química, hasta tal punto que aun a veces hoy en día se identifica a la ingeniería como la profesión que, básicamente, se limita a la aplicación de la física, la química, la biología, y al uso y la aplicación de las matemáticas en las áreas anteriores.

En la actualidad, se requiere en la formación de un ingeniero una educación integral, considerando no solo aspectos técnicos y tecnológicos de la ingeniería, sino también aspectos socio humanísticos, hecho que se puede evidenciar cuando Cross (1998, p 39) afirma: “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”.

También resulta casi cierto que los ingenieros civiles y arquitectos, es decir, los primeros ingenieros (el Instituto de Ingenieros Civiles de Gran Bretaña se organizó hace más de siglo y medio; en esa época “ingeniero civil” quería decir cualquier ingeniero que no estuviese directamente relacionado con trabajos militares), a pesar de crear y construir obras para el hombre, en el momento mismo de ejecutar sus obras no tenían contacto con personas diferentes a los obreros, a quienes por lo demás consideraban de segunda categoría (recuérdese que los primeros obreros de la construcción de las obras de la antigüedad eran los esclavos y los presos).

En cuanto a la administración del recurso económico y a la administración de la organización requerida para desarrollar los proyectos de ingeniería, estos son conceptos relativamente modernos, prácticamente desconocidos en el momento de la creación de las primeras escuelas formales de ingeniería. En otras palabras, en la formación de los primeros ingenieros, educados formalmente como tales, se privilegiaba la parte técnica, dejando de lado como un aspecto secundario el componente social-humanístico y el económico-administrativo.

Con la aparición de las teorías económicas modernas, humanísticas y administrativas, así como con el surgimiento de nuevas especialidades de la ingeniería, como la ingeniería de sistemas, la ingeniería industrial y recientemente ingenierías como la administrativa, financiera y comercial, entre otras, las cuales tienen un alto contenido económico-administrativo y sociohumanístico, los académicos comenzaron a entender que la disciplina de la ingeniería es algo más que matemáticas y ciencias naturales, y agregaron a los currículos de ingeniería aspectos tan importantes como la economía, las finanzas, la relaciones sociales y los aspectos humanos.

Especial aporte a este nuevo enfoque en la formación de un ingeniero fue la

contribución de un educador y visionario, el ingeniero civil Hardy Cross (1885-1959) varias veces mencionado, creador del método de Cross, con el cual están familiarizados los estudiantes y profesionales de la ingeniería civil, cuando expresa que: "Se acostumbra considerar a la ingeniería como parte de una trilogía: ciencia pura, ciencia aplicada e ingeniería", trilogía que a su vez es parte de un conjunto de tres trilogías. Las otras dos trilogías que conforman la trilogía principal, son: "teoría económica, finanzas e ingeniería y relaciones sociales, industriales e ingeniería" Cross, (1998, p. 37), como se muestra en la figura 2.1. Los componentes de la ingeniería, entonces son:

3.3.1 Primera trilogía: ciencia pura, ciencia aplicada e ingeniería

Ciencia pura

Matemáticas, física, química y biología, es decir la base científica de la disciplina, representada normalmente por los descubrimientos de los científicos de los principios y leyes que explican el comportamiento de los fenómenos naturales y del funcionamiento del universo.

Este componente de la ingeniería resulta evidente cuando se analiza cualquiera de las definiciones expuestas en apartados anteriores de este capítulo, donde fácilmente se puede apreciar que la ingeniería tiene como propósito fundamental el desarrollo y la utilización de los materiales y las leyes de la naturaleza para diseñar soluciones a algunos problemas (o deseos) que aquejan a la humanidad en un momento dado. Entonces se puede afirmar que el mejor ingeniero es aquel que interpreta, entiende y que ha aprendido a hablar el lenguaje de la naturaleza. "Toda la naturaleza está tratando de decir algo sobre como actúan sus fuerzas" Cross, (1998, p. 76).

Respecto al componente matemático, es evidente que los ingenieros pueden tratar mejor y desarrollar sus proyectos con mayor precisión cuando estos pueden medirse, pesarse y numerarse. El ingeniero tiene que tratar con lo imprevisible, con un sin número de fuerzas de las cuales es necesario predecir y calcular su comportamiento. También requiere desarrollar habilidad para predecir lo que va a ocurrir, aunque no tenga antecedentes previos de la existencia del fenómeno involucrado en sus diseños o de la posibilidad para analizar sus consecuencias, prevenir y proyectar de acuerdo con ello.

El estudio de la ciencia pura no solamente genera en el ingeniero conocimientos fundamentales sobre el comportamiento de la naturaleza, sino que también desarrolla habilidades y destrezas en el uso y la aplicación de las leyes y principios de las ciencias, que son la base de su formación.

Rama de la ingeniería en la cual no se estudie con relativa profundidad la matemática, la física, la química y la biología, no debería denominarse ingeniería, por carecer de los fundamentos esenciales de la disciplina.

Ciencia aplicada

Es la aplicación inmediata de las ciencias básicas, y corresponde al cuerpo de conocimientos básicos que los ingenieros utilizan normalmente para el diseño

de un dispositivo, una máquina, una obra o un proceso simple o complejo. Corresponde a la parte del currículo denominado “Ciencias de la ingeniería”.

Ejemplos de este tipo de asignaturas en un currículo de ingeniería, son: Estadística, Métodos numéricos, Materiales de Ingeniería, Estática y Dinámica, Resistencia de Materiales, Geología, Hidrología y algunos cursos de matemáticas, física, química o biología especiales, asignaturas que están presentes en casi todas las ingenierías, independientemente de la “rama” o especialidad que las aplique.

El científico estudia las ciencias puras con el fin de descubrir nuevas leyes, principios y relaciones, tanto en las diferentes clases de ciencias, como en los elementos y variables que las integran, mientras el ingeniero toma las ciencias puras, las combina y aplica (ciencias de la ingeniería en un currículo) para diseñar y desarrollar obras, estructuras, dispositivos y procesos, para con ellos darle solución a determinados problemas de una sociedad o de la humanidad, ingeniería aplicada.

Ingeniería

El estudio de las ciencias básicas, en conjunto con las ciencias de la ingeniería (ciencia aplicada), es lo que constituye y da cuerpo a la ingeniería como disciplina. Cabe agregar a esto la ingeniería aplicada y tecnológica, y se obtendrá cada una de las diferentes ramas en las que se divide la disciplina de la ingeniería.

La relación y la aplicación de los anteriores conceptos en el diseño y la construcción de las obras, estructuras, dispositivos y procesos de ingeniería completa esta trilogía, y normalmente es lo que caracteriza la ingeniería como disciplina, distinguiéndola de las demás, como por ejemplo de la economía, la administración o el derecho, entre otras.

Sin embargo, es necesario acotar que la física, la química, la meteorología y otras ciencias son solo herramientas de la ingeniería, pero no son sus fines. Refiriéndose a este aspecto, Cross(1998,p.2) afirma: “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 la utilidad con el objetivo, las herramientas con el destino, los medios con el producto final” .

3.3.2 Segunda trilogía: ciencia económica, finanzas e ingeniería

Ciencia económica

El ingeniero trabaja con los recursos de la naturaleza, recursos que no solamente son escasos, sino también agotables; por esta razón los ingenieros están obligados a utilizarlos y a “aprovecharlos” de manera económica, preservándolos sustentablemente. La tala indiscriminada de bosques y la contaminación del agua son ejemplos de una utilización antieconómica de los recursos de la naturaleza por parte de los ingenieros (lógicamente, los ingenieros no son los únicos responsables de la utilización eficiente de los recursos de la naturaleza) en la creación, el diseño y la construcción de sus obras, dispositivos y procesos.

Por otra parte, en un mundo globalizado y con la aparición de las relaciones económicas y comerciales entre las personas, entre estas con el estado y los estados con los demás del mundo, los ingenieros modernos, no pueden crear y diseñar sus soluciones sin tener en cuenta los aspectos económicos y financieros. Los recursos con que cuenta el ingeniero son cada día más escasos y, por lo tanto, es deber del ingeniero utilizarlos en la forma más racional posible, desde el punto de vista económico, de su conservación y posibilidad de renovación.

Ya no es posible emprender proyectos y obras monumentales, como las pirámides de Egipto, los majestuosos palacios del Lejano Oriente o las obras faraónicas de la antigüedad como el Coliseo Romano, a manera de ejemplo, proyectos que demandaron la utilización indiscriminada de grandes cantidades de recursos económicos, con los cuales seguramente contaban los gobernantes de ese entonces. En la actual sociedad se consideraría una desviación de recursos hacia propósitos cuyas prioridades no son tan importantes, como sí lo es, por ejemplo, la erradicación de la pobreza, el mejoramiento de la salud y la educación, y en general, el mejoramiento del nivel de vida de las sociedades.

Entender la “aldea global” y un “mundo globalizado” e interconectado con los avanzados sistemas de comunicación como internet, entre otros, demanda de la formación de un ingeniero moderno con habilidades para estar al día de los acontecimientos económicos mundiales, que muy seguramente tienen alguna incidencia y repercusión en sus proyectos. Piénsese en lo que significa y afecta a la ingeniería, por ejemplo, un ciclo de recesión en la economía de un país o del mundo, o la devaluación o apreciación de la moneda de su país o de otros países a los cuales pretende vender sus proyectos. Si se aísla al ingeniero del contexto de la economía, este no pasará de ser un excelente técnico que aplica con destreza sus conocimientos de matemáticas y ciencias naturales para el diseño y el desarrollo de obras, objetos, procesos o dispositivos de muy alta calidad técnica, sin una relación apropiada con el beneficio para las cuales fueron creadas.

Finanzas

En los comienzos de las primeras escuelas de ingeniería no se hablaba de aspectos contables, económicos y financieros. Según la antigua concepción de ingeniería, el manejo de los aspectos financieros estaba reservado para contadores y economistas, o para los hombres de negocios; el ingeniero solamente debía preocuparse de que sus obras fuesen funcionales, estables, resistentes y eventualmente estéticas, dejando el manejo de los recursos monetarios al dueño de la obra o a los asesores financieros de este, de ahí que muchas obras resultaban sumamente costosas y a veces quedaban inconclusas por falta de capital para terminarlas.

Fue solamente con la aparición de las teorías administrativas de Taylor y Fayol, y en la actualidad de la ingeniería industrial y las llamadas Ingenierías administrativas, cuando se comenzó a ver la ingeniería no solo como un asunto puramente técnico, sino también como una actividad que involucra en todo momento aspectos económicos y financieros, razón por la cual los modernos currículos de ingeniería incluyen, independientemente de la rama o especialidad, ahora en sus planes de estudio al menos una o dos asignaturas relacionadas con el

manejo de los recursos económicos o de capital, es decir, los aspectos contables y financieros de la actividad Ingenieril.

Ingeniería

Completa la trilogía la íntima relación existente entre la parte puramente técnica de la ingeniería, sus aspectos científicos y económicos, y el control y el uso racional de los recursos de capital empleados en el diseño y la construcción de las obras de ingeniería.

3.3.3 Tercera trilogía: relaciones sociales, relaciones industriales e ingeniería

Una tercera trilogía es considerada por Cross (1998), que aunque mencionada de última, no por ello deja de ser incluso la más importante de las tres. Esta se refiere al aspecto humano de la ingeniería, cuyos componentes son:

Relaciones sociales

Siendo la ingeniería una de las disciplinas que tiene por objeto principal satisfacer necesidades, deseos y expectativas de la humanidad, y teniendo en cuenta que muchas de estas necesidades o problemáticas surgieron con un hombre social, cuando este se hizo sedentario, requiriendo un hábitat fijo, cómodo y agradable, así como medios para cultivar sus alimentos, formas de defender sus propiedades y sus comunidades, y medios de comunicación entre sociedades e individuos, resulta evidente que las obras de ingeniería son para el servicio del hombre en su contexto social y con sus formas de convivencia en sociedad; de aquí que muchos de los problemas de ingeniería estén más ligados a los de carácter social que a los tecnológicos, y aún a los de carácter científico, como bien lo expresa Cross (1998), cuando dice que "Muchos problemas de ingeniería están más ligados a los de carácter social que a la ciencia pura" (p. 37).

Los ingenieros, además de poseer conocimientos científicos, técnicos y económicos, deben saber cómo relacionarse con sus colegas, con sus clientes y con los miembros de la sociedad en general.

Cuántos excelentes ingenieros fracasan en su vida profesional por carecer de formación humanística y por no saberse desenvolver en la sociedad a la que pertenecen.

Relaciones industriales

El concepto de relaciones industriales surge como resultado de las relaciones del individuo trabajador en el campo profesional y laboral, de las interrelaciones trabajador empresa, de la empresa con los sindicatos, de las empresas con otras empresas y de estas con los usuarios de sus productos, sí como de las relaciones necesarias entre las diferentes actividades de planificación, coordinación, administración y dirección de una empresa productora de bienes o servicios, relaciones que siempre han existido a lo largo del desarrollo social de la

humanidad, pero que se hicieron más evidentes y formales cuando el hombre “formó empresa” para satisfacer necesidades específicas.

Con la aparición de la “empresa”, como organismo productivo, los diferentes tipos de relación se hicieron más formales, siendo actualmente la mayoría de ellas reguladas por las leyes de cada Estado y también por leyes internacionales. Es posible distinguir, entre otras, las siguientes clases de relaciones industriales:

- Compañeros de trabajo: entre individuos que laboran para una misma institución o empresa.
- Relaciones patronales: entre los trabajadores de una empresa y los dueños de esta.
- Relaciones entre colegas o de gremio: entre individuos con una misma profesión u oficio.
- Relaciones de competencia: entre instituciones o empresas que satisfacen una misma necesidad.
- Relaciones de cadena de abastecimiento: entre proveedores de insumos y fabricantes o prestadores de un servicio.
- Relaciones de negocios: entre vendedor y comprador de un bien o servicio.

Ingeniería

En el mundo de la ingeniería, el ingeniero es necesariamente un actor que desempeña distintos papeles según los contextos de modo, circunstancia y lugar, siendo unas veces proveedor de un bien o servicio, mientras que en otras circunstancias desempeña el papel de comprador o de consumidor; en otras palabras, la ingeniería como disciplina, y especialmente como profesión, no puede ignorar los diferentes contextos en los que se aplica, y sobre todo debe entender que el ingeniero trabaja para un ser eminentemente social, y con seres sociales unidos por vínculos laborales, profesionales, sociales o económicos.

En conclusión, la ingeniería es una disciplina constituida por aspectos múltiples y complejos relacionados y correlacionados íntimamente, y no la simple sumatoria de conocimientos de matemáticas y ciencias naturales (física, química y biología), es decir, es una disciplina integral cuyo propósito es satisfacer necesidades, deseos y expectativas de la humanidad, utilizando en forma racional los recursos y fuerzas de la naturaleza.

3.4 Ingeniería, arte y ciencia

La ingeniería nació, se desarrolló y continúa siendo, en esencia, un arte. En un principio los ingenieros eran artesanos, ejercían la artesanía y se les llamaba, a veces, artistas, significando con ello que son personas que siguen métodos sistemáticos y ordenados, pero que a su vez son altamente resistentes hacia el exceso de reglamentación. “Ellos demandan libertad en su arte, libertad para volver a crear, para ordenar de nuevo” Cross, (1998, p. 8).

Desafortunadamente, y con el correr de los años, debido a que el hombre ha conseguido recopilar, agrupar, estandarizar y sistematizar muchos de los métodos, reglas, normas, fórmulas y procedimientos que utilizan los ingenieros en la realización de sus obras y proyectos, cada día se viene cayendo más en la creencia de que la ingeniería es fundamentalmente la aplicación ordenada y sistemática, pero mecánica, de la ciencia, de sus leyes y principios.

La ciencia, contempla problemas que implican menor cantidad de variables que los relacionados con la ingeniería, así como rangos de variación más estrechos que los que se encuentran en estos últimos. El conocimiento y la aplicación de la ciencia no es suficiente para que un ingeniero resuelva eficientemente determinados problemas de su especialidad; es también necesario mucho juicio, criterio y arte para el correcto uso y aplicación de las ciencias en los proyectos. Por tanto, no es correcto afirmar que una persona con excelentes conocimientos de física, química, biología y matemática está debidamente formada para ser un buen ingeniero: "... la física, la química, la meteorología y tantas otras ciencias son herramientas de la ingeniería, pero no son fines de ella" Cross, (1998, p.2)

Los estudiantes primíparos de ingeniería, como ven que en sus planes de estudio se estudian las ciencias naturales y las matemáticas con profundidad, y que aparentemente cuando sean profesionales van a tener que aplicarlas en casi todos sus proyectos, confunden los medios con el objetivo y la herramienta con el destino.

Uno de los orígenes de la palabra ingeniería proviene de la palabra ingenio, pero para ser "ingenioso" se requiere tener algo o mucho de artista. La ciencia como tal no le proporciona esta cualidad al ingeniero. Cuando la aplicación de la ciencia es creativa, se distingue en ella con claridad un elemento de arte, de igual forma que en la ciencia siempre se encuentra algo de arte. Los procedimientos sistematizados y formales de la ciencia utilizados por los ingenieros, y que se cree erróneamente conducen al ingeniero a resultados incuestionables, contrasta con el instinto creador, flexible e independiente que es productor de arte.

El arte es creador y puede adaptarse a nuevas ideas. La ciencia (en la cual se basa la ingeniería), por el contrario, tiende a fijarse mas en sus procedimientos, en sus normas de razonamiento y en métodos de afirmaciones. Los ingenieros en sus procedimientos aprovechan cualquier hecho o teoría de la ciencia sin importar cuál sea su estado de adelanto, siempre y cuando estos contribuyen a su arte.

Los métodos científicos se aplican al estudio de aspectos que tienen que ver con las relaciones humanas, pero esto no significa que se deba caer en el error de concebir la naturaleza de la ciencia sin tener en consideración la simplicidad de los problemas de carácter puramente científicos, a diferencia de la complejidad que tienen estos en la naturaleza.

Otro de los paradigmas mencionados consiste en confundir la ingeniería con la ciencia, atribuyéndole a la segunda los resultados de la primera.

"La gloria de la adaptación de la ciencia a las necesidades humanas pertenece a la ingeniería" Cross (1998, p. 5), pero para ello es necesario que el ingeniero le agregue a los conocimientos de la ciencia el ingenio y la creatividad, cualidad que es propia de los artistas, pero que no se enseña o ni aprende en los cursos

de ingeniería.

Finamente, es necesario llamar la atención sobre los males que aquejan a los ingenieros modernos, como la “calculitis aguda”, es decir creer, que todo es calculable y susceptible de medir con precisión; el “laboratoritis”, que implica que ningún diseño o proyecto es realizable y válido si sus resultados no provienen de experimentos y comprobaciones de un laboratorio, y el más pernicioso de todos, la “computadoritis” (muy de moda por cierto), que es la creencia generalizada de que el computador es el que tiene los conocimientos, las fórmulas y los procedimientos necesarios para resolver un problema, olvidándose de que este es solamente una máquina (herramienta) que facilita la búsqueda, recolección, organización y sistematización de la información, que libera al ingeniero de utilizar procedimientos y cálculos repetitivos y tediosos, y que agiliza los cálculos, pero que jamás podrá reemplazar la inteligencia del ingeniero, quien es quien lo programa y está en capacidad de interpretar y aplicar los resultados que el computador (incluido el software) arroja.

Los cálculos, los laboratorios y los computadores son muy útiles mientras se aprovechen apropiadamente, con modo y medida, pero que a veces se utilizan por esnobismo, vanidad, deseo de destacarse y querer demostrar que se tienen unos conocimientos actualizados, aplicando estas herramientas donde y cuando realmente no se requieren.

Los sistemas comerciales de “marketing”, derivados de un capitalismo salvaje, se aprovechan de estas debilidades de los ingenieros ingenuos creando instrumentos y herramientas que no se requieren, pero que los profesionales novatos se preocupan en buscarles aplicación, es decir, primero se crea la herramienta y después se busca la necesidad que estas pueden satisfacer.

3.5 Resumen del capítulo

Una de las definiciones que mejor describe esta disciplina es la siguiente:

“La ingeniería es la aplicación de ciertos conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes, principalmente a la creación de obras y dispositivos físicos, que satisfagan necesidades y deseos de la sociedad. Los ingenieros son principalmente creadores de artefactos u objetos físicos o tangibles; aparatos o dispositivos, estructuras y procesos. Son responsables de la creación de estas cosas, es decir, de su adecuación o diseño y de la dirección de su construcción” Krick, (1998, p. 61)”.

Esta definición se refiere más a la ingeniería como disciplina que como profesión, y es generalmente reconocida y aceptada por la mayoría de miembros del mundo científico, en especial por la comunidad académica relacionada con la ingeniería; encierra y contiene los principales principios, fundamentos y teorías relacionadas con la ingeniería, y además describe, en términos genéricos, lo que hacen las personas que se dedican a la aplicación de la ingeniería, es decir, los ingenieros.

Se puede afirmar que la ingeniería como disciplina es una sola y que lo que diferencia una “rama” de otra es la aplicación de esta a la solución de problemas

o situaciones problemáticas diferentes.

También se acostumbra considerar a la ingeniería como parte de una trilogía: ciencia pura, ciencia aplicada e ingeniería, trilogía que a su vez es parte de un conjunto de tres trilogías. Las otras dos trilogías que conforman la trilogía principal son: “teoría económica, finanzas e ingeniería, y relaciones sociales, industriales e ingeniería”.

La ingeniería nació, se desarrolló y continúa siendo, en esencia, un *arte*. En un principio los ingenieros eran artesanos, ejercían la artesanía y se les llamaba, a veces, artistas, significando con ello que son personas que siguen métodos sistemáticos y ordenados, pero que a su vez son altamente renuentes al exceso de reglamentación.

Desafortunadamente y con el correr de los años, debido a que el hombre ha conseguido recopilar, agrupar, estandarizar y sistematizar muchos de los métodos, reglas, normas, fórmulas y procedimientos que utilizan los ingenieros en la realización de sus obras y proyectos, cada día se viene cayendo más en la creencia de que la ingeniería es fundamentalmente la aplicación ordenada y sistemática, pero mecánica de la ciencia, de sus leyes y principios.

3.6 Actividades de aprendizaje

Realizar un análisis de los siguientes tres capítulos del libro *Los ingenieros y las torres de marfil*, de Hardy Cross (1998):

- “Cimientos firmes para las torres”
- “Para uso del hombre de los dones divinos”
- “Luces en la torre de marfil”

Después de la lectura:

- Hacer un resumen de cada capítulo (con sus propias palabras). Máximo una página.
- Identificar mínimo cinco ideas principales de cada capítulo.
- Elaborar una breve reflexión sobre las ideas identificadas.
- Hacer algunas recomendaciones para los estudiantes de ingeniería basándose en las ideas identificadas y las respectivas reflexiones.

Bibliografía

- Baca Urbina, G. (1999). *Introducción a la ingeniería*. México: Mac Graw-Hill.
- Cross, H. (1998). *Los ingenieros y las torres de marfil*. México: McGraw-Hill.
- Grech, P. (2001). *Introducción a la ingeniería*. Bogotá, Colombia: Prentice may.
- Hagen, K. D. (2009). *Introducción a la ingeniería, enfoque de resolución de problemas* (3^a. ed.). México: Prentice Hall.
- Hicks, P. E. (1996). *Introducción a la ingeniería industrial y ciencia administrativa*. Octava reimpresión. México: Cecsa.
- Hicks, P. E. (1999). *Ingeniería industrial y Administración, segunda edición*. México: Cecsa.
- Krick, E. (1998). *Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería*. México: Limusa.
- _____. *Ingeniería de métodos (vigesimosegunda reimpresión)*. México: Limusa.
- Niebel, B. W. *Ingeniería industrial (métodos, tiempos y movimientos)*. México: Alfaomega.
- Revista Ibero Americana de Educación No 49, Universidad de los Andes Bogotá, 2009.
- Romero, O; Muñoz, D; Romero, Sergio, 2006, Introducción a la Ingeniería un enfoque industrial, Thomson Editores, México.
- Wright, P. H1994. *Introducción a la ingeniería*. Editorial Educativa - Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, Delaware, U.S.A.



Capítulo cuatro

Ciencia, tecnología, técnica e ingeniería

4.1 Introducción

El *Homo faber* hizo sus primeros utensilios basándose, más en el conocimiento empírico, que en el conocimiento científico y racional. El empirismo ha sido la principal herramienta utilizada por el hombre para diseñar soluciones a las diferentes problemáticas que se le presentan a la humanidad en el transcurso de su existencia; los artefactos y herramientas eran construidos sin saber el porqué de su funcionamiento, solo se sabía que funcionaban. El conocimiento de cómo funcionaban las cosas se obtenía por observación del comportamiento de la naturaleza, por azar o por prueba y error. El proceso de aprendizaje consistía en que los aprendices tomaban directamente el conocimiento de sus maestros.

Si se pretende entender con claridad el concepto de ingeniería como disciplina y como profesión, es de suma importancia que se tenga perfecta claridad de las diferencias entre los conceptos ciencia, tecnología y técnica, los cuales a veces se confunden, e incluso se utilizan como sinónimos para describir el nivel de conocimiento implícito en las diferentes definiciones de ingeniería.

Para el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, la Revolución Educativa, Ministerio de Educación, Bogotá 2008), la diferenciación entre los tres términos es fundamental para definir con exactitud los niveles de educación y preparación de los ingenieros en el sistema de formación por Ciclos propedéuticos y por competencias: técnica-profesional, tecnológica y profesional universitaria. Para el Ministerio de Educación Nacional, la aplicación de la técnica, la tecnología y la ciencia en la formación de los ingenieros es directamente proporcional al nivel de formación requerido. Así, el técnico requiere más de la técnica (habilidades procedimentales y prácticas) que de la ciencia, mientras los ingenieros con grados superiores necesitan mucho menos de la técnica pero requieren tener unas bases científicas muy fuertes. El tecnólogo es, por principio, un profesional que combina los conceptos científicos y los técnicos en una forma más balanceada, tomando de cada uno lo que es importante para una buena formación.

4.2 Ciencia

La palabra ciencia se origina del latín *scientia*, que significa “saber”. A partir de este concepto es posible definir ciencia como “el estudio de la naturaleza; constituye lo que se llama algunas veces la *filosofía natural*. El objeto de la ciencia es establecer un conjunto de leyes que permitan responder a cualquier pregunta que se le hace” (Valero, 1999, Pág. 10) y está constituida por un conjunto de conocimientos producto de una investigación científica relacionada con los principios y leyes que explican el comportamiento de la naturaleza.

En la antigüedad, cuando no existía una explicación teórica para los fenómenos de la naturaleza, la mitología se utilizaba en lugar de la ciencia para explicar el comportamiento de la naturaleza, y por qué no, del hombre mismo.

El conocimiento científico tiene su origen y desarrollo en el conocimiento filosófico. Etimológicamente, filosofía significa “amor a la sabiduría” o “búsqueda de la verdad”. Así, para los filósofos antiguos, entre ellos Platón y Aristóteles, filosofía significaba el estudio del conocimiento puro. “En términos generales,

la filosofía es el resultado de esfuerzos del pensamiento humano por alcanzar sabiduría en aclarar el problema del hombre, Dios y el mundo, mediante atributos humanos, así como de examinar, valorar, teorizar y poner en práctica dichos planteamientos” (Peña Collazos, 2004).

Fueron los griegos los que más aportaron a la fundamentación científica de la ingeniería, pues consideraban que el mundo tenía un orden racional. Fue entonces que empezaron a abandonar las viejas creencias mitológicas, dando paso a nuevas y mejores interpretaciones lógicas y racionales del comportamiento de la naturaleza. Para los griegos, sin embargo, el eje central de la ciencia era la razón, y gracias a ella es que hoy el hombre está en capacidad de conocer e interpretar mejor el mundo que lo rodea.

Los griegos no contaban con herramientas que les permitieran la comprobación experimental de sus teorías, razón por la cual adoptaron el razonamiento concreto y abstracto. Cuando los griegos comenzaron a filosofar, otras culturas como la egipcia, la fenicia y la babilónica ya se habían adelantado, a observar los cielos, las aguas y en general el comportamiento de los fenómenos de la naturaleza, estableciendo ciertas leyes y principios que los relacionaban con los fenómenos celestiales y terrenales como por ejemplo, las crecientes en ciertos períodos del año o el mayor o menor crecimiento de los animales y las plantas, según la posición de las estrellas.

Es cuando los griegos comienzan a organizar y sistematizar el conocimiento relacionado con el comportamiento observado de los fenómenos naturales dentro de esquemas deductivos y teóricos, cuando se da su gran aporte a la ciencia y a la ingeniería, ya que para ese entonces no existían conocimientos absolutos, por lo cual era necesario establecer una base para soportar la ciencia en principios universales.

Es por lo anterior que, cuando se hace referencia a la historia de la ingeniería, se afirma que fueron los griegos los que sentaron las bases del pensamiento científico de la ingeniería, tal como hoy se conoce; desarrollaron también las matemáticas y la geometría, aunque no contribuyeron mucho al desarrollo de las ciencias naturales.

4.2.1 Desarrollo de la ciencia moderna y su aplicación al desarrollo de la ingeniería

Entre los siglos XV y XVIII se comenzó a aplicar los resultados de las ciencias a los proyectos de ingeniería. Dado el hecho de que en ese entonces se consideraba que la naturaleza estaba organizada de acuerdo con uno o varios modelos matemáticos, se consideró que las manifestaciones del mundo físico debían ser expresadas en un lenguaje matemático, razón por la cual se comenzó a estudiar las matemáticas como una de las bases científicas de la ingeniería.

Por esta misma época, y con un enfoque especialmente experimental, se desarrollaron las leyes de la mecánica, la dinámica, la termodinámica y la óptica, además de la geometría cartesiana, las teorías de Pascal y el cálculo infinitesimal, estos últimos desarrollados por los físicos Leibniz y Newton.

No obstante lo sólida que parecía ser las ciencias naturales y la matemática como ciencias absolutas e inobjetables en sus procedimientos y resultados, con los avances en la química y la biología este paradigma comenzó a mostrar ciertos vacíos. Por ejemplo, en la geometría se encontró que era posible construir otros sistemas tan coherentes como el famoso teorema de Euclides. A partir de este descubrimiento se entendió que la veracidad de un teorema no estaba dada por el teorema en sí, sino por la correcta deducción lógica con la que se obtenga a partir de los postulados propuestos, reduciendo la geometría euclidiana a la calidad de un instrumento más, aunque de mucha utilidad, en la interpretación de la naturaleza. En lo relacionado con la física, se presentaron dudas que obligaron a reevaluar los conceptos de tiempo, movimiento, materia, espacio, entre otros.

Por otra parte, las matemáticas ya no constituyan una ciencia absoluta, sino que se observó que por precisa que esta sea, presenta ciertas fallas que escapan a la razón. De aquí la aseveración de Cross (1998), en el sentido de que los cálculos y los resultados utilizados por los ingenieros no pueden tomarse como verdad absoluta, sino que por el contrario, estos siempre estarán revestidos de incertidumbre e imprecisión, razón por la cual los ingenieros siempre deben ser muy cautos y prudentes en su utilización durante sus diseños ingenieriles.

Es importante anotar, por ejemplo, que solamente a partir del siglo XIX se aplicó de manera consciente y sistemática el principio teórico de la primera ley de la termodinámica en el diseño del motor de combustión interna. Es desde ese momento que ciencia y tecnología se desarrollan de la mano, proveyendo la ciencia los principios teóricos que constituyen la base de los diferentes desarrollos tecnológicos. A manera de ejemplo, se pueden mencionar algunos otros casos que demuestran lo antes afirmado:

La radio apareció en el mundo tecnológico, mucho después de que Maxwell desarrollara las ecuaciones de la propagación de las ondas electromagnéticas; la bomba atómica se construyó después de que Einstein desarrollara la ley de la conservación de la energía en la cual relaciona la masa, la energía y la velocidad de la luz.

Sin embargo, en la actualidad, los papeles parecen invertirse. Ya no es la tecnología la que espera los descubrimientos de la ciencia para su desarrollo, sino que, por el contrario, es la tecnología la que le indica a la ciencia lo que debe investigar para desarrollar sus obras, dispositivos y procesos. En otras palabras, contrario a lo que sucedía, es la ciencia la que está al servicio de la tecnología.

4.2.2 Características del conocimiento científico

Con el fin de precisar más las diferencias entre ciencia, tecnología y técnica, se relacionan a continuación las características principales del conocimiento científico:

- **Replicabilidad:** los conocimientos deben poder ser replicados, en otros contextos.
- **Verificabilidad:** el conocimiento adquirido científicamente debe poder verificarse y comprobarse en los hechos. Los postulados y leyes deben poderse confrontar con la realidad.

- **Necesidad:** el conocimiento científico debe estar sustentado en una necesidad, deseo o expectativa no satisfecha de la humanidad, o al menos en una curiosidad con sentido utilitario y realista. Es la sociedad la que exige el desarrollo del conocimiento y no lo contrario (ver en el capítulo “El enfoque ingenieril en la solución de problemas”, la gran importancia de este concepto).
- **Historicidad:** la actividad científica no surgió en forma espontánea. Es necesariamente el producto del devenir histórico, de ciertos hombres o de ciertas sociedades que la desarrollan.
- **Fundamentación epistemológica:** el conocimiento científico utiliza su propio lenguaje, precisando conceptos y categorías sobre las cosas. Cada ciencia desarrolla sus propias categorías analíticas, además de contar con su respectivo referente empírico.
- **Demostrabilidad:** el conocimiento científico siempre busca la objetividad y se refiere al objeto, pues en él concuerdan las ideas con la realidad, más allá de deseos o intenciones predeterminadas. Debe superar intereses, malos hábitos mentales y, ante todo, prejuicios. El conocimiento, para que se considere científico, debe tener relevancia empírica demostrable en la realidad, es decir, que lo que se afirma sucede en la realidad, no solamente en la teoría.
- **Racionalidad:** el conocimiento científico se fundamenta en la razón o el pensamiento y en la lógica. En otras palabras, el conocimiento científico es sistemático, ordenado de manera racional.
- **Sintético y prospectivo:** el conocimiento científico debe generar nuevo conocimiento. Normalmente, a partir de datos y resultados particulares, busca logros de mayor alcance mediante la sintetización e interrelación de las partes con el todo.

4.3 Tecnología

La tecnología, en su origen y desarrollo, está constituida por el conjunto de conocimientos, procesos y formas de hacer las cosas, recopilados a lo largo de la historia en textos, gráficos, pinturas y toda clase de símbolos, así como el conocimiento heredado de los artesanos que precedieron a cada generación.

La palabra tecnología proviene de una palabra griega formada, a su vez, por la palabra *tekhné* (arte, técnica u oficio), o manera o forma de hacer las cosas, y *logia* y *logos*, que significa estudio o tratado. Corresponde al interior del concepto de ingeniería como disciplina a una cualidad mayor del saber técnico, pero de características científicas inferiores al saber científico.

El nivel tecnológico se considera una cualidad mayor del saber técnico, aunque menor que el conocimiento científico, el cual no pertenece, desde el punto de vista epistémico, a las máquinas, instrumentos y herramientas. En este nivel del conocimiento la teoría cobra un mayor sentido y preponderancia para conceptualizar el objeto tecnológico, permitiendo visualizar un proceso e intervenir en su diseño, creación o mejora.

Aunque hay muchas clases de tecnología (tecnología de alimentos, tecnología celular, tecnología automotriz, a manera de ejemplo), es muy usual que se use el término en singular para referirse solamente a una en particular o a todas en conjunto.

Cuando *Tecnología* se escribe con caracteres en mayúscula puede referirse a la disciplina teórica que estudia determinados saberes comunes a todas las tecnologías, o como un grado o nivel del conocimiento en la educación o titulación, en este caso de un ingeniero.

"La educación tecnológica se refiere a programas de formación integral con un nivel tal que se desarrollen competencias relacionadas con la aplicación práctica de conocimientos, en un conjunto de actividades laborales más complejas y no rutinarias, en la mayor parte de los casos, y desempeñadas en diferentes contextos. Se requiere un considerable nivel de autonomía, y muchas veces, el control y la orientación de otros" (Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, la Revolución Educativa, Ministerio de Educación Nacional, 2008 pág. 9-12).

4.3.1 Contexto histórico y social de la tecnología

Históricamente las tecnologías siempre se han utilizado para resolver problemas, satisfacer necesidades, no solamente esenciales como la alimentación, el vestido, la protección, etc., sino también deseos o expectativas, como los instrumentos tecnológicos que proporcionan placer y mejoran la forma de vida humana, por ejemplo la televisión, la aviación, la refrigeración, entre otras.

Para algunos autores la línea divisoria entre técnica (para otros se trata de tecnologías más simples, más artesanales y empíricas) y tecnología, tiene como base histórica la transformación de la técnica como consecuencia de las revoluciones científicas e industriales de los siglos XVI y XVII.

Por otra parte, la relación de la tecnología con la ciencia radica en que la tecnología es un producto de la aplicación de la ciencia. No cabe ninguna duda de que la actividad tecnológica moderna está íntimamente ligada con la práctica científica, razón por la cual muchas veces se define tecnología como ciencia aplicada; pero si se acepta esta afirmación, debe concluirse que la ciencia posee una mayor complejidad que la tecnología, y que el desarrollo tecnológico depende directamente de la investigación científica.

Jean Ladrière (citado en Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, la Revolución Educativa, Ministerio de Educación Nacional, 2008, p. 9), en el reto de la racionalidad sostiene que podría decirse que el objetivo de la ciencia es el progreso del conocimiento, mientras que la tecnología tiene por objetivo la transformación de la realidad dada. La ciencia tiende a adquirir nuevas informaciones sobre la realidad, mientras que la tecnología tiende a introducir la información en los sistemas existentes (tanto en los naturales como en los artificiales).

"Análisis más precisos del desarrollo tecnológico muestran que la relación existente entre ciencia y tecnología no puede reducirse, únicamente, a considerar

que esta es dependiente de la ciencia y que no siempre es ciencia aplicada (Osorio, 2002). Por otra parte, “se debe entender la ciencia y la tecnología como dos subculturas simétricamente interdependientes” (Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, la Revolución Educativa, Ministerio de Educación Nacional, 2008, p. 9).

4.3.2 La tecnología y la ética

La tecnología, desde el punto de vista ético y moral, no es buena ni mala, y los juicios éticos, al igual que en la ciencia y la técnica, se refieren al uso que se haga de esta. Muchos de los inventos de la antigüedad fueron creados y utilizados específicamente para infligir dolor y tormento a las personas, con el fin de conseguir, por ejemplo, que ellas confesaran un crimen (que a veces ni siquiera habían cometido) o como medio de inducir la incriminación o delación de otras personas. Sin embargo, muchos de esos inventos y tecnologías se utilizan en la actualidad para facilitar el trabajo del hombre, como es el caso de la prensa y el tornillo mecánico, el sistema de poleas y la rueda, entre otras, tecnologías de no muy grata recordación por su uso inapropiado en la Edad Media.

La finalidad principal de la tecnología es, precisamente, transformar el entorno para adaptarlo mejor a las necesidades y deseos humanos haciéndolo un mundo mejor, y en última instancia hacer de la existencia del ser más agradable y placentera.

4.3.3 Impacto de la tecnología en la sociedad

La humanidad, en general, siempre se ha beneficiado de la tecnología, como por ejemplo con la invención y el diseño de artefactos y dispositivos para la detección y el diagnóstico de enfermedades (biotecnología), la creación y el mejoramiento de accesorios y herramientas que ayudan a simplificar el trabajo en el hogar (la robótica, la automatización y los telemandos), así como en el área empresarial e industrial con la innovación e incorporación de la tecnología moderna para la automatización, que aunque trae muchos beneficios, su efecto inmediato es la generación de desempleo, el cual es temporal trayendo como consecuencia que el nuevo trabajador se ha tenido que calificar, ya no para realizar trabajo manual y físico, sino para programar, vigilar y controlar las máquinas, ahora más automatizadas.

Desde el punto de vista macroeconómico, es una verdad comprobada, según las leyes que rigen la macroeconomía, que cuando se reduce el costo de fabricación de un objeto o la prestación de un servicio, esto conduce a su vez a la reducción del precio, facilitando su accesibilidad a personas que antes no tenían el suficiente poder económico para hacerlo. A medida que crece la demanda por mayor accesibilidad y cobertura se produce una mayor oferta, la cual necesariamente requiere más trabajadores, mejor calificados, aumentando de esta manera la generación de empleo, que al final es mayor que el primer impacto cuando aparece por primera vez una nueva tecnología, como es el caso de la aparición de los computadores y la automatización en la industria y en los negocios en general.

Lo que ocurre es que los avances tecnológicos obligan a la sociedad (en este caso a los ingenieros) a tener que aprender cada día sobre las nuevas tecnologías con cambios cada vez más acelerados, incluso que la ciencia misma que los soporta, y para el profesional es indispensable mantenerse actualizado en las tecnologías que correspondan a su disciplina y profesión, so pena de quedar obsoleto en sus conocimientos, habilidades y destrezas y, consecuentemente, fuera del mercado laboral.

Finalmente, es importante resaltar que en la vida práctica laboral el ingeniero aplica más la tecnología que la ciencia, pero ello no significa que este sea un tecnólogo. El tecnólogo es por principio un profesional que, aunque requiere bases científicas como el ingeniero, estas bases no son estudiadas con la misma profundidad. El tecnólogo tiene competencias intermedias entre el técnico y el ingeniero.

4.4 Técnica

La palabra técnica proviene del griego *tekhné*, que en general significa *arte*, y de manera general corresponde a un conjunto o serie de reglas o protocolos que se utilizan como medio para llegar a un fin, por ejemplo construir o fabricar algo: para hacer un fusil el artesano debía seguir determinadas reglas, so pena de arriesgarse a que este no funcionara, o lo que es peor, explotara durante su utilización en una batalla.

La técnica supone que, en contextos similares, un mismo efecto será producido por un mismo procedimiento, proceso o método. Se puede afirmar que técnica es un conjunto de reglas, procesos y conocimientos que se aplican en determinada área del que hacer ingenieril. Así, a manera de ejemplo, la técnica de alimentos reúne todo lo que el hombre sabe o utiliza para producir y procesar alimentos. La técnica existió mucho antes que la ciencia y que la tecnología, la cual cuando apareció se desarrolló de manera independiente de los desarrollos tecnológicos.

Usualmente la técnica requiere conocimientos y uso de muchas y variadas herramientas físicas y también intelectuales. El conocimiento técnico, por tanto, es por principio un conocimiento que se adquiere por el método inductivo partiendo de casos particulares, mientras que el conocimiento tecnológico y científico es más de tipo deductivo, o sea se refiere o se basa en el estudio de las leyes y principios. El conocimiento técnico, por ser el estudio de casos particulares, se vuelve mecánico y repetitivo y se requieren habilidades y destrezas en la utilización de técnicas, también particulares.

"Se conoce como *técnico* a la persona que domina una técnica. El concepto de técnica también se aplica a un grado o calificación al que se accede a partir de la educación formal" (Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, la Revolución Educativa, Ministerio de Educación Nacional, 2000, p 8, 9,10).

El técnico aprende a utilizar diversas herramientas, intelectuales o físicas, para ejecutar, a veces de manera rutinaria, procesos, procedimientos y métodos para conseguir un determinado resultado, casi siempre estandarizado, es decir, la técnica está más cercana a los procedimientos estandarizados y al uso de las

herramientas y las máquinas de producción.

La diferencia entre arte y técnica radica en que en el arte las cosas se pueden hacer de diversa manera; por ejemplo, una composición musical, una pintura o una escultura. Sin embargo, la técnica exige seguir reglas muy estrictas y todos los objetos construidos con las mismas reglas son básicamente iguales.

4.4.1 Desarrollo histórico T3

El hombre comenzó a utilizar la técnica desde tiempos antiguos como herramienta para adaptar el medio natural en el que vive a sus necesidades. Se cree que el uso de la técnica es exclusivo del ser humano, lo cual no es cierto, pues se ha comprobado que los animales recurren a ella para facilitar su supervivencia.

La técnica se caracteriza por su transmisibilidad. Así, un hombre puede aprender una técnica de otros hombres, pudiendo modificarla, mejorarla o inventar una nueva, como es el caso de los diferentes avances en la creación y el uso de nuevas tecnologías actualmente.

4.5 Ingeniería: base científica, disciplina, ramas y especializaciones

En el esquema conceptual (figura 4.1), y por medio de un símil con un árbol de manzanas, se pueden visualizar y comprender más fácilmente los aspectos tratados en las definiciones anteriores, así como la integralidad, articulación y concurrencia de los conceptos de ciencia, tecnología, técnica y arte, involucrados en la definición disciplinar de la ingeniería.

Para el efecto se empleará un símil, comparando la manera en que un árbol nace, crece y da sus frutos, y la manera como se forma el concepto de ingeniería como disciplina, sus ramas o especializaciones y las subespecializaciones, terminando con los frutos del proceso, es decir, los ingenieros.

Las *semillas*, que en el árbol constituyen su origen y el principio del nacimiento, en el concepto de ingeniería están conformadas por *las ciencias básicas como la matemática, la física, la química y la biología*, que son base y fundamento de la ingeniería como disciplina.

Las semillas se siembran en la *tierra*, la cual debe adecuarse y abonarse para asegurar el crecimiento de un árbol que producirá frutos de excelente calidad. En el caso del currículo, el componente tierra equivale a la *mente* de los estudiantes aspirantes a formarse como ingenieros, mentes que se supone han sido preparadas, adecuadas y abonadas correctamente desde la educación media.

A medida que las semillas se mezclan y germinan, se producen las *raíces* que posteriormente forman el *tronco*, que en cierta forma define la clase de planta o de árbol. En el caso del concepto de ingeniería, el tronco o núcleo está constituido por la aplicación inmediata de las ciencias básicas, que en conjunto, con otra serie de conocimientos como el diseño, la expresión gráfica, la computación, entre otras, constituye un cuerpo de conocimientos, habilidades y destrezas

denominado ciencias de la ingeniería, que junto con el estudio de las ciencias básicas determinan lo que es la ingeniería como disciplina.

Figura 4.1. Disciplina, ramas o especializaciones y subespecializaciones.



Fuente: elaboración propia.

Hasta aquí, todos los ingenieros son iguales; básicamente estudian las mismas materias y a las personas que ejercen esta profesión se les denomina ingenieros, sin agregar la especialización o rama en la que se desempeñan. En este punto, el ingeniero está más íntimamente relacionado con la *ciencia* como base científica de su formación.

Del tronco se desprenden las *ramas*, que aunque poseen todas las características fundamentales del tronco se diferencian entre ellas por la forma, la cantidad de subramificaciones, el color, el tamaño y la forma de las hojas. Este componente del currículo, o plan de estudios, a pesar de que está basado en la ciencia y en las ciencias de la ingeniería, se relaciona más con la *tecnología* y sus aplicaciones generales.

En ingeniería, las *ramas* constituyen las diferentes aplicaciones, especializaciones o “*ramas*” de la ingeniería, de las cuales se mencionan a continuación algunas tradicionales y otras actuales o modernas:

- **Tradicionales:** civil, petróleos, mecánica, química, minas, eléctrica, agrícola.

- **Modernas:** materiales, aeronáutica, electrónica, Mecatrónica, multimedia, telecomunicaciones, industrial, sistemas, biomédica, alimentos.

Las *hojas* pueden compararse con las subespecialidades de las distintas “ramas” de la ingeniería, donde prima la tecnología como aplicación de la ciencia, pero también se identifica de manera más concreta el uso de la *técnica*, es decir, es más de tipo procedural que tecnológico y científico. Algunos ejemplos son:

- **Ingeniería civil:** puentes, túneles, ingeniero calculista, construcción.
- **Ingeniería eléctrica:** diseño y construcción de centrales eléctricas, especialista en diseño y construcción de redes de distribución eléctrica.
- **Ingeniería electrónica:** diseño y construcción de dispositivos y máquinas automatizadas electrónicamente, especialista en radio y televisión, especialista en instrumentos médicos.
- **Ingeniería industrial:** procesos industriales, logística, seguridad industrial, gestión de sistemas de calidad.
- **Mecatrónica:** robótica, automatización industrial.

En el capítulo “Especializaciones y ramas de la ingeniería”, se tratará este tema en forma más amplia.

Aunque el análisis de los apartados anteriores explica claramente la relación entre ciencia, tecnología, técnica e ingeniería, se considera conveniente incluir los elementos que siguen a continuación a fin de que el futuro estudiante comprenda los demás elementos de la ingeniería, desprendiéndose del concepto errado de que la ingeniería es solamente ciencia, tecnología y técnica, y se vaya familiarizando con la temática a tratar en el capítulo posterior correspondiente a la educación del ingeniero.

El *agricultor* representa al *profesor* (o su equivalente); las *herramientas* que utiliza el agricultor son el equivalente a los *métodos pedagógicos y didácticos*, y el *tractor* se asimila a los demás elementos intelectuales o materiales utilizados por la institución educativa en el proceso enseñanza-aprendizaje en la formación de los futuros ingenieros.

Mientras los *frutos* representan la clase y la calidad de los egresados, el hombre con la *canasta* equivale al sector laboral, que es en última instancia el que utiliza los conocimientos, habilidades y destrezas, y en general, las competencias del profesional.

El consumidor final, que en el árbol está representado por la *persona sonriente* (satisfecha con el producto del árbol, que compensa con calidad su necesidad de alimentación); en ingeniería corresponde a la *sociedad* y la *humanidad* en general que, como se dijo en el capítulo referente a las definiciones, es en última instancia a quien van dirigidos los objetos, dispositivos, obras y procesos diseñados por los ingenieros.

La *manzana “podrida”* representa en el árbol aquellas que cayeron por fuera de la canasta, es decir, no fue acogida por el sector productivo; estas son equivalentes

a los ingenieros mediocres que egresan de las universidades, escasamente con el mínimo de competencias.

Finalmente, las *nubes*, que son el medio ambiente general en el caso del árbol, en la estructuración del concepto ingeniería representa todos los *recursos y fuerzas de la naturaleza* con que el ingeniero diseña sus soluciones ingenieriles.

Del análisis anterior se puede deducir que la ingeniería como disciplina es una sola, y que lo que diferencia una “rama” de otra es su aplicación a la solución de problemas o problemáticas diferentes. Por ejemplo: los ingenieros civiles aplican la ingeniería para darle solución a problemas de infraestructura como vivienda, vías y transporte o saneamiento ambiental, entre otros; los ingenieros eléctricos, por su parte, aplican sus conocimientos de ingeniería para producir, transportar y utilizar energía eléctrica, y el ingeniero industrial aplica la ingeniería para crear, diseñar y mejorar sistemas productivos de bienes y servicios.

En el diagrama anterior resulta además evidente que los ingenieros trabajan utilizando y manipulando principalmente los recursos y las fuerzas de la naturaleza, que refieren a l concepto de energía, y en la actualidad al de ciencia de la “información” (informática) utilizada en la mayoría de las ramas y especialidades de la ingeniería. Los demás elementos de la definición de ingeniería se encuentran representados por el medio ambiente, los recursos humanos y los recursos económicos.

Es interesante anotar que en el desarrollo de este símil para explicar cómo se forman la ingeniería, sus ramas y especializaciones, se encuentran todos y cada uno de los elementos, componentes y propósitos de la ingeniería que se estudiaron en apartados anteriores. En capítulos posteriores se ampliarán los anteriores conceptos, cuando se hable de la educación del ingeniero.

4.6 Innovación

Es la actividad de naturaleza científica y tecnológica realizada con el fin de obtener productos, procesos o servicios tecnológicos, nuevos o mejorados. Se trata de la materialización de una idea en un producto nuevo o mejorado; un nuevo proceso en una industria o comercio, o una nueva o mejorada metodología para satisfacer una necesidad social.

Está compuesta por las diferentes etapas, estrategias y procesos científicos, financieros y comerciales utilizados para el desarrollo de un nuevo o mejorado producto, proceso o servicio. La innovación se refiere a la creación, diseño o mejoramiento de nuevos productos o a los procesos o métodos para su producción.

Por otra parte la innovación se inspira en modelos secuenciales lineales, impulsados por el descubrimiento previo en ciencias y tecnología y es halada por la demanda de mercado y la evaluación permanente de necesidades insatisfechas

4.7 Investigación y desarrollo (I+D)

Trabajo creativo y sistemático para ampliar el conocimiento científico, del

hombre, la cultura y la sociedad, y el uso del conocimiento para el desarrollo de nuevos productos, procesos y servicios.

La investigación y el desarrollo (I + D), se fundamenta cada día más en los llamados "intangibles" y en los nuevos conocimientos, innovaciones y descubrimientos tecnológicos, los cuales en su mayoría se encuentran registrados y protegidos por patentes.

El bienestar de las sociedades está basado en el conocimiento y en la capacidad de estas para convertir el conocimiento en fuentes de desarrollo y de competitividad, por medio de procesos de innovación.

4.8 Desarrollo sostenible

Se entiende por desarrollo sostenible l proceso en el que los aspectos económicos, tecnológicos, comerciales, energéticos, agrícolas, industriales, entre otros, se utilizan para obtener un desarrollo sustentable, desde el punto de vista socioeconómico y ambiental. Es un concepto que abarca diferentes aspectos de la vida humana, así como la puesta en práctica de modelos de desarrollo sostenible.

El desarrollo sostenible tiene como propósito principal garantizar la supervivencia y el bienestar del ser humano y el entorno que lo rodea, es decir, incluye a otras especies que son parte del proceso evolutivo de la vida en el planeta. Comprende el mejoramiento sostenible de la calidad de vida de los seres humanos en una combinación armónica con la protección del medio ambiente y el uso eficiente y económico de los recursos no renovables, de tal manera que se satisfagan las necesidades presentes de las actuales generaciones, sin poner en peligro la satisfacción de las generaciones futuras.

Un verdadero desarrollo sustentable satisface las necesidades básicas como vivienda, alimentación, agua potable, condiciones sanitarias, energía, etc., adaptando las tecnologías según los contextos específicos de cada región, país o localidad, utilizando los recursos de tal forma que se respeten los ciclos del ecosistema.

El concepto de desarrollo tecnológico sustentable tiene su origen en las llamadas revoluciones industriales, originadas con el desarrollo de tecnologías que ofrecen grandes ventajas en comparación con las tecnologías obsoletas utilizadas hasta ese entonces y que fueron remplazadas, produciendo un gran impacto ecológico en el ahorro en la utilización de materiales claves, y en la rapidez y la precisión de los nuevos mecanismos de producción.

En la actualidad, no se podría entender el quehacer profesional del ingeniero sin considerar, en el desarrollo de sus diseños y proyectos, características de sostenibilidad y el ahorro de energías y de recursos no renovables.

Tampoco se puede concebir un currículo o plan de estudios de ingeniería que no contemple, con cierto grado de profundidad, una o varias asignaturas referentes al desarrollo sostenible o a la llamada ingeniería ambiental.

4.9 Paradigmas sobre la ingeniería

La ingeniería, a lo largo de su historia, ha pasado por toda clase de “paradigmas”: primero fue el “calculitis”, después la “formulitis”, pasó por el “laboratoritis”, y actualmente por la “computadoritis” y la “internelitis”, abusando de procedimientos y métodos, indudablemente muy útiles, siempre y cuando se aprovechen con racionalidad y no por pura moda o esnobismo, cuando se aplican donde y cuando no se requieren.

Por otra parte, debido a la confusión al utilizar los conceptos de *ciencia, tecnología y técnica* cuando se habla de ingeniería como disciplina y profesión, se han creado muchos paradigmas, preconceptos y errores conceptuales que es importante aclarar, si se desea saber con claridad lo que realmente constituye esta disciplina, así como el ejercicio de esta profesión.

Aunque son muchos los paradigmas, se han escogido algunos que se consideran son los más relevantes, porque son los que más distorsionan el concepto de ingeniería:

1. Creer que una persona con muchos conocimientos teóricos de las ciencias naturales (física, química y biología) y matemáticas se encuentra capacitado para ser un buen ingeniero.

La *ciencia* en sí no tiene nada que ver con su aprovechamiento o su conveniencia. La ciencia investiga las cualidades y el comportamiento de los materiales y de los fenómenos de la naturaleza, pero es el *ingeniero* el que se aprovecha de estos descubrimientos para utilizarlos en los diseños de sus soluciones ingenieriles. “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” (Cross, 1998, p. 2), como es la ingeniería.

Las *ciencias naturales* (física, química y biología), entre otras ciencias, son solamente *herramientas* de la ingeniería, pero no se pueden confundir con el fin de la ingeniería. “Los estudiantes, y la mayoría de las personas, como ven que en los currículos se estudian con cierta profundidad estas materias, y que incluso la mayoría de los ingenieros las utilizan directa o indirectamente en sus diseños, confunden la utilidad con el objetivo, la herramienta con los fines de su uso, y los medios con el producto u objetivo final” (Cross, 1998, p. 2). En otras palabras, el estudio y la aplicación de las ciencias naturales es una de las principales herramientas con las que cuenta el ingeniero en el desarrollo de sus proyectos, pero no es la ingeniería misma.

2. Pretender que la ingeniería es una ciencia *matemática* ((Cross, 1998, p. 2).

Los ingenieros aprovechan al máximo los procedimientos matemáticos en sus diseños registrando muchos datos, gráficas, ecuaciones, como una guía para sus razonamientos para obtener pruebas, conocer las proporciones del problema y, especialmente, para cuantificar las variables que inciden en un problema; pero en ningún caso pretenden que los métodos y procedimientos matemáticos den respuesta a los problemas planteados. La ingeniería no es matemática, a pesar de que se sirve de ella como

una herramienta no solo importante, sino también indispensable en la ingeniería moderna.

3. Pretender que haciendo únicamente un análisis de los elementos y anotar todos los datos del problema, con ello se ha obtenido su solución. En otras palabras, no pasar más allá de la descripción del problema, y aun del simple diagnóstico.

Este es un gran mal del cual adolece la gran mayoría de los ingenieros, sobre todo los ingenieros teóricos, los cuales creen que su labor como ingeniero consiste en el diagnóstico, identificación y formulación del problema, sin avanzar en el diseño de las soluciones, que es la verdadera función de la ingeniería.

4. Considerar que las obras, los dispositivos y demás artefactos son construidos por los ingenieros de manera mecánica o son el resultado de la aplicación estricta de fórmulas y modelos matemáticos.

A veces se parte de la base de que en los cálculos de ingeniería las leyes científicas se conocen con absoluta certeza. "Quienes han examinado en detalle la manera de pensar en la ingeniería, saben que casi todos los diagramas están revestidos con signos de interrogación" (Cross, 1998, p. 4)

La incertidumbre y los problemas abiertos, así como el comportamiento estocástico o aleatorio del comportamiento de la naturaleza, son el "pan de cada día" de los ingenieros, razón por la cual sus cálculos no son más que una guía en sus diseños ingenieriles.

5. Estar erróneamente convencido de que la habilidad del ingeniero para investigar es lo más importante en su formación que la habilidad para correlacionar datos, cálculos y sus resultados.

Este concepto erróneo tiene su origen en la idea que tienen muchas personas de que el ingeniero es un investigador, es decir, un científico, sin entender que los ingenieros utilizan la metodología de la investigación simplemente como una herramienta, cuando requieren realizar averiguaciones exhaustivas acerca de algunos elementos de sus proyectos, pero que la investigación, en sí misma, es más propia de los científicos que de los ingenieros. Un científico puede ser a su vez un ingeniero (como es el caso de muchos de los inventores), pero un ingeniero no necesariamente es un científico.

6. Utilizar las cifras estadísticas sin un análisis crítico, sin preguntarse en forma sistemática si las tendencias de las cifras son o no inherentes a su método de obtención.

Las estadísticas son una gran herramienta utilizada por los ingenieros para deducir relaciones, correlaciones, extrapolar datos y, en general, para predecir comportamientos futuros, tanto de los fenómenos de la naturaleza, como de los resultados de sus proyectos. Sin embargo, los cálculos y resultados estadísticos siempre deberán analizarse con

“beneficio de inventario”, por estar revestidos de incertidumbre, de imprecisión y del comportamiento aleatorio de los fenómenos que se miden con esta herramienta.

Desafortunadamente las estadísticas y sus resultados pueden ser mal interpretadas por personas no versadas en la materia, y lo que es aún peor, manipuladas por los expertos para darle a las soluciones de un problema o a los resultados de un estudio una apariencia de científicidad, o para inducir a la toma de sesgadas y malas decisiones.

7. Tomar cualquier término general, usarlo como adjetivo y prefijo de la palabra ingeniería (ingeniero de procesos, ingeniero económico, ingeniero administrativo, ingeniero comercial, reingeniería) para dar la impresión de que estas carreras tratan con cantidades y variables cuantificables y mensurables, dándole una apariencia aparentemente científica a sus estudios (Cross, 1998, p. 4).
8. El único método de investigación aplicado a la ingeniería no es el método científico. “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 son altamente resistentes y antagonistas hacia el exceso de reglamentación” Cross, 1998, p. 8). Gran parte del trabajo del ingeniero no se hace siguiendo reglas fijas, fórmulas o métodos rígidos, es decir, la ingeniería ha sido, es y seguirá siendo, en gran parte un arte.

La ingeniería se encarga de servir de intermediación entre la ciencia, la tecnología y la técnica, aplicando con arte y creatividad los principios científicos en el desarrollo de nuevos productos, servicios y tecnologías que satisfagan las necesidades, deseos y expectativas de la sociedad y del hombre en general.

4.10 Resumen del capítulo

La ingeniería, a pesar de que se fundamenta en las matemáticas y en las ciencias naturales, no es una ciencia en sí misma, sino una disciplina, la cual contiene además partes de varias ciencias, conceptos técnicos y tecnológicos.

Mientras la *ciencia* es el conocimiento adquirido por la observación, la interpretación, la explicación teórica y la posterior verificación de los fenómenos naturales, la *tecnología* está constituida por un conjunto de conocimientos, procesos y formas de hacer las cosas, recopilados a lo largo de la historia en textos, gráficos, pinturas y toda clase de símbolos, incluido el conocimiento heredado de los artesanos que precedieron a cada generación. La *técnica*, a su vez, está conformada por un conjunto de reglas que se aplican en determinada área del quehacer ingenieril para construir o fabricar algo.

La diferencia entre arte y técnica radica en que en el arte las cosas se pueden hacer de diversa manera; por ejemplo, una composición musical, una pintura o una escultura. Sin embargo, la técnica exige seguir reglas muy estrictas y todos los objetos construidos con las mismas reglas son básicamente iguales. La tecnología existió mucho antes que la ciencia, la cual cuando apareció se desarrolló de manera independiente de los desarrollos tecnológicos.

En la actualidad es necesario complementar los conceptos de *ciencia, tecnología y técnica* con otros que han surgido con los nuevos contextos, en los cuales se desenvuelven la ingeniería y el ingeniero como profesional. Esto hace referencia a las nociones de:

1. Innovación, constituida por las diferentes etapas científicas, técnicas, comerciales y financieras necesarias para el desarrollo de un nuevo producto o proceso mejorado.
2. Investigación y desarrollo (I + D), elemento que se puede definir como el trabajo creativo desarrollado sistemáticamente para aumentar el nivel de conocimientos, y el uso de estos conocimientos para desarrollar nuevos productos, procesos o servicios.
3. Desarrollo sostenible, que se puede concretar como el proceso en el que las políticas económica, tecnológica, comercial, energética, entre otras, se formulan para lograr un desarrollo sostenible desde el punto de vista económico, social y ambiental.

Finalmente, y a manera de resumen, se puede afirmar que la ingeniería moderna, está constituida por todos los conceptos estudiados, tales como ciencia, tecnología, técnica, arte, innovación, investigación y desarrollo, desarrollo sostenible, además de todas las nociones y conocimientos fundamentales, enunciados en las diferentes definiciones de ingeniería.

4.11 Actividades de aprendizaje

En el diseño y funcionamiento de un automóvil, identificar:

1. Las principales ciencias naturales que intervienen
2. Los conceptos de tecnología
3. Los aspectos técnicos en su fabricación

Redactar un breve escrito (*paper*), mostrando las diferencias entre ciencia, tecnología, técnica, invención y arte e ilustrarlo con ejemplos.

Bibliografía

- Baca Urbina, G. (1999). *Introducción a la ingeniería*. México: MacGraw-Hill.
- Bunge, Mario (2003). *La ciencia: su método y filosofía*. 2002 vol:1 fasc: 2 págs: 100 – 110. México: Editorial Trillas.
- Cross, H. (1998). *Los ingenieros y las torres de marfil*. México: MacGraw-Hill.
- Geymonat, L. (1980). *El pensamiento científico* (8^a. ed.). Buenos Aires: Eudeba.
- Grech, P. (2001). *Introducción a la ingeniería*. Bogotá, Colombia: Prentice may.
- Hagen, K. D. (2009). *Introducción a la ingeniería, enfoque de resolución de problemas* (3^a. ed.). México: Prentice Hall.
- Hicks, P. E. (1999). *Introducción a la ingeniería industrial y ciencia administrativa*. Cecsa. México.
- Krick, E. (1998). *Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería*. México: Limusa.
- Krick, E. (1996). *Ingeniería de métodos*. México: Limusa.
- Ministerio de Educación Nacional. (2007). *Revolución Educativa Colombia Aprende*, Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior.
- Osorio, C. (2002). Enfoques sobre la tecnología. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, 2002 vol:1 fasc: 2 págs: 100 – 110.
- Peña Collazos, W. (2004). *Seminario Desarrollo Investigativo Curricular Flexible e Innovación de Planes de Estudio*, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Unión Europea (2003). Investigación e innovación.
- Valero Michael (1999). *Física Fundamental*, Ed. Norma, Cali Colombia, Cuarta edición.
- Wright, P. H. (1994). *Introducción a la ingeniería*. Editorial Educativa - Addison-Wesley Iberoamericana, México.



Capítulo
cinco

*Ciencias básicas de la
ingeniería*

5.1 Introducción

Como lo expresan todas las definiciones de ingeniería ya mencionadas en capítulos anteriores, se puede afirmar que en esencia la ingeniería como disciplina es básicamente la aplicación de las *ciencias matemáticas* y la *ciencias naturales* (física, química y biología) y otras disciplinas, conceptos y conocimientos derivados o afines a ellas, para manipular, utilizar y transformar los “recursos y las fuerzas” de la naturaleza, con el objeto de diseñar y construir soluciones a determinados problemas de la sociedad y de la humanidad en general. En este capítulo analizaremos en forma general el papel que juegan las *ciencias matemáticas* y la *ciencias naturales* (física, química y biología) en la construcción del concepto de ingeniería como disciplina. En el capítulo “El Currículo”, se tratará este tema con mayor profundidad.

5.2 El papel de las matemáticas en la ingeniería

De todas las herramientas de las que el ingeniero dispone para la solución de sus problemas profesionales, una de las más valiosas son las matemáticas. Las técnicas matemáticas, junto con las ciencias naturales aplicadas, son el fundamento de todas o casi todas las obras, dispositivos o procesos diseñados por los ingenieros, por ello es muy importante que el futuro ingeniero deba actualizarse permanentemente y desarrollar sus conocimientos matemáticos, así como aprender a aplicarlos con seguridad y eficacia.

No es posible imaginarse la ingeniería sin números y cálculos; poseer la habilidad matemática es un requisito indispensable para ejercer con éxito la ingeniería. El estudiante de ingeniería y futuro ingeniero deberá adquirir mucho conocimiento relacionado con las matemáticas: álgebra lineal, álgebra superior, cálculo integral, cálculo diferencial, ecuaciones diferenciales, entre otras.

Es indispensable que el ingeniero sea muy hábil y diestro en el manejo de sus cálculos, que aprenda atajos para llegar a los resultados rápidamente, con aceptable exactitud, y que use su sentido común cuando tenga que dar respuesta numérica a algún problema.

Una gran parte de la información que empleará vendrá de mediciones que siempre implican algún error; también deberá tomar decisiones con información incompleta, lo que equivale a decir que deberá tomar riesgos, pero riesgos calculados.

Las matemáticas, que en los inicios de la ingeniería no se conocían con la clasificación que actualmente se utiliza, desempeñan un papel muy importante en el avance y el desarrollo de la ingeniería. Gracias a ellas, los ingenieros pueden cuantificar de manera más precisa las diferentes variables que intervienen en un proyecto de ingeniería, el impacto en la sociedad de sus diseños, así como calcular y predecir con mayor precisión los efectos, impactos y consecuencias de los diferentes fenómenos de la naturaleza, lo cual no era posible antes de la aparición de las matemáticas formales como herramienta de medición y cuantificación. Es posible afirmar que sin el desarrollo de las matemáticas y sus aplicaciones prácticas, la ingeniería no estaría más avanzada que en la Edad Media.

Piénsese, por ejemplo, en la matemática aplicada como la estadística, cuyas bases son el cálculo diferencial, el cálculo integral, el álgebra lineal, entre otras, o más recientemente el diseño y la programación de los modernos computadores, cuya lógica y procedimientos tienen como fundamento los llamados métodos numéricos.

Por otra parte, es importante para la formación del ingeniero, hacer la diferencia entre matemáticas puras y matemáticas aplicadas. Las primeras, como su nombre lo indica, son puras, es decir, tienen su propio núcleo y su estudio tiene como propósito entender desde las matemáticas el comportamiento de las fuerzas de la naturaleza justificándose en sí mismo; mientras que las matemáticas aplicadas generalmente están constituidas por una combinación de dos o más ramas de las matemáticas puras.

El ingeniero, aunque requiere las matemáticas puras para su formación científica, en la práctica está más cerca y en contacto con las matemáticas aplicadas. No obstante, no se puede caer en el facilismo que a veces reclaman las nuevas generaciones al querer que su formación solamente se base en las matemáticas aplicadas, dejando las primeras para los matemáticos puros, lo que los convertiría, en el mejor de los casos, en técnicos muy calificados, pero sin capacidad para innovar, correr la raya del conocimiento de la disciplina, desarrollar novedosas tecnologías y, en general, de encontrar mejores maneras de hacer ingeniería científica.

A manera de repaso general, a continuación se describen algunas de las ramas de las matemáticas más utilizadas por los ingenieros, las cuales normalmente hacen parte de un currículo de ingeniería.

A diferencia de otros textos, los autores consideran innecesario entrar en detalles, empleando además ejemplos de casos concretos de cálculo, por dos razones fundamentales: este texto está dirigido principalmente a estudiantes que aspiran cursar una carrera de ingeniería, estudiantes que por principio ya han estudiado, aunque con poca profundidad, la mayoría de los conceptos aquí expuestos; una segunda razón radica en que la idea del texto es proporcionar al estudiante aspirante o “primiparo” una visión de conjunto, de tal manera que a medida que vaya cursando las asignaturas las pueda articular en un todo, es decir, la ingeniería como disciplina y profesión.

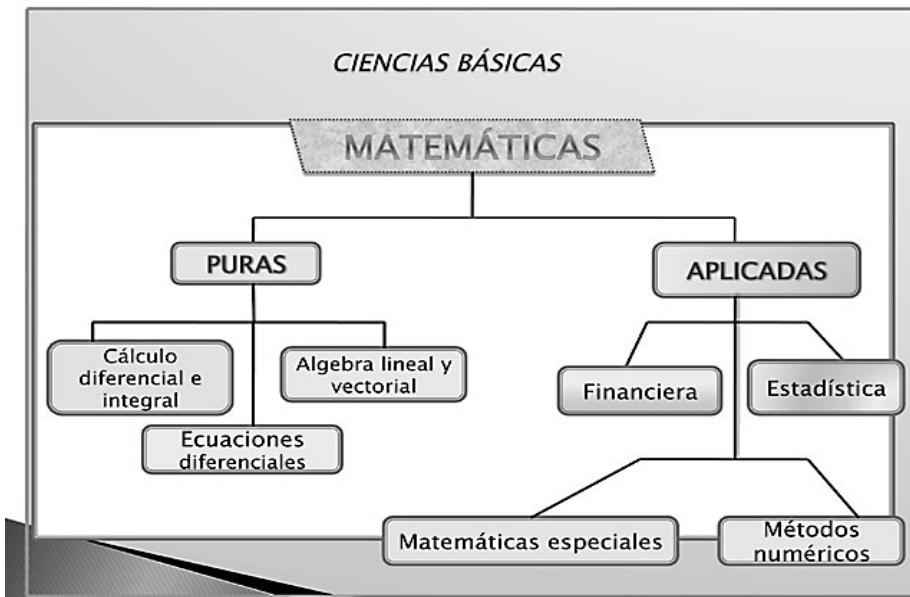
El texto, como se dijo en la introducción, también va dirigido a profesores de ingeniería, pero que no son ingenieros, como por ejemplo economistas, contadores, estadísticos, matemáticos, físicos y químicos puros, entre otros. Algunos de ellos, debido al contenido y al propósito de su asignatura no están interesados en entrar en detalle en procedimientos de cálculo, que muy seguramente no van a entender, mientras que otros como los matemáticos, físicos y químicos muy seguramente saben más de las materias matemáticas que dictan que los mismos ingenieros.

Estos argumentos son los mismos que se han considerado para no entrar en detalles relacionados con cálculos y resolución de problemas de física, química o biología.

5.2.1 Ramas de las matemáticas

El campo de las matemáticas puede dividirse en matemáticas puras y matemáticas aplicadas (figura 5.1). Las primeras están relacionadas con el estudio de las propiedades y sistemas matemáticos abstractos, sin considerar las aplicaciones, mientras que las matemáticas aplicadas se ocupan o ayudan a la resolución de problemas prácticos.

Figura 5.1. Clasificación general de las matemáticas en ingeniería



Fuente: elaboración propia.

Los ingenieros, aunque usan los dos tipos de matemáticas, en el ejercicio profesional están más en contacto con las matemáticas aplicadas, pero las matemáticas puras son esenciales para su formación, como bien se expresó en apartados anteriores.

Aunque existen muchas ramas de las matemáticas, para simplificar se agrupan en tres grandes áreas generales: álgebra, geometría y análisis, de las cuales se desprenden a su vez subramas o especializaciones.

Álgebra

El álgebra es, en principio, una generalización de la aritmética, donde cada uno de los símbolos es utilizado para representar números desconocidos de conjuntos de números denominados variables.

Las relaciones entre variables se expresan en forma de proposiciones matemáticas abiertas, en forma de ecuaciones o desigualdades. Normalmente las variables son representadas con letras del alfabeto o con letras griegas. Tanto los matemáticos

como los ingenieros emplean abreviaturas en las que las operaciones algebraicas se utilizan o se expresan con símbolos.

Geometría

La geometría está relacionada con las propiedades, la medida y las relaciones de puntos, líneas, superficies y sólidos. Su estudio se divide en *geometría plana*, que se encarga de líneas, curvas, ángulos y polígonos en un plano; *geometría sólida*, que corresponde al estudio de conos, esferas y poliedros, en tres dimensiones; *geometría diferencial*, conformada por la aplicación del cálculo a la geometría para estudiar las propiedades locales de las curvas. Estudia, asimismo, las propiedades de los conos, esferas, cilindros y poliedros, en tres dimensiones.

Trigonometría

La trigonometría es una extensión de la geometría y es utilizada para calcular los lados y ángulos desconocidos de un triángulo. Se aplica a triángulos en un plano o en una superficie esférica.

Son muchas las aplicaciones de la trigonometría en los cálculos necesarios que deben utilizar los ingenieros en sus diseños y proyectos, aplicaciones agrupadas en las llamadas funciones trigonométricas: seno, coseno, tangente, secante, cosecante, cotangente. Estas funciones se definen como los cocientes de los lados de un triángulo rectángulo plano.

Tres de las relaciones que más se utilizan son: el *teorema de Pitágoras*, la *ley de los senos* y la *ley de los cosenos*. El teorema de Pitágoras es atribuido al filosofo griego del siglo VI a. C., y establece que la suma de los cuadrados de las longitudes de los catetos de un triángulo rectángulo es igual al cuadrado de la longitud de su hipotenusa.

Cálculo

El cálculo es una de las ramas del análisis matemático y estudia los cocientes incrementales de las funciones. Se divide en: cálculo diferencial, el cual proporciona una forma de calcular derivadas, máximos y mínimos de funciones; y cálculo integral, con el cual se calculan con precisión áreas y volúmenes limitados por curvas y superficies, y sirve para determinar la divergencia o la convergencia de una serie infinita de números.

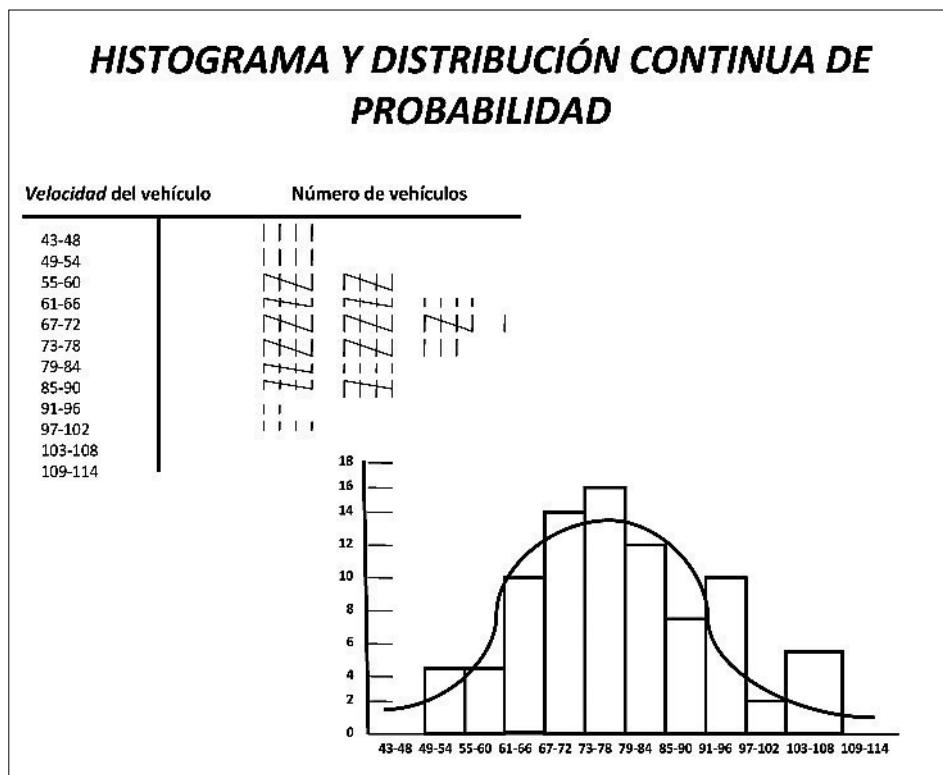
Estadística

La estadística implica la recopilación, la organización y la interpretación de datos numéricos. Los ingenieros la usan para varios propósitos, entre los cuales se pueden numerar los siguientes: entender, controlar y explicar errores en las medidas; facilitar la recopilación de datos de manera ordenada y confiable para el desarrollo de proyectos de ingeniería, especialmente en la etapa de planeación; entender y aclarar la incertidumbre en las propiedades de los productos, dispositivos, obras y procesos de ingeniería; controlar la calidad de los procesos, de los materiales y de la eficiencia de las máquinas y de la mano de obra en la fabricación de productos.

Los datos con los que trabaja el ingeniero requieren ser ordenados y agrupados en intervalos de clase, para formar lo que se denomina una distribución de frecuencias, la cual muestra el número de observaciones que se dan dentro de un mismo intervalo.

Es muy frecuente que los ingenieros muestren la frecuencia o la frecuencia relativa de las observaciones en un gráfico denominado *histograma*, como se muestra en la figura 5.2: una curva uniforme trazada por los puntos medios de las barras de frecuencia de un histograma se aproxima a la distribución de probabilidad de una variable. El *histograma* representa la frecuencia de observaciones de una muestra de datos. La distribución de probabilidad representa la frecuencia relativa con la que se generan los valores posibles de la variable, por lo que se debe hacer especial mención a la denominada *distribución normal*, también conocida como la *campana de Gauss*, por su alta utilización en los cálculos de ingeniería, sobre todo para calcular la precisión de algunos resultados y calcular la probabilidad de ocurrencia y valor de una variable de naturaleza estocástica.

Figura 5.2. Ejemplo histograma de frecuencia

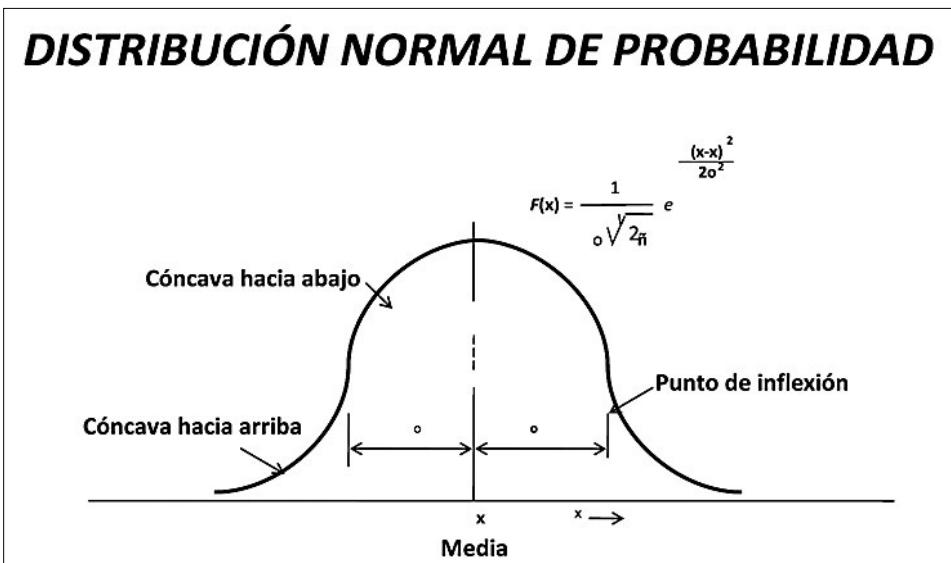


Fuente: elaboración propia.

La *distribución normal* tiene forma de campana y es simétrica respecto a la media. Los puntos de inflexión de esta curva están situados a ± 1 la desviación estándar

de la media, como se muestra en la figura 5.3. La curva es cóncava hacia abajo en 1, desviación estándar de la media.

Figura 5.3. Curva normal o campana de Gauss



Fuente: elaboración propia.

El área total bajo la curva normal es igual a 1. Si se conocen, o se pueden suponer, la media y la varianza de una variable aleatoria distribuida normalmente, es posible calcular las probabilidades de que el valor de una variable se encuentre en determinada posición bajo la curva, utilizando para ello el cálculo diferencial.

Las distribuciones de probabilidad pueden ser *continuas*, en las cuales la variable puede tomar todos los valores de un intervalo y puede ser representada por una curva uniforme. En las distribuciones *discretas*, la variable toma valores enteros no negativos: 0, 1, 2, 3, etc.

Por lo general, se utilizan las llamadas *medidas de tendencia central* y *medidas de dispersión* para completar la precisión de los cálculos obtenidos con los anteriores conceptos. Las medidas de tendencia más utilizadas son: la *media aritmética*, que representa las n mediciones de una muestra, y se define como la suma de estas dividida entre n ; la *moda*, que en una muestra representa el dato que más se presenta, y la *mediana*, que es el dato que está a la mitad de los valores cuando estos se ordenan según su tamaño.

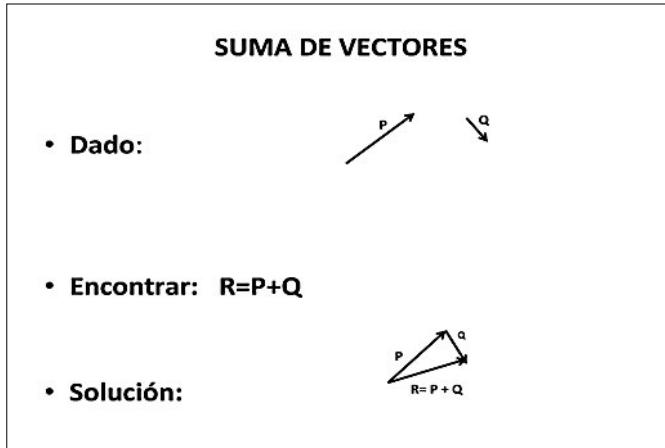
Existen otras medidas y conceptos a los cuales no se hará referencia en detalle, pues su estudio compete a cursos avanzados de estadística, los cuales el estudiante verá en profundidad en asignaturas especializadas de su carrera, entre ellos, se pueden mencionar: el *alcance o extensión*, los *percentiles*, y la *desviación típica o estándar*.

Álgebra vectorial T4

El álgebra vectorial es una herramienta de mucha utilidad para la resolución de una gran variedad de problemas de ingeniería, especialmente problemas de ingeniería mecánica e ingeniería civil.

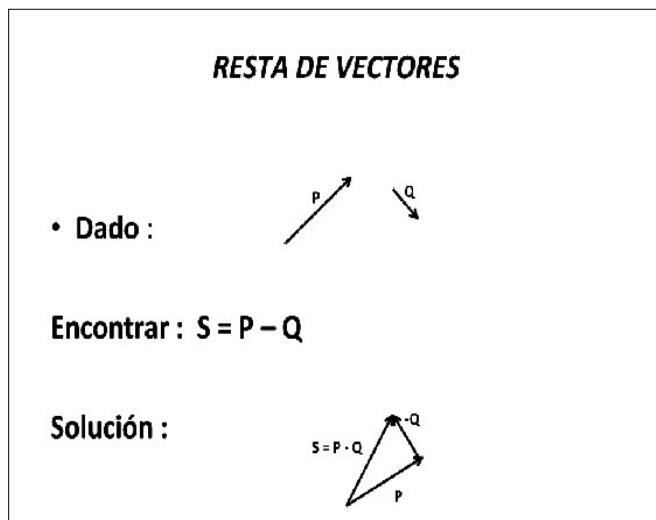
Se basa en operaciones algebraicas (suma, resta, multiplicación, etc.) de vectores. Un vector es una cantidad que tiene magnitud y dirección, como se muestra en las figuras 5.4 y 5.5. Por ejemplo, una fuerza es una cantidad vectorial.

Figura 5.4. Ejemplo de operaciones con vectores - suma



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.5. Ejemplo de operaciones con vectores - resta



Fuente: elaboración propia.

La suma o resta de dos vectores se puede efectuar utilizando un procedimiento gráfico: por ejemplo, en las figuras 5.4 y 5.5, si P y Q son dos cantidades vectoriales, entonces la suma $S = P + Q$ se obtiene completando un triángulo que se forma con P y Q como dos de los lados. En la resta de vectores se considera que el vector $-Q$ es el mismo Q apuntando en la dirección opuesta. Si P y Q se dibujan a escala con su orientación apropiada, la magnitud y la dirección de S pueden medirse utilizando una regla escala.

5.3 Las ciencias naturales y la ingeniería

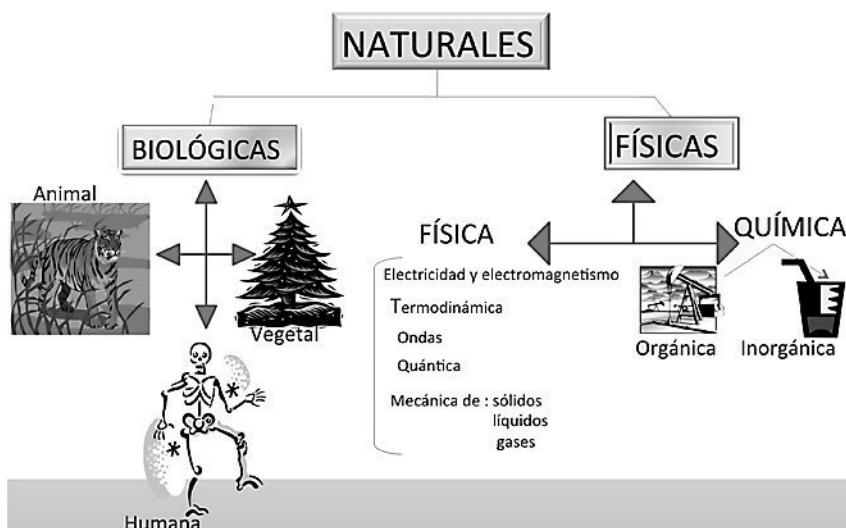
Como se indica en apartados y capítulos anteriores, uno de los componentes principales siempre presente en las diferentes definiciones de ingeniería está constituido por el estudio y aplicación de las ciencias naturales, es decir, la física, la química, la biología y demás conceptos derivados de estas, razón por la cual en este apartado se explicará el concepto y su relación con la ingeniería.

5.3.1 Clasificación general (figura 5.6)

El papel que desempeña el estudio de las ciencias naturales en la construcción del concepto de ingeniería y en la formación de las personas que la aplican, es decir, los ingenieros, es fundamental. La ingeniería nació y se ha desarrollado a partir de la observación, por parte del hombre, del comportamiento de la naturaleza, la causa de los diferentes fenómenos y del descubrimiento y el entendimiento de las leyes y principios que gobiernan su funcionamiento.

Figura 5.6. Clasificación general de las ciencias naturales en ingeniería.

CIENCIAS BÁSICAS



Fuente: elaboración propia.

Normalmente en los planes de estudio de ingeniería se acostumbra a clasificar las ciencias naturales en:

- a) **Biológicas** la cual a su vez se subdivide en biología animal, biología vegetal y biología humana (Fig.5.6)
- b) **Físicas** con una subdivisión en Física (Mecánica, Electricidad y magnetismo, Termodinámica y ondas entre otras); Química con su correspondiente división en orgánica e inorgánica (Fig. 5.6). Al interior de estas clasificaciones se encuentran muchas mas subclasificaciones, las cuales no se mencionan en este texto por simplicidad.

En el capítulo La educación de un Ingeniero (Plan de estudios típico), se amplían los conceptos relacionados con la ciencias naturales y con las matemáticas.

5.3.2 Utilización de las ciencias en ingeniería

La ingeniería, como se conoce en la actualidad, no es otra cosa que la recopilación ordenada y sistemática de todos estos principios y leyes sobre el funcionamiento y el comportamiento de la naturaleza. El mérito de la ingeniería, o del ingeniero, es precisamente el hecho de que los ingenieros estudian con cierta profundidad las ciencias puras como las matemáticas, la física, la biología o la química, aunque por ser estas ciencias la base y fundamento de la ingeniería, es lo que ha llevado a que se confunda el papel del ingeniero con el que desempeña un científico en relación con dichas ciencias; sin embargo, lo que distingue a un científico de un ingeniero, es que el *primero estudia la ciencia en sí*, en búsqueda de una explicación de las causas y del comportamiento de las fuerzas y fenómenos de la naturaleza, es decir, *descubre, interpreta, deduce, explica*, mientras que el ingeniero toma los descubrimientos del científico, y los *utiliza y aplica* para crear o diseñar soluciones de ingeniería a determinadas necesidades o problemáticas, relacionadas con su disciplina.

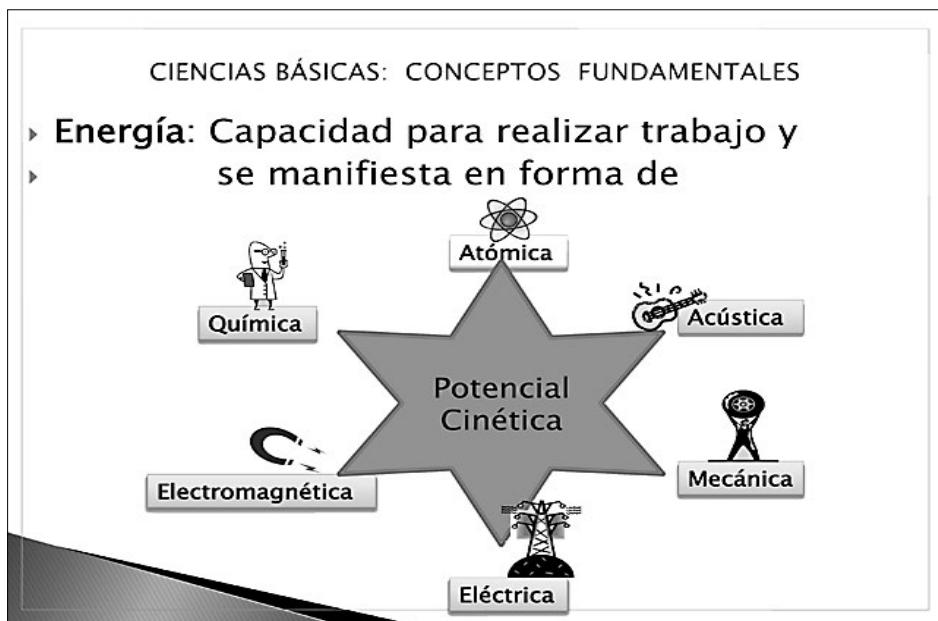
5.3.3 Conceptos básicos y fundamentales de las ciencias en ingeniería

Aunque todos los conceptos relacionados en los cuadros anteriores son importantes y fundamentales, hay varios que es conveniente destacar o recordar (figuras 5.7 y 5.8) ya que son el fundamento de los ejemplos que se muestran a continuación, estos son: concepto de energía, manifestaciones y clases; estados de agregación de la materia (masa o materia); Ley de la conservación de la energía.

Estados de agregación de la materia (figura 5.8):

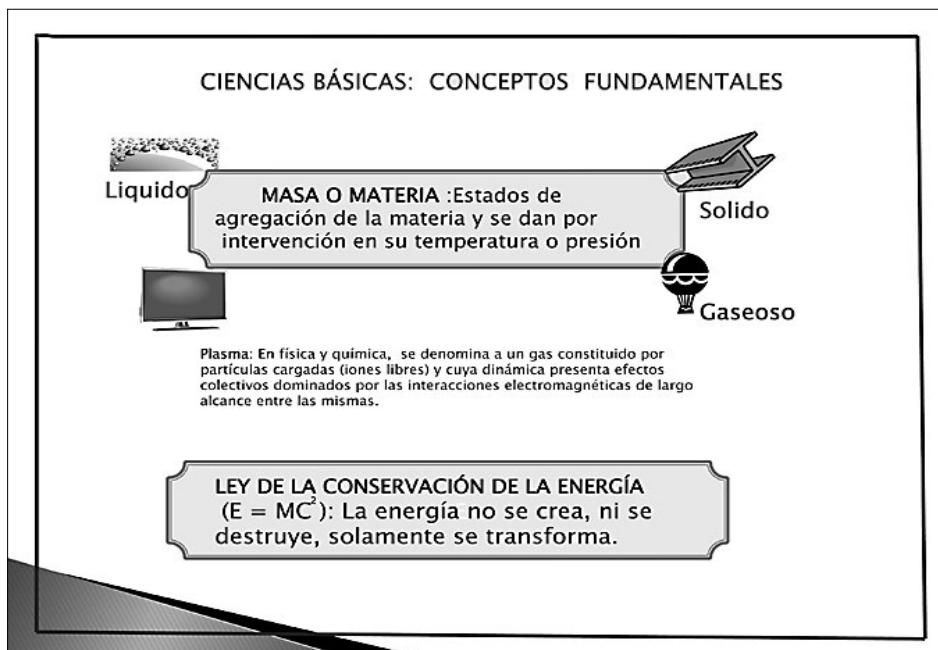
Sólido, líquido, gaseoso, plasma. Este último concepto en la física clásica no existe como estado independiente de agregación de la materia; modernamente para algunos científicos es un estado independiente de los anteriores, mientras para otros es un gas constituido por partículas cargadas (iones) libres y cuya dinámica presenta efectos colectivos de interacciones electromagnéticas. Es un estado parecido al gas, pero compuesto por electrones, cationes (iones con carga positiva) y neutrones.

Figura 5.7. Energía y la forma como se manifiesta en la naturaleza



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.8. Concepto de masa o materia y ley de la conservación de la energía



Fuente: elaboración propia.

Ley de la conservación de la energía, de Einstein (Figura 5.8):

El cual podría denominarse el “concepto reina” de todos ellos, se refiere a que “La energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma” Es importante hacer la distinción entre la Ley de la Conservación de la Energía y el principio de la conservación de la masa enunciada por Joule, la cual establece que una de las características de la materia es que esta, la masa, no se crea ni se destruye, simplemente se transforma.

Si se analizan los diseños ingenieriles, con los cuales los ingenieros proponen soluciones a problemas relacionados con su disciplina y especialidad, es posible, de manera muy simplificada, afirmar que lo que hace un ingeniero no es otra cosa que transformar una forma o clase de energía en otra, incluso en un círculo virtuoso que nunca termina.

Los tres conceptos están íntimamente relacionados entre sí y corresponden a la parte de las definiciones de ingeniería cuando se habla de manejo y utilización de los *recursos* y las *fuerzas de la naturaleza*.

La aplicación de los anteriores conceptos en el diseño de soluciones ingenieriles, se explica y visualiza en los ejemplos relacionados en el siguiente apartado de este capítulo.

5.4. Aplicación de las ciencias básicas en el diseño de soluciones ingenieriles

5.4.1 Generalidades

Si a los conceptos anteriores se adicionan algunas premisas, por medio de varios ejemplos es posible entender mejor el papel que desempeñan las ciencias básicas en la creación, el diseño y la construcción de las obras, dispositivos, artefactos y procesos utilizados por los ingenieros como medio para dar solución a un problema, deseo o expectativa, propios de su disciplina o profesión. Dichas premisas son:

1. Que se puede resumir los conceptos “fuerzas y recursos de la naturaleza” dentro del concepto *energía* y sus diferentes formas, estados y clases.
2. La noción de la conservación de la energía de Einstein: La energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma, es decir, la creación de cualquier objeto, dispositivo, estructura o proceso implica la transformación de un tipo, forma o clase de energía a otro tipo, forma o clase, en una especie de círculo virtuoso en el cual se cumple el principio de la conservación de la energía.
3. El estudio de la energía se basa, a su vez, en el estudio de la física, la química y la biología. Las matemáticas son solamente el medio que se utiliza para cuantificar y medir los diferentes parámetros y variables involucrados en la conversión de una energía en otra.
4. La energía principalmente se encuentra o manifiesta en la naturaleza como: mecánica, química, eólica, calórica, lumínica, sonora, eléctrica, electromagnética, nuclear. No se debe confundir con fuentes energéticas.

5.4.2. Transformación y usos generales de la energía

Utilizando los conceptos anteriores y ayudados por el siguiente ejemplo, se explica a continuación el papel que desempeñan las ciencias básicas (matemáticas y ciencias naturales) y su utilización por los ingenieros en la creación, diseño y construcción de obras, estructuras, dispositivos y procesos. Por simplicidad, solamente se ha escogido como ejemplo, principalmente el uso o aplicación de la física, pero el concepto general puede extenderse y aplicarse al diseño de obras, procesos industriales, procesos agrícolas, entre otros.

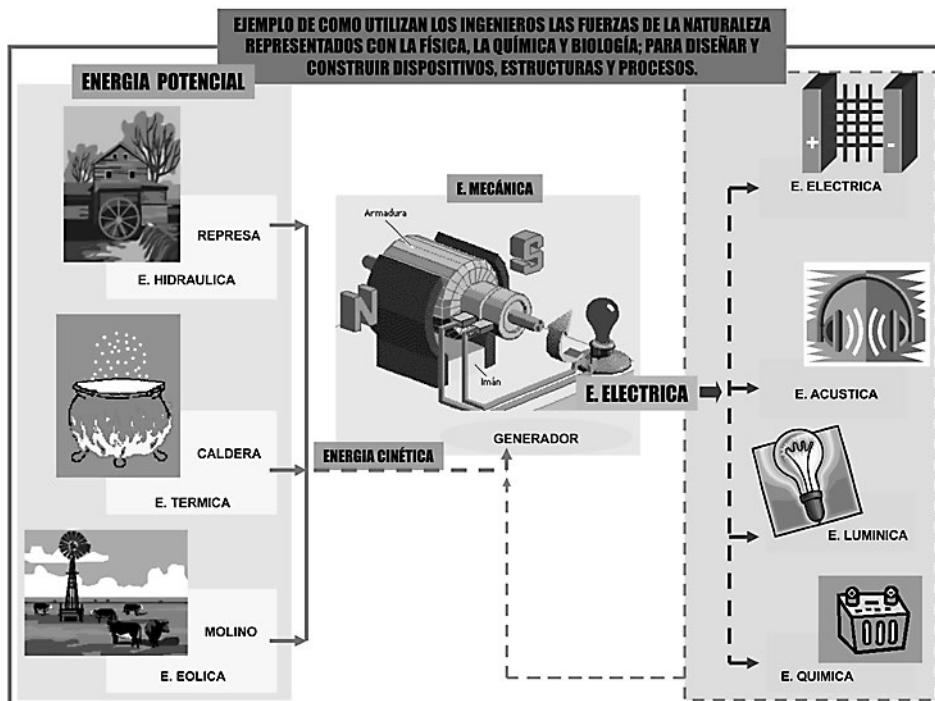
Descripción del problema

El problema consiste en la necesidad o el deseo que tiene una sociedad, país o localidad de generar electricidad a partir de varias alternativas de fuentes energéticas, para luego a partir de la energía eléctrica, generar energía calorífica, lumínica, acústica, química, entre otras, todo ello dentro del ciclo basado en el concepto de la conservación de la energía.

Desarrollo del proceso de solución

La energía eléctrica se producirá en una planta generadora, cuyo componente principal es un generador, como el que se muestra en la figura 5.9, utilizando algunos de los principios de física electromagnética, mecánica y eléctrica (figura 5.10).

Figura 5.9. Aplicaciones de las ciencias básicas al diseño de soluciones de ingeniería



Fuente: elaboración propia.

Escogencia de la fuente

Energía (hidráulica, eólica, térmica, solar, atómica, entre otras), que se utilizará para mover las aspas o alabes conectadas al eje principal del generador, para convertir la *energía mecánica* del eje en rotación en *energía eléctrica* por medios electromagnéticos.

Aunque se pueden utilizar muchas fuentes energéticas, para iniciar el proceso de transformación de la energía de una clase en otra se han seleccionado las siguientes, por ser las más comunes y conocidas:

a. Recurso o energía hidráulica (figura 5.9)

La *energía potencial*, representada por una cierta cantidad de agua almacenada en una “presa”, se convierte en *energía cinética*, es decir, el agua en movimiento al abrir las compuertas y dejar fluir el líquido (normalmente agua) por unos conductos hasta la turbina, que según unas condiciones o variables hidráulicas genera o produce la fuerza o energía suficiente para mover las aspas o alabes de esta y el eje del generador, produciendo la *energía hidráulica mecánica* requerida para el movimiento relativo entre los dos componentes principales del generador: el campo magnético producido por dos imanes naturales o electroimanes, y el embobinado o hilo conductor.

b. Recurso o energía eólica (figura 5.9)

La *energía potencial*, en este recurso, está representada, en lugar de agua, por cierta cantidad de partículas de aire que al ponerse en movimiento convierten la energía del viento en reposo en *energía cinética*, partículas que al entrar en contacto con las aspas o alabes de la turbina, conectada a su vez al eje del generador, produce el movimiento de este, generando de esta manera la *energía eólica mecánica* necesaria para producir el movimiento relativo entre el rotor y el estator del generador.

c. Recurso o energía térmica (figura 5.9)

El agua almacenada en forma de vapor, la cual se encuentra a presión y a cierta temperatura, constituye la *energía potencial* o en reposo. Una vez liberado el vapor al abrir una válvula, este fluye con determinadas características de masa, presión y velocidad por el interior de unos conductos, pasando del estado en reposo o *potencial*, a energía en movimiento o *cinética*. Las partículas de vapor, al estrellarse contra las aspas o alabes de la turbina, conectada al eje principal del generador, convierten la *energía térmica* de la caldera en la *energía mecánica* necesaria para darle movimiento al eje del generador.

Generación de energía eléctrica (conversión de energía mecánica a energía eléctrica)

Hasta ahora hemos logrado convertir *energía eólica*, *térmica* o *hidráulica*, en la *energía mecánica* que da movimiento al eje principal de un generador. El siguiente paso consistirá en generar *electricidad*, a partir de la transformación de

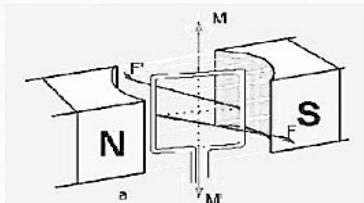
la energía mecánica del eje de la turbina en movimiento, en energía eléctrica. En la figura 5.10, se muestra el principio de la generación de energía eléctrica utilizando los principios del electromagnetismo: según la ley de Gauss, cuando las líneas de fuerza de un campo magnético son cortadas por un hilo conductor, se produce una corriente eléctrica en el hilo conductor y viceversa. Estas leyes de la física son aprovechadas por los ingenieros para el diseño y la construcción de generadores y motores eléctricos.

Qué es un generador eléctrico : es un sistema electromagnético consistente en un campo magnético generado por dos imanes (rotor o estator, dependiendo del tipo de generador) de diferente polaridad, entre los cuales se genera un campo magnético cuyas líneas de fuerza son cortadas por unos hilos conductores generalmente de cobre, de tal forma que se genera un flujo de corriente eléctrica (energía eléctrica) en los hilos del embobinado, corriente que es conducida al exterior del generador por medio de escobillas y cables (figura 5.11).

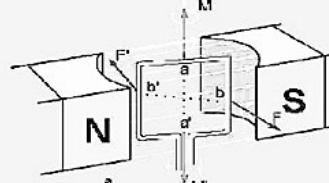
Explicación (figura 5.10): un campo magnético uniforme es una espira rectangular que mide $a \times b$. Cuando circula una corriente eléctrica, esta es sometida a las acciones del campo magnético. Las fuerzas que actúan sobre los lados a y a' son iguales y opuestas anulando sus efectos. Las que actúan sobre los lados b y b' , no son iguales pero no neutralizan sus efectos, pues son un par de fuerzas por cuya acción la espira tiene un movimiento de rotación alrededor de su eje MM' .

Figura 5.10. Generación electromagnética de corriente eléctrica

Explicación



Una espira rectangular que mida $a \times b$, es un campo magnético uniforme. Al circular una corriente eléctrica, es sometida a las acciones del campo magnético. La dirección y el sentido de estas fuerzas, pueden saberse aplicando la regla de la mano derecha.

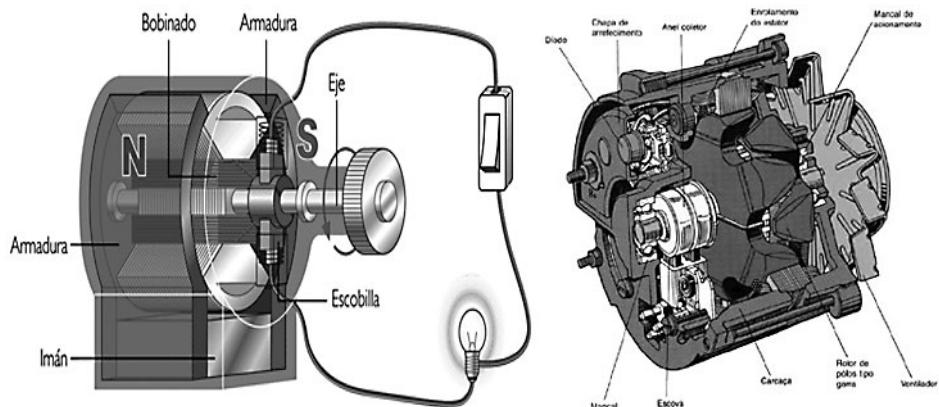


Las que actúan sobre los lados a y a' son iguales y opuestas y, por tanto, se anulan los efectos. Pero las que actúan sobre los lados b y b' , aunque son iguales, no neutralizan sus efectos, sino que son un par de fuerzas, por acción del cual la espira tiene un movimiento de rotación alrededor de su eje MM' .

Fuente: elaboración propia

Partes de un alternador: a) una armadura consistente en una bobina de cobre enrollada alrededor de un núcleo de hierro, b) dos anillos o colectores de cobre o bronce conectados a los terminales de la armadura, c) dos polos opuestos de imanes permanentes o electro -magnetos, d) dos escobillas de carbón o cobre en contacto con los anillos que llevan la corriente eléctrica al exterior.

Figura 5.11 Generadores de energía eléctrica



Fuente: <http://iesgoya4adiver.blogspot.com/2009/11/alternador-dinamo-y-motor-electrico.html>

Producción de energía térmica, lumínica, química y acústica partiendo de la energía eléctrica

El siguiente paso en el desarrollo del problema consiste en transformar la energía eléctrica producida, en otras clases de energía como acústica, química, lumínica o calorífica. Ese proceso se lleva a cabo utilizando y aplicando conceptos, principios y leyes de la física y de la química, de las cuales aquí se presentan algunos ejemplos muy simplificados:

a. Conversión de energía eléctrica a energía térmica y lumínica

Los ingenieros utilizan el principio de la “conservación de la energía” mediante la transformación de energía eléctrica en energía térmica y esta a su vez en energía lumínica, en la cual la energía eléctrica producida por cualesquier fuente de las mencionadas en apartes anteriores de este capítulo es transformada en energía calorífica o térmica y posteriormente en energía lumínica principio en el cual se basa el funcionamiento de la bombilla incandescente, inventada por Thomas Edison (figuras 5.12,5.13), la cual utilizaremos como ejemplo.

La lámpara incandescente (Figura 5.12) es un artefacto que utilizando el principio de Joule produce luz al calentar un filamento metálico, de carbón, wolframio, tungsteno u otro material hasta el rojo blanco mediante el paso de la corriente eléctrica (Energía eléctrica) y cuyos componentes se muestran en la figura 5.13.

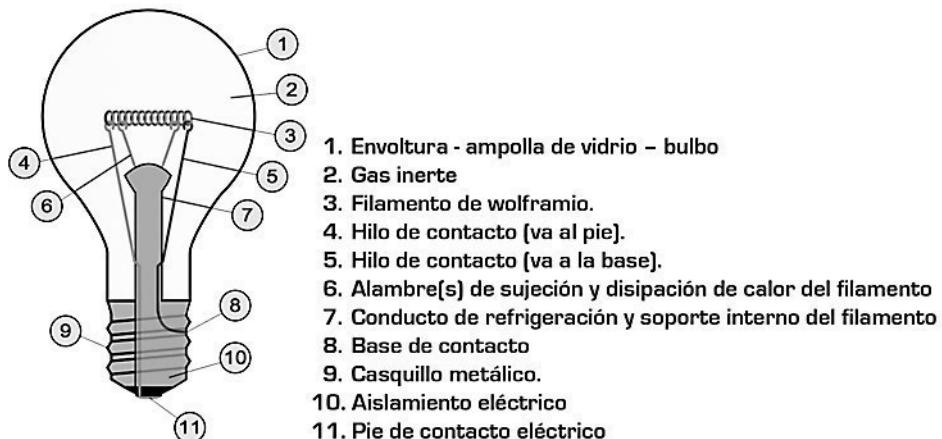
Figura 5.12. Conversión de energía eléctrica a energía térmica y lumínica - el bombillo



Fuente: Wikipedia, Lámpara incandescente

Partes o componentes:

Figura 5.13. Conversión de energía eléctrica a energía térmica y lumínica – Partes y funcionamiento del bombillo



Fuente: Wikipedia, Lámpara incandescente

Funcionamiento general

La corriente eléctrica fluye a través de un filamento metálico el cual está encerrado en una ampolla de vidrio. El filamento se calienta hasta 2500 grados Celsius, hasta conseguir el rojo blanco y emitiendo calor (energía calórica). La energía eléctrica se ha convertido en energía del movimiento de electrones produciendo calor (energía calórica), por medio de la excitación de los átomos de un filamento para que alcance el estado de incandescencia y emita radiaciones (fotones) visibles al ojo humano, es decir, luz.

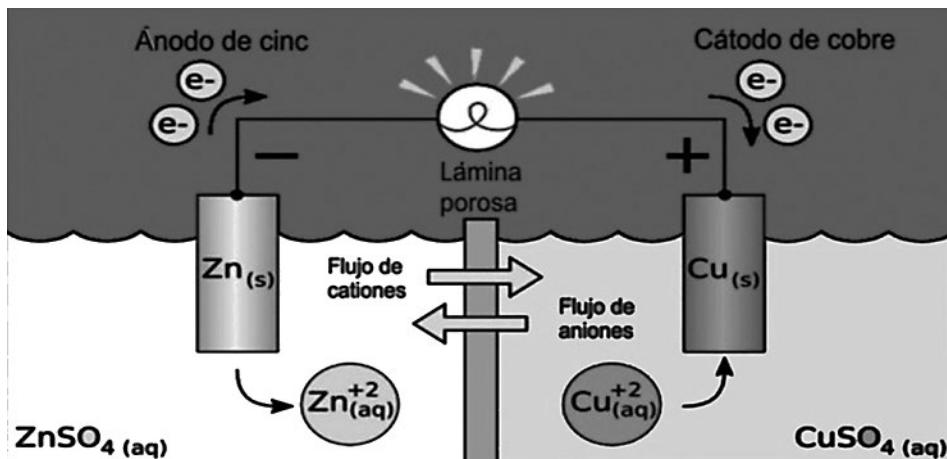
En este ejemplo se puede apreciar la conversión de una clase de energía en otra hasta conseguir un objetivo final como es el caso de la generación de luz, pasando por varios pasos intermedios: a) energía mecánica, química, solar, nuclear, electromagnética, entre otras; b) energía eléctrica c) energía calórica y finalmente d) energía lumínica.

b. Conversión de energía química a energía eléctrica y viceversa

La pila o batería es el dispositivo por excelencia en el cual se puede apreciar la transformación de energía química a energía eléctrica y viceversa (figura 5.13).

Una pila es un dispositivo que puede, mediante la transformación de energía química, producir energía eléctrica. Al interior de la pila se producen dos reacciones: en el cátodo o electrodo de cobre con carga positiva, se produce la reducción en la que este gana electrones y cuya reacción es: $\text{Cu}^{+2} + 2e^- \Rightarrow \text{Cu}^0$, lo cual indica que el cátodo gana peso. De otra parte, se da la reacción en el ánodo (electrodo normalmente de zinc con carga negativa), donde se presenta una oxidación, puesto que este pierde electrones $\text{Zn}^0 \Rightarrow \text{Zn}^{+2} + 2e^-$, es decir, pierde peso. En la primera se liberan electrones, y en la segunda se aportan electrones, de tal manera que se produzca entre los dos electrodos un flujo de electrones.

Figura 5.14. Pila galvánica



Fuente: Consulta electrónica: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pila_galvanica.jpg. Autor: Joselarrucea at es. (2005). Fecha de consulta 19/06/2013.

c. Conversión de energía eléctrica a energía lumínica y acústica

En el diseño y la construcción de un televisor, se puede apreciar con claridad la aplicación de la física acústica, la física relacionada con la teoría de la luz y el color, algunos conceptos de química, e incluso de biología humana (cuando se habla de cómo el ojo percibe la imagen y el color en la pantalla del televisor) (figuras 5.15, 5.16).

Qué es un televisor

Es una parte de un sistema de telecomunicaciones y se utiliza para la transmisión de imágenes y sonidos por medio de ondas radioeléctricas y modernamente por cable o satelital. Su funcionamiento está basado en los principios de la fotoelectricidad, o sea de la transformación de la luz (*energía lumínica*) en corriente eléctrica.

Funcionamiento

Las imágenes captadas por una cámara descomponen los colores en los tres colores básicos y los convierte en señales eléctricas, moduladas en UHF, que luego son emitidas por ondas electromagnéticas de alta frecuencia; estas se transmiten hasta una antena de recepción y se reproducen a través del tubo de rayos catódicos en el aparato receptor o televisor.

La transmisión de electrones en los tubos de rayos catódicos permite la generación de corriente eléctrica (*energía eléctrica*) y posteriormente la generación de luz (*energía lumínica*) en la pantalla del aparato receptor, la cual está recubierta con un material fosforescente que emite luz a bajas temperaturas cuando recibe un haz de electrones.

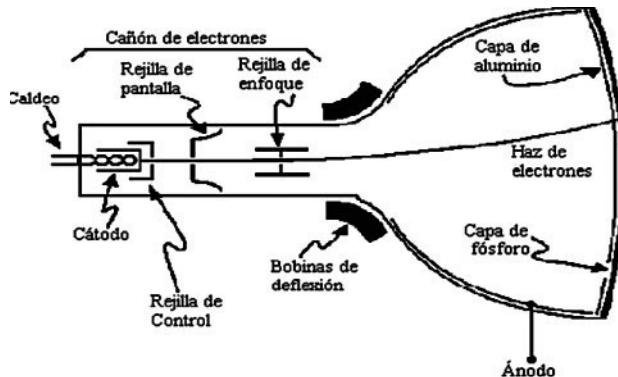
La televisión en color lleva tres cañones de electrones (uno para cada color primario: rojo, verde y azul). El haz emitido por cada cañón pasa a través de una máscara perforada, que lo dirige hacia el punto luminiscente de su color para activarlo con un brillo concreto.

La apantalla del receptor, como se mencionó antes, se recubre con una sustancia fosforescente que emite luz a bajas temperaturas cuando recibe un haz de electrones. Últimamente, se utilizan pantallas de cristal líquido, de plasma y de LED. Los televisores CRT prácticamente ya son obsoletos.

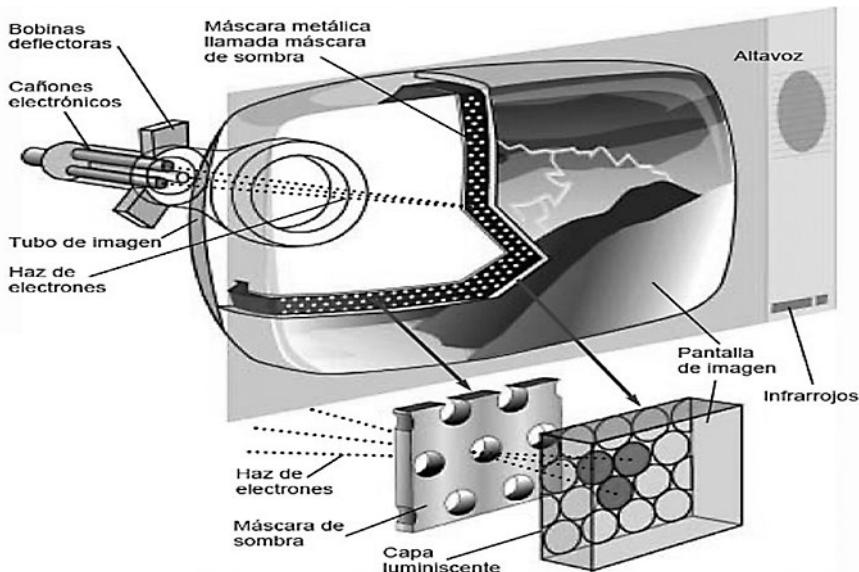
Sonido (energía sonora)

Hasta aquí, hemos convertido la *energía eléctrica* en *energía lumínica*. Sin embargo, paralelamente es necesario convertir la *energía eléctrica* en *energía sonora*, lo que en términos muy simplificados se realiza de la siguiente manera: la parte de sonido del televisor es la encargada de desmodular la señal, amplificarla y llevarla hasta los altavoces del receptor.

La información de sonido está modulada en frecuencia en una portadora independiente de la portadora de imagen. La transmisión del sonido en la televisión se lleva a cabo en igual forma en que se hace en un sistema de radio convencional; lo cual consiste básicamente en un circuito eléctrico diseñado de tal forma que permite separar una corriente generada en la antena utilizando las ondas electromagnéticas y después amplificarla selectivamente para enviarla hasta un electroimán constituido por un alta voz o parlante, donde se transforma la información eléctrica (*energía eléctrica*) en sonido (*energía sonora o acústica*). En los modernos sistemas de televisión se utilizan multicanales en los cuales se puede transmitir simultáneamente imágenes, voz y datos.

Figura 5.15. Componentes fundamentales de un televisor

Fuente: <http://modulaciontv.blogspot.com/2011/12/tv-analogica-senal-pal-bg.html>.

Figura 5.16. Partes generales de un televisor

Fuente: <http://jartos.blogspot.com/2009/05/partes-del-tevisor.html>

En los procesos anteriores, se puede apreciar cómo el “ciclo” de la conservación de la energía se da en cada una de las etapas de conversión de las diferentes clases y formas de energía, y cómo los principales conocimientos utilizados por los ingenieros para crear, diseñar y producir los dispositivos, máquinas y procesos, fueron provenientes de la física, la química y la matemática. Muy seguramente conceptos de biología también fueron empleados en el tratamiento de los terrenos, los materiales y el agua de la represa, así como el funcionamiento del ojo humano para percibir las imágenes del televisor.

5.5. Resumen del capítulo

Toda disciplina, cualquiera que sea, se respalda en teorías y conceptos que le dan soporte y contribuyen a su consolidación como profesión. Para proceder a la práctica de la ingeniería, es importante conocer los principios y fundamentos sobre los cuales se sustenta para su aplicación.

La ingeniería, como disciplina, consiste básicamente en la aplicación de las ciencias matemáticas y la ciencias naturales (física, química y biología), y otras disciplinas y conocimientos derivados o afines a ellas, para manipular, utilizar y transformar los “recursos y fuerzas” de la naturaleza, con el objeto de diseñar y construir soluciones a determinados problemas de la humanidad y de la sociedad.

El papel que desempeña el estudio de las ciencias naturales en la construcción del concepto de ingeniería y en la formación de las personas que la aplican, es decir, los ingenieros, es fundamental. La ingeniería nació y se ha desarrollado a partir de la observación, por parte del hombre, del comportamiento de la naturaleza, la causa de los diferentes fenómenos y del descubrimiento y el entendimiento de las leyes y principios que gobiernan su funcionamiento.

La ingeniería, como se conoce en la actualidad, no es otra cosa que la recopilación ordenada y sistemática de todos los principios y leyes sobre el funcionamiento y el comportamiento de la naturaleza. El mérito de la ingeniería, o del ingeniero, consiste en el hecho de que los ingenieros estudian con cierta profundidad las ciencias puras como las matemáticas, la física, la biología o la química; sin embargo, lo que distingue a un científico de un ingeniero es que el primero *estudia la ciencia en sí*, en búsqueda de una explicación de las causas y del comportamiento de las fuerzas y fenómenos de la naturaleza, es decir, *descubre, interpreta, deduce, explica*, mientras que el ingeniero toma los descubrimientos del científico, y los *utiliza y aplica* para crear o diseñar soluciones de ingeniería a determinadas necesidades o problemáticas, relacionadas con su disciplina.

Hay tres conceptos de las ciencias naturales que son fundamentales para el ingeniero cuando está aplicando las ciencias básicas a sus diseños de ingeniería:

- La definición física de la energía como “Capacidad para realizar trabajo”, y de la forma en que esta se manifiesta en la naturaleza: mecánica, química, eléctrica, electromagnética, nuclear, entre otras.
- El concepto de los estados de agregación de la materia: sólido, líquido, gaseoso, plasma.

En la física clásica el estado plasma no existe como estado independiente de agregación de la materia. Modernamente para algunos científicos es un estado independiente de los anteriores, mientras para otros es un gas constituido por partículas cargadas (iones libres) y cuya dinámica presenta efectos colectivos de interacciones electromagnéticas.

- La noción de la conservación de la energía de Einstein: “La energía, no se crea ni se destruye, solamente se transforma”, es decir, la creación de cualquier objeto, dispositivo, estructura o proceso, implica la transformación de la energía de un estado o clase a otro.

Las ciencias naturales (física, química y biología), entre otras ciencias, son solo herramientas de la ingeniería, pero no se pueden confundir con el fin de la ingeniería. Una cosa muy diferente es que los ingenieros aprovechen al máximo los procedimientos matemáticos y que en sus diseños registren muchos datos, utilicen figuras, desarrollos ecuaciones —a veces complicadas—, pero ellos solamente lo hacen como una buena guía para sus razonamientos, para obtener pruebas, conocer las proporciones del problema y, ante todo, para tratar de cuantificar las variables que inciden en un problema; pero en ningún caso los ingenieros pretenden que los métodos y procedimientos matemáticos den respuesta a los problemas planteados.

5.6 Actividades de aprendizaje o ejercicios recomendados

Seleccione un dispositivo, máquina, aparato o proceso, y:

1. Describalo brevemente
2. Identifique la necesidad, expectativa o deseo que satisface
3. Describa brevemente su funcionamiento
4. Identifique los principales principios y leyes de la física, de la química, de la biología o de las matemáticas en las cuales se basa su funcionamiento

Bibliografía

- Baca Urbina, G. (1999). Introducción a la ingeniería. México: McGraw-Hill.
- Grech, P. (2001). Introducción a la ingeniería. Bogotá, Colombia: Prentice Hall.
- Hagen, K. D. (2009). Introducción a la ingeniería, enfoque de resolución de problemas (3^a. ed.). México: Prentice Hall.
- Hicks, P. E. (1996) Introducción a la ingeniería industrial y ciencia administrativa. Cecsa, México.
- Krick, E. (1996) Ingeniería de métodos. México: Limusa, Krick, E. (1998). Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería. México: Limusa.
- Wright, P. H. (1994). Introducción a la ingeniería. Buenos Aires: Editorial Educativa (Addison-Wesley Iberoamericana).

Cibergrafía

Consulta electrónica: http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1mpara_incandescente#Referencias. Fecha de consulta: mayo 2013.

Ionada, M. (2009). Alternador, Dinamo y Motor Eléctrico. Web iesgoya4adiver.blogspot.com/. En <http://iesgoya4adiver.blogspot.com/2009/11/alternador-dinamo-y-motor-electrico.html>. Consulta realizada en mayo de 2013.

Manjarrés, A., Mattos, J., Riascos, C. y Serrano, C. Partes del Televisor. (2009). Web El televisor. En <http://jartos.blogspot.com/2009/05/partes-del-televisor.html>. Consulta realizada en mayo 2013.

Modulación para TV Analógica y Digital. (2011). Web modulaciontv.blogspot.com. En <http://modulaciontv.blogspot.com/2011/12/tv-analogica-senal-pal-bg.html>. Consulta realizada en mayo de 2013.



Capítulo
seis

*Especializaciones o
ramas de la ingeniería*

6.1 Introducción

La ingeniería como disciplina es una sola; sin embargo, como profesión es muy versátil, según su campo de aplicación, lo cual ha dado origen a múltiples ramas, las cuales han ido apareciendo a medida que el conocimiento y el desarrollo tecnológico han avanzado.

En sus inicios, la ingeniería solo contemplaba algunas ramas o aplicaciones, de acuerdo con las necesidades de la época y con los avances científicos y los descubrimientos de la física, la química, la biología y las matemáticas de ese entonces. En su orden fueron apareciendo ramas como la militar (origen de todas las demás), la civil, la mecánica, la eléctrica, la química y la electrónica; con el pasar del tiempo, y con la evolución y el progreso tecnológico se originaron las ingenierías industrial, forestal, de sistemas, catastral, Mecatrónica, biomédica, multimedia, ambiental y de telecomunicaciones, entre otras, para satisfacer necesidades y solucionar problemas más puntuales que precisaban una definición y delimitación más específica.

En este capítulo se abordarán algunas de las ramas antes mencionadas, con el objeto de que el estudiante comprenda que la ingeniería es única como disciplina y que lo que varía es su aplicación a problemas y campos específicos.

6.2 Orígenes y propósitos generales de la disciplina de la ingeniería

Como se observó en capítulos anteriores, el origen y la aparición de las diferentes ramas de la ingeniería se debieron a los avances tecnológicos presentados en las distintas épocas. Estos avances tecnológicos, a través de las especialidades de la ingeniería, han contribuido de gran manera a la solución de necesidades y, por consiguiente, al bienestar y el mejoramiento de la calidad de vida del ser humano.

Todo lo que el hombre ha fabricado y pone a su disposición, en los diferentes campos y facetas en los que se ha desenvuelto en su diario vivir, como transporte, vivienda, diversión, telecomunicación, alimentación, educación, industria, comercio, etc.; desde un sencillo recipiente para servir alimentos, pasando por la generación de energía en sus diferentes expresiones (eléctrica, térmica, calórica, lumínica e hidráulica), hasta equipos, maquinaria y estructuras de gran sofisticación y complejidad (computadores, represas, edificios, tornos, automóviles, procesos, etc.), han sido creaciones derivados de alguna rama de la ingeniería.

En términos generales, es posible afirmar que el origen de la ingeniería es el resultado de la aparición de nuevas necesidades, deseos o expectativas no satisfechas del ser humano, y que su propósito es satisfacer dichas necesidades, deseos o expectativas en una búsqueda continua, permanente y sin fin de un mejor nivel de vida para las sociedades y la humanidad en general, como bien se desprende de todas las definiciones que se estudiaron en el capítulo 2.

6.3. Campos y perfiles de los ingenieros en general

Cada rama de la ingeniería se especializa en algún área determinada, y los campos ocupacionales de los ingenieros dependen básicamente de la aplicación que cada “rama” le da a la ingeniería para la solución a problemas o problemáticas específicas. Estas aplicaciones específicas de la ingeniería en cada rama o especialización es lo que se denomina perfil o perfiles ocupacionales, tema tratado ampliamente en el capítulo correspondiente al diseño del currículo en la formación del ingeniero.

6.3.1 Perfil disciplinario

El ingeniero, aplicando las teorías y los principios de las ciencias y las matemáticas, así como la metodología de la investigación y los descubrimientos científicos, está en capacidad de encontrar, diseñar y desarrollar soluciones tecnológicas creativas a problemas y necesidades sociales, industriales o económicas en cualquiera de sus campos de acción.

En su formación profesional se le inculcan principios éticos y valores morales y sociales que lo motivan a actuar en beneficio de la sociedad, tal y como se manifiesta en las diferentes definiciones de ingeniería ya estudiadas.

Los ingenieros están en capacidad de diseñar, dirigir y llevar a cabo proyectos en cada una de las áreas o campos en los cuales son especialistas. Dichos proyectos, dependiendo de la rama específica, pueden ser, a manera de ejemplo: La construcción de edificios, carreteras y plantas generadoras de energía; el desarrollo e implementación de alternativas mejoradas para extraer, procesar y usar las materias primas como el petróleo y el gas natural; el desarrollo de nuevos materiales que mejoren el comportamiento de los productos y ayuden a implementar avances en la tecnología o el diseño; el mejoramiento y la implementación de nuevos procesos en las empresas de los distintos sectores de la economía, etc.

6.4 Algunas “ramas” o especializaciones de la ingeniería

Describir el campo profesional y ocupacional de todas las ramas de la ingeniería resultaría una tarea demasiado compleja, dada la multiplicidad de estas, por lo cual se han escogido algunas consideradas tradicionales, así como otras que han aparecido recientemente derivadas de nuevas necesidades de la sociedad y del hombre en general, necesidades que ya se pueden satisfacer gracias a los avances científicos y tecnológicos concretados en nuevas aplicaciones de la ingeniería.

6.4.1 Ramas tradicionales de la ingeniería

Se consideran ramas tradicionales de la ingeniería las primeras especializaciones que surgieron de la aplicación de la ingeniería, las cuales en un comienzo se utilizaron y desarrollaron de manera empírica. Dichas ramas abrieron el camino para el continuo y vertiginoso desarrollo tecnológico de la sociedad y del hombre en general, y asimismo dieron origen a otras ramas mucho más específicas y tecnificadas.

De igual forma, estas se caracterizan principalmente por su mayor antigüedad y su tradición a lo largo de la historia del hombre; a diferencia de las denominadas ramas modernas, las cuales aparecieron hace un tiempo relativamente corto.

Ingeniería civil

Es la especialidad de la ingeniería más antigua (después de la militar), que fundamentada en el conocimiento de las matemáticas, las ciencias naturales y sociales, adquirido a través del estudio, la práctica y la experiencia, permite diseñar y construir obras de infraestructura para beneficio del hombre, mediante la transformación racional, creativa y económica de los recursos y las fuerzas de la naturaleza.

Esta rama de la ingeniería es una de las más antiguas, y desde las primeras civilizaciones se han encontrado múltiples construcciones que dan evidencia de ello.

Ahora bien, la necesidad del hombre de protegerse de la intemperie y de mejorar sus condiciones de vida en cuanto al sitio donde tenía su asentamiento y su intercambio social, lo impulsó a construir viviendas, carreteras, edificios y puentes, entre otros.

Innumerables, colosales e importantes construcciones de esta rama se han realizado a lo largo de los años de existencia del hombre en el planeta, algunas de las cuales se mencionan a continuación:

- Las pirámides de Egipto
- La muralla china
- El coliseo romano
- Las diferentes represas, construidas alrededor del mundo
- Las catedrales
- El canal de Panamá
- Puentes como el Golden Gate de San Francisco
- Los diferentes estadios deportivos
- Edificios como el Chrysler en Nueva York, las Torres Gemelas, desaparecidas en el atentado a esta ciudad denominado del “11 de Septiembre”, el edificio o Torre Sears de Chicago, las Torres Petronas, y otros más, que cada día compiten por ser los más altos, los más complejos y los más sofisticados
- La torre Eiffel en París (figura 6.1)

Figura 6.1. Torre Eiffel ubicada en París -Francia



Fuente: <http://www.arqphys.com/fotos-de-la-torre-eiffel.html>

Perfil profesional

Este ingeniero, en general, se caracteriza por:

- Contar con una formación básica que le permite aprender y utilizar nuevos conocimientos científicos y tecnológicos propios de su especialidad.
- Su sólida capacitación técnica en ciencias de la ingeniería y otros conocimientos afines, con énfasis en el diseño y la construcción de obras de infraestructura; la aplicación de las geociencias y la conservación y la preservación del medio ambiente lo facultan para ejercer en el campo de la investigación aplicada.
- Tener capacidad para planear y obtener información acerca de las situaciones y proyectos que maneja; efectuar investigaciones y experiencias; evaluar, reflexionar, criticar y ofrecer alternativas de solución; definir, categorizar y aplicar criterios decisarios; seleccionar, decidir y recomendar soluciones técnicamente factibles y económicamente viables; determinar y especificar métodos, procesos y materiales para construcción; definir y aplicar normas de calidad; implementar y controlar la seguridad en sus acciones y ejecuciones; establecer sistemas de control para garantizar el funcionamiento eficaz de las construcciones, su seguridad y la protección y preservación del medio ambiente. La capacitación en el área económico-administrativa le permite programar, dirigir y administrar proyectos y obras de infraestructura en el campo específico de su actuación profesional, y al nivel del cargo ocupacional a desempeñar.

- Su conocimiento y su capacitación en el manejo de computadores y de aplicaciones computacionales le permiten efectuar transferencias y adecuaciones de nuevas tecnologías en todos los campos del ejercicio de su profesión.

Perfil ocupacional

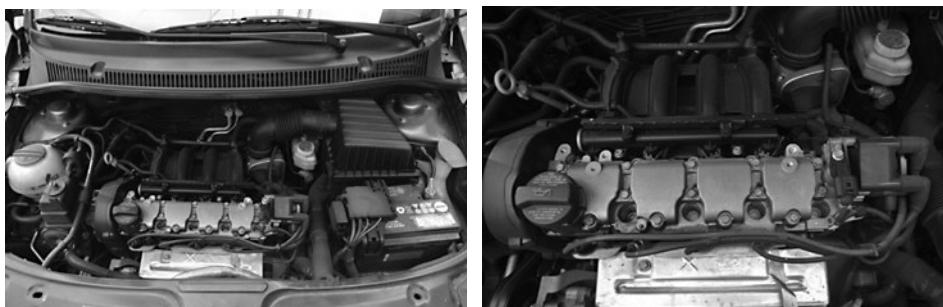
Un ingeniero civil es competente para desempeñarse en cargos como:

- Diseñador, constructor y ejecutor de mantenimiento de obras de infraestructura y de instalaciones de servicios para la comunidad, entre las que se contemplan:
 - Obras civiles y de arte: casas, edificios, torres, plataformas, alcantarillados y puentes, entre otras.
 - Obras hidráulicas: presas, sistemas de riego y drenaje, acueductos, etc.
 - Obras viales y ferroviarias: autopistas, carreteras, caminos urbanos, rurales y de montaña, accesos, puentes ferroviarios y tendidos de líneas férreas, entre otras.
 - Obras que tienen que ver con la navegación fluvial, marítima y aérea: puertos, malecones, canales, esclusas, aeropuertos, etc.
 - Obras de urbanismo: organización de servicios públicos relacionados con el aseo, la comunicación y la energía.
- Consultor y administrador de grandes obras de infraestructura.
- Realizador de estudios y asesor en aspectos como:
 - Mecánica de suelos
 - Estudios hidrológicos
 - Estudios sísmicos
 - Planeamiento del uso y la administración de los recursos hídricos
 - Arbitrajes, pericias y tasaciones

Ingeniería mecánica

La ingeniería mecánica es una rama muy amplia de la ingeniería, que implica el uso de los principios físicos y de la matemática para el análisis, diseño, construcción, mantenimiento y mejoramiento de sistemas mecánicos, creando con ello dispositivos útiles para el hombre, tales como utensilios, herramientas, motores (ver figura 6.2) y máquinas, en donde se aprovechan los distintos materiales que existen y las diferentes clases de energías que se conocen.

Figura 6.2. Motor de un automóvil



Fuente: Los autores

Esta rama de la ingeniería está íntimamente relacionada con cualquiera de los factores que intervienen tanto en el diseño como en la construcción y el funcionamiento de las partes mecánicas que componen un dispositivo, lo mismo que con el dispositivo en sí. Ejemplos de máquinas, objetos o dispositivos elaborados por esta rama de la ingeniería son:

- Cualquier dispositivo mecánico, como un gato de automóvil, un ascensor y una polea, entre otros
- Calderas
- Máquinas metalmecánicas
 - Máquinas de vapor
 - Automóviles (la ingeniería automotriz es una subrama de la ingeniería mecánica) (figura 6.3)
 - Bicicletas
 - Aviones (la ingeniería aeronáutica es una subrama de la ingeniería mecánica)
 - Barcos y transatlánticos (la ingeniería naval es una subrama de la ingeniería mecánica)

Figura 6.3. Vehículos y dispositivos elaborados por profesionales de la ingeniería mecánica



Fuente: Los autores

Perfil profesional

Un ingeniero mecánico, al igual que cualquier colega de disciplina recibe una formación básica que le permite aprender y utilizar nuevos conocimientos científicos y tecnológicos propios de su especialidad.

El profesional de ingeniería mecánica, está en capacidad de:

- Diseñar, construir, seleccionar, instalar, operar y mantener equipos, dispositivos y herramientas mecánicas.
- Crear y optimizar soluciones a situaciones en su entorno, haciendo uso de sus conocimientos, herramientas, criterios, ciencia y tecnología.

El ingeniero mecánico, en general, es una persona versátil, curiosa, innovadora e intuitiva, con un alto nivel de creatividad.

Perfil ocupacional

El ingeniero mecánico representa un factor esencial para el desarrollo de la industria y está destinado a ocupar posiciones importantes, pues su proceso educativo está soportado en la formación de un profesional multidisciplinario, altamente capacitado, que pueda desarrollar sus actividades en las siguientes áreas fundamentales:

- Procesos industriales metalmecánicos
- Industria petrolera y química
- Transformación de energía
- Diseño, operación y mantenimiento de toda clase de maquinaria
- Sistemas automatizados de transporte (bandas y montacargas)
- Industrias de transformación de materiales
- Plantas industriales

Ingeniería eléctrica

La ingeniería eléctrica es una rama de la ingeniería que se ocupa del estudio y la aplicación de la electricidad, la electrónica y el electromagnetismo. Además se encarga del diseño, construcción, reparación y mantenimiento de los dispositivos y sistemas eléctricos.

Básicamente, la labor de un ingeniero eléctrico está encaminada a la solución de todos los problemas que tengan que ver con la generación y la manifestación de la energía eléctrica, lo mismo que su desplazamiento al lugar donde se necesita y las condiciones en las cuales se pone en funcionamiento (figura 6.4).

El trabajo que realizan estos ingenieros se requiere en todas partes donde se encuentre presente la sociedad y el hombre: en los hogares, con los electrodomésticos y las bombillas; en el comercio, con la iluminación de las

vitrinas y las escaleras eléctricas; en los hospitales, con la iluminación y el suministro de energía a los equipos médicos; en la industria, con el suministro de energía a los diferentes dispositivos, maquinaria y herramientas que se utilizan para la transformación de las materias primas e insumos en producto final.

Figura 6.4. Central Eléctrica, Generadora de Electricidad.



Fuente: Los autores

La ingeniería eléctrica y la ingeniería electrónica no son lo mismo, aunque en términos generales podría decirse que la electrónica es una de las subramas de la ingeniería eléctrica. Sin embargo, mientras la primera da cuenta de la generación, el transporte y el uso de la energía eléctrica, la segunda se relaciona con el comportamiento de la energía a nivel microelectrónico (de ahí su nombre) en tubos al vacío, transistores y microchips, microcircuitos, circuitos impresos y, en general, la micro y la nanotecnología de la aplicación de la electricidad.

Es decir, el ingeniero electricista se encarga de generar y llevar la energía eléctrica a diferentes sitios y lugares como las fábricas, las oficinas, el hogar, etc., mientras que el ingeniero electrónico se ocupa de determinar el mejor uso para dicha energía, como por ejemplo en el diseño y la construcción de un equipo de sonido, una grabadora, un computador, una máquina controlada electrónicamente, los sistemas de comunicación como los celulares, y la mayoría de los componentes de la red de Internet (*routers*, computadores, servidores, impresoras, memorias ROM y RAM, cables de transmisión, etc.), entre otros.

Ejemplos de desarrollos realizados (figura 6.5) por los ingenieros eléctricos son:

- La bombilla incandescente
- El telégrafo eléctrico
- El pararrayos
- El motor eléctrico
- El dinamo eléctrico
- La generación de corriente eléctrica en plantas hidroeléctricas, térmicas, solares, eólicas, entre otras fuentes
- El teléfono
- La pila eléctrica

Figura 6.5. Dispositivos desarrollados gracias a la energía eléctrica



Fuente: Los autores

Perfil profesional

El ingeniero eléctrico, como cualquier otro ingeniero, recibe una formación básica que le permite aprender y utilizar nuevos conocimientos científicos y tecnológicos propios de su especialidad.

El profesional en ingeniería eléctrica está en capacidad de:

- Diseñar con equipos inter y multidisciplinarios plantas generadoras de electricidad, a partir de múltiples fuentes energéticas como los ríos, las corrientes y las caídas de agua (hidroeléctricas), los combustibles fósiles-carbón (termoeléctricas), las corrientes de viento (energía eólica), la luz y el calor del sol (energía solar), el calor de la tierra (energía geotérmica), entre otras
- Analizar, operar, proteger y mantener los sistemas eléctricos de potencia
- Planear, diseñar, construir y mantener las redes de distribución
- Administrar recursos humanos y materiales relacionados con la ingeniería eléctrica
- Diseñar, construir, operar y mantener instalaciones eléctricas residenciales, comerciales industriales y de servicio
- Diseñar y construir sistemas de iluminación
- Detectar posibilidades de conservación y ahorro de energía eléctrica
- Analizar, seleccionar, instalar y mantener máquinas, equipos e instrumentos eléctricos y electrónicos
- Analizar y realizar aplicaciones industriales de la electrónica en los sistemas eléctricos

- Utilizar la electrónica de potencia para el control de motores eléctricos, sistemas de rectificación y sistemas de control de procesos industriales
- Analizar, diseñar, instalar y mantener sistemas de operación y control
- Evaluar y proponer la utilización de fuentes no convencionales para la generación de energía eléctrica
- Desarrollar, adaptar y transferir tecnología eléctrica
- Integrarse a equipos de trabajo interdisciplinario para solucionar problemas en el campo de la ingeniería en general
- Diseñar y desarrollar pruebas a materiales y equipos eléctricos y evaluar sus resultados
- Proporcionar servicios de asesorías y peritajes en el ámbito de la ingeniería eléctrica

Perfil ocupacional

El ingeniero electricista tiene un amplio campo de trabajo en:

- Empresas de energía en los ámbitos nacional o regional, generadoras, transformadoras o distribuidoras.
- Empresas industriales y comerciales, tanto públicas como privadas, en todas las etapas del manejo de la energía, desde la generación, el suministro principal, auxiliar o de emergencia, pasando por los procesos y servicios, mantenimiento, comunicación, hasta los sistemas de información y de seguridad.
- Empresas consultoras o interventoras de diseño, montaje, operación, control de pérdidas, calidad de servicio y sistemas de protección de instalaciones.
- Empresas contratistas de obras e instalaciones residenciales, comerciales e industriales de grande y pequeña escala; redes de datos, edificios inteligentes (cableado estructurado), automatización de procesos, remodelación de sistemas eléctricos.
- Administración y gerencia del propio proyecto empresarial de consultoría, comercialización, manufactura y servicios en campos desde el manejo de potencia eléctrica hasta las aplicaciones electrónicas y fuentes no convencionales.

Ingeniería química

Para el Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE), la ingeniería química es un campo de la actividad humana que trata las modificaciones de composición, contenido energético o estado físico que pueden experimentar las diferentes sustancias.

Por tanto, la misión del ingeniero químico es el desarrollo de los procesos industriales en el ámbito de la química, es decir, "el diseño y operación de plantas

para la producción de materiales que experimentan cambios químicos durante su manufactura". (Bronson, 2007))

De la misma manera, el Instituto Americano de Ingenieros Químicos AIChE (AIChE, 2003) afirma que:

"Ingeniería química es la profesión en la que el conocimiento de las matemáticas, la química y otras ciencias naturales, por medio del estudio, la experiencia y la práctica se aplica con juicio para desarrollar formas de utilizar los materiales y la energía para el beneficio de la humanidad".

Para los profesores J. Cathalá (1951) y M. Lefort (1961), pertenecientes al Instituto de Ingeniería Química de Toulouse: "Ingeniería Química es el arte de concebir, calcular, diseñar, hacer, construir y hacer funcionar las instalaciones donde se efectuara a escala industrial cualquier proceso químico". (Vian, 1968, citado por Duran Segovia y Monteagudo Martínez- Documento PDF)

Un ejemplo de los descubrimientos y logros en esta rama (figura 6.6) de la ingeniería son):

- Producción a gran escala de productos químicos como el ácido sulfúrico, soda, carbonato de sodio, cloro blanqueador y colorantes sintéticos
- Explosivos, gases y cauchos sintéticos
- Productos petroquímicos como combustibles (gasolina) y materiales sintéticos energo-intensivos, plásticos y fibras, todos derivados del petróleo
- Polímeros sintéticos
- Obtención del azúcar
- Fabricación del vidrio
- Los procesos para la obtención de los perfumes, los licores, etc.
- La fabricación del jabón

Figura 6.6. Variedad de productos desarrollados gracias a la ingeniería química



Fuente: Los autores

Perfil profesional

El Ingeniero químico está en capacidad de:

- Analizar para comprender, plantear y resolver problemas relacionados con los procesos de transformación física, química y bioquímica
- Analizar, modificar, investigar, desarrollar y evaluar las transformaciones físicas, químicas y biológicas de los materiales para la obtención de productos
- Diseñar, seleccionar y especificar equipos y procesos para la industria.
- Dirigir, supervisar, controlar, sistematizar y optimizar procesos de producción en el área química
- Trabajar en equipo y comunicarse de manera efectiva con las personas
- Liderar proyectos como parte de una organización o de manera independiente
- Liderar y proponer alternativas de solución a problemas del sector de procesos químicos

Perfil ocupacional

El ingeniero químico podrá desempeñarse competentemente en:

- Sectores de la industria de procesos físicos, químicos y biológicos, tanto de orden privado como público:
 - Laboratorios farmacéuticos
 - Industrias petroleras
 - Plantas de tratamiento de aguas
- Asesorar y promover el mercadeo de productos químicos y equipos de proceso en el ámbito industrial
- Liderar y proponer alternativas de solución a problemas del sector de procesos químicos
- El control de depuraciones de aguas urbanas, industriales y residuales
- La elaboración de proyectos químicos aplicados a la industria

6.4.2 Ramas modernas de la ingeniería

Se consideran ramas modernas de la ingeniería aquellas especializaciones relativamente recientes que se generaron a partir de su aplicación, y que surgieron debido al vertiginoso avance tecnológico suscitado específicamente en dos momentos: a finales del siglo XIX y a mediados del siglo XX.

En contraste con el origen de las denominadas ramas tradicionales de la ingeniería, las ramas modernas hicieron su aparición en el ámbito tecnológico, sustentadas en conocimientos científicos. A continuación se explican algunas de estas ramas.

Ingeniería de sistemas

Según Arthur D. Hall (1964), la ingeniería de sistemas es la rama de la ingeniería por medio de la cual el conocimiento y la investigación se trasladan a aplicaciones que satisfacen necesidades humanas, mediante la secuencia de planes, proyectos y programas.

Se han definido varias dimensiones en la aplicación de la ingeniería de sistemas a la solución de un problema:

- La dimensión temporal: son las fases características del trabajo de sistemas, desde la idea inicial hasta la retirada del sistema.
- La dimensión lógica: son los pasos que se llevan a cabo en cada una de las fases anteriores, desde la definición del problema hasta la planificación de acciones.
- La dimensión del conocimiento: se refiere al conocimiento especializado de las diferentes profesiones y disciplinas.

Otra definición relacionada ya directamente con informática dice que la ingeniería de sistemas consiste en la aplicación de los avances tecnológicos a la construcción de equipos con capacidad para procesar y almacenar la información de manera automática.

La ingeniería informática, en su parte material denominada *hardware*, se fundamenta en la tecnología generada por la electrónica, dando el soporte físico a sus procesos, en particular en el ensamblaje de las piezas y la integración de cientos de miles o millones de microelementos electrónicos en circuitos lógicos.

Asimismo, la ingeniería informática se encarga de la elaboración de programas (*software*) a través de algoritmos y sentencias lógicas que complementan los dispositivos físicos para ofrecer la utilidad requerida por los usuarios, permitiendo explotar sus capacidades de cálculo, almacenamiento y proceso.

Ejemplos de los desarrollos logrados por esta rama de la ingeniería son:

- El microcomputador
- El Internet
- Las diferentes aplicaciones y programas de *software* como:
 - Procesadores de texto (Word)
 - Hojas de cálculo (Excel)
 - Bases de datos (Fox pro, Access)
 - Programas graficadores (Visio, ABC Flow, etc.)
 - Simuladores

Perfil profesional

El profesional en ingeniería de sistemas está en capacidad de:

- Aplicar el proceso de ingeniería de *software* (evaluación, gestión, planificación, análisis y diseño) en la solución de problemas informáticos e industriales
- Planear, analizar, diseñar, desarrollar e implantar sistemas
- Definir y conceptualizar modelos y comportamientos de sistemas complejos y de procesos de control, a partir de las teorías de las ciencias básicas y de la computación
- Participar en grupos de investigación en el campo laboral, con el propósito de desarrollar proyectos informáticos y de comunicaciones, utilizando nuevas tecnologías
- Gestionar, dirigir, evaluar y controlar proyectos informáticos

Perfil ocupacional

El ingeniero de sistemas se podrá desempeñar como:

- Consultor, gerente, administrador y gestor de proyectos informáticos
- Analista, diseñador, implementador y evaluador de redes y sistemas de información
- Programador y soporte de sistemas de información en desarrollo o producción
- Diseñador, modelador, desarrollador y director de proyectos de producción de *software* industrial y de propósito específico
- Asesor o coordinador en la implantación de nuevas tecnologías de la información y la comunicación
- Director y creador de empresas del sector tele informático

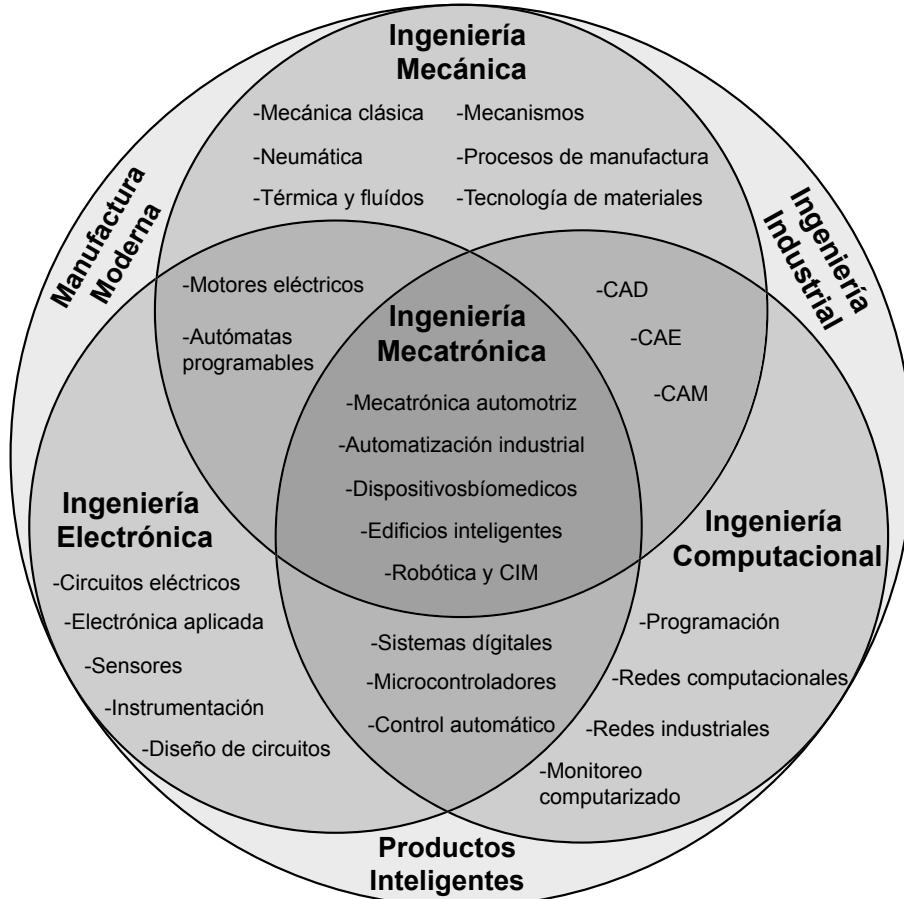
Ingeniería mecatrónica

Es una disciplina bastante nueva, que integra y combina de manera sinérgica y ordenada conocimientos de las ingenierías mecánica, eléctrica, electrónica e informática, debidamente concebidos, modelados y articulados para el diseño de máquinas especializadas, el control de procesos industriales, y proyectos de automatización y desarrollo de productos inteligentes.

El foco central de esta nueva rama de la ingeniería es el desarrollo integral de sistemas mecánicos que están lógica e inteligentemente articulados y controlados. Estos sistemas están compuestos por partes mecánicas, eléctricas y electrónicas, dotados de sensores que registran la información, microprocesadores que la interpretan, procesan y analizan por medio del *software*, y accionadores que reaccionan ante esta información.

En la figura 6.11 se puede observar la integración de las diferentes disciplinas que contribuyen a la conformación de la ingeniería Mecatrónica, y algunos de sus aportes.

Figura 6.7. Diferentes disciplinas que aportan conocimientos a la ingeniería Mecatrónica



Fuente: <http://www.cem.itesm.mx/profesional/imt/caracteristicas/noticias/noticia2.html>

Ejemplos de los desarrollos logrados por esta rama de la ingeniería son:

- Robots autónomos de manutención guiados
- Robots semiautónomos de comprobación de variables atmosféricas
- Microbots semiautónomos de inspección visual para situaciones de riesgo o peligro para el hombre
- Microbots semiautónomos para recogida de muestras en ambientes y terrenos abruptos o entornos agresivos

- Robots y microbots para el desarrollo de tareas que requieren un alto grado de miniaturización, destreza, precisión o velocidad
- Miembros articulados (brazos, piernas, etc.) para implantar en seres humanos
- Sistemas mecatrónicos para la automatización, inspección y control de procesos, etc.) en empresas industriales
- Autómatas programables

Perfil profesional

Una vez termina su carrera, este profesional presentará las siguientes características:

- Un sólido conocimiento en las áreas básicas (matemáticas, física, química, etc.)
- Un amplio conocimiento en ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica, informática y de control, que le permiten el estudio integrado del diseño de sistemas en los que la computación, mecanización, actuación, detección y control puedan, sinérgicamente, ser aplicados junto con técnicas de medición precisa, fabricación y empaquetado, en la elaboración de mejores o innovadores productos
- Capacidad para planear, diseñar y dirigir proyectos de manufactura, orientados a la industria que requieran automatización
- Capacidad para adaptar, rediseñar e implementar maquinaria en aplicaciones industriales automatizadas
- Competencias adecuadas para la investigación de tecnologías para el control digital y secuencial de procesos de manufactura industrial, aplicables a la agroindustria, la aeronáutica y la medicina
- Formación interdisciplinaria para el trabajo exitoso en equipo, en cuanto a la investigación y diseños de naturaleza mecatrónica.

Perfil ocupacional

El ingeniero mecatrónico tiene un amplio campo de trabajo, desempeñándose en:

- El diseño y elaboración de herramientas para maquinaria y robots, para el uso en sectores como el industrial y de la salud, en empresas grandes, medianas y pequeñas.
- El diseño, fabricación e implantación de maquinaria, equipos y sistemas de automatización y robotización de procesos en empresas industriales en general.
- El desarrollo de productos y mantenimiento de maquinaria de alta tecnología.
- El diseño y fabricación de equipos y sistemas de bioingeniería, utilizando mecánica de precisión y electrónica de control.

- La investigación y el desarrollo, a través de la propuesta de soluciones técnicas apropiadas para la empresa moderna y la sociedad, en aspectos como el desarrollo de prótesis, dispositivos para fisioterapia, aplicaciones para la aeronáutica, la medicina y procesos de conservación de recursos naturales, entre otros.
- El asesoramiento en la adquisición, implementación y mantenimiento de equipos de alta tecnología.

Ingeniería en telecomunicaciones

La ingeniería en telecomunicaciones es la rama de la ingeniería que toma los elementos esenciales de la electrónica y los enfoca hacia la resolución de problemas de generación, transmisión y recepción de señales e interconexión de redes, que incluyen diferentes sistemas de comunicación como la telefonía, la televisión, la radio, las redes informáticas y la comunicación de datos (Internet). Tiene como grandes áreas de trabajo el diseño de sistemas de transmisión, la gestión en redes y el análisis de la información, utilizando las herramientas de programación e ingeniería de última generación.

Algunos ejemplos de los desarrollos logrados por esta rama de la ingeniería son:

- El teletipo
- La fibra óptica
- Las microondas
- Los anchos de banda
- El teléfono celular
- Televisión por cable.

Perfil profesional

El perfil profesional del ingeniero de telecomunicaciones presenta las siguientes características:

- Un amplio y sólido conocimiento en ingeniería electrónica, en el área de ingeniería aplicada (telemática), en el análisis de señales y en la gerencia de proyectos en telecomunicaciones
- Competencias para planear y evaluar los servicios de telecomunicaciones, sistemas, telemática y especificaciones de consultoría en el mismo ramo
- Capacidad para desarrollar software de comunicaciones
- Capacidad para operar y mantener infraestructura de telecomunicaciones
- Competencias para el diseño de políticas de seguridad acordes con las necesidades particulares de cada empresa
- Capacidad para diseñar y gestionar redes de comunicación

- Capacidad para adaptar e incorporar las nuevas tecnologías de la información y la comunicación a los procesos productivos de las diferentes empresas
- Habilidades sustentadas en fundamentos científicos para ejecutar o liderar proyectos de investigación.

Perfil ocupacional

El ingeniero en telecomunicaciones se podrá desempeñar en:

- Empresas operadoras de comunicaciones: en los departamentos de diseño, operación y mantenimiento, planeación, interventoría, instalación y gerencia o dirección de proyectos relacionados con telecomunicaciones
- Empresas suministradoras y fabricantes de equipos de telecomunicaciones: en las áreas de mercadeo, asesoría técnica, desarrollo de nuevas tecnologías y capacitación a los clientes
- Empresas de asesoría y servicios: en el desarrollo de proyectos de telecomunicaciones para empresas operadoras y usuarios
- Empresas de usuarios: instalando y manteniendo las redes privadas de diferentes entidades públicas y particulares
- Entidades gubernamentales de regulación del sector de telecomunicaciones.

Ingeniería en multimedia

La ingeniería en multimedia consiste en la aplicación de las matemáticas y la física en combinación con las ciencias de la computación, el arte y el diseño, en las áreas de la computación gráfica, la animación y la simulación por parte de profesionales que poseen gran creatividad, con el propósito de desarrollar nuevos conceptos de entretenimiento, comunicación y visualización, mediante el empleo de los avances permanentes en las áreas de los sistemas de computación, las comunicaciones y la multimedia, para beneficio de la humanidad.

Ejemplos de los desarrollos logrados por esta rama de la ingeniería son:

- En el área de la educación
 - Libros interactivos en CD ROM o en aula virtual
 - Presentaciones interactivas en Power Point
 - Enciclopedias acerca de distintos temas: literatura, medicina, ingeniería, etc., tanto en CD ROM como en Internet
 - Juegos interactivos para la enseñanza
 - Diseño, creación y mantenimiento de páginas web
 - Simulación en tres dimensiones de sistemas, procesos y productos, los cuales se asimilan a la realidad.

- En el área laboral
 - Bases de datos en multimedia para localizar e indexar contenidos en sistemas multimedia conectados a través de red
 - Presentaciones empresariales interactivas, tanto en CD ROM como en la página web (publicidad, catálogos, demostraciones de productos, etc.)
 - Diseño gráfico e interactivo de logotipos.
- En el área de la diversión
 - Juegos interactivos tanto en Internet como en CD ROM, para computador, Play I, Play II y Xbox
 - Juegos de simulación en tres dimensiones en CD ROM, para computador y Xbox
 - Películas de todo tipo en CD ROM y en Internet.

Perfil profesional

El profesional en ingeniería en multimedia presenta las siguientes características:

- Sólido conocimiento en ciencias básicas
- Amplia formación como diseñador digital (arte, industria, generación de animaciones, imagen corporativa, publicidad, incluso a través de redes)
- Gran dominio de los sistemas computacionales, la multimedia y la tecnología que la soporta
- Amplios conocimientos de gerencia, gestión empresarial y de proyectos
- Desarrollo de capacidades y habilidades para la asimilación y la adaptación a la tecnología en constante cambio.

Perfil ocupacional

El ingeniero en multimedia está en capacidad de desempeñarse como:

- Gerente de proyectos y negocios en Internet
- Diseñador en aspectos de creación, integración e innovación en sitios web
- Animador por computador para aplicaciones comerciales, autoformación *on-line* y *off-line*, creación de juegos interactivos en CD, Internet y móviles
- Director, generador, autor y coordinador de proyectos multimediales interactivos en CD o en Internet
- Gerente o director de empresas productoras de material multimedia
- Director de arte digital creativo (efectos especiales, educación)
- Investigador de aplicaciones tecnológicas con base en la simulación, el

diseño, la visualización y la creación de prototipos para la industria, el hogar, la exploración espacial, etc.

- Gestor de empresas de base tecnológica, diseño y multimedia.

Ingeniería industrial

Es la disciplina de la optimización, de la productividad, de la calidad. Abarca el diseño, la mejora y la instalación de sistemas integrados de hombre, materiales y equipos. Con sus conocimientos especializados y el dominio de las ciencias matemáticas, físicas y sociales, junto con los principios y métodos de diseño y análisis de ingeniería, permite predecir, especificar y evaluar los resultados a obtener de tales sistemas.

Se dice que un ingeniero industrial es un intérprete entre las diferentes ramas de la ingeniería y el área administrativa y financiera de la empresa, y que es el profesional de la ingeniería que más aporta a la parte humana de un sistema productivo, ya sea de bienes o de servicios.

El desarrollo y el avance de la ingeniería industrial han permitido logros como:

- El control estadístico de calidad
- Las herramientas para el control y el mejoramiento de la calidad, tanto las nuevas como las antiguas (análisis de Pareto, histogramas, diagramas causa efecto, cartas de control, etc.)
- La toma de decisiones con base en modelos matemáticos
- La metodología para el desarrollo de proyectos como el PERT y CPM
- Los sistemas y métodos para la localización y el diseño de instalaciones productivas de bienes o servicios
- La gestión de procesos.

Perfil profesional

Durante su formación, el ingeniero industrial adquiere como cualquier otro colega de disciplina una amplia formación en ciencias básicas como matemáticas, físicas y químicas, así como en ciencias de la ingeniería y, adicionalmente, entre otras, las siguientes características profesionales:

- La problemática general que resuelve el ingeniero industrial es la que se refiere a la mejor utilización de los "recursos productivos", representados por los materiales y materias primas; las herramientas, máquinas e instalaciones; el recurso humano; los recursos económicos o de capital; la organización de la empresa y el conocimiento tecnológico o *Know How*.
- El ingeniero industrial articula, coordina y dirige estos recursos para producir un producto o prestar un servicio con calidad, seguro, funcional y al menor costo económico posible, optimizando la utilización de los recursos productivos.

El profesional en ingeniería industrial tiene las siguientes características:

- Formación básica, que le permite asimilar científicamente los conocimientos tecnológicos propios de su especialidad y acceder al quehacer científico internacional.
- Sólida capacitación técnica en ciencias de la ingeniería y otras áreas afines, con especial énfasis en la producción industrial y de servicios contemporáneos.
- Adecuada preparación en el desarrollo de las capacidades y habilidades aptas para el campo de la investigación aplicada.
- Capacitación en el área administrativa, que le sirve para actuar como intérprete entre la parte técnica y la económico-administrativa en el campo en donde se desempeñe como profesional, impulsando además su desarrollo y acceso a los altos cargos de dirección en las áreas de operaciones, manufactura, técnica y de producción.
- Capacitación en el manejo de computadores, como herramienta moderna de uso en todos los campos en el ejercicio de la profesión.

Perfil ocupacional

A continuación se describe el perfil ocupacional más común de los ingenieros industriales, no queriendo decir con ello que sea el único, ya que muchos optan por desempeñarse más en la parte administrativa que en el área productiva de una empresa.

En términos generales, el ingeniero industrial es un profesional con capacidad para vincularse directamente en el manejo y el mejoramiento tanto de los sistemas productivos como de servicios en cualquier organización.

De la misma manera, se puede desempeñar con éxito en las distintas áreas de una empresa, tales como la técnica o de producción, la administrativa, la financiera, la comercial y la de recursos humanos.

6.4.3 Otras ramas de la ingeniería

A continuación se describirá, de manera general, la labor que desempeñan otras ramas de la ingeniería, las cuales también aparecieron en tiempos muy recientes y han aportado grandes soluciones a problemas que han venido aquejando a la humanidad en los distintos ámbitos en los cuales se ha desarrollado.

Ingeniería biomédica

Para el ser humano, uno de los factores más importantes que inciden en su constante bienestar es la salud. En el transcurso del tiempo ha venido realizando ingentes esfuerzos por encontrar mecanismos y alternativas que propendan al mejoramiento y el mantenimiento de una excelente salud, lo cual lo ha llevado a crear soluciones en el área de la medicina, tanto de índole preventivo como correctivo. Es así como entre 1890 y 1930 se desarrolló la instrumentación

eléctrica y electrónica en la medicina, lo que condujo a la aparición de una serie de equipos para la detección de problemas internos dentro del cuerpo humano, entre los cuales se destacaron la creación de la máquina de rayos x y el electroencefalógrafo de tres canales, entre otros; más adelante, mediante el principio de resonancia magnética, se dio origen al desarrollo y la fabricación de equipos e instrumentos que analizan, identifican y descubren gran variedad de enfermedades y anomalías internas que aquejan al del ser humano, las cuales serían imposibles de detectar de otro modo.

Según el Committe of the Engineers Joint Council de Estados Unidos (1072), la ingeniería biomédica es “la aplicación de los conocimientos recabados de un fértil cruce entre la ciencia ingenieril y la ciencia médica, para generar resultados (equipos, instrumentos, aparatos y mecanismos) que pueden ser plenamente utilizados en el área de la salud para el beneficio del hombre” (citado en la página Web del Laboratorio de Investigación en Ingeniería Biomédica de la Universidad de Costa Rica, 2012).

El ingeniero biomédico es un profesional con:

- Sólidos conocimientos en ciencias básicas, bioquímica, biofísica y biomecánica, que le permiten su aplicación en la ingeniería, buscando el beneficio del ser humano
- Fuertes conocimientos en informática, automatización, electrónica digital, fisiología y biología humana
- Capacidades y habilidades para desarrollar y llevar a cabo procesos tecnológicos e informáticos enfocados a la salud
- Gran capacidad para crear y diseñar instrumentación y equipos tecnológicos de última generación.

Este profesional está en capacidad de desempeñarse como:

- Investigador y desarrollista de nuevos equipos biomédicos
- Director o asesor comercial en empresas fabricantes o comercializadoras de equipos médicos
- Gerente o asesor en empresas que fabriquen o comercialicen equipos médicos
- Gerente o asesor en hospitales y empresas de salud que lleven a cabo proyectos de actualización del equipamiento tecnológico específico
- Director de mantenimiento en organizaciones hospitalarias y del sector salud
- Administrador del parque tecnológico en organizaciones hospitalarias y del sector salud.

Ingeniería aeroespacial

La ingeniería aeroespacial es la encargada de estudiar y desarrollar los aspectos relacionados con el vuelo de un vehículo a variadas alturas y velocidades. Comprende las etapas de la investigación, el diseño y su desarrollo en esta área, la cual contempla la fabricación de aerodeslizadores para operar a bajas alturas, tanto en el agua como en la tierra; helicópteros que sobrevuelan y realizan maniobras en diferentes direcciones; aeroplanos convencionales y vehículos espaciales de gran tecnología para orbitar la Tierra y explorar el sistema solar, como por ejemplo los transbordadores y las sondas espaciales.

Según Wright (1994), el término ingeniería aeronáutica se utiliza para referirse a la ingeniería de vuelo en la atmósfera, mientras que la ingeniería astronáutica hace referencia al vuelo espacial.

Los profesionales en ingeniería aeroespacial trabajan, generalmente, en una de las diferentes áreas de especialidad, como por ejemplo: aerodinámica, diseño estructural, sistemas de propulsión y de guía y control.

En la aerodinámica realizan los diseños de las superficies exteriores de los vehículos aeroespaciales, buscando menor resistencia al viento y mejor maniobrabilidad.

Los diseñadores estructurales buscan diseñar, modelar y construir sistemas de aeroplanos que puedan optimizar su operación, desde el punto de vista de desempeño como de costos, lo que lleva a la maximización de la razón entre la resistencia y el peso del vehículo. Asimismo, diseñan estructuras con capacidad para resistir las diferentes fuerzas a las que se enfrentaran cuando están en vuelo.

Los ingenieros aeroespaciales trabajan en el desarrollo y el mejoramiento de los sistemas de propulsión para aeroplanos y los diversos vehículos espaciales. El movimiento inicial y de empuje en todos los numerosos sistemas de propulsión de los vehículos aeroespaciales se produce mediante la retro aceleración de un fluido. En otros sistemas, como los helicópteros y los aeroplanos pequeños de baja velocidad, la propulsión se suministra mediante una hélice impulsada por un motor que desarrolla su potencia al comprimir, quemar y expandir su combustible.

Los ingenieros que trabajan en los sistemas de guía y control desarrollan instrumentos para los aeroplanos convencionales, que suministran información directamente al piloto o navegan, maniobran o controlan al aeroplano de manera automática. Del mismo modo, estos diseñan y desarrollan los sistemas que guían y controlan algunas de las armas que utilizan los aviones, como por ejemplo los misiles.

Ingeniería de materiales

La ingeniería de materiales hace referencia a un grupo de especialidades de la ingeniería que se concentran en el desarrollo, la producción y la fabricación de diferentes materiales en tecnologías específicas:

- Ingeniería metalúrgica: trabaja la producción de metales provenientes de minas, así como en el desarrollo de combinaciones y aleaciones metálicas, buscando mejor resistencia y durabilidad, entre otras características o propiedades.
- Ingeniería de minas: comprende la localización, exploración, desarrollo y operación de minas para la extracción de diferentes materiales como carbón y esmeraldas, y minas de materiales metálicos como cobre y zinc, entre otros
- Ingeniería de plásticos: se ocupa de la elaboración de las fórmulas, los procesos, la manufactura y el uso de los materiales que se deforman permanentemente bajo su esfuerzo
- Ingeniería de cerámicas: tiene que ver con los productos manufacturados o usados a altas temperaturas (por encima de 540 °C) y con los procesos físicos y químicos que se usan en su manufactura.

Ingeniería de petróleos

La ingeniería de petróleo, es la rama de la ingeniería que se ocupa de todos los aspectos productivos para la extracción, desarrollo, transporte, procesamiento y tratamiento del petróleo, el gas, teniendo en cuenta los diversos factores que inciden en ello, como los cálculos del proyecto, la construcción y dirección de las obras respectivas, las adecuaciones a las normas establecidas en ese sector y la planificación, organización y dirección, entre otros aspectos. Asimismo, también se encarga de la investigación tecnológica aplicada a la industria de los hidrocarburos.

En ese orden de ideas, el ingeniero de petróleos posee una sólida formación en ciencias básicas, con gran capacidad para proyectar, diseñar, administrar, operar y controlar procesos y operaciones que estén relacionados con la extracción, el transporte y el almacenamiento de petróleo y todos sus derivados.

Por las competencias desarrolladas, este ingeniero se podrá desempeñar como:

- Director de proyectos en empresas y obras del sector petrolero
- Director o asesor en empresas y organizaciones que le prestan servicio al sector petrolero
- En empresas del sector petroquímico, realizando obras eléctricas y civiles menores
- Asesor legal, económico y financiero en empresas que tengan que ver directamente con la explotación, el transporte y la producción de petróleo
- Diseñador de equipos de producción y procesamiento de hidrocarburos, oleoductos y poliductos
- Gerente de operaciones en compañías petroleras y relacionadas, tanto nacionales como extranjeras

- Jefe de procesos en plantas industriales petroleras y de gas
- Gerente de comercial de derivados del petróleo
- Consultor en compañías de asesoría y auditoria petrolera.

Ingeniería ambiental

El avance y el desarrollo tecnológico que se han venido presentando en los últimos cincuenta años, han provocado grandes problemas ambientales para el planeta como el calentamiento global; el aumento en la contaminación, producto de los desperdicios y sustancias tóxicas arrojadas a los ríos y la atmósfera; la extinción de la vida silvestre y la desaparición de algunos recursos naturales, entre otros. Por lo anterior, el hombre se ha visto abocado a buscar alternativas que ayuden a minimizar el impacto tecnológico en el medio ambiente, y es así como aparece en el escenario mundial, tanto empresarial como académico, una nueva rama de la ingeniería, como la ambiental.

La ingeniería ambiental es la rama de la ingeniería que se ocupa del estudio de los problemas ambientales desde sus distintos ámbitos, como el ecológico, el social, el económico y el tecnológico, buscando la gestión, la conservación y la producción de recursos naturales de manera sostenible.

El ingeniero ambiental tiene como labor principal establecer un desarrollo sostenible, mediante la búsqueda y aplicación de estrategias y tecnologías que redunden en beneficio de la conservación y preservación de los recursos naturales, procurando con ello garantizar la supervivencia y el mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones futuras.

El ingeniero ambiental en el campo profesional poseerá:

- Un sólido conocimiento en ciencias básicas, enfocando su aplicación en los procesos productivos que afecten el entorno y el medio ambiente que los circunda
- Gran capacidad de análisis, para identificar y conocer los fenómenos que surgen de la interacción entre el ser humano y los diferentes ecosistemas que conforman el planeta
- Una sólida fundamentación epistemológica y científica de la ingeniería ambiental que le permitirá identificar, diagnosticar e interpretar los problemas y las situaciones que se presentan en dicho campo, y al mismo tiempo brindar soluciones adecuadas a esta problemática
- Conocimiento y dominio de las diversas herramientas y procesos de gestión ambiental que se pueden aplicar en diferentes contextos, como la empresa, los procesos productivos, las formas de uso y ocupación del suelo, y la obtención de licencias ambientales
- Conocimiento y manejo de las distintas normas, políticas y reglamentaciones, tanto nacionales como internacionales, que existen

acerca de la gestión ambiental, lo que le permitirá actuaciones dentro del contexto legal.

En relación con las competencias desarrolladas, el ingeniero ambiental se podrá desempeñar como:

- Gerente o director de organizaciones tanto públicas o privadas, a nivel central, regional y municipal, que tengan relación con el medio ambiente
- Consultor en aspectos, estudios y normatividad relacionada con el medio ambiente
- Diseñador, formulador y ejecutor de estudios y proyectos relacionados con la gestión y el desarrollo ambiental sustentable
- Director de proyectos en empresas del área de la minería, la agricultura, la construcción, la energía, la industria, la agroindustria, etc.

6.5 Resumen del capítulo

La ingeniería, como disciplina, tiene una fundamentación básica que es la misma para todas sus ramas. Sin embargo, a nivel específico y profesional, se distingue dependiendo de su campo de acción y de aplicación.

A medida que el hombre fue avanzando en su desarrollo y al mismo tiempo fue creando e inventando nuevos artefactos para su mejoramiento y bienestar, surgió la necesidad de aplicar nuevos conocimientos para el desarrollo, perfeccionamiento, reparación y mantenimiento de dichos artefactos, lo cual tuvo como desenlace la aparición de las distintas ramas de la ingeniería.

En la actualidad existe una multiplicidad de ramas que han tomado su nombre, según su campo de aplicación. En el presente capítulo se abordaron algunas de ellas, teniendo en cuenta su definición, sus características y el campo, tanto profesional como ocupacional, en el cual se desenvuelven los profesionales graduados de dichas ingenierías.

Según el orden en que fueron apareciendo dichas ramas en la vida del ser humano, estas se clasificaron en tradicionales y modernas:

- Ramas tradicionales
 - La ingeniería civil
 - La ingeniería mecánica
 - La ingeniería eléctrica
 - La ingeniería química.
- Ramas modernas
 - La ingeniería de sistemas
 - La ingeniería mecatrónica

- La ingeniería en telecomunicaciones
- La ingeniería en multimedia
- La ingeniería biomédica
- La ingeniería aeroespacial
- La ingeniería de materiales
- La ingeniería de petróleos
- La ingeniería ambiental

6.6 Actividades de aprendizaje

- Identifique un tipo de industria, empresa, obra o proceso donde se requiera el trabajo interdisciplinario y la concurrencia de profesionales, de no menos de cinco especialidades de la ingeniería.
- Establezca y describa el papel o el aporte de cada ingeniero al logro del producto final.
- Por medio de dos mapas conceptuales establezca:
 1. Perfil profesional de cada ingeniero
 2. Perfil ocupacional específico de cada ingeniero

Bibliografía

- Baca Urbina, G. (1999). Introducción a la ingeniería. México: McGraw-Hill.
- Bronson, Gary J. (2007). C++ para Ingeniería y Ciencias. México: Thomson Editores.
- Cross, H. (1998). Los ingenieros y las torres de marfil. México: McGraw-Hill.
- Grech, P. (2001). Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño. Bogotá: Pearson.
- Hall, Arthur D. (1964). Ingeniería de Sistemas. México: CECSA Ed.
- Hicks, P. E. (1999). Ingeniería industrial y administración. Una nueva perspectiva. México: McGraw-Hill.
- Krick, E. V. (1998). Introducción a la ingeniería y al diseño en ingeniería. México: Limusa.
- Romero Hernández, O., Negrón Muñoz, D. y Hernández Romero, S. (2006). Introducción a la ingeniería. Un enfoque industrial. México: Thomson.
- Wright, P. H. (1994). Introducción a la ingeniería. USA, Wilmington, Delawere: Addison – Wesley.

Cibergrafía

- AICHE - Instituto Americano de Ingenieros Químicos. Documento (PDF) de enmienda de su constitución (enero 2003). Web American Institute of Chemicals Engineers. En <http://www.aiche.org/about/governance/constitution>. Consulta realizada en mayo de 2013.
- Dorantes, D. y Oliva, D. La ingeniería Mecatronica, (2010). Web Instituto Tecnológico de Monterrey (<http://www.itesm.edu>). En <http://www.cem.itesm.mx/profesional/imt/caracteristicas/noticias/noticia2.html>. Consulta realizada en abril de 2013.
- Durán, A. y Monteagudo, J. La Ingeniería Química como área del conocimiento. Web Universidad Castilla de la Mancha (www.uclm.es) en http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/fund_quimicos/Tema_1.pdf. Consulta realizada en abril de 2013.
- Fotos de la Torre Eiffel. Web ARQHYS ARQUITECTURA, (2007). En <http://www.arqphys.com/fotos-de-la-torre-eiffel.html>. Consulta realizada en mayo de 2013.
- Universidad de Costa Rica – Laboratorio de Investigación en Ingeniería Biomédica. La Ingeniería Biomédica en Costa Rica (2012). Laboratorio de Ingeniería Biomédica. En <http://liib.eie.ucr.ac.cr/?q=es/node/2>. Consulta realizada en abril de 2013



Capítulo
siete

*La educación y
formación del
ingeniero*

7.1 Introducción

Los planes de estudio y el currículo general de las carreras de ingeniería están estructurados de tal manera que, a menudo, el estudiante no empieza a familiarizarse con lo que realmente es ingeniería sino hasta después del quinto o sexto semestre, y aun mucho más adelante, cuando comienza a cursar las asignaturas de tipo profesional; por tal motivo, no aprecia el alcance de los cursos que recibe y, debido a ello, no los aprovecha cabalmente.

Es necesario, entonces, que todo plan de estudios, específicamente en la asignatura Introducción a la Ingeniería, contemple un módulo o unidad donde el estudiante además de conocer, aunque sea de manera general, en qué consiste la carrera o profesión que escogió como proyecto de vida, conozca asimismo las exigencias académicas que ella demanda.

Para un aspirante a cursar una carrera relacionada con la disciplina de la ingeniería y a convertirse en futuro ingeniero, a quien va dirigido principalmente este texto, es importante conocer aspectos de índole académica acerca del programa que aspira a cursar, lo cual le permitirá tener una visión general del contenido de la carrera y de las competencias con las que saldrá a enfrentar el mercado laboral.

Por lo anterior, en este capítulo se presentarán los aspectos curriculares de un programa típico de ingeniería, entre los cuales se destacan su estructura general, sus dimensiones y componentes, las competencias a desarrollar, una breve descripción de la organización del currículo de ingeniería en relación con los componentes, áreas y asignaturas que lo conforman, así como una idea general de los conocimientos, habilidades y destrezas, así como de las competencias que deberá desarrollar durante su formación como ingeniero.

No obstante, no todas las instituciones en las cuales se imparten cursos o se desarrollan carreras de ingeniería estructuran sus currículos y planes de estudio de la misma manera, pero el *modelo* que aquí se presenta ha tratado de incluir al máximo los elementos comunes y esenciales de la estructuración del currículo de ingeniería, independientemente de las variantes que se presenten entre las diferentes instituciones.

En este capítulo, no se pretende decir o proponer un modelo de currículo. Solamente se muestra el modelo más común utilizado actualmente por la mayoría de instituciones que ofrecen carreras relacionadas con la disciplina de la ingeniería.

En este orden de ideas, se hará una breve descripción de lo que se entiende por *perfil profesional* y *perfil ocupacional* del ingeniero, con el propósito de que el estudiante conozca e identifique la problemática propia de su disciplina y de su carrera, su ámbito de desempeño y las competencias que deberá desarrollar y aplicar una vez culmine sus estudios, pues es claro que un currículo o plan de estudios debe basarse en los perfiles disciplinares, profesionales y ocupacionales de los profesionales que pretende formar y entregar a la sociedad lo que, en términos de calidad, se denomina pertinencia y justificación de un programa.

7.2 Definición de ingeniero

Se denomina ingeniero a aquella persona que aplica la ingeniería y, más formalmente, a la que ejerce la profesión en una de las ramas de la ingeniería como disciplina. Desde el punto de vista filosófico y epistemológico, se denomina ingeniero al hombre o a la mujer que, dotado de una cualidad o característica principal denominada “ingenio”, que habiendo desarrollado cualidades creativas es capaz de transformar su realidad y la de las sociedades actuales y futuras, mejorando y optimizando la calidad de vida de las personas al satisfacer con sus conocimientos y competencias especializadas determinadas necesidades, deseos y expectativas de la sociedad y del hombre en general.

Un concepto interesante sobre la definición de ingeniero es aquel que , identifica al ingeniero como la persona que, basándose en los descubrimientos de los científicos, desarrolla tecnologías para la satisfacción de determinadas necesidades de la sociedad y del hombre en general.

7.3 Cualidades de un ingeniero competente

El objetivo de un currículo es la de formar y entregar a la sociedad profesionales competentes para ejercer la profesión en su respectiva rama, pero también desarrollar en el futuro ingeniero determinadas cualidades esenciales para la convivencia ciudadana, la aplicación correcta de sus competencias y, en general, hacer del estudiante un profesional con formación integral.

En apartados posteriores se desarrollará en detalle lo relacionado con la formación por competencias, pero aquí se enumerarán algunas de las cualidades más importantes que deben adornar a los ingenieros para el ejercicio pleno de su profesión.

Competente. Poseer la capacidad para utilizar sus conocimientos, habilidades y destrezas en la solución de problemas propios de su disciplina y profesión.

Disciplinado. Usa la academia (el conjunto de conocimientos adquiridos mediante el estudio) para la optimización de procesos y la creación de soluciones de manera sistemática y ordenada.

Ingenioso. Cualidad que le permite crear eficazmente soluciones en la ejecución de sus proyectos.

Capacitado para determinar los procesos adecuados para planear estratégicamente las soluciones, buscando el mayor beneficio tanto para el hombre, como para el medio que lo rodea.

Profesional. Ejercer la disciplina o profesión con ética, lo que significa dignificar el título de ingeniero.

Superación continua. Actualmente, es imposible que el ingeniero se quede únicamente con los conocimientos y competencias adquiridos en sus estudios de pregrado. Los cambios y avances permanentes en la ciencia y la tecnología, así como la misma competencia entre los profesionales, exige que

el ingeniero adelante estudios más profundos de posgrado, y que se actualice permanentemente durante toda su vida profesional y laboral.

7.4 Entrenamiento, instrucción, educación y formación

Para entender lo que implica formar o formarse como ingeniero, es preciso distinguir entre los conceptos entrenamiento, instrucción y, más ampliamente, entre educación y formación.

7.4.1 Entrenamiento

Las personas se entrena para el manejo mecánico de instrumentos, herramientas y máquinas, o simplemente para seguir sistemáticamente determinadas reglas, pasos o procedimientos en la realización de una actividad específica. Así, por ejemplo, los deportistas se entrena en su especialidad deportiva, repitiendo en forma mecánica una determinada rutina.

Normalmente, el entrenamiento más que desarrollar habilidades e impartir conocimientos, lo que pretende es generar *destrezas*, es decir, realizar la misma rutina cada vez con mayor rapidez y facilidad, con el mínimo de consumo de energía física o intelectual.

Los ingenieros durante su formación académica, y más tarde, durante la práctica profesional, adquieren destrezas en la aplicación y el manejo de determinados instrumentos: por ejemplo, un ingeniero civil con el tiempo se vuelve diestro en el uso de aparatos de medición como el teodolito, y los ingenieros en general en el uso del computador o de procedimientos estandarizados.

7.4.2 Instrucción

La instrucción, a diferencia del entrenamiento, genera en la persona habilidades para el uso adecuado de determinados conocimientos, procesos y procedimientos, ya no simplemente para realizar una actividad, sino para conseguir un resultado.

Los manuales de operación con los que vienen la mayoría de los objetos usados en la vida diaria son ejemplos de formas de instruir a los usuarios en el manejo del aparato para conseguir un fin específico, por ejemplo, cómo operar una lavadora para lavar la ropa en forma eficiente y con los resultados esperados de limpieza.

7.4.3 Educación

La educación y la formación, a diferencia de los conceptos anteriores, además de generar en el individuo competencias, entendidas como la “Capacidad de articular y movilizar condiciones intelectuales y emocionales en términos de conocimientos, habilidades, actitudes y prácticas, necesarias para el desempeño de una determinada función o actividad, de manera eficiente, eficaz y creativa, conforme a la naturaleza del trabajo” (Organización Internacional del Trabajo [OIT], citado en Ministerio de Educación Nacional, 2007), requiere formar al individuo en valores y principios éticos en la correcta aplicación de sus

competencias, y para desenvolverse en los contextos socioeconómico, profesional y laboral, teniendo en cuenta que antes que ingeniero se es persona, como lo indica Cross (1970, pág. 20), cuando dice "... Pero decir que un hombre ha sido instruido para ser ingeniero, o médico, o abogado, o educador, o economista, significa que solo ha sido instruido en forma parcial".

Los ingenieros, se *eduican* como personas, se *forman* como profesionales, se *instruyen* en el manejo de tecnologías propias de su disciplina y especialidad, y se *entrenan* en el manejo de las herramientas e instrumentos; todo ello necesario para diseñar, construir, adecuar y mejorar dispositivos, obras, estructuras y procesos con los cuales satisfacen determinadas necesidades de la sociedad y del hombre en general.

7.5 Paradigmas de la educación del ingeniero

Existen muchos paradigmas y errores conceptuales acerca de la educación y la formación que debe recibir un ingeniero. Dado que este texto, además de estar dirigido a los aspirantes y estudiantes de ingeniería está también dirigido a profesores de la disciplina, se ha considerado interesante extractar, *literalmente*, del libro *Los ingenieros y las torres de marfil*, de Hardy Cross (1970), algunas ideas y mensajes que reflejan muchos de los paradigmas sobre la educación del ingeniero. No obstante, ello no significa que los autores estén totalmente de acuerdo con todas las afirmaciones de Cross, pero sí consideran que sus afirmaciones son un buen material base para reflexionar al respecto:

"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" (pág.46).

"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" (pág.46).

"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 que están por 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" (pág.45).

"Es cierto en un sentido: que la manera de pensar de un estudiante, o por lo menos debiera ser, desinteresada, ya que solamente en los colegios un hombre está 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, concerniente a la profesión que escogió" (pág.39).

"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, 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, incommensurables" (pág.44).

“‘Academicismo’, ‘investigación’, ‘análisis productivo’ son, muchas veces, el último refugio de los charlatanes académicos. El academicismo de un ingeniero significa, primeramente, que sabe con precisión de qué está hablando”. (pág.48).

“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 academicismo” (pág.48).

“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 geometría, en la forma de ordenar los cálculos, en la expresión y comunicación por medio del dibujo y aún en instruirlos en el lenguaje común y técnico” (pág.50).

“En la actualidad, algunas personas preferirían que se entrenase a los ingenieros como psicólogos, sociólogos, economistas o políticos. 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. En consecuencia, cada grupo que sigue una filosofía en particular tira hacia sí los planes de estudio para que se imparten materias de su especialidad. Un grupo enfatizará la investigación, otro, los elementos creativos, y otros grupos querrán incluir tantos conocimientos generales de otras disciplinas en tal forma que dejarían poco espacio para el entrenamiento esencial” (pág.52).

7.6 El currículo como estrategia de formación de un ingeniero

A continuación se hace una breve mención a algunos de los más importantes elementos del currículo que emplean las instituciones educativas para la formación de sus ingenieros, aclarando que cada una tiene o utiliza su propia estrategia, aunque la mayoría de los componentes son comunes a todas.

7.6.1 Definición y propósitos del currículo

El currículo se puede definir como la estrategia general empleada por una institución, para formar una persona en un campo técnico, ocupacional, profesional, cultural, social o científico.

El currículo tiene como propósito fundamental facilitar la formación del estudiante, proporcionándole o generando en él, de manera sistemática, determinados saberes, habilidades, destrezas, actitudes y, en general, las competencias necesarias para ejercer con eficiencia un oficio o profesión. También determina la manera sistemática de impartir o adquirir los conocimientos y generar las cualidades que deben estar presentes en la formación del futuro profesional, en este caso, un ingeniero.

El currículo comprende tres aspectos principales o responde a las siguientes preguntas básicas:

¿El qué?: cuáles son los conocimientos, las habilidades y destrezas, las actitudes y los valores propios de la disciplina o profesión que caracterizan al ingeniero como tal, distinguiéndolo de otros profesionales similares o diferentes, y que le suministran las herramientas necesarias para ejercer la profesión en forma exitosa. (Perfiles disciplinar, profesional y ocupacional).

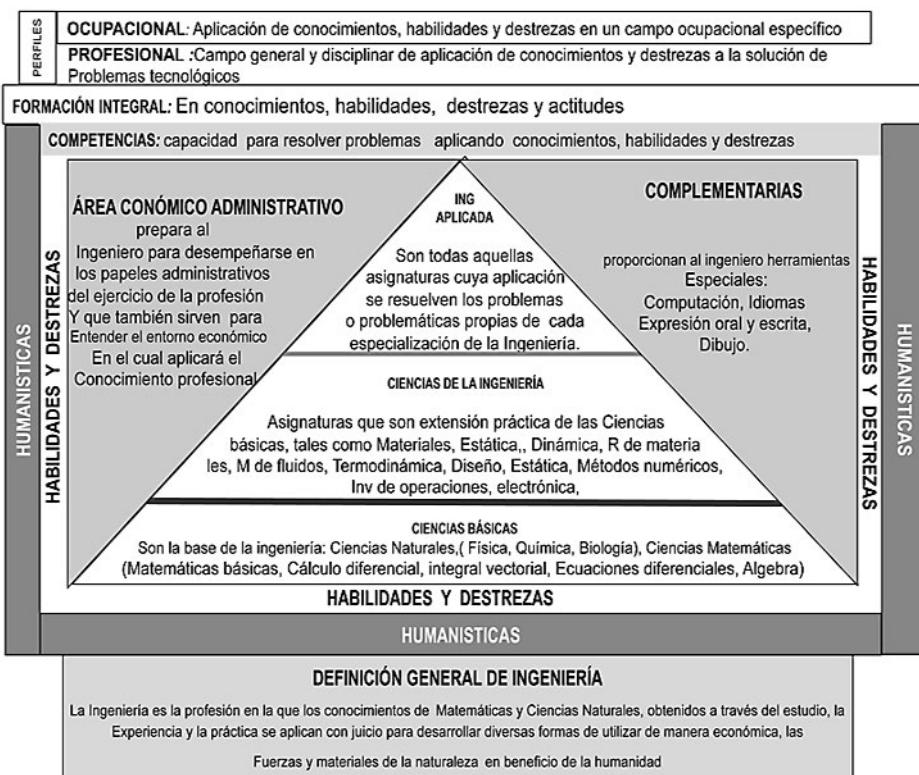
¿El cómo?: cuál es la forma o método más adecuado de impartir o adquirir los conocimientos, actitudes, valores, destrezas y habilidades que permitan alcanzar los objetivos de conseguir las competencias requeridas, de acuerdo con el perfil profesional, y lograr una formación integral, añadiendo a las competencias la inculcación de principios, ética y valores para la correcta aplicación de las competencias en beneficio de la sociedad. No es lo mismo impartir o adquirir conocimientos y destrezas en la formación de un ingeniero que en la formación, por ejemplo, de un abogado.

¿Dónde?: corresponde a los distintos escenarios de enseñanza-aprendizaje tales como el aula de clase, el laboratorio, el taller, el escenario real etc.

7.6.2 Conceptualización y construcción del currículo

El currículo, similar por ejemplo a un proyecto de ingeniería, se diseña de arriba hacia abajo, es decir, de lo macro a lo micro en forma analítica, y se construye o desarrolla de abajo hacia arriba, esto es, integrando las partes o los componentes particulares, sistemáticamente, de tal manera que todo conduzca al objetivo final: formar un ingeniero profesional en cualquiera de las distintas ramas de la disciplina.

Para facilitar la comprensión del concepto, se hará un recorrido por el “mapa conceptual” que se presenta en la figura 7.1, partiendo de los perfiles profesional y ocupacional localizados en la parte superior del mapa, hasta llegar a las ciencias básicas y a la definición de ingeniería, ubicadas en la parte inferior de este y viceversa, es decir, de abajo hacia arriba partiendo de la definición de ingeniería y terminando en los perfiles profesional y ocupacional.

Figura 7.1. Mapa conceptual del currículo en ingeniería**MODELO CONCEPTUAL PARA EL DISEÑO CURRICULAR DE UN PROGRAMA DE INGENIERÍA**

Fuente: elaboración propia.

7.6.3 Definición de ingeniería como base del currículo y del plan de estudios

En la base de la pirámide del mapa conceptual (figura 7.1), se encuentra una de las definiciones de ingeniería que se estudiaron en capítulos anteriores, a partir de la cual se construye el currículo (el diseño, como se dijo anteriormente, se hace por el contrario partiendo de los perfiles disciplinar, profesional y ocupacional): la ingeniería es la profesión en la que los conocimientos de matemáticas y ciencias naturales (física, química y biología), primordialmente, obtenidos a través del estudio, la experiencia y la práctica, se aplican con juicio para desarrollar diversas formas de utilizar, de manera económica, las fuerzas y materiales de la naturaleza en beneficio de la humanidad.

Se debe observar la clara relación que existe entre los elementos de la definición de ingeniería y los componentes del currículo de ingeniería, de aquí la importancia de que el estudiante que aspire a concluir con éxito un programa de ingeniería analice, comprenda y asimile en profundidad el significado del concepto ingeniería como disciplina y profesión.

7.6.4 Perfil profesional y ocupacional

Perfil profesional o disciplinar

Corresponde al campo general y disciplinar en la aplicación de conocimientos, habilidades y destrezas para darle solución a un problema o problemática, o para satisfacer una necesidad, deseo o expectativa propia de la disciplina de la ingeniería y sus diferentes ramas de especialización.

El perfil profesional define al ingeniero, independientemente de la rama de la ingeniería, como un profesional que utiliza determinados *conocimientos* (matemáticas, las ciencias naturales y todo lo que de ellas se deriva), *habilidades* y *destrezas* para la creación y el diseño de obras, dispositivos y procesos que satisfagan determinadas necesidades y deseos de la sociedad y de la humanidad en general.

Ejemplos de perfil profesional son:

Ingeniero civil: Se encarga de la problemática relacionada con la necesidad que tiene el hombre o la sociedad de contar con infraestructuras, soluciones habitacionales, vías de comunicación, desarrollo de sistemas de riego, desarrollo de sistemas hidrosanitarias, edificios, puentes y túneles que acorten las distancias y hagan más ágil el flujo de comunicación entre ciudades, regiones y países; suministro de agua, instalaciones industriales, comerciales, educativas, hospitalarias, entre otras. Su base de formación son primordialmente las matemáticas y la física, algo de química y biología, y demás disciplinas o aplicaciones derivadas de estas.

Ingeniero electricista: un ingeniero de esta especialidad, está relacionado con la problemática que tiene el hombre o la sociedad de contar con energía eléctrica en todos los ámbitos y situaciones en el desarrollo de su vida diaria, por ser la electricidad la base del funcionamiento de la mayoría de los artefactos, dispositivos, máquinas, estructuras, sistemas y procesos presentes en las sociedades modernas. El ingeniero eléctrico se encarga de generar, transformar, distribuir y utilizar la energía eléctrica como medio para emplear las fuerzas y los recursos de la naturaleza para satisfacer necesidades específicas del hombre y de la sociedad. En su formación se incluyen principalmente las matemáticas y la física, y en menor profundidad la química y la biología; también estudia y aplica otras materias derivadas de estas.

Ingeniero mecánico: El perfil profesional de un ingeniero mecánico se puede identificar con aquel profesional de la ingeniería que diseña y construye dispositivos, máquinas, artefactos y procesos que extienden y aumentan la capacidad del hombre para realizar trabajo, o que faciliten el desarrollo de una actividad humana en la cual intervengan conceptos como energía mecánica, fuerzas, peso, movimiento, velocidad, resistencia, potencia, trabajo, etc. El ingeniero mecánico estudia y aplica en alto grado las matemáticas, la física, algo de química, muy poco de biología y, como los demás ingenieros, muchas materias y disciplinas derivadas de la física, las matemáticas y la química.

Ingeniero agrícola: Este profesional de la ingeniería se encarga básicamente del manejo y el aprovechamiento de los recursos agrícolas, y tiene como propósito generar métodos y procesos para utilizar el recurso suelo, de manera eficiente, económica y sostenible en la producción de alimentos y materias primas. El ingeniero agrícola, por principio, tiene como base de su formación las ciencias biológicas y los demás componentes de la definición de ingeniería como matemáticas, física y química.

Ingeniero industrial: La problemática o el campo de acción del ingeniero industrial se puede resumir en el siguiente perfil: es el ingeniero encargado de crear, desarrollar, adecuar, mejorar y dirigir sistemas productivos de bienes y servicios. Durante su formación estudia las matemáticas con mucha profundidad, la física, la química y la biología de manera similar a casi todos los ingenieros, pero especialmente a la ingeniería mecánica.

Los perfiles profesionales descritos son solamente un ejemplo para que el estudiante pueda comprender y asimilar el concepto de *perfil profesional*, ya que este es la base y punto de partida en el diseño del currículo de ingeniería.

En el capítulo correspondiente a las ramas o especializaciones de la ingeniería este tema se trató con más detalle; sin embargo, se insiste en la necesidad de que el estudiante comprenda muy bien el concepto como base para asimilar las diferentes asignaturas del plan de estudios y del currículo en general.

Perfil ocupacional

Este perfil se refiere, en algunos casos, a las distintas especialidades y subespecialidades de cada rama de la ingeniería, y en otros casos a un cargo, función o campo de acción en una organización. Como su nombre lo indica, se refiere al área en la que se ocupa o desempeña el ingeniero.

Del perfil ocupacional se podría decir que es la parte *software* del perfil del ingeniero, pues puede estar cambiando continuamente, no solamente con los avances tecnológicos, sino también con las circunstancias y con las oportunidades laborales.

Ejemplos de perfiles ocupacionales son:

Ingeniero civil: Ingeniero calculista, estructural, de suelos, interventor de obra, residente, especialista en puentes, vías y transporte, pavimentos, constructor de represas.

Ingeniero electricista: Constructor de plantas generadoras de energía eléctrica, especialista en redes de distribución, especialista en diseño de instalaciones eléctricas industriales, comerciales y habitacionales, diseñador de generadores y motores eléctricos, especialista en iluminación.

Ingeniero mecánico: Diseñador y constructor de vehículos, especialista en procesos metalmecánicos, diseño y construcción de maquinaria industrial o agrícola, diseñador y constructor de calderas, mantenimiento industrial, dirección de plantas metalmecánicas.

Ingeniero industrial: Especialista en diseño de procesos industriales, diseñador de instalaciones industriales, ingeniero de calidad, ingeniero de métodos, jefe de mantenimiento industrial, especialista en costos y presupuestos, especialista en planeación y control de la producción, administrador industrial.

7.6.5 Estructuración del currículo y del plan de estudios de ingeniería

El currículo se estructura teniendo en cuenta las siguientes áreas, núcleos o componentes:

Área profesional, tecnológica o de ingeniería aplicada

Esta área se encuentra conformada por cursos que aseguran la formación del estudiante en el área del saber y actuar específicos de la profesión. Es con la aplicación directa de esta área del currículo con la cual el ingeniero realmente da soluciones a los problemas o problemáticas de cada especialidad.

La formación en esta área constituye la especialidad o rama de la disciplina de la ingeniería, siendo aquí donde un ingeniero se distingue de otro: por ejemplo, la diferencia entre un ingeniero mecánico, industrial, civil, químico o Mecatrónico radica en el estudio y la aplicación de asignaturas de esta área.

La determinación de las asignaturas de esta área del plan de estudios o del currículo, es una consecuencia o derivación del tipo de problemas o problemáticas que abordan los ingenieros según su especialidad.

Algunos ejemplos de asignaturas del área profesional son:

Ingeniería civil: Hidráulica, Análisis de Estructuras, Fundaciones, Hidrología, Geotecnia, Ingeniería Ambiental, Acueductos y Alcantarillados, Plantas de Tratamiento.

Ingeniería mecatrónica: Modelos Mecatrónicos, Sensores, Actuadores, Procesamiento Digital de Señales, Inteligencia Artificial, Termofluidos, Diseño Mecatrónico, Automatización Industrial.

Ingeniería multimedia: Aplicaciones 3D, Integración Multimedia, Inteligencia Artificial, Audio y Video, Procesamiento de Imágenes, Render, Diseño, Simulación, Tecnologías de Internet, Procesamiento de Señales, Animación 2D y 3D, Ingeniería de Software, Computación Gráfica.

Ingeniería industrial: Tecnologías de Procesos Industriales, Sistemas de Calidad HSE (de las siglas en inglés Health, Safety, Environment (Salud, Seguridad, medio ambiente)), Investigación de Operaciones, Ingeniería de Métodos, Ingeniería de Calidad, Planeación y Control de la Producción, Diseño de Sistemas Productivos, Ingeniería Logística, Formulación y Evaluación de Proyectos, Sistemas de Información Industrial.

Ingeniería en telecomunicaciones: Gestión de Redes, Comunicaciones

Inalámbricas, Comunicación Móvil, Software de Conectividad, Seguridad en Redes, Antenas y Propagación, Conmutación Telefónica, Banda Ancha, Procesamiento Digital de Señales.

Ingeniería de petróleos: Termodinámica, Topografía, Petrofísica y Perfilaje, Perforación, Industrialización del Petróleo.

Ingeniería química: Procesos Metalúrgicos, Química de Materiales, Transferencia de Calor, Ingeniería de Reacciones Químicas.

Área ciencias de la ingeniería o ciclo básico profesional

Esta área del currículo o del plan de estudios está conformada por asignaturas que son un puente entre las ciencias básicas y el área profesional o de aplicación de la ingeniería. Dichas asignaturas normalmente son aplicaciones directas de las ciencias básicas, y constituyen la teoría y el soporte inmediato de las asignaturas del área profesional.

Un aspecto muy importante a considerar, es el hecho de que mientras algunas asignaturas corresponden al área de ciencias de la ingeniería en una rama o especialidad, en otras ramas son parte del área profesional. Por ejemplo: en el currículo de ingeniería industrial, asignaturas como Electrotecnia y Electrónica corresponden al área de ciencias de la ingeniería, mientras que en ingenierías como la eléctrica y la electrónica hacen parte del componente profesional o de aplicación de la ingeniería.

Otra característica de las asignaturas del área de ciencias de la ingeniería es que la gran mayoría de ellas están presentes en todas las ramas de la ingeniería. Por definición, el concepto de ingeniería como disciplina, está conformado por el estudio y la aplicación de esta área, como se explicó en apartados anteriores.

Algunas de las asignaturas de esta área y que son comunes a todas las ingenierías, o están presentes en la mayoría de ellas son:

Estática, Materiales de Ingeniería, Mecánica de Fluidos, Mecánica de Sólidos, Estadística, Dinámica Aplicada, Matemáticas Avanzadas, Programación, Métodos Numéricos, Diseño Industrial, Investigación de Operaciones, entre otras.

Área de ciencias básicas

Conformada por cursos que buscan dar estructura al pensamiento y al conocimiento, y que constituyen la base y el fundamento de la ingeniería como disciplina, esta área del currículo comprende asignaturas como Matemáticas, Ciencias Naturales (Física, Química y Biología).

En todas las definiciones de ingeniería, el estudio y la aplicación directa o indirecta de estas ciencias siempre está presente, aunque en algunas definiciones no se muestre de manera taxativa o evidente.

Sin embargo, la relación entre estas asignaturas, la definición de ingeniería y el currículo de ingeniería resulta ser muy estrecha, razón por la cual un currículo o

plan de estudios que no contemple el estudio de estos campos de la ciencia con cierta profundidad, no debería considerarse como tal.

La mejor forma de que el estudiante asimile la íntima relación de esta área del currículo con el objetivo de este, en el proceso de formación de un ingeniero, es comprendiendo las diferentes definiciones, propósitos y áreas de estudio de las matemáticas, la física, la biología y la química, como se explicó en capítulos anteriores, pero que aquí es necesario mencionar nuevamente, para una mayor comprensión del currículo en su estructura integral y por ser esta área la base y fundamento de la ingeniería como disciplina.

Los siguientes son ejemplos de definiciones, los cuales se han escogido debido a su simplicidad y su relación directa con las definiciones de ingeniería estudiadas en capítulos anteriores:

1. **Ciencia**

"Es el estudio de la naturaleza; constituye lo que se llama algunas veces la *filosofía natural*. El objeto de la ciencia es establecer un conjunto de leyes que permitan responder a cualquier pregunta que se le hace". (Valero, 1999, Pág.10).

2. **Ciencias naturales**

Se dividen en:

- **Física:** "Se esfuerza siempre por presentar una imagen clara del mundo que nos rodea; es el estudio de las interacciones de la materia con la materia o con la energía" (Valero, 1999, Pág. 16). Tiene que ver principalmente con las propiedades generales de los cuerpos y las fuerzas que los modifican, así como la transferencia de la energía y la interacción entre partículas.

En los planes de estudio de ingeniería, como se explicó en capítulos anteriores, la física tradicionalmente se divide en:

- a) Energía mecánica: se refiere a la capacidad de grandes masas de materia para realizar trabajo y se subdivide a su vez en: mecánica de líquidos, mecánica de gases y mecánica de sólidos.
- b) Energía calórica: es la energía que se produce por el movimiento de diminutas partículas de materia llamadas moléculas. El calor es un movimiento vibratorio de esas moléculas.
- c) Energía sonora: se produce por la vibración de las moléculas en forma de ondas.
- d) Energía eléctrica: incluye el magnetismo, la electricidad estática y la corriente eléctrica. Estudia el comportamiento de los electrones (partículas muy pequeñas de electricidad) para realizar trabajo.
- e) Energía electromagnética: esta parte de la física estudia el electromagnetismo y su relación con la luz y las ondas de radio.

- f) Energía atómica: esencialmente estudia el uso de la gran cantidad de energía contenida en el interior del átomo y su forma de liberarla para usos prácticos. La energía atómica se produce como resultado de la conversión de la materia en energía.
- g) En la actualidad se habla de la llamada física cuántica la cual comprende, entre muchos otros aspectos, por ejemplo la gran controversia que se ha generado en teorías como el comportamiento de la luz, considerada por algunos científicos como una forma continua de energía y por otros que afirman que la luz se produce en forma discreta desplazándose por el espacio en “paquetes”, llamados “quants”. Parece, sin embargo, que la solución a esta controversia es considerar que los conceptos no se contradicen, sino que por el contrario se complementan.
- **Química:** “es la ciencia que describe la materia, sus propiedades químicas y físicas, los cambios físicos y químicos que sufre y las variaciones de energía que acompañan a estos procesos” (Whitten, et. al Pág. 3). Trata principalmente con cambios en la materia causada por la aplicación de energía. En un cambio químico la sustancia pierde sus propiedades originales y una o varias nuevas sustancias son formadas.

Tradicionalmente, la química se ha dividido en dos grandes áreas de estudio:

Química inorgánica que estudia de los minerales y Química orgánica la cual estudia las sustancias basadas en la combinación de los átomos de carbono, comprende los hidrocarburos y sus derivados, así como los productos naturales y los tejidos vivos.

En la actualidad se habla de algunas subclasificaciones, que tienen que ver más con las aplicaciones de la química que con su esencia, por ejemplo: química industrial, química analítica, fisicoquímica, biomateriales, entre otras.

- **Biología:** “básicamente la Biología es una búsqueda de ideas y observaciones que unifiquen nuestros conocimientos acerca de la diversidad de la vida, desde una bacteria que vive en las rocas hasta los pulpos y las personas” (Freeman, 2009, Pág.1). En los planes de estudio de ingeniería, normalmente se encuentra dividida en:
 - Biología Animal
 - Biología Vegetal
 - Biología humana y
 - Biología combinada con otras ciencias o especializada como por ejemplo Biofísica, Biomedicina, Bioquímica, entre otras.

3. Matemáticas

“La matemática es una exploración de ciertas estructuras complejas de la realidad que, mediante una manipulación racional rigurosa de ellos, se dirige hacia un dominio efectivo de dicha realidad” (Chacón, 2000, Pág. 176). La matemática se divide para su estudio en puras y aplicadas. A las primeras corresponde el

estudio de las propiedades y sistemas matemáticos abstractos sin importar sus aplicaciones, mientras que las segundas se ocupan de servir de herramienta para la resolución de problemas reales y prácticos.

En ocasiones se agrupan en tres áreas generales:

Álgebra: es una generalización de la aritmética en la que cada símbolo se usa para representar números conocidos de conjuntos de números denominados variables. Las relaciones entre las variables se expresan en forma de proposiciones matemáticas abiertas, como ecuaciones o como desigualdades.

Geometría: la geometría estudia las propiedades, medida y relaciones de puntos, líneas, superficies y sólidos, e incluye la Geometría plana o estudio de líneas, curvas, ángulos y polígonos en un plano; Geometría de sólidos la cual comprende el estudio de conos, esferas, cilindros y poliedros, en tres dimensiones ; Geometría diferencial que corresponde a la aplicación del cálculo a la geometría en el estudio de las propiedades puntuales de las curvas, es decir, de los conos, esferas, cilindros y poliedros, en tres dimensiones.

Trigonometría: básicamente es una extensión de la geometría, y se utiliza para calcular los lados y ángulos que no se conocen de un triángulo y se aplica a triángulos en un plano o en una superficie esférica. Los conceptos más utilizados en ingeniería son las llamadas funciones trigonométricas: seno, coseno, tangente, secante, cosecante, cotangente. Las relaciones por otra parte más conocidas y usadas son el teorema de Pitágoras, la ley de los senos y la ley de los cosenos.

Cálculo: es una rama del análisis y estudia los cocientes incrementales de las funciones y comprende a su vez el cálculo diferencial (proporciona una forma de calcular derivadas y máximos y mínimos de funciones); y el cálculo integral con el cual se pueden hallar áreas y volúmenes limitados por curvas y superficies, para determinar la divergencia o convergencia de una serie infinita de números.

Tradicionalmente, los currículos de ingeniería estudian las siguientes áreas de las matemáticas:

- Cálculo (aritmética, álgebra, geometría, trigonometría)
- Cálculo diferencial e integral
- Álgebra lineal
- Álgebra vectorial
- Ecuaciones diferenciales

Dependiendo de la rama o especialización se incluye el estudio de otros temas de las matemáticas, la mayoría de ellos derivados de las anteriores, por ejemplo: métodos numéricos, matemáticas avanzadas, estadística y probabilidades, matemáticas financieras y otras más.

Además de las áreas anteriores, que tipifican el perfil disciplinar y profesional de un ingeniero, el currículo comprende otras áreas de formación, las cuales se describen a continuación:

Como se mencionó en capítulos anteriores, los currículos de ingeniería, estaban constituidos por el estudio de las áreas que hasta este momento se han abordado en este libro; sin embargo, a partir de los estudios de Trogold y Hardy Cross, las instituciones educativas formadoras de ingenieros comprendieron que la ingeniería no se podía circunscribir al estudio y la aplicación de las ciencias básicas (como lo expresan las diferentes definiciones que se han estudiado), sino que esta contiene otros elementos importantes como el estudio de las ciencias económicas, financieras y administrativas, así como la íntima relación de la ingeniería con las ciencias humanas, por lo cual actualmente se incluyen en los currículos de ingeniería las otras dos trilogías explicadas por Cross (1970, pág.37): "Teoría económica, Finanzas e Ingeniería y Relaciones sociales, industriales e Ingeniería".

Área económico-administrativa

El estudio de las asignaturas de esta área preparan al futuro ingeniero para desempeñarse eficientemente en los niveles directivos y administrativos de cualquier organización, cuando el ingeniero no trabaja en forma independiente, o para crear y administrar su propia empresa.

El estudio de esta área del currículo también es de suma importancia para entender el entorno socioeconómico en el cual aplicará sus conocimientos y competencias profesionales.

En algunas ramas o especialidades, como la ingeniería industrial, la ingeniería de sistemas y la ingeniería administrativa, la mayoría de estas asignaturas hace parte del componente profesional o de aplicación de la ingeniería. Ejemplos de este tipo de asignaturas son:

Ingeniería civil: Economía General, Administración Financiera, Evaluación de Proyectos, Gerencia, Contratación de Obras.

Ingeniería multimedia: Economía y Finanzas, Gestión Empresarial.

Ingeniería en telecomunicaciones: Fundamentos de Administración, Normatividad, Contratación y Legislación.

Ingeniería Mecatrónica: Economía, Análisis Financiero, Ingeniería Económica, Gestión Tecnológica.

Ingeniería industrial: Contabilidad, Costos y Presupuestos, Análisis Financiero, Administración, Economía, Gestión del Talento Humano.

Área humanística

Quizás el componente más importante del currículo de ingeniería, y desafortunadamente al que menos se le presta atención durante la formación profesional del ingeniero, es el componente humanístico.

Es mediante este componente del currículo como se forman e inculcan las actitudes, los principios, los valores y la ética que deben hacer parte de la formación integral de toda persona en cualquier nivel de formación.

Este aspecto lo trata, magistralmente, el ingeniero y escritor Hardy Cross (1970) cuando indica que “El objetivo de la educación es preparar hombres íntegros para una vida plena en un mundo completo [...] Pero decir que un hombre ha sido instruido para ser ingeniero, o médico, o abogado, o educador, o economista, significa que solamente ha sido instruido en forma parcial” (Cross, 1970, p. 20).

En el mapa conceptual de la figura 7.1 cierra el cuadro el componente humanístico, significando que la ingeniería siempre deberá tener como marco de aplicación los aspectos éticos y humanísticos, ya que la ingeniería trabaja para el hombre y con el hombre, es decir, para el beneficio y conveniencia del hombre y de la humanidad en general.

Algunas de las asignaturas de humanidades que se encuentran con más frecuencia en los currículos de ingeniería son, entre otras: Humanidades (Sociología, Antropología, Sociología, Filosofía, arte en todas sus manifestaciones), Ética, Principios y Valores, Principios Constitucionales, Deportes, Idiomas.

Área complementaria

El ingeniero, dependiendo de la rama o especialidad, requiere herramientas que le faciliten la aplicación de los conocimientos en la resolución de problemas propios de cada una de ellas. Dichas herramientas se suministran al estudiante mediante el estudio o entrenamiento en el uso, manejo o aplicación de estas.

Sin embargo, algunas asignaturas que pueden ser herramientas para un ingeniero en su rama específica constituyen o son parte del componente de Ciencias de la ingeniería o del área profesional para otras. Por ejemplo, mientras la asignatura Sistemas y Programación corresponde al área profesional de un ingeniero de sistemas o mecatrónico, en ingenierías como industrial, civil o mecánica solamente se incluyen en los planes de estudio como herramientas que facilitan el estudio y la aplicación de los conocimientos en el desarrollo y el diseño de soluciones de ingeniería, como se dijo. Ejemplos de asignaturas de este tipo, son: Computación, Dibujo, inglés, Expresión Gráfica.

7.7 Formación por competencias

Uno de los propósitos de la educación de un ingeniero es la de formar en él las competencias requeridas para aplicar sus conocimientos, habilidades y destrezas en la solución de problemas propios de su disciplina y su profesión, y garantizarle el éxito profesional durante toda su vida laboral.

7.7.1 Concepto o definición

El concepto de “competencias” ha sido muy discutido y debatido, pues los académicos no se han podido poner de acuerdo en lo que este constituye.

Así por ejemplo, para algunas competencias significa características o habilidades cognitivas, motoras, capacidad de aprendizaje, capacidad analítica, capacidad comunicativa, entre otras, que en concepto de los autores, más que competencias, son cualidades esenciales o deseables en todo ingeniero. Para otros, competencias significa conocimientos, habilidades y destrezas de tipo general, como la

capacidad de diseñar, sintetizar, investigar, deducir, resumir, integrar, entre otras; mientras que para muchos significa la capacidad de “hacer”, comprendiendo incluso la competencia laboral, como ocurre con la definición de competencias ocupacionales de la OIT, citado en Sistema de aseguramiento de la calidad de la educación superior, Revolución educativa, Ministerio de Educación Nacional, República de Colombia 2008, pag.13: “Las competencias ocupacionales incluyen la capacidad de plantear y resolver problemas, la habilidad de representar los requisitos mínimos a través de una variedad de circunstancias y adaptarse a demandas variables; trabajar eficazmente en equipo y anticipar el futuro [...] Un sistema de formación por competencias define claramente lo que la persona debe ser capaz de realizar para desempeñar eficazmente un trabajo”.

Para efectos del presente análisis, se definirán competencias como la capacidad que tiene un individuo para aplicar profesionalmente y en forma ética conocimientos, habilidades y destrezas a la solución de problemas propios de su disciplina, especialidad o de su profesión u oficio.

7.7.2 Componentes

En la tabla 7.1 se desglosa el concepto en tres grandes áreas de formación y además de algunas definiciones, se dan ejemplos de algunos de los conceptos.

Tabla 7.1. Formación por competencias - componentes

Formación por competencias: a través del currículo se pretende impartir los conocimientos fundamentales y los profesionales, así como el desarrollo de las destrezas y habilidades para aplicarlos, además de generar en el estudiante actitudes y cualidades, con miras a prestar un servicio a la sociedad y a la humanidad en general.		
CONOCIMIENTOS: son los hechos, conceptos e información interrelacionada que el individuo aprende.	HABILIDADES Y DESTREZAS: se utilizan para administrar y aplicar el conocimiento.	ACTITUDES Y CUALIDADES: valores, preferencias que influencian la identificación de metas hacia las cuales se dirigen las habilidades y el conocimiento.
Ciencias básicas (física, química, biología y matemática).	Capacidad analítica, capacidad de síntesis, diseño, inventiva, criterio, simulación, experimentación, deducción de conclusiones, computación electrónica, optimización, búsqueda de información, pensamiento, comunicación, trabajo en equipo, aprendizaje autónomo, criterio para toma de decisiones.	Interrogante, objetivo, profesional, de mente abierta, capacidad de superación continua, integridad, escrupulosidad, perseverante, solidario, responsabilidad frente al medio ambiente.
Ciencias básicas aplicadas (Ej: Estática y dinámica, estadística y materiales).		
Ingeniería aplicada, tecnológicas o profesionales (Ej: Estructuras, calidad, electrónica).		
Otros conocimientos (Ej: Humanidades, administración, sistemas, economía).		

Fuente: elaboración propia.

Conocimientos

Además de los conocimientos propios de la disciplina de ingeniería, es decir, las ciencias básicas, el ingeniero estudia las aplicaciones de estas, representadas en el subcomponente denominado Ciencias de la ingeniería. La aplicación de las Ciencias básicas y de las Ciencias de la ingeniería se hace a través de las asignaturas llamadas profesionales, tecnológicas o de aplicación de la ingeniería, que como se dijo, representan la aplicación de la ingeniería a problemas puntuales, normalmente propios de cada rama o especialización.

Habilidades y destrezas

El conocimiento, si no es debidamente aplicado a la solución de los diferentes problemas propios de la ingeniería, no es de ninguna utilidad. Si un ingeniero solamente estudiara la teoría, lo único que se obtendría sería un profesional “ilustrado”, pero carente de la habilidad práctica para resolver problemas con los conocimientos adquiridos durante su formación. Por tanto, es necesario que la formación del ingeniero incluya una muy buena dosis de experimentación, práctica y, si se quiere, de realismo, que es la única manera de adquirir habilidades y destrezas en la aplicación de los conocimientos.

Actitudes y cualidades

Un individuo con excelentes conocimientos y con mucha habilidad y destreza para aplicarlos a la solución de un problema propio de su especialidad, no es más que un excelente técnico. Es la formación humanística en principios, valores, ética, cultura general y estética lo que distingue a un verdadero profesional.

Es interesante observar la coincidencia entre el concepto de formación integral y la trilogía de Trogold y Cross, vista en capítulos anteriores, la cual se recomienda releer.

Figura 7.2. Símil de una mesa y el concepto de competencias



Fuente: elaboración propia.

La capacidad de soporte de la mesa está directamente relacionada con los pilares, que son las patas. Si una de las patas no está fabricada con el material adecuado y la forma apropiada, la mesa no podrá resistir más peso que el que le permita el componente más débil.

De igual manera, en la formación integral y por competencias el ingeniero no estará capacitado para resolver problemas propios de su formación profesional, más allá de lo que el componente de su formación (conocimiento, habilidades, destrezas) más débil se lo permita.

La formación por competencias y la formación integral, por tanto, podrían ser sinónimos o equivalentes, radicando la diferencia en que en el concepto de formación integral los cuatro componentes (conocimientos, habilidades, destrezas, y actitudes) se encuentran en perfecto equilibrio, mientras que en el concepto de competencias se da mayor énfasis a los conocimientos y a la capacidad del individuo para aplicarlos (habilidades y destrezas) en su vida profesional.

7.8 Formación por competencias y el Proyecto Tuning

El proyecto Tuning es una metodología o herramienta construida por las instituciones de educación superior para ser utilizadas por las mismas, concebida y aplicada inicialmente a la educación superior europea en la búsqueda de consensos y acuerdos en el desarrollo de titulaciones fácilmente comparables y homologables. Con el tiempo, al menos su filosofía, se ha venido extendiendo por el mundo para facilitar los intercambios, homologaciones de estudios y titulaciones entre instituciones de educación superior al interior de cada país e inclusive entre países.

El proyecto Tuning trabaja en cuatro grandes áreas, de las cuales este texto toma dos: Competencias Genéricas y Específicas, y Créditos Académicos.

7.8.1 Competencias genéricas

Hay ciertas competencias, como por ejemplo la capacidad de aprender y actualizarse permanentemente, la capacidad de abstracción, análisis y síntesis, que son comunes a todas o casi todas las profesiones, y al interior de las diferentes disciplinas, en este caso la ingeniería.

El proyecto Tuning ha declarado las siguientes competencias genéricas (citado en Ministerio de Educación Nacional, 2007):

- Capacidad de abstracción, análisis y síntesis
- Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica
- Capacidad para organizar y planificar el tiempo
- Responsabilidad social y compromiso ciudadano
- Capacidad de comunicación oral y escrita
- Capacidad de comunicación en un segundo idioma
- Habilidad en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación

- Capacidad de investigación
- Capacidad de aprender y actualizarse permanentemente
- Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas
- Capacidad crítica y autocrítica
- Capacidad para actuar en nuevas situaciones
- Capacidad creativa
- Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas
- Capacidad para tomar decisiones
- Capacidad de trabajo en equipo
- Capacidad de motivar y conducir hacia metas comunes
- Compromiso con la preservación del medio ambiente
- Compromiso con su medio cultural
- Valoración y respeto de la diversidad multicultural
- Habilidad para trabajar en contextos internacionales
- Habilidad para trabajar en forma autónoma
- Capacidad para formular y gestionar proyectos
- Compromiso ético
- Compromiso con la calidad.

Aunque para el ingeniero todas las competencias mencionadas son importantes, se han seleccionado algunas de ellas para profundizar en su análisis, por considerarse las más relevantes en el contexto moderno en el cual se deben desenvolver los ingenieros actuales y futuros, durante muchos años, antes de que estas competencias cambien radicalmente.

En el libro *Workplace 2000* (Boyett y Conn, 1991) se cita un estudio realizado en 1988 por el Departamento de Trabajo y la Sociedad para el Entrenamiento y Desarrollo Americano, en el cual se mencionan siete competencias (*Skills*, en inglés), las cuales, a pesar de los años que han pasado desde que se llevó a cabo el estudio, continúan vigentes en la actualidad.

Competencias mínimas o básicas T4: Se refieren a las competencias mínimas que cualquier profesional debe adquirir si desea ser admitido en el nuevo contexto del mundo laboral, así como para poder desarrollar con éxito sus labores profesionales.

Parecería que estas competencias son obvias en cualquier profesional y, más aún, en un ingeniero, pero la práctica tanto académica como laboral ha demostrado que, la mayoría de las veces, es de lo que más carecen los profesionales modernos.

No es suficiente para un ingeniero actual, y del mañana, saber cómo leer un simple libro, artículos o un manual de instrucciones, sino que también debe estar en capacidad de leer e interpretar correctamente gráficas, cuadros y diagramas.

El ingeniero debe, además, tener la habilidad para adquirir información rápidamente y seleccionar la información verdaderamente significativa y relevante,

aprendiendo a “navegar” y a “bucear” por el inmenso mar de información, cada día más amplio y profundo, que se encuentra a disposición de la humanidad, lo cual trae muchas ventajas pero también muchos problemas, pues por lo amplio y profundo de la información disponible, el profesional novato corre el riesgo de naufragar en las “turbulencias” de este y ahogarse en dicho mar de información.

El contexto laboral y profesional actual requiere profesionales que puedan leer rápidamente, pero también que puedan comprender y digerir el complejo y abundante material disponible. Escribir ya no es suficiente; se requiere saber escribir utilizando las reglas gramaticales y de la sintaxis para preparar documentos de negocios claros, concisos, exactos, específicos, lógicos y fáciles de entender y usar por parte de las personas a las cuales van dirigidos los textos.

En cuanto a las matemáticas se refiere, cada vez es más importante la parte conceptual, y menos importante la computacional o procedimental. No es tan importante saber sumar, restar, multiplicar y dividir una serie de números manualmente, que saber cómo obtener esos cálculos con el computador, pero primordialmente saber cómo interpretar los resultados de estos cálculos. Lógicamente, en el caso de los ingenieros, no basta con dominar la matemática básica, sino que es necesario adquirir conocimientos y experticia en el manejo de matemáticas superiores como el cálculo diferencial e integral, el álgebra vectorial, las ecuaciones diferenciales y en la actualidad, la estadística y los métodos numéricos, entre otras, como se explicó en capítulos previos.

Aprender a aprender

En esencia, esta competencia significa que los profesionales de hoy deberán adquirir el conocimiento *autónomamente*, es decir él es el que decide, qué aprender, cómo adquirir el conocimiento, dónde, y en qué momento.

Una gran falla de la metodología actual del proceso enseñanza-aprendizaje radica en el hecho de que las metodologías han sido diseñadas para “el estudiante promedio”; sin embargo, la mayoría aprende bajo condiciones y en formas diferentes. Algunos aprenden mejor con palabras, otros, con dibujos e imágenes, sonidos y símbolos; otros prefieren el estudio en grupo, mientras que algunos lo hacen mejor individualmente. Muchas otras personas aprenden mejor escuchando una conferencia, una charla o una cátedra magistral.

Otra razón importante que explica la necesidad de esta competencia en el ingeniero está relacionada con los permanentes y continuos cambios tecnológicos, que implican la adaptación a nuevas tecnologías, así como la adquisición de nuevas competencias y habilidades, so pena de quedarse obsoleto profesionalmente y, en especial, sin acceso a las oportunidades laborales.

Las materias relacionadas con la ciencia pura se podrían denominar “duras”, pues sus bases teóricas, conceptos y métodos de estudio y aprendizaje cambian en forma muy lenta (los avances en las ciencias se producen a veces después de muchas décadas desde sus primeros descubrimientos), no obstante, cuando se habla de tecnología, se hace referencia a aspectos sumamente volátiles (materias blandas del currículo), cuyos conceptos, teorías y formas de hacer las cosas cambian con una rapidez y aceleración asombrosa, creando la necesidad de desaprender conceptos

obsoletos y adquirir y apropiarse de los nuevos avances científicos y tecnológico, lo cual se consigue con la competencia de “aprender a aprender” autónomamente; de ahí la necesidad de volver a una formación muy sólida basada en las ciencias matemáticas y naturales, para el caso de los ingenieros.

Competencias comunicativas

Los ingenieros de hoy y del mañana trabajan y trabajarán en equipos cada vez más interdisciplinarios, lo cual requiere una gran habilidad de comunicación entre sus miembros, por lo que deben adquirir la habilidad para comunicar sus ideas y suministrar información a otros rápida y efectivamente. La habilidad de escuchar es muy importante si se quiere adquirir de otras personas la información requerida para desarrollar el trabajo, solucionar un problema y, en resumen, para poder trabajar efectivamente con otras personas relacionadas con su trabajo o profesión. Por otra parte para un ingeniero no basta con crear y diseñar excelentes soluciones ingenieriles, sino que también es preciso que sepa “vender” sus proyectos y propuestas, lo cual solamente se logra con una excelente capacidad comunicativa.

Gerenciamiento personal

Se quiere significar con este término la capacidad para el trabajo autónomo y la toma de decisiones basadas en argumentos personales. Ya que la “motivación intrínseca” tiene mucho que ver con el éxito profesional y en el trabajo, el ingeniero debe buscar y saber lo que le resulta placentero y lo que no le gusta de su profesión o trabajo, con una prospectiva de lo que desea como su proyecto de vida, planeando su carrera de acuerdo con las metas que se ha propuesto conseguir.

Adaptabilidad y trabajo en equipo

A diferencia de lo que sucedía en el pasado, la responsabilidad por la solución de un problema ya no recae en las directivas de la empresa, sino en grupos especializados en resolución de problemas y en el trabajador, es decir, en el ingeniero en particular.

El ingeniero actual debe ser de mente abierta, pensamiento creativo, analista de problemas y tener mucha habilidad en la forma de aproximarse a la solución de los estos. Debido a que mucha de la actividad que realiza el ingeniero como solucionador de problemas se lleva a cabo en grupo o en equipos de trabajo, los ingenieros de hoy requieren competencias y experiencia trabajando en equipos interdisciplinarios.

Los ingenieros actuales requieren saber psicología, para entender cómo afecta su comportamiento a otras personas y, a su vez, tener la habilidad para negociar, resolver conflictos, manejar el estrés, saber manejar los comportamientos no deseables de las otras personas, compartir responsabilidades y construir excelentes relaciones de trabajo con compañeros, colegas, subalternos y jefes.

En general, la competencia para trabajar en equipo está íntimamente relacionada con el concepto moderno de Ingeniería concurrente, del cual se hablará en el último capítulo de este texto.

Competencias específicas

Son aquellas que se relacionan directamente con áreas específicas de una disciplina o profesión, y que confieren identidad y consistencia a un programa académico específico. Las competencias específicas cambian de disciplina a disciplina y, en el caso de la ingeniería, de una rama a otra.

El proyecto Tuning determina competencias específicas por ramas de la ingeniería; así, y a manera de ejemplo, a continuación se presenta la relación que el documento Tuning presenta como las competencias requeridas o deseables de un ingeniero civil.

No obstante, los autores hacen una clara distinción entre la ingeniería como disciplina y la rama de la ingeniería, ya que esta última constituye una aplicación específica de la ingeniería como disciplina. Como en el texto siempre se ha hecho referencia a la ingeniería como disciplina, y no específicamente a sus diferentes ramas o aplicaciones, salvo en el capítulo que trata de las ramas y especialidades, una vez hecho un análisis minucioso de las competencias relacionadas en el documento Tuning para la ingeniería civil, se encontró que en realidad la concepción general de competencia específica es básicamente igual para la ingeniería civil o para otra rama cualquiera como la mecánica, electrónica, agrícola, sistemas, industrial, petróleos, eléctrica, química, mecatrónica, etc.

El artificio para convertir las competencias específicas de la rama civil en competencias específicas disciplinarias o aplicables a todas las ramas de la ingeniería, consiste en sustituir, donde sea necesario y pertinente, la palabra *civil*, por mecánica, eléctrica, sistemas, mecatrónica, industrial, etc.; y la palabra *obras* por estructuras, artefactos, dispositivos o procesos. No obstante, se recomienda al estudiante hacer el ejercicio con la rama escogida en su formación como ingeniero.

A continuación se relacionan algunas competencias específicas acordadas en el proyecto Tuning para los ingenieros civiles. Las palabras a reemplazar, según sea pertinente, se resaltan en *cursiva* y se escriben dentro de paréntesis:

- Aplicar conocimientos de las ciencias básicas y ciencias de ingeniería (*civil*)
- Identificar, evaluar e implementar las tecnologías más apropiadas para su contexto
- Crear, innovar y emprender para contribuir al desarrollo tecnológico
- Concebir, analizar, proyectar y diseñar (*obras*) de ingeniería (*civil*)
- Planificar y programar (*obras*) y servicios de ingeniería (*civil*)
- Construir, supervisar, inspeccionar y evaluar (*obras*) de ingeniería (*civil*)
- Operar, mantener y rehabilitar (*obras*) de ingeniería (*civil*)
- Evaluar el impacto ambiental y social (*de las obras civiles*)
- Modelar y simular sistemas y procesos de ingeniería (*civil*)
- Dirigir y liderar recursos humanos
- Administrar los recursos materiales y equipos
- Comprender y asociar los conceptos legales, económicos y financieros

para la toma de decisiones, gestión de proyectos y (**obra**) de ingeniería (**civil**)

- Capacidad de abstracción espacial y representación gráfica
- Proponer soluciones que contribuyan al desarrollo sostenible
- Prevenir y evaluar los riesgos en las (**obras**) de ingeniería (**civil**)
- Manejar e interpretar información de campo
- Utilizar la tecnología de la información, *software* y herramientas para la ingeniería (**civil**)
- Interactuar con grupos multidisciplinarios y dar soluciones integrales de ingeniería (**civil**)
- Emplear técnicas de control de calidad en los materiales y servicios de ingeniería (**civil**)

7.8.2 Formación integral

El modelo o mapa conceptual del currículo presentado en la figura 7.1 se cierra en la parte superior con el concepto “Formación integral”, lo cual incluye a su vez las competencias, es decir, los conocimientos, destrezas, habilidades y actitudes, para significar que en la formación y la educación del ingeniero no es suficiente su capacitación en el uso de la ciencia y la tecnología, es decir, entrenarlo o ejercitarlo en la adquisición de conocimientos, habilidades y destrezas, sino que también es fundamental la inculcación de principios, valores éticos.

Figura 7.3. Formación integral

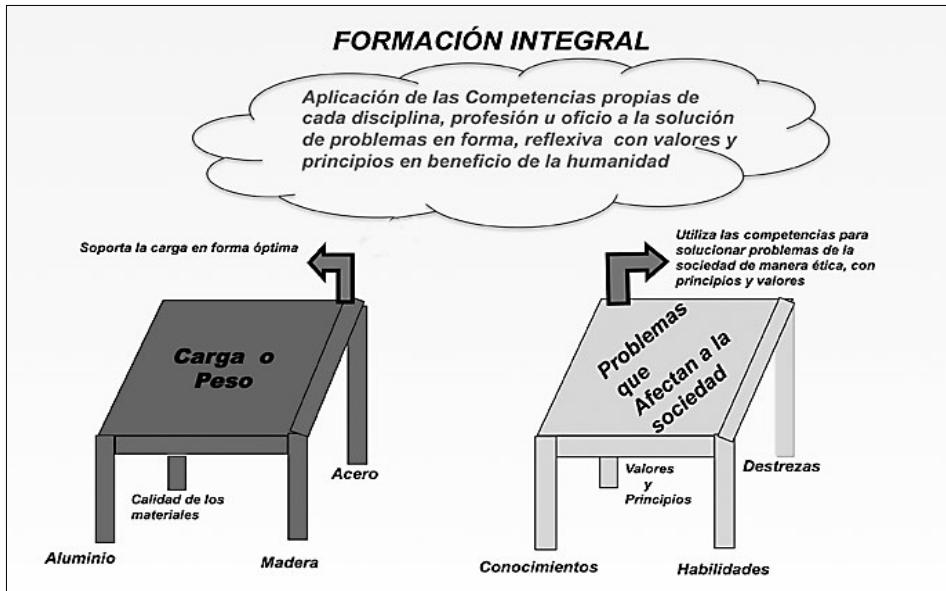


Fuente: elaboración propia.

En la parte superior de la figura 7.3 se coloca la definición de ingeniería, para mostrar la relación directa entre esta y el currículo.

En la figuras 7.4 se hace un símil entre el diseño y la construcción de una mesa y la formación integral de un ingeniero, lo cual le ayudará al estudiante a comprender mejor los conceptos estudiados.

Figura 7.4 Símil de una mesa y el concepto de formación integral



Fuente: elaboración propia.

7.8.3 El Sistema de créditos académicos T3

El diseño del currículo de formación en ingeniería, en especial el plan de estudios, está estructurado en créditos académicos en la mayoría de las universidades del mundo, por lo cual es muy importante que el estudiante de primer nivel comprenda muy bien lo que esto significa, de tal manera que entienda la nueva metodología del proceso aprendizaje-enseñanza, al cual se va a enfrentar durante el desarrollo de su formación como ingeniero, así como el concepto de movilidad entre instituciones que le facilitara por ejemplo comenzar una carrera en una institución y terminarla en otra, e inclusive cambiar de una especialidad a otra con el menor traumatismo.

Este sistema, es una adaptación del modelo sugerido por el Proyecto Tuning como una metodología o herramienta construida para las instituciones de educación superior, para ser utilizada en el diseño de sus currículos y planes de estudio en la búsqueda de consensos y acuerdos en el desarrollo de titulaciones fácilmente comparables y homologables.

Qué es un sistema de créditos académicos

Un sistema de formación por créditos académicos consiste en clasificar las actividades de aprendizaje y racionalizar el tiempo que el estudiante debe dedicar a ellas. Las actividades se clasifican en: en actividades con acompañamiento directo del profesor y trabajo independiente del estudiante, ya sea con acompañamiento o totalmente autónomo.

La filosofía general del sistema radica en el cambio del papel del profesor, que pasa de ser un transmisor de conocimientos para convertirse en un facilitador y acompañante del estudiante en su aprendizaje autónomo.

Otro punto de vista del significado y los propósitos del sistema de créditos académicos, se puede observar en la siguiente afirmación de Bill Gates (2000, Pág.166, 167), en su libro *Los negocios en la era digital*: “Los detalles concretos del currículo no son tan importantes como adquirir la costumbre de pensar y analizar. La destreza que hoy adquiere (el estudiante) en la utilización de Internet (por ejemplo), le servirá para **seguir** aprendiendo toda la vida”. El resaltado en negrita es de los autores.

Desde el punto de vista del Proyecto Tuning, el sistema de créditos complementa la formación por competencias, relacionándolo con el impacto que tiene el trabajo del estudiante y su conexión con el tiempo resultante medido en créditos académicos.

Existe, además, una relación directa entre el sistema de créditos académicos, los enfoques de enseñanza-aprendizaje y la evaluación académica del estudiante con el diseño global del programa de estudio.

El cálculo de los créditos se basa en el trabajo del estudiante, la relación entre el trabajo del estudiante, los métodos de enseñanza y los resultados del aprendizaje.

Objetivos o propósitos del sistema de créditos académicos

Objetivos generales

- Racionalizar el tiempo que el estudiante debe dedicar a sus actividades académicas, incluyendo las de tipo presencial (aula de clase, laboratorio, taller, prácticas de campo), así como las de tipo independiente (tareas, ejercicios fuera de clase, realización de proyectos).
- Ser un medio unificado de valoración del trabajo académico del estudiante, que permita la homologación de sus estudios y su movilidad entre programas de una misma institución o de otras, a nivel regional, nacional e internacional.

Objetivos específicos

- Privilegiar la innovación pedagógica y didáctica, obligando al docente a convertirse en un facilitador de los procesos de aprendizaje y no en un transmisor y consumidor de conocimientos.
- Incentivar y motivar el aprendizaje autónomo y significativo en el estudiante, para que “aprenda a aprender” por su propia cuenta.
- Dar flexibilidad al currículo para facilitar al estudiante los siguientes aspectos:
 - a) Propiciar el aprendizaje al ritmo individual del estudiante, dependiendo de la disponibilidad de tiempo y de sus habilidades de aprendizaje
 - b) Facilitar al estudiante la planeación y programación del desarrollo de su carrera, de acuerdo con la disponibilidad de sus recursos económicos, de tiempo y de lugar
 - c) Buscar que el estudiante sea el artífice de su propia formación, al menos en la parte ocupacional o formativa del currículo
 - d) Facilitar la guía individual de los estudiantes por medio de las consejerías y monitorías estudiantiles
 - e) Reducir al máximo la presencialidad del estudiante en el aula de clase, pero incrementando su presencia activa en los demás escenarios tales como: laboratorios, bibliotecas, salas de Internet, conferencias, visitas de campo etc.

Determinación del crédito académico

Para el cálculo de los créditos, se parte de la premisa de que el estudiante es simplemente un trabajador intelectual, como lo afirma Bill Gates (2000): “El estudiante es nuestro próximo trabajador superiormente calificado. Ahora su empleo consiste en aprender, explorar, descubrir relaciones inéditas entre las cosas” Pág.166.

El siguiente paso, consiste en clasificar las asignaturas o cursos, relacionándolos con los diferentes escenarios de aprendizaje, el modelo pedagógico específico y los medios didácticos para su desarrollo, de donde resultan los siguientes tipos de asignaturas o cursos:

Cursos teóricos: son aquellos donde predomina el componente teórico y cuya metodología y didáctica está más relacionada con la cátedra magistral y, en general, con la comprensión y la asimilación de conocimientos, independientemente de su aplicación práctica.

Cursos prácticos: son asignaturas o cursos cuyo componente principal radica en la aplicación práctica y la experimentación real de los conocimientos estudiados en clases teóricas.

Cursos teórico-prácticos: estos cursos están constituidos por una combinación de los dos componentes, teóricos y prácticos, en una forma perfectamente balanceada o con proporciones diferentes dependiendo de las características de la asignatura.

Por otra parte, dado que la dedicación máxima semanal promedio de un estudiante universitario equivale al número máximo de horas de trabajo semanal de un trabajador (48 horas por semana para el caso colombiano), la expresión matemática para el cálculo del crédito es la siguiente:

**Un crédito = 1 hora presencial + 2 horas de trabajo independiente
(equivalente a 3 horas de trabajo académico por semana)**

Ejemplos :

Álgebra lineal (teórica) :

$$\frac{(3 \text{ h presenciales} + 6 \text{ h independiente}) * 16 \text{ semanas / semestre}}{48 \text{ h}} = 3 \text{ créditos / semestre}$$

Laboratorio de física (práctica) :

$$\frac{(2 \text{ h presenciales} + 0 \text{ h independiente}) * 16 \text{ semanas / semestre}}{48 \text{ h}} = 1 \text{ créditos / semestre}$$

Tecnología II - Procesos metalmecánicos (teórico / práctica) :

$$\frac{(3 \text{ h presenciales} + 2 \text{ h independiente}) * 16 \text{ semanas / semestre}}{48 \text{ h}} = 2 \text{ créditos / semestre}$$

En las metodologías de educación a distancia y virtual, el componente “presencial” tiene su equivalente en el contacto directo y obligatorio que el estudiante debe realizar con el tutor de la asignatura respectiva, durante cada uno de los períodos académicos correspondientes.

Es importante resaltar que en la metodología a distancia el componente principal del crédito académico, es decir el trabajo independiente, está a cargo o es responsabilidad de cada estudiante.

Qué mide el crédito académico

El crédito académico mide el tiempo que un estudiante “promedio” debe dedicar semanal, mensual, anualmente, o en determinado periodo de tiempo, a una asignatura o actividad de aprendizaje, para lograr con un mínimo aceptable de calidad los objetivos propuestos en la asignatura o actividad.

En la tabla 7.2, se relacionan las actividades de aprendizaje, que son medidas en unidades de créditos académicos.

Tabla 7.2 Componentes del crédito académico

El crédito académico en términos generales, mide el tiempo que un estudiante promedio debería dedicar para dar cumplimiento a las metas de aprendizaje:		
TIEMPO PRESENCIAL		TRABAJO INDEPENDIENTE
TRABAJO PRESENCIAL CON ACOMPAÑAMIENTO DIRECTO DEL PROFESOR	TRABAJO DIRIGIDO CON O SIN ACOMPAÑAMIENTO DIRECTO O INDIRECTO DEL PROFESOR	
► CLASES EN EL AULA	► PRACTICAS DE CAMPO	► TAREAS
► EJERCICIOS EN CLASE	► VISITA A OBRAS O EMPRESAS	► EJERCICIOS Y PRÁCTICAS
► PRÁCTICAS DE LABORATORIO	► CONFERENCIAS	► PROYECTOS DE CURSO
► PRÁCTICAS DE TALLER	► INVESTIGACIÓN	► COMPLEMENTACIÓN Y PROFUNDIZACIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS
► EJERCICIOS DE GRUPO EN CLASE	► PROYECTO DE GRADO	► PREPARACIÓN PARA SOMETERSE A LAS EVALUACIONES

Fuente: elaboración propia.

Tipos de créditos

Para aplicar las directrices anotadas, el currículo de los programas contempla tres tipos de créditos:

Obligatorios: son aquellos que corresponden a cursos prescritos por el programa respectivo, sin posibilidad de escogencia por parte del estudiante.

Parcialmente libres: son aquellos que se cumplen cuando el estudiante puede escoger entre un grupo de cursos establecidos por el programa y ofrecidos por los diferentes departamentos académicos de la institución.

Libres: aquellos que corresponden a cursos relacionados y no relacionados con la profesión, que el estudiante puede escoger libremente, a su entera discreción, y el cual puede ser cursado en la misma institución o en otra, siempre y cuando esta esté plenamente reconocida y sea del mismo nivel académico en el cual esté oficialmente matriculado el estudiante.

7.8.4 Momentos de aprendizaje

Como se dijo, en el antiguo modelo tanto la responsabilidad del aprendizaje, como la carga académica, recaían principalmente en el profesor, convirtiendo al alumno en algo así como un “recipiente” que era necesario llenar con conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes. En el sistema de créditos, por el contrario, el docente solamente es un facilitador, y la responsabilidad por el aprendizaje autónomo recae en el estudiante en la mayor parte del proceso.

El entendimiento de los distintos “momentos” del aprendizaje es de vital importancia para comprender y asimilar el concepto o sistema de créditos, como estrategia pedagógica y didáctica. En las figuras 7.5, 7.6 y 7.7, se pueden observar dichos momentos, así como el papel que desempeña tanto el profesor como el estudiante en cada uno de ellos.

Figura 7.5 Preclase o trabajo independiente.

1. Preclase - Trabajo independiente

El estudiante repasa o adquiere el conocimiento previo, requerido para comprender la unidad. ejemplo: factorización y sistemas de ecuaciones e inecuaciones. Conocimientos previos: concepto de número, definición de ecuaciones e inecuaciones.

El estudiante estudia por su cuenta y por adelantado la unidad o el módulo respectivo, en los libros, material de clase que suministra el profesor, Internet o cualquier otra fuente de información.

Fuente: elaboración propia

Figura 7.6. Clase o trabajo con acompañamiento

2. Clase

Presencial, a cargo del profesor, pero con la participación activa del estudiante. Ampliación del tema y resolución de dudas sobre lo estudiado previamente.

- Profundización
- Ejemplos
- Talleres
- Ejercicios dirigidos
- Reflexión sobre aplicaciones
- Evaluación formativa y sumativa
- Retroalimentación
- Foros

Fuente: elaboración propia

Figura 7.7. Posclase o trabajo con o sin acompañamiento

3. Posclase

Trabajo independiente, con o sin acompañamiento.

- Profundización
- Investigación
- Tareas y ejercicios
- Proyectos
- Papers
- Estudio autónomo para
- Afianzar el tema visto en clase
- Estudio para previas y quices
- Repaso para exámenes parciales o finales.

Fuente: elaboración propia

Finalmente, si se combinan todos los conceptos estudiados en este capítulo, tales como componentes de un plan de estudios, perfiles profesional y ocupacional, formación por competencias y créditos académicos, se habrá diseñado todo un sistema de enseñanza-aprendizaje denominado “currículo”, el cual es utilizado para formar ingenieros competentes e integrales que le sirvan a la sociedad para mejorar cada día las condiciones de vida de todos sus miembros.

Sin embargo, es necesario aclarar, que aquí solamente se presenta un breve resumen o síntesis, pues el diseño de un currículo es un tema muy complejo, que requiere de muchos participantes y mucha investigación.

7.9 Los estudios de posgrado en ingeniería

En apariencia, este tema no debería formar parte de un texto dirigido especialmente a estudiantes de primer nivel, pero como se dijo en los apartados introductorios, el texto también es muy valioso para los docentes, de todos los niveles, de un programa de ingeniería, ingenieros que recién terminan sus estudios de pregrado y para aquellos estudiantes que desde los primeros semestres ya están pensando en realizar estudios posgraduales como especializaciones y maestrías. Por otra parte, una deficiencia que se encuentra en la mayoría de los textos de este tipo, es que solamente le muestran al estudiante y futuro profesional la parte correspondiente al pregrado, cuando lo lógico es orientarlo, no solamente sobre su carrera, sino también sobre su proyecto de vida profesional. Es esta la razón por la cual se considera muy importante incluir este capítulo.

Los estudios de posgrado en ingeniería son relativamente nuevos. Hasta hace algunos años, no más de cincuenta, para los egresados de una carrera de ingeniería era suficiente adelantar estudios de pregrado, para saber casi todo lo que se requería en una rama cualquiera de la ingeniería. Así, por ejemplo, los ingenieros civiles, sabían de todas las áreas como estructuras, saneamiento ambiental, vías y transportes, construcción de túneles, puentes y edificios; un ingeniero eléctrico dominaba las áreas de generación, distribución y aplicación de la energía eléctrica; un ingeniero industrial tenía competencias aceptables en las áreas de calidad, planeación de la producción, métodos, etc. y, en general, en todo lo que hoy constituye una especialización e incluso una rama independiente de la ingeniería; no obstante, este tipo de ingeniero sabía de muchas cosas, pero con muy poca profundidad.

Hoy en día, con los acelerados descubrimientos en la ciencia y los avanzados desarrollos tecnológicos, ya no es posible que el currículo o el plan de estudios de cualquiera de las ramas de la ingeniería, por completos que sean, puedan contemplar en profundidad los diferentes temas, áreas o asignaturas de una disciplina o rama de la ingeniería.

Una de las fortalezas, si no la más importante, de los estudios de posgrado, es que los estudiantes profundizan en un tema por el cual muestran un interés particular, en lugar de malgastar sus energías de manera superficial en muchos asuntos, como tantas veces se pretende hacer con los estudios superiores. Sin embargo, ello no significa que no se deban incluir y tratar en un plan de estudios de pregrado todos los variados conocimientos propios de la disciplina, rama o especialidad.

Cuando se enseña de manera poco profunda, se forman individuos que aparentemente saben de muchas cosas, tratan infinidad de problemas en forma teórica, pero no están verdaderamente capacitados para resolver en profundidad los problemas que ellos han teorizado. Cuando los currículos y los planes de estudio son demasiado complejos y recargados con muchos y diferentes conocimientos, se puede llegar a producir profesionales eruditos e ilustrados, pero no competentes.

Es importante resaltar, por tanto, que los estudios de posgrado no son en ningún caso sustitutos de la formación profesional de pregrado, y que estos simplemente complementan a los primeros, además de ser anticipaciones o introducciones a los verdaderos trabajos profesionales reales y prácticos.

7.9.1 Reflexiones y paradigmas sobre los estudios de posgrado

Así como existen muchos paradigmas sobre lo que es ingeniería, como se anotó en apartados anteriores, también existen paradigmas y preconceptos sobre los estudios de posgrado que es preciso analizar, explicar, aceptar o desvirtuar, ya que la falta de conocimiento o comprensión de lo que significan estos estudios puede conducir al recién graduado de un pregrado de ingeniería a tomar decisiones erradas sobre la continuación de sus estudios superiores.

Existe una gran diferencia entre un estudiante de pregrado y uno de posgrado. Mientras que los estudiantes de pregrado requieren mucha guía durante sus estudios, los posgraduados deben orientarse por sí mismos, y la labor del profesor consiste en animarlos a que continúen avanzando en sus profesiones con estudios cada vez más autónomos. Es importante que los egresados de un pregrado de una institución de educación superior vuelvan de vez en cuando a las aulas para actualizarse, debido a los cambios acelerados en la ciencia y la tecnología. Aquí se reitera la necesidad e importancia del aprendizaje autónomo y continuo y el aprendizaje durante toda la vida, o al menos durante la vida laboral.

Una de las metas de los estudios de posgrado consiste en entrenar al futuro profesional posgraduado para resolver, en el ejercicio práctico, y por sí solo, todos los problemas que no hubiese estado en capacidad de resolver únicamente con los conocimientos y el entrenamiento que proporciona un pregrado. Los estudios de posgrado son una forma de incentivar a los egresados a volver a su alma máter para perfeccionarse en aquella rama a la que ya están dedicados de lleno y a su gusto. No obstante, no es recomendable que un estudiante recién graduado de una profesión continúe de inmediato con estudios de posgrado, sin antes haber vivido la realidad del ejercicio de su carrera, y haber afianzado su gusto e inclinación por un área en especial.

Un problema difícil de resolver por parte de los graduados de pregrado que desean continuar sus estudios posgraduales, es definir el tipo de posgrado a cursar. En las especializaciones normalmente se profundiza en un tema muy específico, mientras que en las maestrías los estudios se realizan no solamente con más profundidad, sino sobre problemáticas más amplias. Por otra parte, en los doctorados, antes que perfeccionar profesionalmente a un graduado de pregrado, lo que se pretende es formarlo como investigador. Muchos de los que siguen estudios doctorales tienen planeado ejercer la profesión como docentes,

pero aquí hay un gran error conceptual, pues quien va a ejercer como profesor de ingeniería necesita haber sido entrenado no solamente como ingeniero, sino también como educador.

Aunque es recomendable que los graduados de ingeniería continúen su formación, avanzando a los niveles de especialización, maestría y doctorado, en la práctica, debido a lo acelerado de los cambios en la tecnología, más que en la ciencia, este tipo de estudios se constituye en una formación rígida que, muchas veces, cuando el estudiante termina sus estudios posgraduales, los conocimientos y competencias adquiridos ya son obsoletos.

De aquí que los llamados curso libres, diplomados y de actualización se hayan convertido en una verdadera y práctica solución a la problemática de mantenerse actualizado. Estos cursos son, además, muy flexibles y la mayoría de las veces se pueden cursar vía Internet; asimismo, están más relacionados con las necesidades inmediatas del profesional, según la labor que este se encuentre desempeñando y el área en la que se especializó.

7.9.2 Los trabajos de grado

En tiempos pasados, todos los ingenieros obtenían su grado profesional presentando un trabajo de grado, un proyecto o una tesis. En la actualidad, en la mayoría de los países e instituciones universitarias se le da la opción al estudiante de pregrado para que obtenga su grado profesional realizando una pasantía en una empresa, cursando un diplomado de entre 100 y 130 horas, o actuando como auxiliar de investigación de un investigador o grupo de investigación, en reemplazo del trabajo o proyecto de grado.

Aunque cada una de estas modalidades tiene sus ventajas para el futuro egresado, sigue siendo la opción del trabajo o proyecto de grado la mejor, pues le proporciona al estudiante que ha culminado sus estudios la oportunidad para “articular”, en un proyecto o trabajo, todos los conocimientos aprendidos durante el desarrollo de sus estudios de pregrado, adquiridos en forma desarticulada. En muchas instituciones todavía se dictan contenidos de asignaturas de manera descontextualizada, sin mostrarle al estudiante la conexión y la relación e interrelación de todas las asignaturas cursadas, olvidando el verdadero objetivo del currículo, como el de desarrollar competencias profesionales (capacidad para utilizar los conocimientos, habilidades y destrezas en la solución de problemas propios de su disciplina o especialización) y formar al futuro ingeniero integralmente.

Partiendo de la base de que el estudiante escoja como opción el trabajo o el proyecto de grado, es importante hacerle algunas recomendaciones para facilitarle conseguir el propósito que persigue con la realización de estos.

El tema escogido debe ser, además de útil, de interés para el estudiante, es decir, no se le deben imponer temas con los cuales no se siente a gusto; el éxito de un profesional, y especialmente de un investigador, es que trabaja en lo que le gusta o investiga en lo que es de su interés. Asimismo, es imperioso que el estudiante demuestre que es capaz de usar las herramientas requeridas para hacer el tipo de trabajo seleccionado. Un trabajo, proyecto o tesis se escribe como parte

del entrenamiento del futuro profesional, y no para cumplir un simple requisito y olvidarla después en las estanterías o bibliotecas de las instituciones, donde nadie las consulta o a nadie le interesan.

El proyecto o tesis que se escoja como opción de grado debe intentar darle solución a un problema, necesidad o deseo real, y no ser utilizado para justificar sus cálculos o procedimientos o, lo que es peor, inventar el problema para justificar el proyecto(inventar la necesidad, para justificar la utilización de la herramienta).

La metodología general que se sigue en el desarrollo de un trabajo de grado, a nivel de pregrado, es muy similar a la que se describe en el siguiente capítulo (El enfoque Ingenieril), razón por la cual no se profundizará más sobre este aspecto.

7.9.3 Dónde trabaja el ingeniero del siglo XXI

Las empresas del siglo XXI, a diferencia de las del siglo XX hacia atrás, son cada día más “planas” y “delgadas” (*Flatter and leaner*, en inglés) con el objeto de reducir los costos operativos y globales —el llamado ciclo de desarrollo del producto— haciendo la empresa más flexible. Mucho del trabajo rutinario de adquisición, procesamiento e incluso parte del análisis de la información, es realizado por *software* inteligente de computación, y relegado a los niveles operativos y técnicos. Es un gran error lo que está sucediendo con la formación de los nuevos ingenieros, cuando se les vende la idea de que la ingeniería se reduce al manejo de *software* y de sistemas computacionales, y que lo único que el ingeniero debe aprender es cómo manejar eficientemente estos sistemas.

Con la reducción y el aplanamiento de las organizaciones, los cargos administrativos de supervisión, dirección y gerencia también van desapareciendo, con lo cual el ascenso al interior de las organizaciones es cada vez más difícil. Las grandes empresas, por su parte, se están reestructurando en unidades de negocio más pequeñas, unidades que a diferencia de los antiguos departamentos o divisiones, forman en sí una empresa dentro de la empresa.

La cobertura en la educación superior avanza en todos los países, en especial en los países en vía de desarrollo, a pasos agigantados. En las universidades e instituciones de educación superior ya no se gradúan, como antes, doscientos o trescientos profesionales anuales de una especialidad, por ejemplo de ingeniería civil, química, electrónica. Por el contrario, las instituciones de educación superior, al menos en el caso colombiano y muchos otros países desarrollados o en vías de desarrollo, entregan al mercado laboral anualmente entre diez a quince veces más profesionales; además, las expectativas de vida y de ser laboralmente productivo han aumentado considerablemente y, por ende, la oferta de profesionales, mientras que la oferta laboral en las grandes empresas crece muy por debajo de la oferta de profesionales, generándose año a año un gran excedente de recién egresados que no consiguen un trabajo digno, estable y acorde con su formación académica.

Tiempo atrás, un trabajador, en este caso un ingeniero, recién egresaba de la institución educativa no solamente se vinculaba en forma inmediata laboralmente,

sino que también hacía carrera dentro de la organización, prácticamente para toda su vida laboral. Cambiar de empresa era algo que no estaba en los planes del nuevo profesional.

Todo lo anterior sugiere que el proyecto de vida de un estudiante de ingeniería actual este cambiando a un enfoque, no hacia la empleabilidad, sino a crear su propia empresa, generando su propio trabajo y contribuyendo a mejorar la oferta laboral para otras personas. Los nuevos currículos están contribuyendo, a formar no solo buenos ingenieros, sino también ingenieros-empresarios, capacitados para crear, formar, dirigir y operar su propia empresa.

Para las empresas es ahora más importante que sus trabajadores sean flexibles y que puedan adaptarse fácilmente a los cambios tecnológicos, además de poder desempeñarse en diferentes cargos. Esta flexibilidad solo se puede conseguir con una formación muy sólida en las bases y fundamentos de la profesión, es decir, en los núcleos y las asignaturas científicas y disciplinarias, llamadas "duras" (cambian muy lentamente en el transcurso de los años), que además son la base y el fundamento de la tecnología y, por su puesto, de la ingeniería; y menos en las de tipo profesional y ocupacional, como son las asignaturas de tipo técnico y tecnológico (asignaturas *software*), que cambian continuamente pero en las cuales es fácil actualizarse, ya sea al interior de las empresas, o mediante cursos cortos de educación continua.

Por otra parte, el ingeniero que trabaja solo, en forma aislada, y que resuelve la totalidad de los elementos de un problema, ha desaparecido paulatinamente. El nuevo escenario y el contexto laboral están constituidos por equipos disciplinarios, interdisciplinarios y transdisciplinarios, lo que ratifica lo afirmado en el apartado relacionado con las competencias, en el sentido de que una de las principales competencias que debe adquirir el ingeniero moderno es la capacidad de trabajo en equipo. La flexibilidad para adaptarse a diferentes cambios en las condiciones de trabajo y para asumir nuevas responsabilidades laborales y profesionales es otra de las características más comúnmente exigidas a los nuevos profesionales.

Aunque las empresas grandes no desaparecerán, en su interior se están constituyendo en "unidades" microempresariales con plena autonomía en su organización, dirección y toma de decisiones, es decir, el ingeniero trabajará en grandes corporaciones, pero en pequeñas unidades empresariales. Ello implica que la formación del ingeniero, a pesar de la necesidad de especializarse en un área o campo específico de su profesión, debe adquirir una formación muy sólida en sus bases, pero con una visión muy amplia de la aplicación de su profesión a la resolución de muy diversos tipos de problemas.

7.10 Resumen del capítulo

Para el futuro ingeniero, es importante conocer aspectos de índole académico acerca del programa que está comenzando a cursar, lo cual le permitirá tener una visión general del contenido de la carrera y de las competencias con las que saldrá a competir en el mercado laboral. Dicho conocimiento le ayudará a discernir y a ratificar si verdaderamente la elección que realizó fue la apropiada.

El currículo se puede definir como la estrategia empleada por una institución para formar una persona en un campo técnico, ocupacional, profesional, cultural, social o científico, y tiene como propósito fundamental facilitar la formación del estudiante, proporcionándole de manera sistemática determinados saberes, habilidades, destrezas, actitudes y, en general, las competencias necesarias para ejercer con eficiencia un oficio o profesión. También determina la forma de impartir o adquirir los conocimientos y potenciar las cualidades que deben estar presentes en la formación del futuro profesional, en este caso un ingeniero.

El currículo comprende tres aspectos fundamentales o responde a las siguientes preguntas básicas:

El qué: ¿cuáles son los conocimientos, las habilidades, destrezas y valores, propios de la disciplina que caracterizan al ingeniero como tal, que le suministran las herramientas necesarias para ejercer la profesión de manera exitosa?

El cómo: ¿cuál es la forma o el método más adecuado de impartir o adquirir los conocimientos, valores, destrezas y habilidades que permitan adquirir las competencias requeridas, de acuerdo con el perfil profesional, y además lograr una formación integral?

El dónde: corresponde a los distintos escenarios de enseñanza-aprendizaje, como el aula de clase, el laboratorio, el taller, el escenario real, etc.

No se debe confundir el concepto de currículo con el de plan de estudios, ya que el segundo representa solamente una parte del primero. Uno de los propósitos de la educación de un ingeniero es la de formar en él las competencias requeridas para aplicar sus conocimientos en la solución de problemas propios de su disciplina y profesión, y garantizarle el éxito profesional durante todo el resto de su vida laboral.

Un sistema de formación por créditos académicos consiste en clasificar las actividades de aprendizaje y racionalizar el tiempo que el estudiante debe dedicar a ellas. Las actividades se clasifican en actividades con acompañamiento directo del profesor y trabajo independiente del estudiante, ya sea con acompañamiento o totalmente autónomo.

En el antiguo modelo educativo, tanto la responsabilidad del aprendizaje como la carga académica recaían principalmente en el profesor, convirtiendo al alumno en algo así como un “recipiente” que era necesario llenar con conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes. En el sistema de créditos, por el contrario, el docente solamente es un facilitador, y la responsabilidad por el aprendizaje autónomo recae en el estudiante durante la mayor parte del proceso. Por tanto, el entendimiento de los distintos momentos del aprendizaje es de vital importancia para comprender y asimilar el concepto o sistema de créditos, como estrategia pedagógica y didáctica.

Hasta hace algunos años, para los egresados de una carrera de ingeniería era suficiente adelantar estudios de pregrado para saber casi todo lo que se requería en una rama cualquiera de la ingeniería y, en general, todo lo que hoy constituye una especialización o una rama independiente de la ingeniería; no obstante, este

tipo de ingeniero sabía de muchas cosas, pero con muy poca profundidad.

Tiempo atrás, todos los ingenieros obtenían su grado profesional presentando un trabajo de grado, un proyecto o una tesis. Actualmente, en la mayoría de los países e instituciones universitarias, se le da la opción al estudiante de pregrado para que obtenga su grado profesional realizando una pasantía en una empresa, cursando un diplomado o actuando como auxiliar de investigación de un investigador o grupo de investigación. Aunque cada una de estas modalidades tiene sus ventajas para el futuro egresado, sigue siendo la opción del trabajo o proyecto de grado la mejor, pues le proporciona al estudiante que ha culminado sus estudios la oportunidad para “articular” en un proyecto o trabajo todos los conocimientos aprendidos durante el desarrollo de su formación como ingeniero.

Las empresas del siglo XXI, a diferencia de las del siglo XX hacia atrás, son cada día más “planas” y “delgadas”, con el objeto de reducir los costos operativos y globales, el ciclo de desarrollo del producto y hacer la empresa más flexible. Mucho del trabajo rutinario de adquisición, procesamiento y parte del análisis de la información es realizado por software inteligente de computación y por los niveles operativos y técnicos. Es un gran error, sin embargo, venderle la idea al estudiante de que la ingeniería se reduce al manejo de software y de sistemas computacionales, y que lo único que el ingeniero debe aprender es a manejar eficientemente estos sistemas.

Actividades de aprendizaje

Tomando como modelo el mapa conceptual mostrado en la figura 7.1, diseñe un Mapa conceptual específico para la rama de ingeniería que está cursando. Para determinar el perfil profesional, remítase al perfil indicado por el proyecto Tuning para un ingeniero civil y realice las adaptaciones necesarias: Civil por: Mecánico, Químico, Eléctrico, Industrial, Mecatrónico, sistemas, etc. Obras por: Dispositivos, Maquinas, Artefactos, Procesos, Sistemas, Etc.

Bibliografía

- Baca, G. (1999). *Introducción a la ingeniería*. México: McGraw-Hill.
- Boyett H., J. y Conn, H. P. (1991). *Workplace 2000. The Revolution Reshaping American Businesses*. Ed.A DUTTON, Nueva York, U.S.A.
- Cross, H. (1970). *Los ingenieros y las torres de marfil*. México: McGraw-Hill.
- Freeman, S. (2009), Biología, Ed. Pearson, Madrid España, Tercera edición.
- Gates, W. H. (2000). *Los negocios en la era digital*. Barcelona: Plaza & Janés.
- Gómez C., I (2000), Matemática Emocional, Ed. NARCCA, Madrid, España.
- Grech, P. (2001). Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño. Bogotá: Pearson.
- Hicks, P. E. (1999). *Ingeniería industrial y administración*. México: Compañía Editorial Continental.
- Krick, E. V. (1998). *Introducción a la ingeniería*. México: Limusa.
- Ministerio de Educación Nacional, República de Colombia. (2007). Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior. Ministerio de Educación Nacional, Bogotá, Colombia.
- Romero H. O., Negrón M., D. y Hernández R., S. (2006). *Introducción a la ingeniería. Un enfoque industrial*. México: Thomson.
- Valero M. (1999). Física Fundamental, Ed. Norma, Cali Colombia, Cuarta edición.
- Whitten K. (1998). Química General, Ed. Mc Graw Hill, Madrid España.
- Wright, P. H. (1994). *Introducción a la ingeniería*. Buenos Aires: Editorial Educativa (Addison-Wesley Iberoamericana).

Capítulo
ocho

*El enfoque ingenieril
y el diseño en la
solución de problemas*



8.1 Introducción

El ingeniero es básicamente un *solucionador de problemas*, como la mayoría de los profesionales de otras disciplinas, para lo cual se vale del diseño. Por su parte, el *diseño* es la actividad central y principal del ingeniero, o el medio por el cual este aplica su conocimiento especializado, sus habilidades y destrezas, sus competencias y su punto de vista a la solución de determinados problemas de la sociedad y de la humanidad en general, como bien se indicó en los capítulos precedentes. Si se quitara esta fundamental característica, un ingeniero se convertiría en un profesional simplemente ilustrado, que nada aporta al bienestar de la sociedad y de la humanidad, para lo cual ha sido formado.

Como se mostro en los dos primeros capítulos de la ingeniería ha pasado por varias etapas de evolución histórica hasta el presente, y los métodos de diseño han evolucionado a la par con los descubrimientos científicos, los desarrollos tecnológicos, así como con la complejidad de los problemas. El diseño, en la antigüedad, generalmente implicaba aspectos prácticos, empíricos y artesanales, que eran transmitidos de maestros a aprendices por experiencia directa. El proceso de diseño actual, no solo involucra el aspecto práctico o de intuición, sino que abarca aspectos teóricos más profundos que llevan a una comprensión completa de la totalidad del problema y a la aplicación sistemática de técnicas y métodos que permiten la realización del proceso de diseño en términos analíticos y objetivos. Sin embargo, siguen siendo vitales la intuición y la creatividad, así como la experiencia del diseñador para llegar a soluciones óptimas que satisfagan las necesidades o deseos de la humanidad.

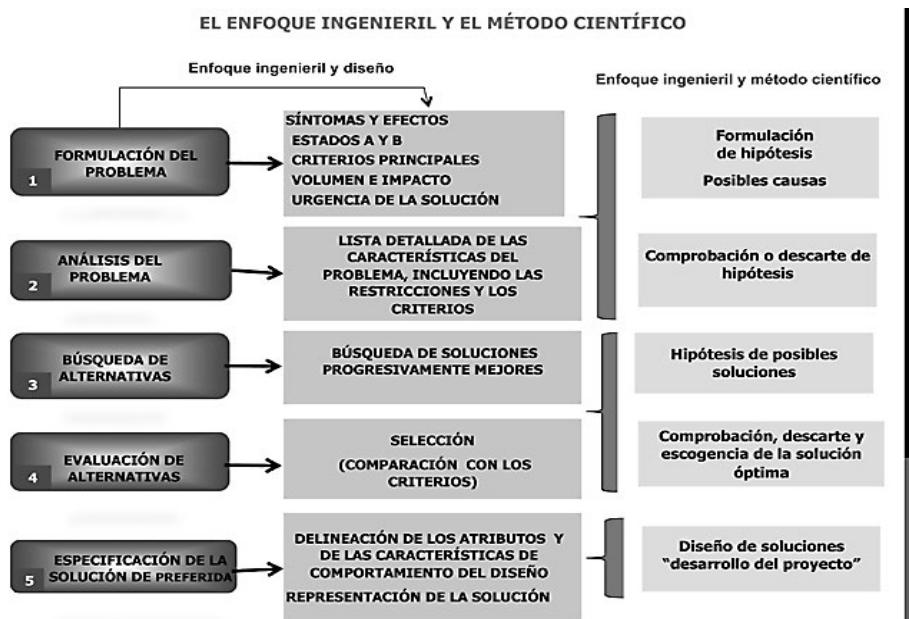
8.2 El enfoque ingenieril y la metodología de investigación científica

La diferencia entre un ingeniero y un profesional de otras áreas, además del tipo de conocimientos y competencias, radica en el método o estrategia general que este utiliza para resolver problemas propios de su disciplina y profesión; esta estrategia, llamada el *enfoque ingenieril*, consiste en una adaptación práctica del método de investigación científica empleado por investigadores y científicos en otras disciplinas. Sin embargo, mientras que con el método científico por lo general se tratan problemas abiertos y se formulan hipótesis que hay que comprobar, las soluciones son totalmente desconocidas, se maneja información incierta y se trabaja en contextos del comportamiento de los fenómenos del universo con un carácter más estocástico o aleatorio que determinístico, el ingeniero maneja problemas más —aunque no únicamente— de tipo cerrado, en donde las posibles soluciones se conocen, el comportamiento de los fenómenos de la naturaleza son más determinísticos, predecibles y cuantificables.

En capítulos anteriores se diferenció entre el científico (utiliza el método de investigación científica para resolver sus problemas de investigación) que estudia la ciencia en sí, en búsqueda de una explicación de las causas y del comportamiento de las fuerzas y los fenómenos de la naturaleza y del Universo, es decir, *descubre y explica*, y el ingeniero, que toma los descubrimientos del científico y los *utiliza y aplica* para crear o diseñar soluciones de ingeniería a

determinadas problemáticas, relacionadas con su disciplina. Esta diferencia se puede resumir en las dos estrategias utilizadas para resolver problemas: la metodología de la investigación científica utilizada por el primero, y el diseño en ingeniería utilizada por el segundo. En la figura 8.1 se muestra el método científico comparado con el enfoque ingenieril.

Figura 8.1. La metodología de investigación científica y el enfoque ingenieril



Fuente: elaboración propia.

Primero que todo, debe observarse que el método del enfoque ingenieril consta de cinco pasos básicos, los cuales tienen correspondencia directa con cinco pasos o etapas, también básicas, de la metodología de investigación científica:

1. La identificación y la formulación del problema, que en el enfoque ingenieril comprende la identificación de los síntomas, efectos o consecuencias y al estado A del problema, corresponde en el método científico a la formulación de la llamada “pregunta de la investigación”, a la formulación de posibles causas del problema y a un primer análisis general para identificar el objeto de investigación.
2. El segundo paso del enfoque ingenieril se refiere al análisis del problema, es decir, a una descripción detallada de este, incluyendo la identificación y el dimensionamiento u operacionalización de los síntomas, los efectos y las consecuencias; el impacto del problema, la urgencia con la cual se le debe dar solución al problema e, incluso, al estado “B” deseado, a los criterios de diseño y a las restricciones en la aplicación de las posibles soluciones; mientras que en la metodología de investigación científica se procede a diseñar y realizar experimentos para comprobar, descartar o generar nuevas posibles causas del problema.

3. Una vez está identificado y formulado el problema en detalle, como consecuencia de la realización de la etapa o paso anterior, se procede a buscar diferentes alternativas de solución, las cuales serán evaluadas en el siguiente paso. En el método científico esta etapa del proceso correspondería a la generación de diferentes hipótesis de solución, basadas en la comprobación de las causas reales que generan el fenómeno o el problema. Recuérdese que en investigación, aunque no exista un problema evidente o real, el solo deseo de conocer acerca de algo, debe formularse como si fuese un problema, para que la investigación tenga una justificación práctica.
4. Planteadas o encontradas varias alternativas de solución al problema, el siguiente paso consiste en evaluar las diferentes alternativas de solución encontradas, confrontándolas en principio con las restricciones para comprobar su viabilidad y descartar las no viables por no estar dentro de los límites de las restricciones, evaluar las alternativas no descartadas, según los criterios de diseño, y seleccionar, recomendar o implementar la solución óptima (óptima no significa la mejor, sino la más viable y apropiada según un determinado contexto y situación, y de los recursos de los que se dispone). Ahora bien, en la metodología de investigación científica es posible encontrar que esta etapa correspondería a la comprobación o descarte del resultado de la investigación que el científico considera que mejor explica el fenómeno.
5. Finalmente, es necesario describir en términos concretos en qué consisten la solución o soluciones escogidas, es decir, especificar sus características, mientras que en la metodología de investigación científica, como última etapa de la investigación, se describen detalladamente las conclusiones y los resultados de la investigación. Si la investigación es aplicada, entonces se procede al diseño y la presentación de la solución propuesta a la cual se llegó una vez concluida la investigación.

A pesar de que las dos metodologías parecen ser exactamente iguales, esto no es cierto, pues en el enfoque ingenieril la metodología de la investigación científica es solamente una herramienta que, en muchos casos, se utiliza como tal para identificar el problema, parte de este e, incluso, para generar y comprobar alternativas de solución a un problema específico. Por el contrario, en la metodología de investigación científica, más que una herramienta para el científico, esta metodología es la esencia de sus procedimientos y formas de investigación. Uno de los grandes errores que se cometan cuando se está llevando a cabo un proyecto de ingeniería, es confundir el proyecto con una investigación.

Resumiendo, se puede decir que las etapas 1 y 2 del enfoque ingenieril (formulación y análisis del problema), corresponden al primer paso en la metodología de investigación científica (formulación de hipótesis, pregunta de la investigación y especulación sobre las posibles causas que originan los síntomas y efectos, es decir, la situación problemática). Las etapas 3 y 4 (búsqueda de alternativas y evaluación de alternativas) del enfoque ingenieril, tienen su correspondencia con las etapas de experimentación y comprobación o descarte de hipótesis en el método científico; la última etapa del enfoque ingenieril (selección y especificación de la solución preferida), podría compararse con el último paso del

método científico (análisis, discusión, deducción de conclusiones y presentación de los resultados de la investigación).

8.3 Concepto de problema en ingeniería

En cualquiera de las definiciones de ingeniería que se estudiaron en capítulos anteriores, así como en el apartado introductorio de este capítulo, es claro que el objetivo o propósito primordial de la ingeniería, en cualquiera de sus ramas, es generar soluciones ingenieriles que satisfagan ciertas necesidades, expectativas y deseos de la sociedad y de la humanidad en general, aspecto que se puede evidenciar en los siguientes apartados de las tres definiciones estudiadas:

1. “Ingeniería es el arte de dirigir los grandes recursos y fuerzas de la naturaleza, para uso y conveniencia del hombre”, (Cross, 1970, pag.92) es decir, para darle solución a determinados problemas reales, o satisfacer necesidades o deseos de la sociedad.
2. La ingeniería, es la aplicación de competencias (ciertos conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes), principalmente a la creación, diseño, construcción e implementación de obras, procesos y dispositivos, para satisfacer necesidades y deseos de la sociedad. Esto es, que generen soluciones a determinados problemas de la humanidad.
3. Ingeniería, disciplina o profesión en la que los conocimientos de matemáticas y ciencias naturales (física, química y biología), obtenidos a través del estudio, la experiencia y la práctica, se aplican para desarrollar diversas maneras de utilizar, las fuerzas y materiales de la naturaleza para satisfacer determinadas necesidades y deseos de la sociedad.

8.3.1. Definición de problema

Una de las definiciones de problema que mejor se ajusta al concepto de problema en ingeniería, es la expresada por Krick (1998, Pág.11) cuando afirma que “Un problema proviene del deseo de lograr la transformación de un estado de cosas en otro”. Esta definición, aunque escrita por un ingeniero para ingenieros, se ajusta perfectamente a cualquier tipo de problema o necesidad del hombre y de la sociedad.

Para efectos de este texto, se definirá problema como *la necesidad o deseo de transformar un estado A inferior, en un estado B superior, por medio de una estrategia o proyecto para conseguir el estado B*. Por ejemplo: una persona está en un estado A inferior cuando está enferma, de donde nace la necesidad o el deseo de mejorar la salud del paciente llevándolo a un estado B superior, es decir, más saludable, por medio de una operación o de un tratamiento, o cualquier otro tipo de tratamiento médico.

Otro ejemplo práctico podría ser la necesidad que tiene una empresa de mejorar la calidad de sus productos, es decir, tiene productos con baja calidad (estado A inferior) y requiere mejorar la calidad llevándola a un nivel más alto (estado B superior), diseñando para ello un sistema de gestión de calidad.

8.3.2 Componentes o partes de un problema

Todo problema está compuesto, conceptualmente, por tres partes o aspectos:

1. Un estado inicial, "A" inferior, que se manifiesta por medio de síntomas, efectos o consecuencias producto de una carencia, necesidad, deseo o expectativa que se desea o requiere satisfacer. Esto es lo que el común de la gente denomina erradamente problema, confundiendo los *síntomas* con las causas y con el verdadero problema. Desde el punto de vista de quien tiene la necesidad o el deseo, esta fase se podría denominar acertadamente "situación problemática".
2. Un estado final, superior "B", el cual corresponde a la solución del problema, a la satisfacción de la necesidad o al valor agregado esperado. Alcanzar esta meta es el objetivo principal de la disciplina de la ingeniería en sus diferentes ramas, es decir, es el "quehacer" del ingeniero. El valor agregado de todos los proyectos y diseños de ingeniería se mide por el grado y la calidad alcanzados del estado "B".
3. El proyecto, etapa que corresponde a las estrategias empleadas para darle solución al problema o para satisfacer la necesidad o el deseo planteado en la primera etapa. Es en esta fase del problema donde el ingeniero aplica los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridas durante sus estudios profesionales, es decir, sus competencias en el campo o problemática respectiva (figura 8.2).

Figura 8.2. Estados A y B de un problema

Estado A	Estrategia	Estado B
Estudiante de ingeniería	→	Ingeniero titulado
Árbol	→	Papel
Construcción proyectada	→	Edificio terminado

Fuente: elaboración propia.

En el método de la "caja negra", que se abordará más adelante, el estado "A" corresponde a las entradas o insumos, el estado "B" se asimila a las salidas o resultados, y las Estrategias o Proyecto serían los mecanismos y actividades encerrados en la caja negra.

8.4 El diseño en el enfoque ingenieril

El enfoque ingenieril, en la solución de problemas, se concreta en la práctica en el llamado diseño en ingeniería. Este concepto difiere de los anteriores en tanto el ingeniero agrega al enfoque ingenieril otros parámetros y variables muy propios de la disciplina de la ingeniería, tales como restricciones, criterios de diseño, optimización de soluciones, variables, etc.

El *diseño* en ingeniería es el proceso por medio del cual un problema (una necesidad, deseo o expectativa) que ha sido formulado en términos genéricos y vagos, es transformado en especificaciones concretas de dispositivos, estructuras, obras, aparatos y procesos, con los cuales se pretende dar solución al problema.

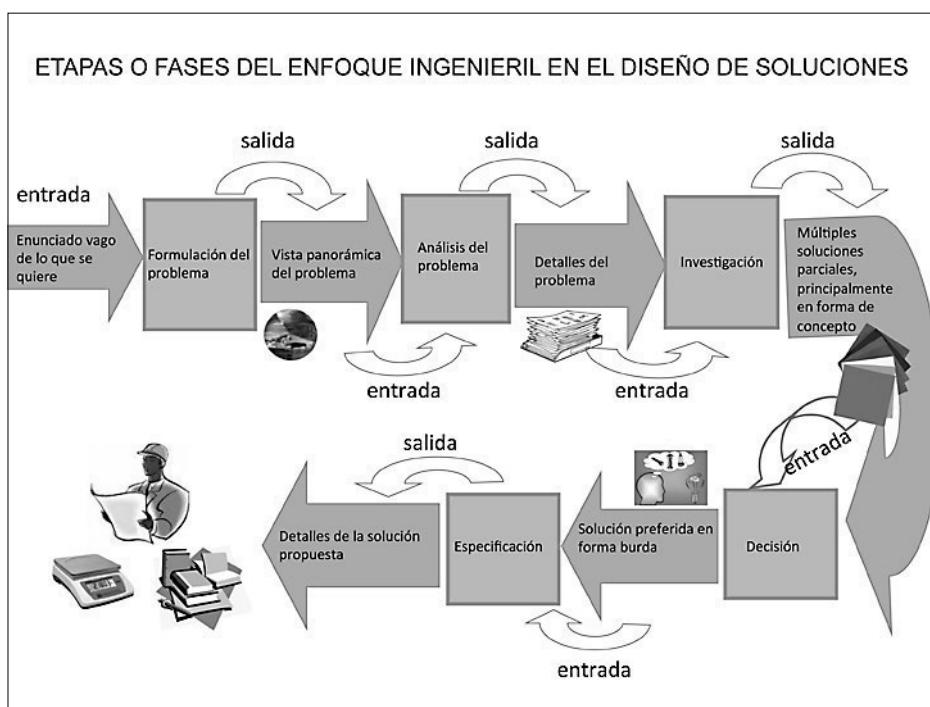
El diseño comprende las actividades de diseño, desarrollo e investigación. Esta es la actividad primordial del ingeniero, ya que es, el medio por el cual el ingeniero, aplicando sus conocimientos, habilidades y destrezas especializadas (competencias), da solución a problemas propios de la disciplina de la ingeniería y de la rama específica en la cual aplica estas competencias.

8.4.1 Etapas del enfoque ingenieril y del diseño en ingeniería

Las actividades o pasos implicados en el método de diseño en el enfoque ingenieril, son las siguientes (ver figuras 8.1, 8.2 y 8.3):

- Identificación y formulación del problema
- Análisis del problema
- Búsqueda de soluciones posibles
- Evaluación de las diferentes alternativas y selección de la solución óptima
- Especificación de la solución escogida o recomendada

Figura 8.3. Etapas o fases del enfoque ingenieril



Fuente: adaptado de Krick (1998).

El método de diseño supone un ciclo iterativo y repetitivo. Por tanto, es posible que en alguna de las etapas sea necesario volver atrás y evaluar todos los datos desde el principio, o efectuar algún tipo de modificación como consecuencia de los resultados obtenidos en un paso más avanzado del proceso, o porque no se haya tenido en cuenta algún dato importante.

8.4.2 Identificación y formulación del problema

Tal vez una de las etapas más complejas y difíciles cuando se pretende dar solución a un problema es la identificación y concreción de este. Los problemas se plantean, con mucha amplitud, lo que a la larga da como resultado un problema más complejo, o se formulan en forma tan simplificada que trae como consecuencia una mayor cantidad de restricciones en la búsqueda y obtención de la solución. Se dice que un problema bien identificado y formulado allana el camino en un 80% en la búsqueda de la solución. De aquí la importancia de dedicarle el tiempo suficiente a esta etapa del enfoque ingenieril.

Por otra parte, hay una cierta diferencia entre los conceptos identificación del problema y la formulación del mismo, que es necesario analizar y comprender.

Identificación

Los problemas, por lo general, se encuentran en forma velada, y lo único que se percibe son los síntomas, efectos y consecuencias, los cuales casi siempre se confunden con el problema propiamente dicho. Antes de comenzar el proyecto que generará soluciones, se debe identificar el mayor número de síntomas, efectos o consecuencias, es decir, identificar aquellas situaciones en las que algo no funcione bien o que se deseé mejorar. El planteamiento del problema parte de la identificación y la descripción de estos síntomas y efectos, relacionándolos con las posibles causas que los producen.

En términos más técnicos, se podría decir que esta etapa consiste en identificar, de manera general, los estados "A" (necesidades o deseos insatisfechos, o situación problemática) y "B" (las soluciones deseadas o esperadas que satisfagan las necesidades o deseos).

El principal objetivo de la etapa de identificación del problema es definir, en términos generales, en qué consiste; determinar si merece la atención a partir de su medición y cuantificación de los síntomas, consecuencias y efectos, además de la urgencia con la que se requiera la solución, por ejemplo, porque hay vidas en peligro, o porque las pérdidas en la compañía donde se presenta el problema son muy grandes y están creciendo, pudiendo llevar a la compañía a la quiebra o a salir del mercado, etc. Cuando existe un problema de ingeniería, o se sospecha su existencia, se procede entonces a la recopilación de la información inicial que servirá de base para el estudio de la situación problemática y el posterior planteamiento o formulación del problema.

Se ha dicho, no obstante, que un problema bien definido es un problema casi resuelto; aunque esto no es totalmente cierto, muestra la importancia de esta

fase del proceso de diseño, ya que una equivocada identificación conduce a soluciones también equivocadas.

En la mayoría de los casos quien identifica el problema es quien sufre los síntomas, el paciente en problemas médicos, la empresa o el gerente en una empresa, para nombrar dos ejemplos.

Formulación

En esta etapa se concreta o delimita el alcance que se le dará al análisis y a la solución al problema. Distinguir entre *identificación* y *formulación* del problema es de suma importancia, pues de la formulación, y no de la identificación, dependerá el establecimiento de los recursos de tiempo, técnicos y económicos que se dedicarán a su estudio, y también las posibles soluciones dadas al problema. Tal vez una de las mayores dificultades que tienen los estudiantes e incluso muchos de los ingenieros no muy experimentados, consiste en que nunca pasan de la etapa de la identificación a la de solución, pues cada vez que analizan la situación problemática, amplían el alcance.

Normalmente quien formula el problema, es la persona encargada de estudiarlo y de encontrarle una solución, en este caso el ingeniero.

8.4.3 Ejemplo de identificación y formulación del problema

En una compañía fabricante de automóviles, la gerencia *identifica* que tiene problemas de calidad en la fabricación de sus vehículos ya que en los últimos meses ha recibido muchos reclamos de los concesionarios y de clientes directos. Desde el punto de vista del gerente, es necesario abordar todo el proceso de fabricación, incluyendo autopartes, materias primas, diseño del producto y métodos de fabricación. Un enfoque de esta naturaleza requeriría un equipo multidisciplinario de profesionales de varias especialidades. Sin embargo, la empresa contrata un ingeniero para que haga un diagnóstico inicial (*identificación del problema*), quien después de un estudio global, llega a la conclusión de que el principal problema de calidad se encuentra solamente en las llantas (*formulación amplia del problema*, pero más concreta que la identificación hecha por la gerencia).

El ingeniero recomienda a la gerencia realizar un estudio de los diferentes proveedores de las llantas que utiliza en la fabricación de sus vehículos, estudio que arroja como resultado que el problema de la mala calidad de las llantas se concentra en el proveedor Auto-partes S. A., al cual se le traslada el problema en forma más concreta; entonces, la formulación del problema después de este primer diagnóstico puede ser “la necesidad de un sistema de abastecimiento de llantas que cumplan con todas las especificaciones, parámetros y condiciones de calidad establecidas por el departamento de diseño de la empresa”.

Por otra parte, para el fabricante de las llantas, el problema a su vez consiste en la necesidad de producir las llantas con las especificaciones y calidad establecidas por su cliente, es decir el fabricante de automóviles. Utilizando para ello un diagrama causa-efecto, divide el problema en sus posibles causas, y asigna su solución a un determinado departamento, quien a su vez reformula el problema

de manera más concreta. Como se muestra más adelante cuando se habla del diagrama causa efecto, figura 8.6

8.4.4 Ejemplo de formulación y alcance del problema

La problemática general consiste en el suministro de gas para consumo doméstico a los usuarios ubicados en casas individuales, edificios de apartamentos, conjuntos residenciales, etc., a partir de una planta envasadora.

Dependiendo de la *amplitud* con la cual se *formule* el problema, se presentan los siguientes posibles sub-problemas y soluciones que es necesario estudiar en detalle:

1. La planta productora de gas para consumo doméstico suministra el gas a la planta envasadora, por medio de grandes carro-tanques o una red de gaseoductos. La empresa envasadora desea encontrar el mejor método para envasar el gas en pipetas de 20, 40 o 100 libras, transportarlas hasta el almacén y almacenarlas provisionalmente en las bodegas de la envasadora de manera segura y económica, hasta que se presente un cliente con su pipeta vacía, la cual será reemplazada por una pipeta de igual capacidad, pero contenido el gas. El usuario toma la pipeta llena y procede a transportarla hasta su sitio de uso, llámesela casa individual, edificio de apartamentos, conjunto residencial, etc.

La *formulación* del problema sería “¿cuál es el mejor método para realizar las operaciones de envasado, transporte hasta el almacén y almacenamiento provisional seguro en las bodegas, de las pipetas de gas de 20, 40 y 100 libras?”.

2. En un segundo planteamiento no se mencionan las operaciones descritas en la formulación anterior, sino que se amplía el problema, ya no hasta el almacenamiento en las bodegas de la envasadora, sino hasta cómo evitar que los usuarios deban desplazarse hasta la envasadora con sus pipetas vacías y regresar a los sitios de uso con pipetas llenas, es decir, cómo suministrarle al usuario directamente en su casa o apartamento cilindros de 20, 40 o 100 libras llenos con gas y proceder al intercambio de pipetas con las pipetas vacías del cliente. Después de envasado el gas en las pipetas, estas podrían ser cargadas directamente en un camión y distribuidas a los usuarios, evitando además del transporte y el almacenamiento interno en las bodegas de la envasadora, el desplazamiento del cliente hasta la planta envasadora.

En este caso, la *formulación* del problema puede ser “¿cuál es el mejor sistema de abastecimiento de gas en pipetas de 20, 40 o 100 libras, directamente en la puerta del usuario o cliente?”.

3. Ampliando aún más la formulación del problema, se le podría informar al ingeniero que, además de eliminar, hasta donde sea posible, las operaciones anteriores realizadas en las formulaciones 1 y 2, la compañía desea eliminar las pipetas de 20, 40 y 100 libras, ya que el suministro de gas se hace primordialmente a edificios de apartamentos, conjuntos

residenciales y a usuarios comerciales e industriales, como restaurantes y fábricas.

La solución para este planteamiento del problema tuvo como respuesta práctica la instalación de pipetas de 1000 libras en los edificios, conjuntos residenciales, restaurantes y fábricas, conectando directamente a cada usuario por medio de instalaciones de tubería interna, manteniendo la pipeta con un nivel de seguridad de servicio calculado o simplemente instalando dos pipetas, las cuales son alternadamente recargadas. Piénsese en todos los pasos, operaciones y molestias que se evitaron con este sistema, comparado con el primero.

En estas condiciones, la formulación del problema podría ser “¿cuál es el mejor sistema para suministrar el gas a los usuarios, sin necesidad de que estos deban comprar pipetas individuales, recargarlas, trasportarlas hasta la cocina individual y almacenarlas, corriendo gran peligro, en el interior de cada vivienda?”.

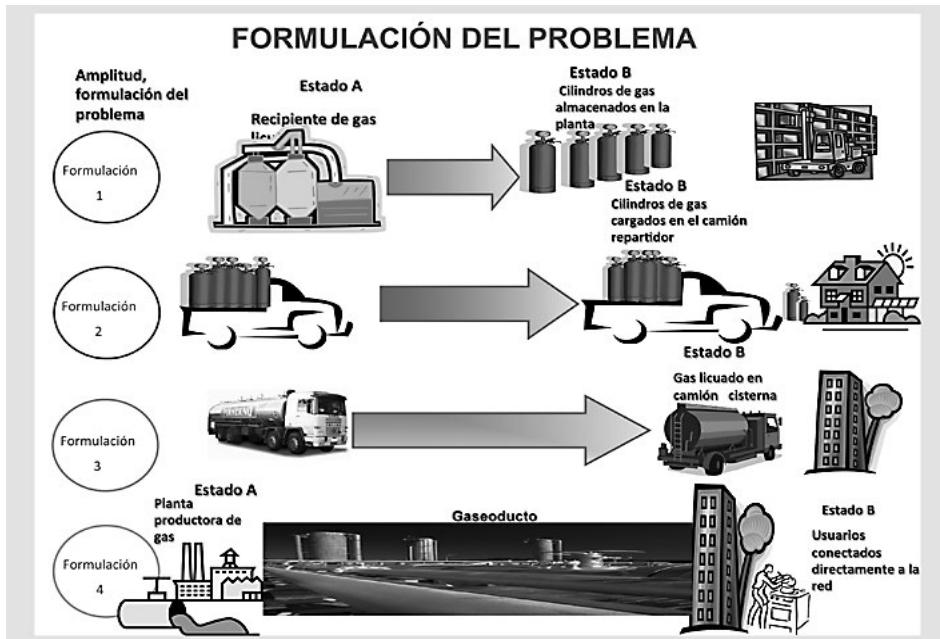
4. Una última y más amplia formulación del problema consistiría en plantear el deseo de mejorar el sistema actual de uso de pipetas individuales o de 1000 libras y suministrar el gas directamente a las cocinas de cada usuario.

La solución a este planteamiento del problema consistió en que la mayoría de las cocinas de los usuarios están directamente conectadas con las plantas suministradoras de gas por medio de gaseoductos y conexiones por tubería al interior de las casas, edificios, restaurantes, etc. Dependiendo de si este problema se le planteó, por ejemplo, a ingenieros especializados en el suministro , la manipulación y el transporte de gas, el problema para ellos consistiría en el diseño físico del sistema de manipulación y transporte del gas, con el consiguiente diseño de las tuberías, bombas, equipos de control, túneles para enterrar la tubería del gaseoducto, etc.

En este último ejemplo, la formulación del problema, podría ser “¿cuál es el mejor sistema integrado de bombas, ductos y tuberías para conectar directamente al proveedor con la cocina del cliente y usuario final?”.

En la figura 8.4, se muestra gráficamente los ejemplos de formulaciones de los problemas, descritos.

En los ejemplos anteriores es posible ver que un problema puede formularse con distintos *grados de amplitud*. Estos van desde una definición muy amplia, para el cual existen un gran número de soluciones, hasta una que ofrezca muy poca libertad para seleccionar las posibles soluciones. Incluso, y dependiendo de la amplitud con la que se formule el problema, este deberá ser subdividido en sub-problemas que seguramente requerirán de especialistas diferentes para su solución. En el ejemplo anterior las formulaciones 1 y 2 requieren un ingeniero industrial, mientras que las formulaciones 3 y 4 requieren también ingenieros mecánicos, civiles, químicos, de petróleos, entre otros.

Figura 8.4. Amplitud en la formulación del problema

8.4.5 Análisis del problema

Esta etapa consiste en la recolección, tabulación y análisis de la información necesaria para la caracterización del problema, de manera aún más concreta que en la etapa de formulación. En esta fase es necesario emplear los conocimientos especializados y las herramientas de ingeniería para cuantificar y cualificar, de manera objetiva, las distintas variables que intervienen en el problema y en sus posibles soluciones. Algunas de las principales variables a estudiar en detalle son, entre otras, los *criterios de diseño*, las *restricciones*, las *hipótesis de causa* e incluso las *hipótesis de solución*, sin olvidar aspectos tan importantes como el impacto del problema y la urgencia de la solución.

Criterios

Los factores denominados criterios de selección o de diseño sirven para identificar cuál de las soluciones planteadas para un problema es la óptima. Estos criterios corresponden a parámetros cualitativos y cuantitativos de la solución, cuyos valores pueden oscilar en un rango y difieren en importancia relativa, según el problema que se desea resolver. Ejemplos de ellos pueden ser: facilidad de manufactura, daño mínimo al ambiente, funcionalidad, facilidad de mantenimiento, servicio posventa, garantías, facilidad de manejo, duración del producto, relación beneficio/costo, confiabilidad, entre otros, dependiendo del tipo de problema.

Por lo general, aunque no siempre, el criterio predominante es la *razón costo/beneficio*, que es la utilidad esperada de una solución en relación con el costo de crearla; existen otros criterios de aplicación general como:

La **confiabilidad**: se expresa en términos de probabilidad de que el elemento no falle durante un periodo especificado bajo condiciones prescritas; por ejemplo, la superficie de una vía asfaltada debe durar al menos cinco años bajo condiciones normales de operación.

La **operabilidad**: se refiere a la facilidad con la que un objeto, máquina o sistema puede ser manejado u operado por seres humanos. Como ejemplo se puede citar el puente de la calle 92 en Bogotá, Colombia, cuyo diseño causó varios accidentes, ya que el peralte o inclinación de la calzada para facilitar el giro de los vehículos en las curvas fue diseñado, inicialmente, en el mismo sentido de la curva aumentando peligrosamente la fuerza centrífuga, en lugar de contrarrestarla, que es precisamente el objetivo de un peralte.

La **disponibilidad**: hace relación a la proporción de tiempo que un sistema esté en funcionamiento. El suministro de los servicios públicos (acueducto, alcantarillado, energía, teléfono) debe ser continuo, ya que su falla ocasiona inconvenientes más o menos graves a los usuarios.

Restricciones

Todo problema, abierto o cerrado, tiene múltiples soluciones, pero es necesario establecer un límite al universo de soluciones estableciendo condiciones que estas deberán cumplir, denominadas restricciones, algunas de obligatorio cumplimiento, por ejemplo, el costo de fabricación de una máquina no puede superar los cien millones de pesos, y debe entregarse antes de tres meses. Si la solución cuesta más de lo estipulado como máximo o su tiempo de fabricación supera los tres meses, no sirve.

Conceptualmente las restricciones, se clasifican en:

1. Restricciones *reales o válidas* en principio: son soluciones que, al menos, en un contexto real, están fuera del alcance tanto del interesado en la solución, como del solucionador mismo. Por ejemplo: para un paciente que escasamente gana un salario mensual de \$ 600.000 y del cual dependen económicamente una esposa y cuatro hijos, que se enferma de los ojos, una operación cuyo costo sea \$ 3.000.000 resulta imposible como alternativa de solución.
2. Restricciones *debidas al conocimiento*, ya sea del profesional o del problema mismo: cualquier profesional, por preparado que se encuentre, en la actualidad cuenta solo con una fracción del conocimiento requerido para darle solución a un problema. Esta falencia se acentúa no solamente a medida que aumenta la complejidad del problema, sino también debido a la constante expansión y cambios de la ciencia y la tecnología. Por ejemplo: un paciente que se encuentra ubicado en un pueblo que tiene un único hospital de primer nivel le da un repentino ataque cardiaco. A pesar de que el paciente cuenta con suficientes medios económicos para pagar a un especialista, el médico que atiende el hospital es un médico general

cuyos conocimientos en cardiología son muy precarios, entonces, a pesar de que existan muchas soluciones, algunas rudimentarias, el médico no está en capacidad de resolver el problema debido a la limitación de sus conocimientos en cardiología.

3. Restricciones *ficticias*: de todas las restricciones, las ficticias son las más comunes y las más difíciles de vencer, pues se deben a las actitudes, paradigmas y preconceptos culturales tanto del afectado por el problema, como del solucionador. Por ejemplo: para solucionar un problema como la prevención del sida, existen muchas alternativas, entre ellas el uso de preservativos; sin embargo, muchas personas con síntomas de esta enfermedad no van al médico porque piensan que esta es una enfermedad que solo afecta a las personas homosexuales, las cuales no son aceptadas en muchas sociedades. Otras no previenen la infección con este virus usando el condón en sus relaciones sexuales, porque cultural o religiosamente encuentran que no está bien en un sentido moral.

El concepto de restricción ficticia se puede resumir en las talanqueras representadas en frases como: "No se puede", "No es posible", "Ya lo intentamos y no funcionó", "Así lo hemos hecho siempre", "Es muy difícil", y otras que son el recurso de las personas que no quieren pensar más allá de las soluciones actuales, triviales y rutinarias. Los ingenieros llamados de "catálogo" son profesionales que siempre actúan de esta manera.

Otro de los principales obstáculos para el hallazgo de soluciones novedosas, radica en el hecho de que a menudo se parte de la solución actual (punto S en la figura 8.7), pasando de una solución a otra, en la forma en que se indica en la gráfica con la trayectoria de las flechas, con saltos muy pequeños al comienzo, lo que hace que las ideas se acumulen alrededor de la situación actual. Lo que ocurre con este método de búsqueda de soluciones cada vez mejores y novedosas es que la solución actual tiene un especial poder de atracción, pues es la que requiere el menor esfuerzo por parte del individuo que está atendiendo el problema.

Edward Krick (1998 Pág. 151,152) ilustra esta situación con el ejemplo de la historia de los intentos del hombre para volar: "... La solución con que el ser humano estaba familiarizado era el movimiento de las alas de aves e insectos. Casi inevitablemente trataron de volar empleando todo tipo de sistemas 'voladores' alados que no tuvieron éxito, y a menudo resultaron desastrosos. [...] [Con el transcurso del tiempo, continua Krick] la humanidad liberó sus pensamientos de la 'influencia avasalladora' de lo familiar". Más tarde, ampliando las fronteras de posibles soluciones y con la ayuda de la física, el hombre comprendió que las aves no vuelan porque tienen alas, sino que ellas tienen alas para volar (el principio aerodinámico de los aviones radica en el diseño de las alas).

Una restricción es un valor cuantitativo que no se puede sobrepasar. La mayoría de los problemas con los que se enfrenta un ingeniero tienen soluciones restringidas en varios frentes, por ejemplo: el espacio, la tecnología disponible, el tiempo o el dinero. Los dos últimos, en especial, son recursos que deben manejarse cuidadosamente en todo proyecto de ingeniería: hay un límite de tiempo para entregar la solución y el costo de esta no puede superar determinados topes. Algunos ejemplos de restricciones son los siguientes:

1. La entrega de una licitación o propuesta para adelantar trabajos de ingeniería debe hacerse en un plazo límite, para lo cual se establecen una fecha y una hora específicas. Cumplido este plazo ya no es aceptada, no importa todo el esfuerzo y el dinero que se hayan invertido para realizarla.
2. El peso de un camión no debe sobrepasar la capacidad máxima de carga de los puentes que debe cruzar; por ejemplo, el puente solamente soporta camiones hasta de cincuenta toneladas.
3. Las dimensiones de un mueble o electrodoméstico deben ser tales que pueda entrar cómodamente por una puerta convencional de un apartamento (cuántas de las neveras modernas no entran al ascensor de un edificio de veinte pisos, o no entran por la puerta del apartamento, y si finalmente entran, no caben en el espacio destinado en la cocina para ella).
4. Los costos para producir un nuevo artefacto no deben superar el precio de la competencia, si se quiere tener éxito en su venta.
5. Un artefacto o proceso debe operar con corriente eléctrica a 110 V o más crítico aún, con corriente a 220 V, que es muy escasa en las instalaciones colombianas, pero muy común en países europeos y en Argentina, a manera de ejemplo.

Casi siempre se requiere “balancear” entre criterios, restricciones y especificaciones, ya que una variable que tiende a optimizar una especificación puede empeorar otra. A continuación se presentan dos ejemplos:

1. La instalación de una planta eléctrica para un edificio garantiza el servicio de energía durante la suspensión de este por parte de la empresa de servicio público; sin embargo, aumenta excesivamente los costos de construcción del edificio, máxime cuando estas suspensiones se presentan en muy contadas ocasiones, además es nocivo para el medio ambiente por el ruido y la emisión de gases perjudiciales.
2. Para la terminación de una construcción pueden elegirse excelentes acabados, pero estos no se justifican en una vivienda de interés social, ya que independientemente del precio, los accesorios prestan el mismo servicio y los costos del producto terminado se encarecerían innecesariamente.

Nótese que se han empleado ejemplos de varias ramas de la ingeniería, con el propósito de que el estudiante reafirme el concepto de que la disciplina de la ingeniería es una sola y que lo que varía es su aplicación, según la rama o especialidad.

Es preciso anotar que aunque el uso de los conceptos “restricciones” y “criterios de diseño”, se utilizan más en la etapa de búsqueda de alternativas, es conveniente abordarlas desde la etapa de análisis, pues como se mencionó en apartados anteriores, a pesar de que normalmente se siguen las etapas del diseño en el orden aquí establecido, en la práctica a veces es difícil mantener este orden.

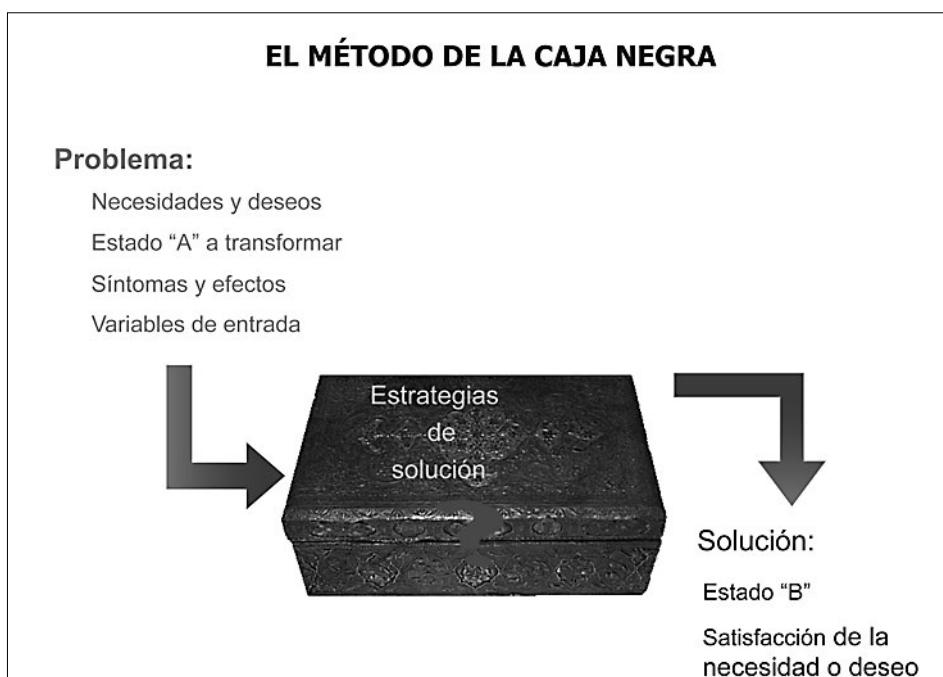
Herramientas de análisis

Para identificar y formular un problema, y para facilitar su planteamiento pueden emplearse varios métodos, entre los cuales se recomiendan el de la “caja negra”, planteado por Edward Krick (1998), en el que la definición del problema se inicia expresando la situación problemática en términos de entrada y la situación a la que se quiere llegar en términos de salida, de la manera más amplia posible, para no descartar de primera mano algunas soluciones que pueden ser relevantes; y el método de la relación causa-efecto, en el que conociendo los síntomas, efectos y consecuencias del problema y sus posibles causas identificadas en principio, se puede encontrar la solución más adecuada dentro de las restricciones establecidas y con la optimización de los criterios de diseño en grado máximo.

Método de la caja negra

El método de la “caja negra” plantea un estado “A” o variable de entrada que describe una situación inicial de manera vaga (presenta la parte visible del problema, es decir, los síntomas, efectos, consecuencias o situación problemática), mezclada con hechos confusos y sin importancia acerca de lo que se necesita o se quiere, y un estado “B” o variable de salida, que indica de manera general a dónde se quiere llegar. Durante la etapa de formulación del problema, lo que ocurra dentro de dicha caja, o sea la manipulación de los datos y las estrategias para conseguir la solución (el proyecto) es irrelevante, evitando los detalles que puedan llegar a restringir demasiado las posibles soluciones (figura 8.5).

Figura 8.5. El método de la caja negra



Fuente: elaboración propia.

Método de causa-efecto

En todos los problemas hay efectos visibles, consecuencias o síntomas que indican una situación que necesita corregirse o que se desea mejorar. El proceso de corrección o solución inicia con la identificación de las causas que originan el problema. Este proceso se denomina la etapa de diagnóstico. Una vez se conocen las causas, es posible desarrollar una estrategia (proyecto) que conduzca a la mejor solución posible. Un ejemplo que aclara esta situación es el del médico que evalúa a su paciente, es decir, averigua sus síntomas, para lo cual lo observa, toma la presión, la temperatura, los reflejos y le pregunta qué manifestaciones ha presentado: dolor, fiebre, cansancio, dificultad para respirar, etc. A continuación el médico elabora un primer diagnóstico (formula posibles hipótesis de causa), envía al paciente a que se tome exámenes de laboratorio (comprobación o descarte de posibles causas) y cuando los trae corrobora o descarta su hipótesis y procede a formular los correctivos (diseño de la solución) (reposo, ejercicio, dieta balanceada, chequeo periódico, fármacos, etc.).

Así como en el ejemplo del médico este interroga al paciente para conocer los síntomas que le sirvan de base para elaborar su diagnóstico, el ingeniero debe encontrar respuesta a varios interrogantes, que le ayuden a definir con precisión la situación problemática:

- *¿Qué?:* ¿qué ocurre?, ¿qué se ha observado?, ¿cuáles son los síntomas, efectos o situaciones problemáticas observadas?
- *¿Quién?:* ¿quién o quienes intervienen o son afectados por el problema?
- *¿Dónde?:* ¿dónde se manifiesta el problema?, ¿dónde se origina?
- *¿Cuándo?:* ¿cuándo, o en qué ocasión aparece?, ¿durante cuánto tiempo?
- *¿Cómo?:* ¿cómo se manifiesta?, ¿con qué frecuencia e importancia?
- *¿Por qué?:* ¿por qué ocurre el problema?

La última de las preguntas planteadas conduce a conocer las causas de los síntomas, efectos o consecuencias que manifiesta el problema; la relación causa-efecto permite definir claramente el problema que es necesario resolver, es decir, conocer el problema real. Lamentablemente, en muchas ocasiones, el diagnóstico se efectúa de manera superficial y las causas y los síntomas que salen a flote no son los que originan el problema, sino causas intermedias, cuyo conocimiento solo permitirá resolver temporal y parcialmente el problema; todo retorna a la normalidad durante un periodo, pero vuelve a presentarse la situación problemática, lo cual indica claramente que el problema no se corrigió adecuadamente, ya que no se atacó la causa real.

Algunas recomendaciones que se deben seguir para identificar con éxito las causas de un problema son:

1. Ampliar los conocimientos en el área del problema, sobre todo cuando se trata de problemas técnicos
2. Desarrollar un acentuado espíritu de observación
3. Utilizar la lógica y el sentido común

4. Relacionar los síntomas observados con las causas probables, descartando aquellas con las cuales no se puede establecer una relación de causa-efecto
5. Hacer una lista de las causas probables, utilizando técnicas como lluvia de ideas y diagramas causa efecto o de espina de pescado

Este último punto se puede resumir en las llamadas seis Ms (originalmente son solamente cuatro: materiales, mano de obra, método y maquinaria (medida y medio ambiente fueron agregadas por los autores), utilizadas en los diagramas causa-efecto, también llamado espina de pescado o de Ishikawa (su creador), como se ilustra con un ejemplo de aplicación en la figura 8.6.

Ejemplo de aplicación diagrama Causa-Efecto

El problema consiste en que Auto-partes S. A., compañía productora de llantas para vehículos automotores, encuentra que algunas de las llantas que suministra a un cliente ensamblador de vehículos automotores (ver ejemplo anterior) le están siendo devueltas por problemas de calidad relacionados con el agarre, la duración y la resistencia de estas.

Figura 8.6. Diagrama causa efecto



Fuente: elaboración propia.

El gerente entrega el problema al departamento de ingeniería, el cual diseña un método de análisis utilizando un diagrama causa-efecto para formular el problema

de manera más concreta. El método es suministrado al departamento técnico de la división de llantas, que con sus ingenieros especializados continúa analizando en detalle el problema. Después de varios análisis y ensayos, el departamento técnico llega a la conclusión de que la causa principal de la mala calidad de las llantas radica en el caucho utilizado como materia prima y que la mezcla de los componentes está fuera de especificaciones. Una vez realizado este pasó, los ingenieros de materiales deben proceder a hallar y evaluar alternativas de solución para garantizar el suministro de llantas dentro de las especificaciones de calidad establecidas o acordadas con el fabricante de vehículos, es decir, el cliente.

Nótese, sin embargo, que fue necesario examinar en detalle las posibles causas del problema representadas por las seis Ms, que intervienen en la fabricación de una llanta. Si no se hubiese empleado esta metodología, muy seguramente los esfuerzos para identificar y formular plenamente el problema y diseñar la solución adecuada, se habría podido desviar hacia la causa incorrecta y, por tanto, generar una solución equivocada.

Principio de Pareto

El diagrama de Pareto (basado en la teoría de Pareto: “la regla del 80-20”, o la “regla de los muchos no importantes y los pocos vitales”) ayuda a priorizar y a ordenar los problemas o las causas de los problemas según su incidencia en el problema, obteniéndose mejores resultados al analizar los problemas en orden de importancia. Se emplea cuando se requiere mostrar o analizar la importancia relativa de todos los problemas y sus causas, a fin de seleccionar el punto de inicio para la solución de problemas o para la identificación de la causa fundamental de estos.

Pareto encontró que aproximadamente el 20% de las causas de un problema, constituye el 80% de los factores que inciden en él. Así, por ejemplo, en aspectos comerciales, el 20% de los clientes claves aportan el 80% del valor de las ventas; el problema laboral de ausentismo en una empresa, está constituido por un pequeño grupo de trabajadores, pero el nivel o el grado de ausentismo representa un gran porcentaje del costo laboral no productivo; en la calidad de un producto o servicio el mayor porcentaje en la falla del servicio está localizado en unas muy pocas causas, defectos de fabricación, unos pocos productos, procesos, proveedores, trabajadores, etc.

Todo lo anterior significa que cuando se está analizando las causas de un problema, o mejor, las causas de los síntomas (hipótesis de causa), es necesario cuantificar o ponderar la incidencia de cada causa a fin de concentrarse solamente en el análisis de los síntomas, efectos y consecuencias, y sus causas más probables y que más impactan a quien sufre el problema.

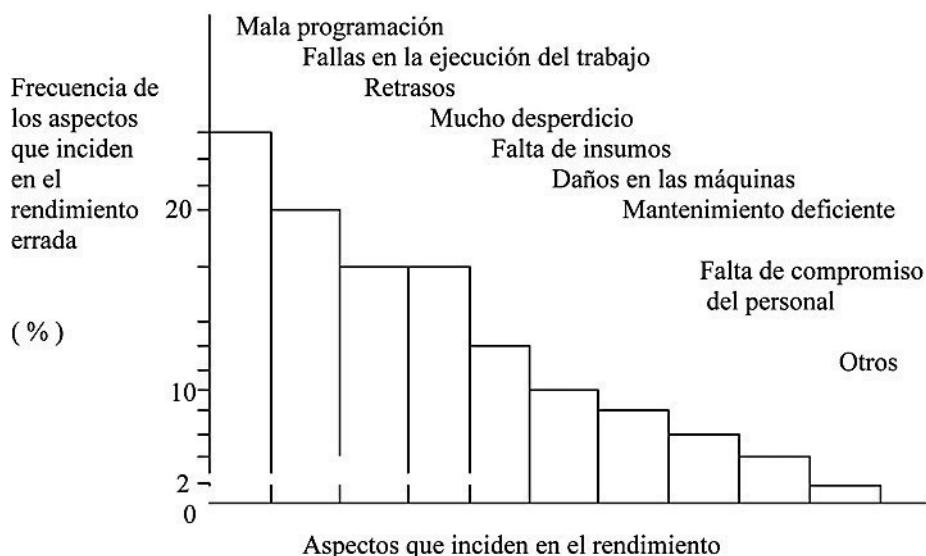
Este principio de Pareto, utilizado en combinación con el diagrama causa-efecto, es una de las más valiosas herramientas que utiliza un ingeniero competente para identificar, analizar y formular el problema, y para encontrarle posibles soluciones.

El diagrama de Pareto es un gráfico de barras verticales identificadas con los principales problemas y ordenadas de acuerdo con su incidencia e importancia. A continuación se presentan los pasos a seguir en la elaboración del gráfico de Pareto:

- Seleccionar los problemas y ordenarlos, por grado de importancia o impacto relativo
- Establecer la unidad de medición
- Clasificar los datos necesarios de cada categoría, por ejemplo: la rotura del material se presentó k veces en estas últimas cuatro semanas
- Comparar la frecuencia o costo de cada categoría
- Enumerar, en orden decreciente de frecuencia o costo, y de izquierda a derecha sobre el eje horizontal, las diferentes categorías
- Por cada categoría o clasificación trazar una barra cuya altura represente la frecuencia o costo de esa clasificación
- Utilizar el sentido común: los aspectos más frecuentes o más costosos no son siempre los más importantes: por ejemplo, dos accidentes fatales requieren más atención que cien accidentes menores.

En las figuras 8.7 a 8.11 se presentan algunos ejemplos del uso de esta herramienta en las etapas de identificación, análisis y formulación de un problema.

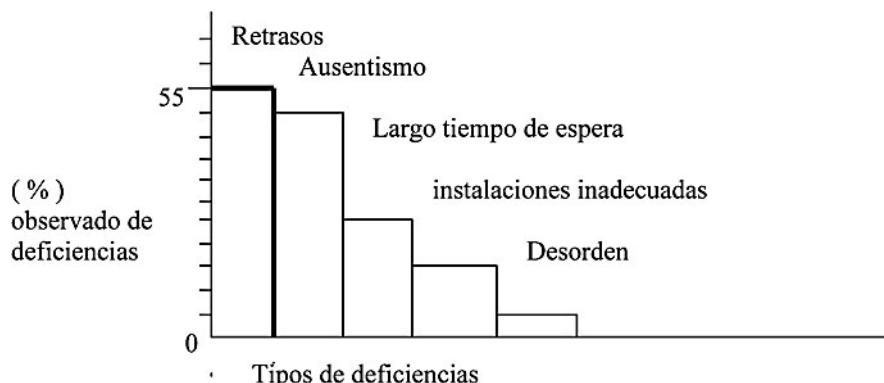
Figura 8.7. Hipótesis de causa del bajo rendimiento
Bajo rendimiento en el trabajo (Hipótesis de causa)



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.8. Síntomas, efectos o consecuencias provenientes de una causa

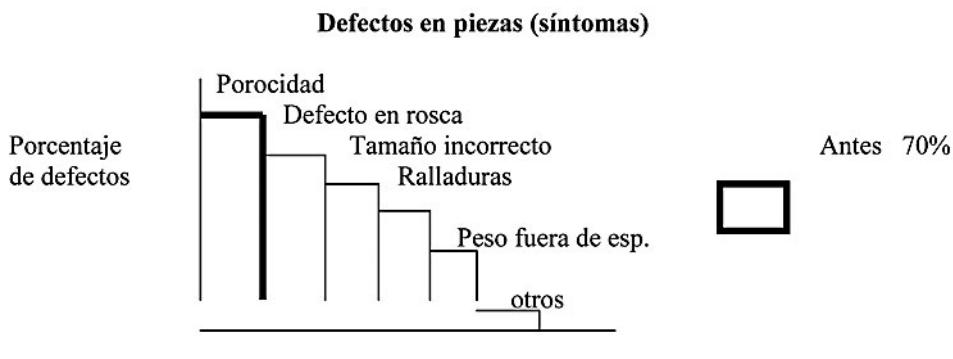
Deficiencias en la prestación de un servicio (Síntomas, Efectos o Consecuencias)



El 55 % de las deficiencias corresponde a los retrasos.

Fuente: elaboración propia.

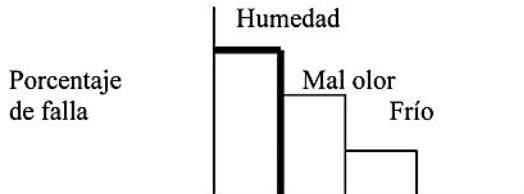
Figura 8.9. Ejemplo de síntomas, efectos o consecuencias provenientes de una causa



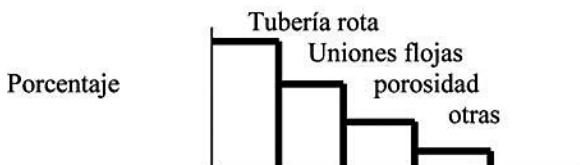
Fuente: elaboración propia.

Figura 8.10. Ejemplo de síntomas, efectos o consecuencias provenientes de una causa

Fallas en las instalaciones (síntomas, efectos o consecuencias)



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.11. Ejemplo de hipótesis de causas**Causas de la humedad (Hipótesis de causa)**

Fuente: elaboración propia

8.4.6 Búsqueda de soluciones alternativas

Esta etapa del diseño y del enfoque ingenieril se refiere al procedimiento que debe emplear el ingeniero para buscar y hallar diferentes alternativas de solución (hipótesis de solución en el método científico) al problema formulado. Así como ningún síntoma o efecto proviene de una sola causa, la solución a un problema tampoco es única. Por consiguiente, en esta etapa del diseño se deben explorar varias alternativas de solución, las cuales serán posteriormente evaluadas comparándolas contra las restricciones y los criterios, para finalmente seleccionar la más adecuada. En esta etapa del proceso debe generarse el mayor número de posibles soluciones, tratando al mismo tiempo de que estas no sean triviales o muy similares entre sí. Cada posible solución generada para el problema, debe aportar al diseñador una posibilidad de innovar y de producir un cambio significativo en la forma de considerar las relaciones entre las variables en estudio.

Obstáculos en la búsqueda de soluciones

La búsqueda de soluciones es el centro del proceso de diseño, que puede llevar a sus practicantes, en la mayoría de los casos, a errores y vicios. Si se estudian los patrones de conducta de los individuos involucrados en la resolución de un problema, se pueden detectar vicios como la superficialidad, la falta de creatividad, el sesgo y la introducción de restricciones ficticias.

En el primer caso, el diseñador se conforma con la primera solución que se le ocurre; la toma como la mejor y lo que sigue es desarrollar esa idea. La probabilidad de que esa no sea la mejor solución es muy alta. Este es un problema de actitud: falta de espíritu investigativo, ausencia de actitud crítica o tiempo muy limitado para dar solución al problema.

La falta de creatividad hace que el número de soluciones sea muy reducido y muy poco original. Ante la escasez de ideas, el diseñador decide que ya son suficientes las alternativas de solución halladas hasta ese momento y continúa con las siguientes etapas.

El sesgo o fijación mental, consiste en la tendencia a seguir por un determinado camino, normalmente ya trazado, sin considerar el amplio ámbito del universo de posibles soluciones. Las experiencias pasadas en el diseño permiten desarrollar estrategias para enfrentar nuevos problemas y pasan a formar parte del cúmulo

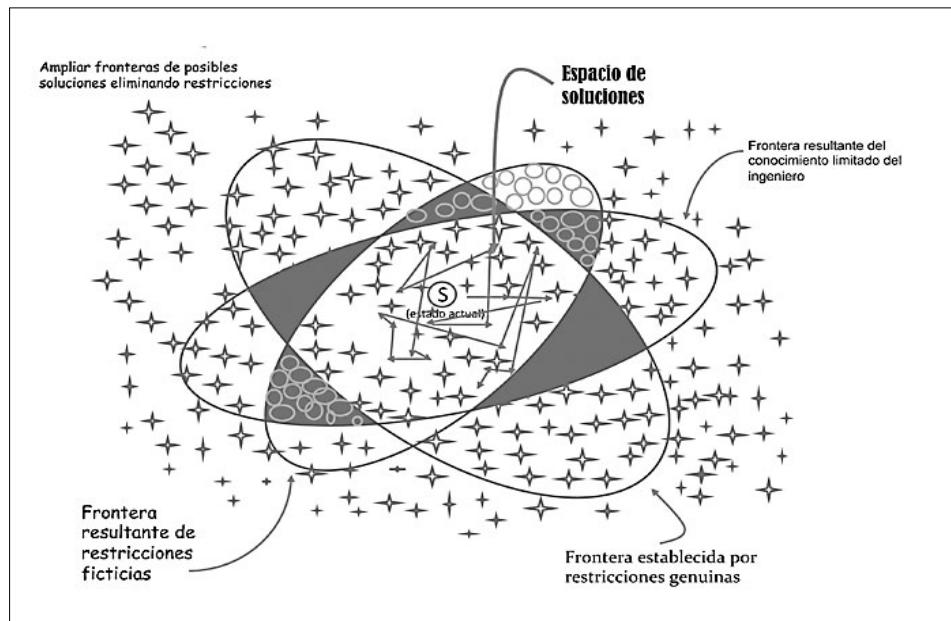
de conocimientos que el diseñador emplea, que le permiten avanzar con mayor velocidad en su cometido. Sin embargo, el conocimiento adquirido a través de la experiencia, propia y ajena, se vuelve en contra del diseñador si este no es cuidadoso, ya que muchas veces intenta aplicar un mismo método de resolución a problemas parecidos que pudiesen tener soluciones más innovadoras. Otros problemas pueden surgir al identificarse emocionalmente con alguna de las soluciones dado que, por lo general, se toma esta como la más adecuada, descartando otras posibles soluciones de antemano.

No obstante, el explorar soluciones empleadas por otros a problemas iguales o similares no es del todo nocivo. En efecto, el moderno sistema denominado en inglés Bench-Marking se basa en el principio de investigar soluciones aplicadas por otros a problemas similares, pero haciendo los respectivos ajustes según el contexto y las características del problema específico que se intente resolver. De hecho, los autores de este texto no están en total acuerdo con la aplicación estricta del concepto de "reingeniería", método en el cual se parte de cero, puesto que los avances de la ciencia y la tecnología siempre se han llevado a cabo añadiendo pequeños granos de arena al edificio del conocimiento.

Exploración del espacio y fronteras de soluciones

En la figura 8.12 se muestra, a manera de mapa conceptual, el uso de esta técnica que facilita la búsqueda de alternativas de solución y minimiza los obstáculos que se oponen a la consecución de alternativas cada vez mejores.

Figura 8.12. Espacio y fronteras de soluciones posibles



Fuente: adaptado de Krick (1998).

En la figura 8.12 las estrellas representan el universo de soluciones posibles. La separación entre los puntos significa el grado de diferencia de características entre las posibles soluciones; entre más alejado esté un punto de otro, quiere decir que las soluciones son radicalmente diferentes la una de la otra.

La cantidad de soluciones posibles varía según la amplitud en la formulación del problema, la cual depende, a su vez, de una serie de restricciones y paradigmas, algunos de los cuales son reales, pero otros son ficticios debido al ingeniero y su comportamiento frente al análisis del problema, como se explicó en párrafos anteriores.

La estrategia consiste, en primer lugar, en *maximizar* el número y la variedad de las soluciones de las que se pueda seleccionar la solución óptima, lo cual se puede lograr ampliando las fronteras del espacio de soluciones, constituido por las restricciones (figura 8.13).

Figura 8.13. Ampliación y reducción de las fronteras del espacio de soluciones



Fuente: Krick (1998).

La manera en que se debe proceder para la búsqueda, la evaluación y la selección de la mejor u óptima solución a un problema, es utilizando el siguiente procedimiento: en un primer análisis del “espacio de soluciones” se amplían las fronteras al máximo, eliminando todas las restricciones posibles. A medida que se analizan las restricciones y se ve la imposibilidad de eliminarlas aún más, entonces se “cierran” o “estrechan” las fronteras del espacio de soluciones, como se muestra en la figura 8.13, reduciendo el número de soluciones posibles.

Generación del mayor número posible de soluciones alternativas

Del análisis anterior, es fácil deducir que una de las mejores maneras de encontrar soluciones más apropiadas es por medio de la ampliación y la utilización del espacio de soluciones, como se muestra en la figura 8.12:

1. Buscando medios y formas de eliminar o reducir al máximo las restricciones reales o genuinas, tratando de derribar las barreras u obstáculos que las generan. Muchas de las restricciones están más en la mente de la persona que sufre el problema, que en el solucionador mismo.
2. Ampliando los conocimientos generales y los específicamente relacionados con el problema.
3. Eliminando o reduciendo las restricciones ficticias que normalmente vienen de paradigmas muy arraigados, tanto en el solucionador, como en la persona que requiere la solución al problema. Muchas veces es necesario desaprender para eliminar prejuicios y preconceptos, y dar cabida a nuevos conceptos y conocimientos. Es además importante mantenerse al día y actualizarse permanentemente.

A continuación se citan algunos de los lineamientos propuestos por varios autores, incluidos los de este texto, respecto a la generación de alternativas de solución:

- Acumular tantas soluciones como el tiempo y los recursos disponibles lo permitan, fijando un número mínimo de soluciones para cada uno de los sub-problemas que se intentan resolver. Esta manera de proceder, además de propiciar la fluidez mental, contribuye a aumentar las posibilidades de encontrar soluciones novedosas y creativas.
- Realizar un gran esfuerzo para generar soluciones muy diferentes entre sí.
- Actuar con el propósito deliberado y sistemático de generar soluciones con aspectos novedosos y originales.
- Postergar la evaluación de las soluciones hasta la etapa de toma de decisión. Tal vez, uno de los errores que todo el mundo comete al intentar dar solución a un problema, consiste en la evaluación prematura y no racional de la primera posible solución que se le viene a la cabeza, ya sea rechazándola de plano o aceptándola como la mejor y única. Cualquier solución, por impráctica o ilógica que luzca a primera vista, debe ser tenida en cuenta. La manera más fácil, y quizás la más utilizada, para descartar soluciones durante la etapa de decisión es la de rechazar soluciones a medida que están siendo concebidas sin un previo análisis de las mismas. Las soluciones obvias, fantásticas, ingenuas, obsoletas, difíciles de llevar a la práctica, carentes de toda lógica, ya probadas y todas aquellas que posean características indeseables, aunque parezcan irrationales, pueden ser utilizadas como fuentes para estructurar nuevas soluciones.

La creatividad y la inventiva

El ingeniero es básicamente un inventor, y sus principales características son el ingenio y la creatividad, entendiendo por inventiva la capacidad de una persona para crear, y diseñar nuevas formas, objetos y procesos, a partir de la combinación de ideas u objetos existentes, o mirando el problema desde otra óptica o punto de vista dándole un toque novedoso.

Sobre la inventiva y la creatividad se ha especulado mucho; algunos creen que ciertas personas nacen con esta capacidad, es decir, que es innata y heredada, otros piensan que la inventiva se puede adquirir y desarrollar a partir de cero.

En concepto de los autores, ninguno de los conceptos anteriores son absolutos; la inventiva es una combinación de los dos factores mencionados, pero es necesario emplear estrategias para estimular la mente de manera que actúe en forma propositiva. Muchas de las nuevas ideas son el producto de una actitud de búsqueda ordenada y sistemática.

La creatividad es la capacidad de crear o inventar algo nuevo, de encontrar relaciones entre variables de forma innovadora o de apartarse de los esquemas de pensamiento y conducta habituales. Gracias a ella es posible gozar de gran cantidad de adelantos culturales, científicos y tecnológicos, aportados por muchas personas.

La creatividad está relacionada con los términos arte, proceso, actitud, aptitud, habilidad, calidad y descubrimiento; todos ellos enfocados a aportar algo nuevo a través del desarrollo de ideas. La creatividad es sinónimo de innovación, imaginación, originalidad, invención, visualización, intuición y descubrimiento.

Existen varias técnicas que pueden ayudar a una persona o a un grupo a producir ideas originales. La heurística, o el arte de inventar, reúnen las técnicas que se emplean para obtener soluciones a los problemas planteados. La aplicación de estos recursos provee al diseñador de reglas simples de seguir que facilitan la transición del pensamiento convencional al pensamiento creativo e innovador.

Muchos de los recursos heurísticos se aplican a diario en la búsqueda de soluciones a problemas cotidianos. Sin embargo, la sistematización y la organización de estos recursos permiten su reconocimiento y mejor aprovechamiento. Adicionalmente, la utilización de las técnicas que no son familiares a la mente del diseñador, permite que este desarrolle sus habilidades creativas. Entre estos recursos se describen a continuación la analogía, la inversión, la empatía, la disminución de la dificultad del problema, la fantasía y las listas de verificación:

1. *Analogía.* Este es uno de los recursos más ampliamente empleado en la resolución de problemas, y consiste en la utilización de una o varias características de un sistema para crear otro. Cuando se buscan analogías entre dos sistemas, se trata de encontrar las semejanzas entre ambos. Los sistemas pueden ser de diferente clase y pueden estar aplicados en funciones totalmente diferentes. Un ejemplo es el reloj de manecillas (llamado también reloj analógico): este dispositivo utiliza una analogía entre el ángulo que forman las manecillas y la hora del día. Como puede deducirse del ejemplo anterior, los ángulos de las manecillas y la hora no tienen relación aparente. Sin embargo, cuando se asocian ambos a través de la analogía, aparece la relación que le da sentido al dispositivo creado (Grech, 2001).
2. *Inversión.* Consiste en la selección de una o más características de un sistema, para luego invertirlas y colocarlas nuevamente, observando los cambios en el comportamiento del sistema.

La inversión trata de contraponer ideas con el fin de obtener soluciones, variando el punto de vista utilizado para resolver el problema. Se puede pensar en una lista de inversión de atributos, por ejemplo negro y blanco, convergente y divergente, liso y rugoso, centrado y descentrado, estático y en movimiento, etc., o convertir la causa en efecto, lo absoluto en relativo, lo irrelevante en relevante, etc.

3. *Empatía.* Lo que se persigue con esta técnica es entrar en los objetos y formar parte de ellos, lo que permite que el diseñador cambie radicalmente su punto de vista por ejemplo al imaginarse formando parte de un objeto inanimado, confiriéndole características humanas o siendo él mismo el objeto y sintiéndose como tal.
4. *Fantasía.* Consiste en la violación intencional de los principios físicos que rigen un sistema, para llegar a las soluciones deseadas. Cuando se aplica la fantasía como recurso de pensamiento, los resultados serán soluciones que permitirán el replanteamiento de las ideas del diseñador.
Para llegar a soluciones fantásticas se requiere el uso del pensamiento creativo. Es necesario, por tanto, dejar atrás las diferentes barreras que imponen las leyes físicas y naturales para que la imaginación actúe.
5. *Listas de verificación.* Consiste en elaborar una lista de atributos del sistema a diseñar y los posibles elementos que podrían conformarlo. En una lista de este tipo se pueden incluir las formas en las que el dispositivo puede modificarse, usarse para otros fines, etc.

Técnicas de mejoramiento de la inventiva

En la figura 8.14 se muestra una adaptación de un modelo o estrategia sistemática, tomada del libro *Introducción a la ingeniería* de Edward Krick (1998).

Figura 8.14. El mejoramiento de la inventiva

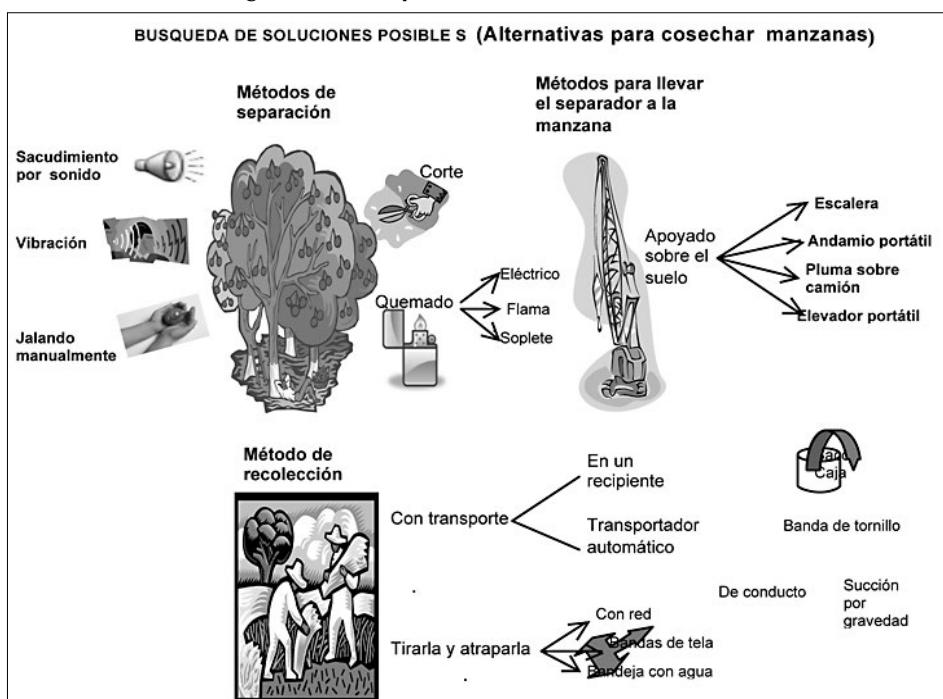


Fuente: adaptado de Krick (1998).

Métodos sistemáticos de búsqueda de soluciones

Como se dijo, muchas de las nuevas ideas son el producto de una actitud de búsqueda ordenada y sistemática. Una forma de realizar la búsqueda de soluciones de manera ordenada y sistemática consiste en dividir el problema en la mayor cantidad posible de sub-problemas, y buscar alternativas de solución para cada uno empleando una técnica muy similar a la utilizada por la investigación de operaciones en la evaluación, el análisis y la toma de decisiones, denominada "árbol de decisión". Al final, la reunión articulada y concurrente de las soluciones individuales a los sub-problemas constituye la solución total. En la figura 8.15 se presenta un ejemplo que ilustra el uso de esta técnica sistemática en la búsqueda de soluciones posibles.

Figura 8.15. Búsqueda sistemática de soluciones



Fuente: adaptado de Krick, 1998

En el ejemplo de la figura 8.15, el departamento de ingeniería industrial encargado de mejorar el sistema de recolección de manzanas dividió el problema en varios sub-problemas, analizándolos por separado y estudiando posibles alternativas mejoradas para cada uno:

1. *Método para desprender la fruta del árbol.* Posibles soluciones: vibración, jalón, corte o quemado (con llama, con soplete, con arco eléctrico).
2. *Medios para acercar el separador al árbol de manzanas.* Posibles soluciones: apoyado sobre el suelo (escalera, andamio portátil, pluma sobre camión, elevador portátil); suspendido en un globo. También es necesario generar posibles soluciones para acercar el generador al árbol.

3. *Método para reunir las frutas ya desprendidas del árbol.* Posibles soluciones: con transporte (en un recipiente [saco o caja], con transportador, tirarlas y atraparlas con una red, en una bandeja con agua, en un colchón de aire.

La subdivisión de los problemas se continúa hasta el grado necesario, buscando soluciones a problemas cada vez más específicos, tales como tipos de vibrador, formas de jalar las manzanas, tipos de transporte, etc.

En la práctica, a medida que los problemas se van subdividiendo, se requieren especialistas que se ocupen de los sub-problemas, siendo al final necesario emplear la técnica denominada “ingeniería concurrente”, que no es otra cosa que la reunión de especialistas con conocimientos interdisciplinarios y multidisciplinarios en la cual cada especialista, profesión o disciplina aporta su conocimiento específico al análisis y la solución de problemas complejos, todo ello bajo la coordinación de un especialista en ingeniería concurrente.

8.4.7 Evaluación de alternativas de solución y selección de la óptima

Criterios de diseño

Otras condiciones que es necesario considerar en la etapa de búsqueda de alternativas de solución, se refieren a los indicadores visibles que permiten medir la calidad de estas, y son los denominados criterios de selección o de diseño, entendiendo por tales las características esperadas o deseadas de la solución, muchas de las cuales son dicotómicas, es decir, no es posible satisfacerlas al cien por ciento todas al mismo tiempo. Por ejemplo: una característica deseable en un carro deportivo puede ser la potencia y la capacidad de pique, mientras por otro lado se puede desear un bajo consumo de gasolina y una mayor seguridad para el conductor; sin embargo, no es posible satisfacer estas características de igual forma, pues la segunda y la tercera son completamente opuestas a la primera. En la medida en que las soluciones propuestas cumplan en mayor grado estos criterios, serán consideradas mejores que otras que no los cumplen tan bien.

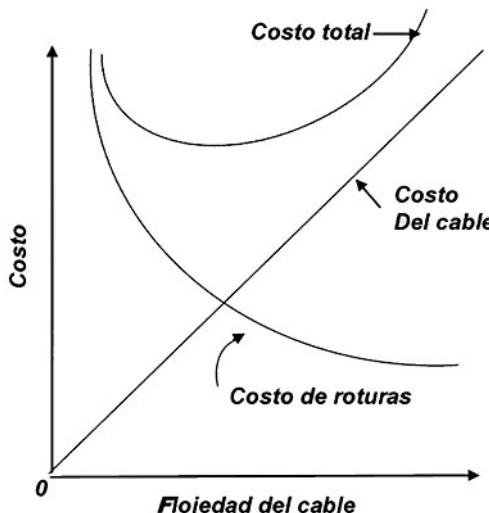
Así como ningún síntoma o efecto proviene de una sola causa, ningún problema tiene una única solución. Por consiguiente, una vez se ha seleccionado una serie de posibles soluciones, es necesario evaluar cada una de ellas, desde el punto de vista de las restricciones y de los criterios, como se anoto en apartados anteriores.

Concepto de optimización

La principal estrategia que se utiliza en la evaluación y la selección de las alternativas de solución es la denominada optimización, la cual consiste en términos simples en encontrar un balance apropiado entre los diferentes criterios de diseño, en especial de aquellos con carácter parcial o totalmente dicotómicos, es decir que entran en conflicto entre sí por el uso de los recursos disponibles (optimización: conseguir los mejores resultados utilizando eficientemente los recursos disponibles). Óptimo no significa lo mejor; significa seleccionar la alternativa que satisfaga en mayor grado la necesidad o el deseo, y que genere el mayor valor posible.

Aunque muchas evaluaciones y decisiones sobre cuál alternativa de solución es la óptima se pueden hacer utilizando criterios básicos de sentido común y métodos de cálculo simple; cuando se trata de problemas que requieren soluciones complejas, como son la mayoría de los problemas ingenieriles, es necesario recurrir a técnicas de investigación de operaciones (el estudiante de ingeniería encontrará este tipo de asignaturas en cursos superiores) y a la aplicación del cálculo diferencial, como se muestra en el siguiente ejemplo tomado de Krick (1998) y que se ilustra en la figura 8.16.

Figura 8.16. Ejemplo de optimización matemática



Fuente: Krick (1998).

“Al tender un cable telefónico submarino en el fondo del océano, las probabilidades de ruptura se minimizan si se proporciona la menor tensión o estiramiento posible. Pero esta falta de tensión (o flojedad) aumentaría la cantidad de cable necesaria. Si el cable se tiende con demasiada tirantez, las consecuencias son las contrarias” (Krick, 1998, Pág.93). Por consiguiente, es necesario encontrar el punto óptimo, es decir, aquel en el cual el valor total es máximo. En el caso del ejemplo de la figura 8.16, este corresponde al valor de la pendiente donde el costo total es mínimo (punto de inflexión de la curva del costo total).

Evaluación de las alternativas

Una vez se han encontrado varias alternativas de solución al problema, se procede a evaluar todas y cada una de las alternativas, contrastándolas con las restricciones, con el fin de descartar aquellas que se encuentren por fuera de los límites de las restricciones, evaluar las alternativas viables comparándolas con los criterios de diseño establecidos, para finalmente seleccionar aquella que mejor satisfaga los criterios.

Durante la búsqueda del mayor número y variedad de soluciones, se encuentran muchas respuestas que inicialmente se presentan en forma general, describiéndolas con palabras o mediante algún dibujo. Después de eliminar las alternativas de menor calidad se añaden más detalles a las posibilidades restantes, que luego se evaluarán con métodos más refinados, descartando las que no cumplan satisfactoriamente los criterios de selección establecidos. Luego se procede a combinar las mejores soluciones para finalmente elegir una sola como la respuesta óptima.

Las posibles soluciones se examinan detenidamente, siendo sometidas al escrutinio de un grupo de expertos o comparadas usando una matriz de selección de comparación contra los criterios y una matriz de selección como se muestra en las tablas 8.1, al término de la cual aparece la solución que mejor cumple los criterios de selección impuestos.

Tabla 8.1. Cuadro de evaluación de alternativas para comunicar las actividades que se realizarán en una universidad durante la semana cultural

Solución Viabilidad	A Carteleras	B Altavoz	C Correo electrónico	D Página de la universidad
Limitaciones físicas	Habría que colocar carteleras en muchos sitios de la universidad	No se tiene, habría que comprarlo	No todos los estudiantes utilizan el correo de la universidad	La mayoría de computadores de la sala de Internet abren con la página de la universidad
Viabilidad técnica, dificultad tecnológica	Colocar muchos carteles podría dar mal aspecto	Habría que anunciar en horas que coincidan con el cambio de clase	No tiene problema	No tiene problema
Recursos económicos - costo de la solución	Bajo costo	Alto costo	Sin costo adicional	Sin costo
Tiempo de implantar la solución	Corto tiempo	Corto, mientras se consiguen los equipos	Corto tiempo	Corto tiempo
Impacto cultural sobre el grupo humano	Ninguno	Muchos conversan en el descanso y se interesan poco en el ruido externo	Ninguno	Ninguno
Consideraciones éticas	No tiene problema	No tiene problema	No tiene problema	No tiene problema
¿Es viable?	Sí	Se debe contar con recursos adicionales	Sí	Sí

Fuente: Módulo de Introducción a la Ingeniería, Aurora Velasco, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

En el primer caso, un grupo de expertos estudia los diversos criterios y restricciones, y luego evalúa las soluciones una por una hasta llegar a la selección de una de ellas. Este método se emplea muy a menudo, pues permite librarse, en buena medida, de la subjetividad del diseñador, ya que este solo es uno más de los expertos que evaluarán las soluciones y, debido a ello, aun cuando se parcialice por una de ellas, solo se seleccionará si logra convencer a los otros integrantes del grupo.

Otra ventaja de este método es que se incorporan diversos puntos de vista al proceso de selección de las soluciones, lo cual podría ocasionar un vuelco inesperado en el proceso. En la actualidad, como se expresó en el apartado relacionado con las competencias del ingeniero, los problemas no son analizados y solucionados por un ingeniero de manera individual, y la mayoría de las veces se requieren equipos inter y multidisciplinarios, cuyos miembros aporten soluciones desde su especialidad, es decir, de la "ingeniería concurrente".

Una de las mayores desventajas de este método estriba en la dificultad de reunir a un grupo de suficientes expertos con conocimientos en el área para que evalúen las diferentes soluciones. Sin embargo, una variante que confiere dinamismo a estos grupos es la introducción de personas con conocimientos en áreas cercanas o diferentes (grupos multidisciplinarios), ya que contribuye a enriquecer con más ideas la selección de la solución. La utilización de la técnica denominada *lluvia de ideas*, es sumamente útil en esta etapa.

La ponderación o cuantificación del valor de los criterios y soluciones consiste en medir el grado en el que una solución cumple con un criterio dado. Según Grech (2001), los principales criterios que evalúan la viabilidad de una solución son los aspectos técnicos, económicos, humanos y de tiempo.

- Aspectos técnicos: Para evaluar el aspecto técnico es recomendable responder las siguientes preguntas:
 - ¿Se violan las leyes físicas?, ¿se sobrepasan limitaciones establecidas?

El diseño de un repuesto genérico, es decir que sirva, por ejemplo a varios modelos de automóviles, puede resultar inapropiado para alguno de ellos.

El diseño de un edificio que no cumple con las especificaciones de cargas de viento podría desplomarse y occasionar grandes pérdidas.

- ¿Se puede llevar a cabo con los recursos y la tecnología disponibles?

Si el diseño se elabora con base en altas especificaciones iniciales de calidad para evitar luego costos de mantenimiento, se debe evaluar la disponibilidad de la tecnología de punta y los recursos para implantarla.

- ¿Su nivel de desempeño es competitivo con otros productos similares?

Se plantea la construcción de una edificación con muros de carga, pero se olvida que este sistema no es adecuado si se desea construir más de un piso de altura.

- ¿Es fácil de reparar?, ¿es fácil de usar?, ¿se consiguen los repuestos?

Si la idea es diseñar un mecanismo costoso, que con el tiempo se deteriora por el continuo uso, es necesario prever la facilidad que existe para repararlo, transportarlo y la disponibilidad de repuestos.

- ¿Es seguro?, ¿es estéticamente atractivo? (Ver el ejemplo de la lavadora que se muestra más adelante).

Las lavadoras de carga frontal son más seguras, ya que no trabajan si no se encuentran firmemente cerradas, lo cual impide accidentes por introducir las manos o los brazos mientras están siendo accionados, y también son de mejor apariencia.

Un conjunto residencial puede ser muy atractivo desde el punto de vista arquitectónico, pero para que lo sea aún más, debe contar con el entorno paisajístico. Si está rodeado de un vecindario no muy agradable, su valor se debilita.

- ¿Posee capacidad de adaptación a futuros cambios?

Crear un diseño con tecnología antigua no vale la pena, ya que se queda relegado y no puede conectarse con nuevos aparatos de tecnología avanzada. En el caso de un televisor, es mejor comprar aquel que permita conexión a video, DVD y posea nueva tecnología como el plasma, el LCD o el LED, así como adaptación a la televisión satelital.

- Aspectos económicos: en relación con el aspecto económico, algunas preguntas pertinentes pueden ser:

- ¿Se dispone de fuentes de financiación accesibles?

Emprender un proyecto de construcción supone altos costos; en las épocas de crisis, si las entradas de dinero fallan, habría que suspender los trabajos, lo cual ocasionaría graves pérdidas económicas.

- ¿Su costo es mayor que el de otros productos similares?

Si se diseña un producto con similares características a otros ya existentes en el mercado y el precio es menor, habrá garantías de poder venderlo. Si el precio es mayor la inversión fracasa, pues la empresa podría quedarse con una buena cantidad de producto terminado y, en el mejor de los casos, feriarlo para obtener al menos el valor de recuperación.

- ¿La relación costo/beneficio es aceptable?

La relación costo/beneficio consiste en comparar el costo de la inversión con el beneficio que produce. Si la inversión que se realiza es mayor al beneficio que se obtiene, en términos monetarios, el proyecto no debe ser considerado.

- ¿Los costos son tan altos que la idea resulta no viable?

Colocarle terminados sumptuosos a una vivienda de interés social puede hacerla muy atractiva; sin embargo, no habría quien la comprara por el alto costo.

- Aspectos de tiempo:

- ¿El tiempo requerido está dentro de los márgenes aceptables?

Se promete a un comprador de vivienda entregarla en un determinado plazo. El cliente organiza sus recursos y planea sus gastos de acuerdo con la promesa que se le ha hecho. No entregar a tiempo implica una inversión adicional para el usuario, quien deberá pagar uno o más meses de arriendo mientras se produce la entrega de la vivienda.

- ¿Se han tenido en cuenta costos imprevistos?

No tener en cuenta los imprevistos puede aumentar notablemente los costos.

- Aspectos humanos:

- ¿Cumple con las regulaciones ambientales?

Las impresoras de carro, aunque mucho más económicas en su impresión, son además muy ruidosas, por lo que fueron reemplazadas por las impresoras de inyección de tinta y láser.

- ¿Es éticamente aceptable?

Muchos estudios científicos se desarrollan experimentando con animales, sin embargo se sabe que someter a un animal a dolor agudo está muy lejos de la ética.

- ¿Tiene en cuenta los hábitos socioculturales de la población a la que se dirige?

Las curtiembres de una localidad afectan gravemente el medio ambiente, pero erradicarlas afectaría mucho más a la población que vive de esta actividad. Habrá que pensar en una solución que optimice la vida socioeconómica de la comunidad.

Eliminar las ventas ambulantes de las calles de una ciudad, permite mejorar la movilidad de los transeúntes y mejorar el paisaje de la zona, pero piénsese en el desempleo que se generaría entre las personas que viven de estos negocios callejeros.

- ¿Su uso genera enfermedades profesionales?

El trabajo en las antiguas minas de carbón generaba una enfermedad llamada antracosis. El uso continuo de rayos X puede ocasionar cáncer. El trabajo muy prolongado en los teclados de las computadoras causa la llamada enfermedad del túnel del Carpio.

- ¿Es cómodo?, ¿es de presentación agradable?

Si se compara la antigua máquina de escribir mecánica con el computador, es posible encontrar notables diferencias en cuanto a comodidad. Por otra parte, un dispositivo que además de ser funcional sea bello, tendrá mayor garantía de penetrar en el mercado.

Este tipo de preguntas ayuda en la creación de un cuadro comparativo de características, en el que se pueden establecer las ventajas relativas de cada alternativa. En la tabla 8.1 se presenta un ejemplo donde se comparan varias soluciones respecto de la forma como los estudiantes deben enterarse de las actividades culturales que se realizarán en un periodo dado.

Una vez evaluada la viabilidad de las diferentes soluciones se elabora una matriz de solución que reúne de manera compacta todos los datos necesarios para determinar cuál es la mejor solución al problema presentado, tomando como entrada las soluciones que pasen el examen de viabilidad y que estén dentro de los límites de las restricciones. En etapa es necesario ponderar los criterios, es decir, asignar valores numéricos a los diferentes criterios (un peso expresado en porcentaje) con base en una escala seleccionada por el diseñador. En esta escala se ubica en el tope el criterio de mayor importancia y de allí en adelante se organiza el resto de los criterios en orden de importancia decreciente (tabla 8.2).

Tabla 8.2. Matriz de alternativas de solución contra características

Característica	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C	Alternativa D
Tamaño del dispositivo (cm)	76 x 92 x 76	76 x 90 x 76	76 x 95 x 80	76 x 90 x 76
Tipo de corriente (V)	110	110	220	110
Costo unitario (US\$)	470,00	500,00	480,00	490,00
Costo total de la solución (US\$)	6580,00	7000,00	580,00	7000,00
Aprobación Underwriters Labs.	OK	OK	OK	OK
Vida útil (cargas)	1500	1500	1600	1400
Eficiencia de lavado (%)	98	97	95	95
Encogimiento (%)	,4	,5	,8	,5
Producción (unidades)	310.000	300.000	300.000	290.000

Fuente: elaboración propia.

Evaluación numérica de las alternativas de solución

En esta etapa, se procede a la evaluación de las soluciones con base en los criterios. Esto se logra mediante la asignación de una puntuación a cada solución, en función del grado de cumplimiento de cada criterio. Para la asignación de la puntuación se emplea una escala numérica que el diseñador debe establecer de antemano. Dicha escala puede ser lineal o no, y debe representar de la manera más amplia el grado de cumplimiento del criterio. Debe cumplirse, adicionalmente, que el orden de la escala sea el mismo que el de la escala de la ponderación de criterios; si la primera escala es decreciente, concediendo al criterio más valioso la máxima puntuación, entonces la escala de ponderación de soluciones debe tener el mismo sentido de ordenamiento, esto con el fin de asegurar la coherencia de los resultados.

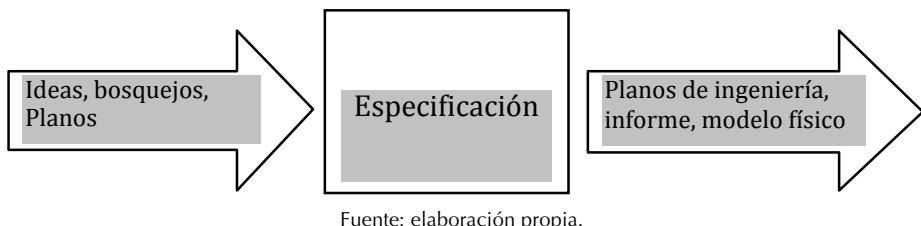
Por último, se multiplica el valor respectivo del criterio (peso expresado en porcentaje) por el valor obtenido según el cumplimiento de cada criterio. Luego se efectúa una sumatoria de los resultados, llegando a un valor definitivo para cada solución. Estos valores se comparan y, según como se haya escogido la escala, la solución escogida será la de mayor o menor puntaje.

Especificación de la solución escogida

Como último paso se procede a la especificación de la solución seleccionada. Al comenzar el desarrollo de esta etapa, el diseñador se encuentra con una solución que no es más que un esbozo de lo que será la definitiva. Por tal motivo, se debe proceder a detallarla, utilizando los recursos científicos, técnicos y de ingeniería que competan al caso, como se muestra en la figura 8.17. Al final del proceso, deben satisfacerse el problema inicial, las restricciones y los criterios.

Según Krick (1998), el procedimiento de elección de la solución adecuada varía considerablemente de acuerdo al tipo de problema, las técnicas, destrezas y conocimientos que se empleen, la complejidad y la competitividad de las alternativas, la importancia relativa de la decisión y otras circunstancias. Una decisión puede tomarse teniendo en cuenta desde procedimientos exhaustivos elaborados que comprenden medición, investigación, predicción y comparación de costos en alto grado, hasta el simple juicio informal y rápido.

Figura 8.17. Proceso de la fase o etapa de especificación



Fuente: elaboración propia.

Esta es la fase que más se requiere la experiencia y el buen juicio para aplicar las competencias profesionales y laborales adquiridas y desarrolladas durante su formación en cualquiera de las diferentes ramas de la disciplina.

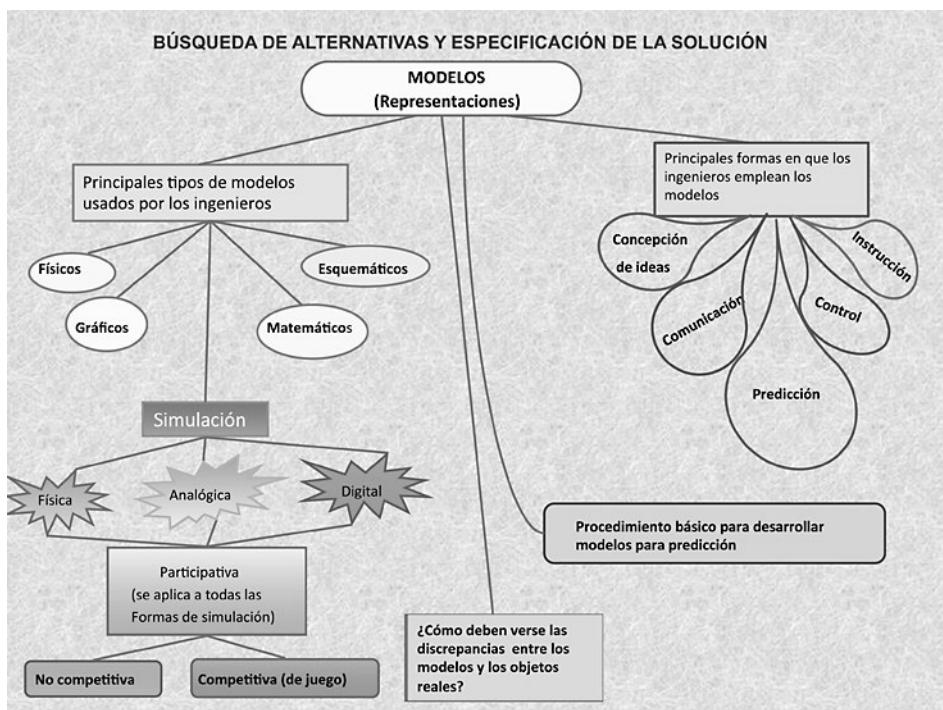
En esta etapa tal vez se requiera tomar muchas decisiones sobre el aspecto o la presentación final, los materiales, dimensiones, peso, costo y otras especificaciones del producto que se desea construir o del proceso que se propone implementar; igualmente podrá ser necesario elaborar planos, dibujos y prototipos.

Los diseños preliminares pueden evolucionar a través del análisis o la síntesis. El análisis implica la división de un todo en las partes que lo conforman para estudiarlas en forma individual. La síntesis, por su parte, implica la combinación de hechos, principios o leyes en una idea general que proporcionará un resultado deseado que resolverá el problema.

Modelos

Además de planos, bocetos, maquetas y modelos físicos, actualmente se emplea la modelación computarizada, en la cual se utilizan modelos digitales y analógicos basados en las matemáticas, tanto para el análisis de alternativas de solución, así como para expresar la solución o las soluciones escogidas. En la figura 8.18 se muestra una adaptación de Krick (1998) utilizada para explicar los diferentes modelos y su uso en el enfoque ingenieril.

Figura 8.18. Modelos de representación de la solución escogida.



Fuente: (adaptación de Krick 1998).

Los modelos son descripciones simplificadas de un sistema o proceso de ingeniería que puede usarse como apoyo en el análisis o en el diseño y, según Wright (1994), se pueden clasificar en tres categorías:

1. Modelos analíticos o matemáticos: consisten en una ecuación o grupo de ecuaciones que representan un sistema físico. Por ejemplo, la siguiente ecuación representa la medición de caudal en un río:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{V} \cdot \mathbf{A}$$

Donde V es la velocidad que lleva el río y A es el área de la sección transversal del río.

2. Modelos de simulación: se pueden generar con ayuda del computador. En la actualidad existen muchos que permiten simular las fuerzas generadas por viento, cargas y sismos en una edificación, tales como el SAP 90, las Sísmicas, etc.
3. Modelos físicos: sirven para estudiar un dispositivo, proceso o estructura con muy poco o ningún conocimiento previo de su comportamiento, o sin necesidad de hacer suposiciones que lo simplifiquen. Pueden construirse a escala normal o reducida, pero en todos los casos sirven para obtener un mayor conocimiento de fenómenos complejos o para verificar su funcionamiento.

Informe final

Cuando la solución se encuentra completamente descrita, con todos sus detalles, se procede a presentarla a través de un informe escrito, planos y modelos físicos si es preciso, de tal manera que se indiquen con claridad su costo, funcionamiento, etapas o fases de un proceso o procedimiento, los tipos y propiedades de los materiales, las dimensiones, los métodos de unión o fijación, las tolerancias y los detalles esenciales semejantes, etc.

A pesar de que la solución o el diseño escogido por el ingeniero es el óptimo, normalmente al cliente o interesado se le deben presentar varias alternativas para que él, utilizando su propio criterio o asesores, escoja la que más se ajuste al contexto en el cual será aplicada. Incluso muchas veces el interesado selecciona alternativas sub-óptimas o una combinación de ellas.

Por último, aunque no por ello lo menos importante, es la redacción y presentación del informe. Dependiendo del tipo de proyecto existen diferentes tipos de informes, los cuales deben seguir reglas rigurosas de redacción.

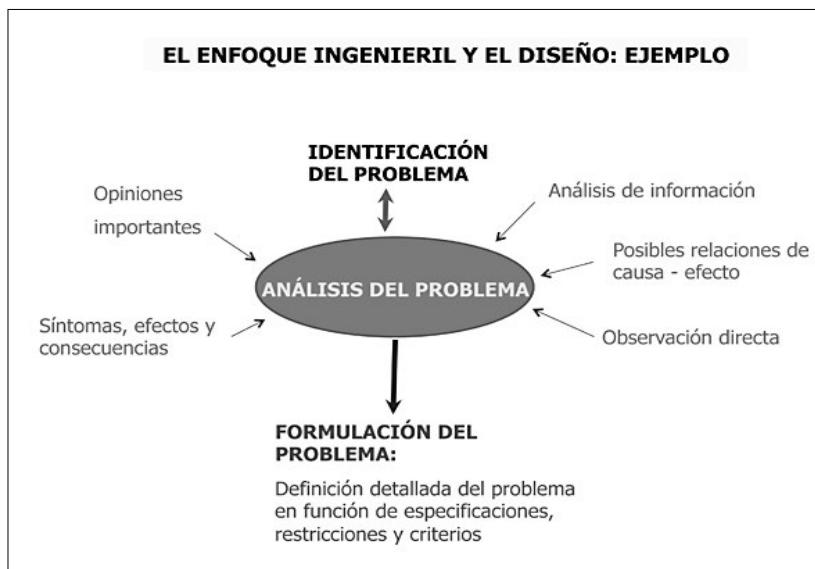
Aunque los informes más comunes utilizados por los ingenieros son los informes técnicos que acompañan los planos, especificaciones y memorias de cálculo, estos deben ser escritos y presentados de tal manera que no solamente muestren una buena imagen y cultura del ingeniero, sino que también sirvan como medio para la difícil etapa de “vender” el proyecto o la solución diseñada. No es exagerado afirmar que un gran número de excelentes soluciones no son aceptadas simplemente por una deficiente presentación.

8.5 Ejemplo de la aplicación del enfoque ingenieril en la solución de un problema de ingeniería

A continuación, se muestra en forma esquemática, con un ejemplo, los pasos, desde la formulación del problema, pasando por las etapas de análisis, búsqueda de soluciones alternativas, evaluación de las mismas, hasta las etapas finales de selección y especificación de la solución óptima, así como la utilización del concepto "ingeniera concurrente" del que se habló en apartados anteriores.

Los conceptos de identificación y formulación del problema, caja negra, restricciones, criterios de diseño, alternativas de solución, etc., se hacen evidentes en el ejemplo, pero el estudiante deberá remitirse a todos y cada uno de los apartados en donde se describen los conceptos en forma más amplia.

Figura 8.19. Marco teórico del problema



Fuente: elaboración propia.

Identificación del problema:

En una localidad pequeña se acaba de construir un hospital de segundo nivel. Durante la etapa de "amoblamiento" e implementación de la parte operativa del hospital, las directivas identificaron, en primera instancia y de manera general, la necesidad de contar con un sistema para el lavado de la ropa de cama, los uniformes, etc. Después de un análisis global por parte de las directivas, y después de conocer la magnitud del problema y el presupuesto destinado para el efecto, utilizando la técnica de "lluvia de Ideas" se establecieron las siguientes posibles alternativas de solución:

1. Construir al interior del hospital una serie de lavaderos en cemento y enchapados, y contratar lavanderas para lavar manualmente

2. Contratar el lavado con terceros
3. Comprar un número determinado de lavadoras semiautomáticas
4. Hacer una licitación para la fabricación de una o varias lavadoras automáticas.

Después del análisis y la evaluación global de las alternativas presentadas, se decidió por la última alternativa: sacar a licitación la fabricación de una o varias lavadoras automáticas. En el pliego de condiciones de la licitación se dieron las restricciones y criterios de diseño más importantes, y se procedió a dar a conocer la licitación entre las compañías fabricantes de lavadoras y lavanderías.

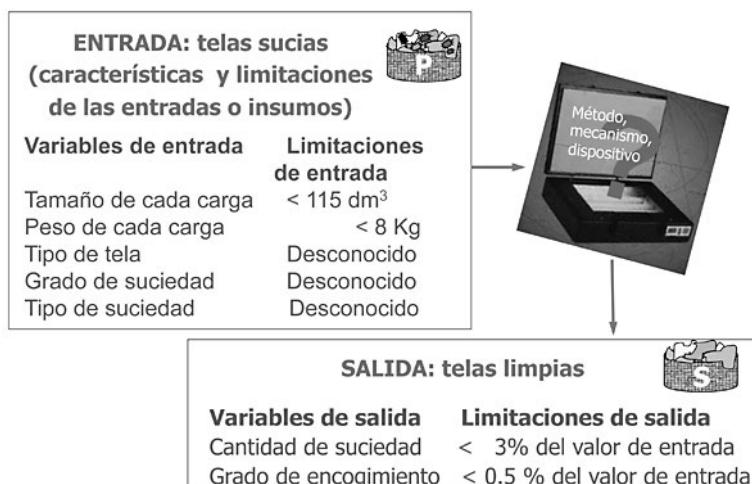
A cada posible proveedor le llegó la licitación (el problema globalmente identificado), lo que para cada uno de ellos constituyó la base para formular el problema en forma concreta.

Formulación del problema:

En este ejemplo la formulación del problema por el posible licitante, podría consistir en diseñar un dispositivo para lavar la ropa del hospital, maximizando los criterios de diseño, como por ejemplo el mínimo costo y la máxima seguridad para la persona que operara el dispositivo, todo ello mediante un diseño que se enmarca dentro de las restricciones, tales como costos, dimensiones y otras características plenamente identificadas por el cliente en los términos de referencia de la licitación.

Figura 8.20. Formulación del problema

PROBLEMA: hallar un método, mecanismo, procedimiento o dispositivo para lavar la ropa de cama de un hospital.



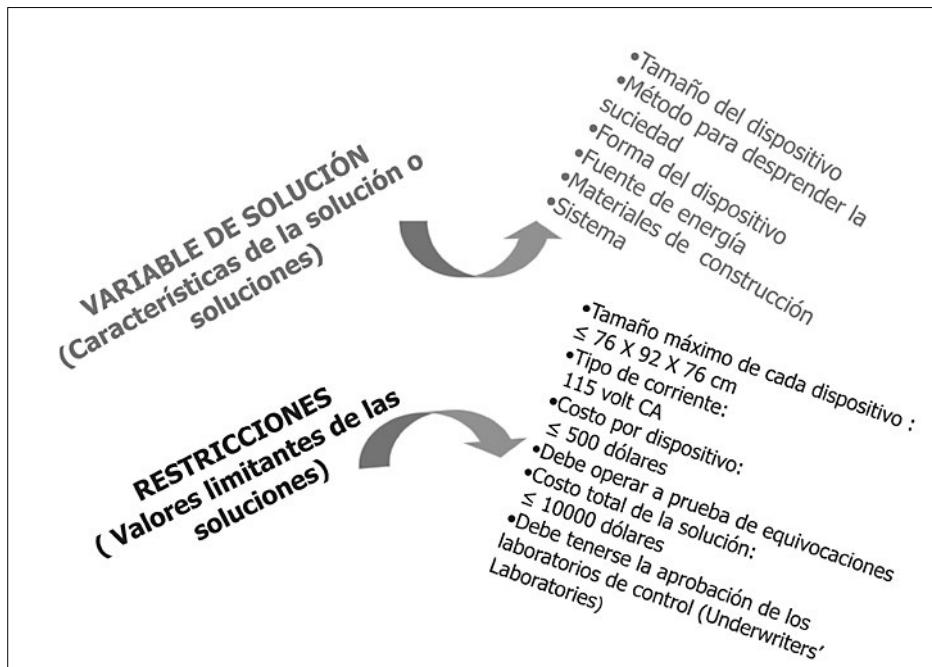
Fuente: elaboración propia. . (Adaptación de Krick 1998)

Análisis del problema:

Esta etapa consistió en la identificación de los estados “A” (ropa sucia) y “B” (ropa limpia), la identificación y el análisis de las variables de entrada (características de la ropa a lavar), así como las variables de salida, esto es, las características esperadas de la ropa ya lavada (figura 8.20).

- *Restricciones.* Esta etapa surtió efecto en el diseño del pliego de condiciones, en el cual no solo se especificaron algunas características de las variables involucradas en el problema, sino también se dio a conocer a los potenciales proponentes las restricciones más importantes a tener en cuenta en la propuesta, como por ejemplo el presupuesto, el tipo de corriente eléctrica con la que cuenta el hospital y el tamaño de los espacios disponibles, entre otras (figura 8.21).

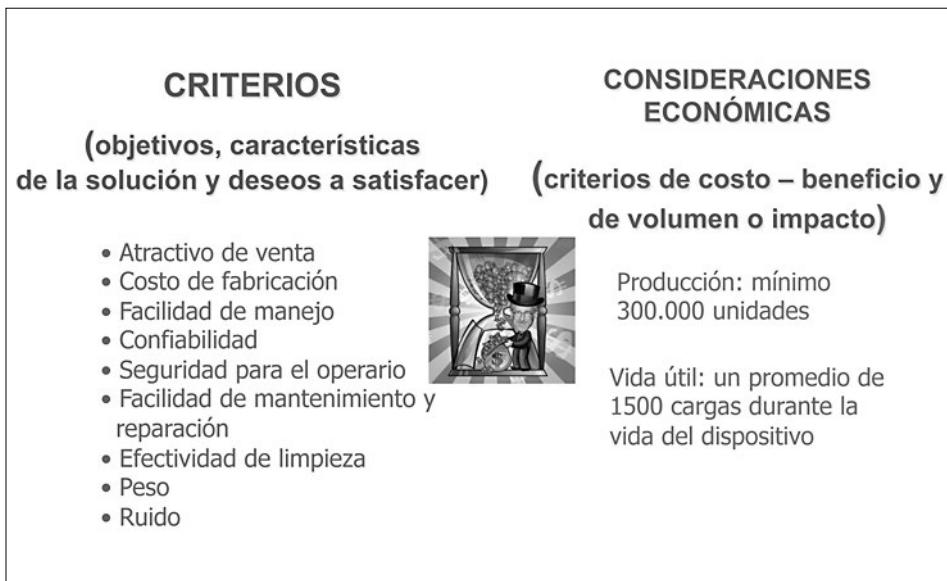
Figura 8.21. Restricciones y variables de solución



Fuente: elaboración propia. (Adaptación de Krick 1998)

- *Criterios de diseño.* Mientras que las restricciones son impuestas por el cliente, específicamente en el pliego de condiciones del hospital, por el contrario los criterios de diseño son impuestos o recomendados al interior de la empresa (el fabricante de lavadoras que quiere participar en la licitación), por el gerente de la compañía, que conoce el mercado y la competencia. Los criterios a maximizar son puntualmente las características deseadas de las propuestas, con las cuales en la práctica el cliente (el hospital) tomará la decisión para seleccionar la mejor propuesta de entre todas las ofrecidas por los proponentes (figura 8.27).

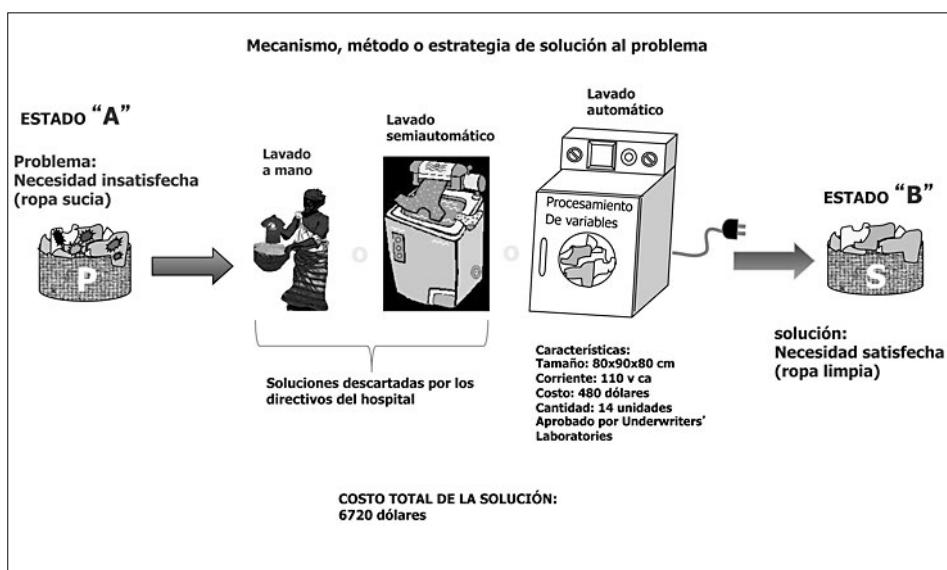
Figura 8.22. Criterios de diseño



Fuente: elaboración propia. . (Adaptación de Krick 1998)

Selección de la solución preferida:

Figura 8.23. Selección y especificación de la solución preferida



Fuente: elaboración propia.(adaptación de Krick 1998)

Por último, el proceso termina cuando los ingenieros encargados del diseño del dispositivo para lavar la ropa analizan varios diseños de lavadoras, para ser presentados a las directivas del hospital dentro de los términos de la licitación y recomiendan la alternativa por ser la de mayor valor agregado, como se indica en las tablas 8.2, 8.3 y 8.4. El diseño más apropiado y que más se ajusta a las condiciones del hospital.

La especificación de la solución preferida queda resumida en el dibujo de la lavadora automática y en las características o especificaciones que lo acompañan (figura 8.23). La empresa proponente que haya presentado e mejor diseño "A", será entonces la empresa ganadora de la licitación.

Una vez se determinó que la solución a la problemática del lavado de la ropa del hospital se haría por medio de una lavadora, los ingenieros procedieron a presentar diferentes tipos de lavadora, desde máquinas semiautomáticas, hasta máquinas o instalaciones muy automatizadas, presentando cuatro diseños o alternativas, siguiendo el proceso que se muestra a continuación:

1. Matriz de características de alternativas de solución: esta matriz muestra las características principales de las alternativas encontradas, en el presente ejemplo: A, B, C, D, como se muestra en la tabla 8.2.

Tabla 8.3. Matriz de alternativas de solución contra restricciones

Restricciones	A	B	C	D
Tamaño del dispositivo: Menor o igual a: 78 x 92 x 78 cm	X	X	NO	X
Tipo de corriente: 110 V	X	X	NO	X
Costo unitario: Menor o igual a: US 500,00	X	X	X	X
Costo total de la solución: Menor o igual a: US 10.000,00	X	X	X	X
Aprobación Underwriters Labs.: Sí	OK	OK	OK	OK
Vida útil: Mayor o igual a: mínimo 1500 cargas durante la vida útil	X	X	X	NO
Eficiencia de lavado: mínimo 97%	X	X	NO	NO
Encogimiento: máximo ,5%	X	X	NO	X
Producción: mínimo: 300.000 unidades de ropa	X	X	X	NO

Fuente: elaboración propia. (Adaptado de Krick 1998)

2. Matriz alternativas de solución versus restricciones: el siguiente paso consistió en comparar todas y cada una de las características principales de cada solución con las restricciones establecidas, con el fin de eliminar aquellas que no se encuentran dentro de los límites de las restricciones (tabla 8.3).

3. Matriz alternativas de solución versus criterios: en el paso anterior se descartaron las alternativas que no cumplían con las restricciones, C y D, en el ejemplo, quedando dos alternativas A y B, las cuales son viables y de las que se seleccionó la óptima o mejor, es decir, aquella que mejor satisface los criterios de diseño, comparando las características de cada solución con los criterios de diseño. Para el efecto se procedió a ponderar cualitativa o cuantitativamente las características de cada solución, dándoles un peso relativo que sirviera de base o criterio para seleccionar la mejor, como se muestra en la tabla 8.4.

Tabla 8.4. Matriz de alternativas de solución contra criterios

Criterio de diseño	A	B
Atractivo de venta	100	100
Costo de fabricación	100	95
Facilidad de manejo	100	100
Confiabilidad	100	95
Seguridad de operación	100	100
Facilidad de mantenimiento y reparación	95	100
Efectividad de limpieza	98	97
Peso	90	100
Nivel de ruido	80	70
Ponderación total	863	857

Fuente: elaboración propia.

Especificación de la solución escogida:

Como último paso se procedió a la especificación de la solución seleccionada consistente en una lavadora totalmente automática (Figura 8.23). Al comenzar el desarrollo de esta etapa, el diseñador contaba solamente con un esbozo de lo que

sería la solución definitiva escogida por el cliente. Por tal motivo, se procedió a detallarla, utilizando los recursos científicos, técnicos y de ingeniería con todos sus detalles, utilizando planos y modelos físicos donde se indican con claridad su costo, funcionamiento, etapas o fases del proceso, los tipos y propiedades de los materiales, las dimensiones, los métodos de unión o fijación, las tolerancias y los detalles esenciales semejantes.

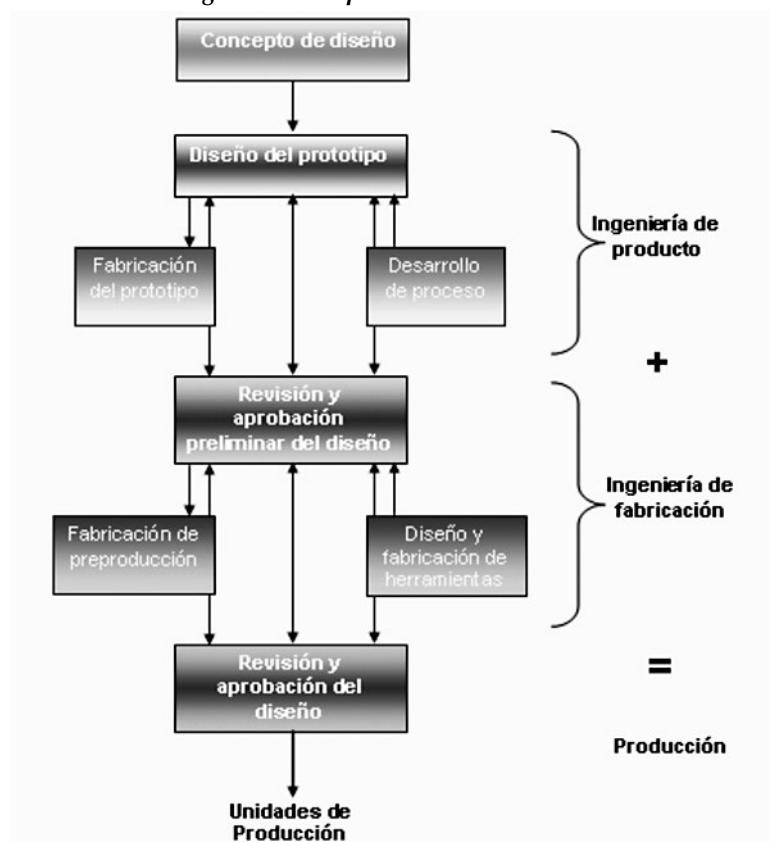
A pesar de que el diseño escogido por el ingeniero es el óptimo se le presentaron al cliente (En este caso en la licitación) varias alternativas para que él, utilizando su propio criterio o asesores, seleccionara la que más se ajuste al contexto en el cual será aplicada.

8.6 Ingeniería concurrente

En capítulos anteriores y, en este en particular, se habla de la necesidad que tienen los ingenieros actuales de desarrollar competencias para trabajar en equipos interdisciplinarios y multidisciplinarios. Una de la razones para esta afirmación radica en el hecho de que a diferencia de la forma como los antiguos ingenieros trabajaban, en forma aislada y en el mejor de los casos en equipos conformados por ingenieros de la misma rama, ahora se trabaja en el diseño de soluciones ingenieriles en equipos conformados no solamente por ingenieros de varias especialidades, sino también por profesionales de otras disciplinas. Así por ejemplo, en el diseño y la fabricación de un automóvil, participan ingenieros mecánicos, ingenieros de materiales, ingenieros eléctricos, ingenieros electrónicos, diseñadores industriales, expertos en ergonomía y, para su producción, ingenieros de manufactura, de calidad, de seguridad industrial, entre otros. La participación de economistas, expertos en personal, contadores e incluso psicólogos es normal en la conformación de los equipos de diseño y fabricación. Todo lo anterior se puede resumir en el nuevo concepto denominado ingeniería concurrente (IC) siempre y cuando la participación de cada profesional se lleve a cabo simultáneamente en todas las fases del ciclo de vida del producto.

La IG, también llamada ingeniería simultánea, es un concepto que aparece a principios de la década de los ochenta en Japón y que llega a Estados Unidos a finales de esa misma década como una estrategia que integra en forma simultánea el diseño de productos y los procesos para su manufactura, que inicia con el diseño y termina con su disposición final, pasando por la fabricación, la distribución y la venta. En el sistema de IG la planeación de producción comienza con el desarrollo del diseño del producto, involucrando la manufactura, el servicio de pos-venta, los aspectos de calidad, los proveedores de las materias primas, materiales y componentes importantes, e incluso se consulta la opinión de los posibles clientes potenciales. Modernamente se incluyen aspectos relacionados con el medio ambiente.

La metodología de la IG utiliza en esencia las mismas funciones involucradas en el ciclo de desarrollo de un producto, como lo hace el método secuencial tradicional (figura 8.24). Sin embargo, la diferencia radica en la interacción constante y simultánea entre las diferentes actividades y entre los diferentes departamentos que participan en el diseño, desarrollo, producción y venta de un producto.

Figura 8.24. Etapas de diseño secuencial

Fuente: elaboración propia.

Con este enfoque se asegura desde el diseño del producto no solo que este funcione bien, sino que también sea fácil de fabricar, de ensamblar, de revisar, de probar, de facilidad para el servicio de posventa y, en general, añadirle atributos al diseño o producto, que si no se involucraron desde el comienzo del diseño, resultaría muy difícil y costoso hacerle una reingeniería para adecuarlo a determinadas condiciones de funcionalidad no previstas.

Con el sistema anterior, es decir, la ingeniería secuencial (Figura 8.24), el diseño y el producto fabricado se revisan al final, surgiendo la mayoría de las veces cambios, cuando ya es demasiado tarde para integrarlos al diseño o al producto, de manera fácil, viable y económica.

Existen al menos cuatro aspectos que es necesario contemplar para la implantación con éxito de un sistema de IG:

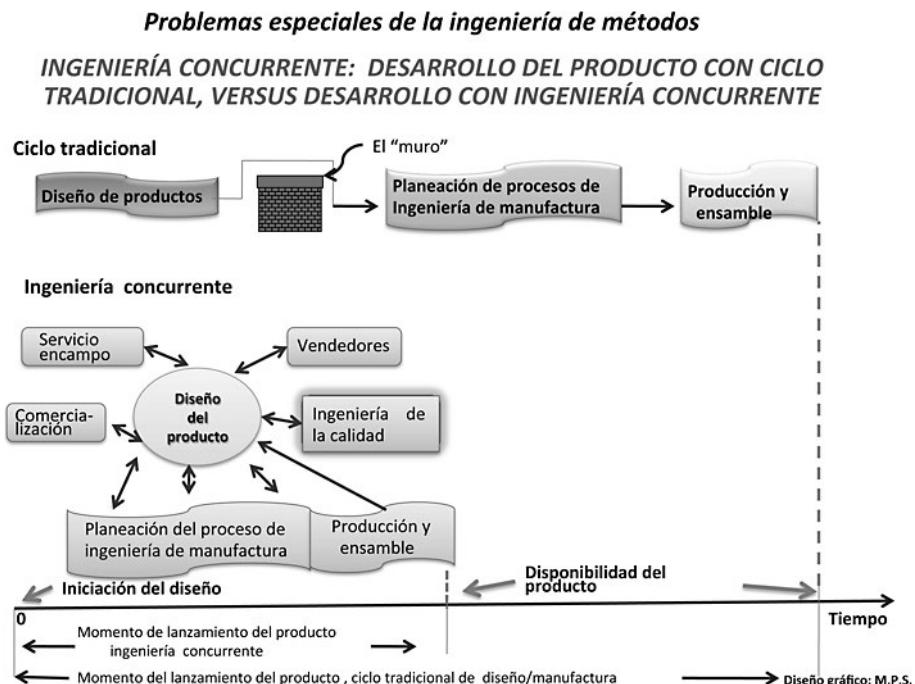
1. La modelización de los procesos: técnica que ayuda a analizar y a mostrar cómo la información fluye y se transforma a lo largo de un conjunto de actividades relacionadas con el proceso de diseño.

2. La arquitectura de los sistemas de información: compartimiento de datos entre aplicaciones, usuarios y organizaciones, donde las distintas aplicaciones actúan de manera integrada y cooperativa.
3. La conformación de equipos multidisciplinares e interdisciplinarios, con una comunicación efectiva entre sus miembros. Es posible organizar equipos de trabajo cuyos componentes no estén próximos físicamente, mediante la utilización de herramientas informáticas.
4. La utilización de metodologías de diseño: tales como el despliegue de la función de calidad (QFD), métodos Taguchi, herramientas asistidas por ordenador o diseño para fabricación y ensamblaje. (Groover Mikell (1997).

8.6.1. Diseño tradicional contra diseño concurrente

En la figura 8.25 se muestran gráficamente las diferencias entre el diseño secuencial y la ingeniería concurrente, así como las grandes ventajas de la segunda sobre el primero, como se menciona en los diferentes apartados de este capítulo.

Figura 8.25. Ingeniería secuencial contra ingeniería concurrente



Fuente: Elaboración propia adaptado de Groover I (1997).

Una forma de precisar la necesidad de considerar algunos conceptos relativos a la concurrencia, convergencia o simultaneidad de la información necesaria para la elaboración de un proyecto de diseño, es con el análisis del siguiente ejemplo:

Un arquitecto proyecta un edificio y debe prever la instalación de algún tipo de aire acondicionado; para ello, necesita datos de volumen relativos al sistema de aire acondicionado, volúmenes que ha de tener en cuenta en sus diseños. Sin embargo, el proveedor de los equipos de aire acondicionado requiere conocer los planos y dimensiones donde serán instalados los equipos. En otras palabras, no es posible definir el sistema de aire acondicionado si no se ha dimensionado previamente el edificio, y no se puede dimensionar el edificio si no se hacen las previsiones para los espacios necesarios que habrá de ocupar el sistema de aire acondicionado que todavía no se ha definido.

El edificio es ocupado por una empresa que desea ubicar sus oficinas allí. El diseño funcional y la distribución de planta ha sido, aparentemente, bien concebida, pero se han construido cuatro mamparas, se ha colocado un tabique y se ha ampliado el despacho para uno de los ejecutivos principales, pero este resulta no ser lo suficiente grande funcional y cómodo. Como consecuencia, esta parte del edificio ya construida, una persona que debería tener una ventana a la izquierda para recibir luz indirecta, tiene que ubicar su puesto de trabajo de espaldas a esta, con lo que la luz del día se refleja permanentemente en su pantalla del computador.

¿A qué se deben todos estos problemas, donde posiblemente es necesario replantear el diseño, y lo que es peor, tumbar y volver a construir las mamparas y los tabiques? La respuesta es muy sencilla: faltó comunicación entre el arquitecto y el diseñador funcional, así como con el fabricante de los equipos de aire acondicionado, para que cada uno de ellos conociera con anticipación, y simultáneamente, las necesidades de cada uno; en otras palabras, faltó IC.

8.6.2 Tipos de diseño en la ingeniería concurrente

Aunque el concepto de IC es muy amplio y abarca muchos aspectos del diseño, manufactura y venta del producto, en la literatura técnica se encuentran a menudo algunos tipos generales de diseño concurrente, entre ellos:

a) Diseño para manufactura y ensamble

Es el tipo de IC, más importante en el sector manufacturero de fabricación y ensamble, como por ejemplo la industria del automóvil, donde es necesario conocer con la debida anticipación como van ensambladas e integradas las diferentes partes que conforman el producto, antes de proceder a la fabricación de las mismas individualmente.

b) Diseño para calidad

Consiste básicamente en involucrar los factores calidad de diseño, calidad de manufactura y calidad de uso, desde la etapa del diseño. La aplicación de este criterio conlleva la utilización del principio de calidad preventiva en contraposición con la calidad curativa, en otras palabras la calidad debe

involucrarse en el producto o proceso desde su diseño y en todas y cada una de las etapas de fabricación.

c) Diseño para ciclo de vida

Se refiere al producto después de que se ha fabricado, como su uso, mantenimiento, el costo para el cliente (más allá del precio de compra), la instalación, las partes de repuesto, las actualizaciones futuras, la seguridad en su operación, entre otros aspectos.

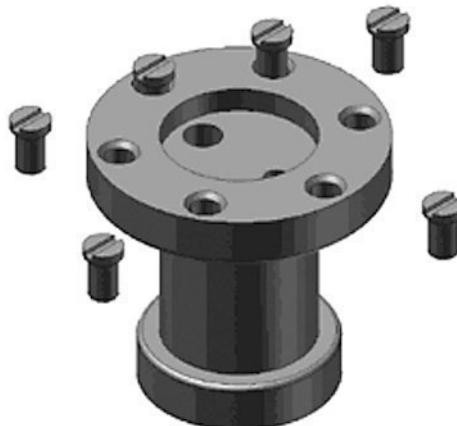
d) Diseño para costos del producto

Se refiere a la necesidad que tiene el diseñador del producto de identificar el Impacto del diseño sobre los costos generales y para el control de estos mediante un diseño óptimo (recuérdese que “óptimo” no necesariamente implica lo mejor).

e) Diseño para manufactura del producto

Además de los ejemplos anteriores, el caso del diseño de la lavadora para el hospital, que se presento en el capítulo anterior muestra la importancia de la utilización de la IG. En el diseño de la lavadora que se propuso en la licitación, tuvieron que intervenir, como mínimo, los siguientes profesionales o departamentos: a) el diseñador industrial, encargado del diseño y de la forma general de la lavadora; b) ingenieros mecánicos, eléctricos y electrónicos para el diseño electromecánico y de los componentes electrónicos, c) ingenieros industriales o de manufactura para diseñar el proceso óptimo de fabricación), d) el contador de costos quien es la persona encargada de determinar el costo del producto y establecer el margen de ganancia esperada.

Figura 8.26. Ejemplo de diseño para montaje



Fuente: Groover Mikell (1997).

f) Diseño para el ensamble o montaje

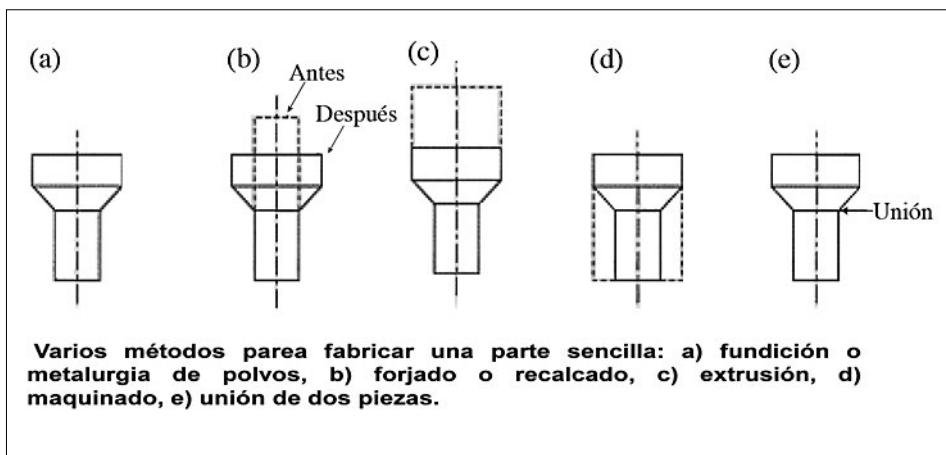
Cuando se está diseñando un artefacto, máquina o dispositivo compuesto por muchas partes que van ensambladas o unidas, es necesario que durante el diseño intervenga el departamento de fabricación, con el fin de hacer del diseño un producto fácilmente ensamblable, evitando al máximo la utilización de tornillos, soldaduras u otra clase de operación necesaria para unir las partes en el producto final (figuras 8.26).

g) Diseño para la fabricación

Consiste, básicamente, en considerar desde el diseño del producto, las diferentes formas de fabricación, de tal manera que en la fabricación del producto se ahorre el máximo de operaciones y se reduzca el desperdicio de materia prima, evitando la producción de material sobrante o *scrap* (figura 8.27).

Con este método, se considera desde el diseño del producto las alternativas de fabricación, las cuales dependen principalmente de la cantidad a fabricar. Así en el ejemplo de la figura 8.27 si la cantidad de piezas a fabricar es muy pequeña, seguramente la alternativa de fabricación por maquinado o por la unión de dos piezas resulta ser la más apropiada y económica, por el contrario si se está hablando de la fabricación de miles o millones de piezas los procesos de fundición o metalurgia de polvos, indudablemente serán los más apropiados. En el primero la inversión en moldes no se justifica por la cantidad de piezas a fabricar, pues no se alcanza a amortizar la inversión en moldes, aunque los costos de maquinado individual a primera vista resulten muy altos. En el segundo caso, es evidente que la inversión en moldes es alta pero ella se compensa con la reducción en los costos de maquinado.

Figura 8.27. Ejemplo de diseño teniendo en cuenta la fabricabilidad



Fuente: Groover Mikel (1997).

8.7 Desarrollo sostenido. Producción más limpia e ingeniería

Hasta hace muy pocos años, no más de 20 o 30, “los principales criterios utilizados en el diseño de productos y procesos, eran los de eficiencia, productividad, rentabilidad y otros similares” (Henry, Hinque, 1999, Pág. 9), mientras, los aspectos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad industrial (de los trabajadores), se consideraba un aspecto secundario.

En el año 1987 la Comisión Mundial para el Ambiente y el Desarrollo de la ONU publicó el informe, “Nuestro futuro común” acuñando el término Desarrollo Sostenido, cuya definición se presenta a continuación: “es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades” (Henry y Heine, 1999, Pág. 9), incluyendo en los proyectos, las obras, los productos y los procesos, además de los conceptos puramente económicos ya mencionados en la definición de IC; aspectos como el impacto en la salud y el medio ambiente, la preservación de los recursos naturales, el ahorro y buen uso de las diferentes fuentes energéticas, el manejo de los residuos industriales y urbanos, y otros aspectos de tipo social.

De la filosofía de Desarrollo Sostenido se derivaron otros conceptos y términos como tecnología preventiva, ingeniería ambiental, desarrollo sustentable, perturbaciones ambientales, recursos renovables y no renovables, administración del medio ambiente, producción más limpia, entre otros; todos ellos relacionados con el ecosistema y su conservación y, con el buen uso de la energía en todas sus manifestaciones.

Antes de que apareciera este movimiento, el uso de la tecnología para la protección del medio ambiente era del tipo “curativo”, es decir, se aplicaban medidas tecnológicas para remediar el daño ya causado o cuando los hechos ya habían sucedido.

Por otro lado, y a criterio de los autores de este libro, la llamada *ingeniería concurrente* de que hemos hablado en el anterior capítulo, y el concepto de Producción más Limpia aparecen casi que simultáneamente, involucrando desde un principio en los diseños de los productos y los procesos necesarios para su manufactura, además de los criterios de rentabilidad, economía, funcionalidad, facilidad de manufactura mencionados, los aspectos ecológicos relacionados con la conservación del medio ambiente, el ahorro de energía y el diseño de los mismos (productos y procesos) de tal manera que causen el menor daño posible al medio ambiente y a la humanidad en general.

8.7.1 Producción más limpia

En términos generales, la producción más limpia es un enfoque o estrategia empleada en el diseño de los productos y su forma de producción, de tipo *preventivo*, tratando de detectar y prevenir los impactos ambientales que ellos generan, considerando simultáneamente desde el diseño, el desarrollo, producción, uso y disposición final del producto en los aspectos ecológicos.

El concepto de Producción más Limpia es diferente al concepto de “fin de tubo” en el cual la estrategia principal consiste en el uso de la tecnología, incluidos productos, especialmente para el tratamiento y manejo de los desechos sólidos,

los vertimientos líquidos, las emisiones gaseosas y de todo tipo de contaminación pero una vez producida, lo cual no reduce la contaminación, sino que en el mejor de los casos disminuye su impacto ecológico.

La Producción más Limpia busca implementar proyectos que generen beneficios económicos tangibles y que a la vez lleven a beneficios ambientales" (Hoof, Monto y Saer, 2008, Pág. Introducción).

De acuerdo con la UNEP, "la Producción más Limpia es una aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada en los procesos productivos, los productos y los servicios para reducir los riesgos relevantes a los seres humanos y el medio ambiente". ((Henry y Heine, 1999, Pág. 19).

Antecedentes

El tema fue tratado por primera vez en la Conferencia Global en Aspectos Ambientales, organizada por las Naciones Unidas en 1972 en Estocolmo, denominada Conferencia para el Medio Ambiente Humano, la cual a su vez originó la Declaración de Estocolmo, construyendo los cimientos para la creación del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. En diciembre de 1983, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) creó la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo.

El concepto de Producción más Limpia nació de uno de los documentos de la Cumbre de Río sobre medio ambiente y sostenibilidad, la denominada Agenda 21 la cual consta de un conjunto de programas destinados a diseñar un modelo guía para lograr el desarrollo sostenible.

La agenda contiene 34 capítulos que se ocupan de diversas temáticas, incluyendo los referentes a los patrones de producción y consumo. El aspecto prioritario es la implementación de Producción más Limpia, así como el uso de tecnologías preventivas y el reciclaje. (UNEP, 2000). (Hoof, Monto y Saer, 2008).

Los aspectos tratados en un curso de PML son numerosos y a veces complejos. Dado que este libro no constituye un curso introductorio a un programa de ingeniería ambiental, Desarrollo sostenible o PML a continuación se hará un breve resumen de aspectos pertinentes para entender el papel que juega el PML en la aplicación del *enfoque ingenieril* en el diseño de productos y sus procesos para producirlos o para la prestación de un servicio.

Conceptos básicos

- Mercadeo verde: "es un conjunto de principios y prácticas que permiten a las compañías dirigir la atención de los consumidores y otros sectores en torno al tema del medio ambiente, generando así una ventaja económica para la empresa, manejada de una forma ética apropiada (Hoof, Monto y Saer, 2008 Pág. 74).
- Productos verdes: en términos generales, se puede identificar un producto como "verde" cuando cumple como mínimo con las siguientes características ((Hoof, Monto y Saer, 2008 Pág. 74):

- a) Uso de material reciclado como insumo
 - b) Empleo de los recursos naturales en forma mínima o reducida
 - c) Consumo bajo de energía en su producción o en su funcionamiento
 - d) Uso eficiente del recurso agua
 - e) Producción mínima de deshechos durante el proceso de producción o en la prestación del servicio
 - f) Tiene una larga vida o duración
 - g) Producto reusable, rellenable, compostable
 - h) Diseñado para ser desensamblado (como se menciona en el capítulo IC.
 - i) Degradable
- Productos ecológicos: “los productos ecológicos (orgánicos o biológicos) son aquellos que se obtienen a través de sistemas agropecuarios que buscan la óptima producción a partir de técnicas que minimicen el impacto sobre el medio ambiente, propiciando la generación de un entorno autosostenible; estos procesos evitan al máximo el uso de productos químicos, prácticas agrícolas perjudiciales y reciclan al máximo los recursos renovables” (Hoof, Monto y Saer, 2008 Pág. 80).
 - Productos naturales: productos obtenidos a partir de recursos renovables de manera más responsable. Los destinados a determinados usos como aceites, ceras, ornamentación, cerámica, jabones, papel, madera, combustible, gomas, telas, condimentos, etc. están constituidos por especies vegetales, plantas y animales. Entre las especies animales se hace referencia a mamíferos, pájaros, reptiles, anfibios, moluscos e insectos, (Hoof, Monto y Saer, 2008 Pág. 80).
 - Productos menos contaminantes: son aquellos que representan un menor impacto durante su ciclo de vida, utilizando niveles de consumo de energía y de agua muy bajos, o con menores niveles de contaminación.

Herramientas de PML

Instrumentos que determinan el estado ambiental y económico de un producto o un proceso y que basados en su aplicación se cumplen los objetivos de las alternativas preventivas a implementar.

Entre las muchas herramientas disponibles para abocar la problemática de la PML, podemos mencionar:

- a) Según su función: herramientas de diagnóstico, herramientas de planeación, herramientas de priorización y herramientas de mejora.
- b) Según el tema de análisis: herramientas enfocadas hacia el entorno, herramientas enfocadas en la entidad como un todo, herramientas

enfocadas a la cadena de producción, herramientas enfocadas en el proceso y herramientas enfocadas en el producto ((Hoof, Monto y Saer, Pág. 132 y 133).

- c) Buenas prácticas de PML: los mecanismos, estrategias, sistemas y herramientas de PLM tienen como propósito los problemas y las prioridades específicas en cada caso particular y constituyen la base para la aplicación de las buenas prácticas de manufactura (BPM) en el desarrollo de los procesos de manufactura y para la utilización de tecnologías más limpias y eficientes. Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) “son recetas sencillas que brindan alternativas a procedimientos de trabajo críticos que generan ineficiencia, baja productividad y contaminación en los procesos productivos” (Hoof, Monto y Saer Pág. 207), y pueden ser definidas como: “conjunto de medidas enfocadas a la adecuada gestión y organización de la empresa, y a la optimización tanto de recursos humanos como de materiales, con el fin de disminuir residuos y emisiones” (Hoof, Monto y Saer, Pág. 209).

Algunos otros conceptos importantes involucrados en la PML son:

- Clientes verdes
- Productos verdes
- Mercados objetivo
- Ecoetiquetas
- Gestión Ambiental
- Costos de ineficiencia
- Análisis de Ciclo de Vida del producto
- Tratamiento al final del tubo
- Ecoeficiencia

Se recomienda a los profesores de la asignatura Introducción a la Ingeniería a estimular a los estudiantes a profundizar sobre el significado y utilización de estos términos, así como su empleo en su formación como ingenieros.

8.8 Ecoingeniería

El tema ambiental y sus principales aspectos como Desarrollo Sostenible, Ingeniería ambiental, Gestión del medio ambiente, Producción más Limpia, es demasiado amplio, por lo cual es importante aterrizar el concepto ambiental en uno de carácter más práctico y que muestre de manera clara la participación de los ingenieros en el desarrollo y aplicación de esta filosofía. El concepto de Producción más Limpia es el que más se acerca a las estrategias tecnológicas que usa el ingeniero en el diseño, construcción e implementación de proyectos ingenieriles sostenibles ecológicamente.

Teniendo en cuenta que se ha involucrado la PML como una parte del concepto de la ingeniería concurrente (IC), ya que la estrategia de la PML es eminentemente preventiva y no curativa, como se mencionó antes, hemos acuñado el término “Ecoingeniería”, el cual se puede definir así: “estrategia o enfoque ingenieril que

considera y aplica desde el comienzo del “tubo” (Creación y diseño) hasta la disposición final del producto los aspectos ambientales evitando al máximo la necesidad de controlar el impacto ambiental al “final del tubo” (Fin del proceso de producción), generado por un mal diseño del producto y de sus procesos de manufactura, lo cual incluye su aplicación simultáneamente, no de manera secuencial, en todos los pasos o fases del ciclo de vida de un producto, bien o servicio:

- a. Creación y diseño del producto
- b. Diseño de los procesos de producción y manufactura
- c. Producción o manufactura del producto
- d. Control durante el proceso de producción de desperdicios y residuos industriales que afecten el medio ambiente y la salud y seguridad de los trabajadores involucrados en el proceso
- e. Disposición de residuos sólidos, gaseosos o líquidos al interior del “tubo”, evitando al máximo que estos lleguen al exterior del “tubo”, o al menos reducir su impacto.
- f. Disposición del producto después de su uso reciclando y reutilizando, hasta donde sea posible, las materias primas con las cuales fueron construidos, fabricados o que sirvieron de medio para la prestación de un servicio.

8.9. Resumen del capítulo

En el ejercicio de su profesión el ingeniero se enfrentará a situaciones problema que exigen de este una serie de conocimientos y gran habilidad para lograr resolvérlas. Dichos problemas, en su gran mayoría, son de tipo cerrado pero también se presentan de tipo abierto, lo que significa que pueden tener varias alternativas de solución, de la cual se escogerá la mejor.

El diseño de las soluciones más adecuadas a los problemas que se presentan es la función más importante que tiene que desarrollar el ingeniero, cualquiera que sea su rama; para ello, varios autores y expertos en ingeniería han planteado una serie de pasos o etapas que comprenden dicho diseño.

En cualquiera de las definiciones de ingeniería que se estudiaron en el primer capítulo, es claro que el objetivo o propósito primordial de la ingeniería, en cualquiera de sus ramas, es generar soluciones ingenieriles que satisfagan ciertas necesidades, expectativas y deseos de la sociedad y de la humanidad en general.

Una de las definiciones de problema que mejor se ajusta al concepto de problema en ingeniería, es la expresada por Krick (1998, Pag. 11) cuando afirma que “Un problema proviene del deseo de lograr la transformación de un estado de cosas en otro”.

Para efectos de este texto, se definió problema como la necesidad o deseo de transformar un estado “A” inferior, en un estado “B” superior, por medio de una estrategia para conseguir el estado “B”.

Por otra parte, todo problema está compuesto, conceptualmente, por tres partes o aspectos:

Un estado inicial "A": que se manifiesta por medio de síntomas, efectos o consecuencias que son producto de una carencia, necesidad, deseo o expectativa que es necesario satisfacer. Esto es lo que el común de la gente denomina erradamente problema, confundiendo los síntomas con las causas y con el verdadero problema. Desde el punto de vista de quien tiene la necesidad o el deseo, esta fase se podría denominar acertadamente "situación problemática".

Un estado final superior "B": el cual corresponde a la solución del problema, a la satisfacción de la necesidad o al valor agregado esperado. Alcanzar esta meta es el objetivo principal de la disciplina de la ingeniería en sus diferentes ramas, es decir, es el quehacer del ingeniero. El valor agregado de todos los proyectos y diseños de ingeniería se miden por el grado y la calidad alcanzados del estado "B".

El proyecto: que corresponde a las estrategias empleadas para darle solución al problema o para satisfacer la necesidad o deseo planteado en la primera etapa. Es en esta etapa donde el ingeniero aplica los conocimientos, habilidades y destrezas adquiridas durante sus estudios profesionales, es decir, sus competencias, en el campo o problemática respectiva.

El ingeniero es básicamente un solucionador de problemas, como son la mayoría de los profesionales de otras disciplinas y profesiones. La diferencia entre un ingeniero y los profesionales de otras áreas radica en el método o estrategia general que utiliza para resolver problemas propios de su disciplina; esta estrategia, llamada el enfoque ingenieril, consiste en una adaptación práctica del método de investigación científica empleado por investigadores y científicos en otras disciplinas. Mientras en el método científico por lo general se tratan problemas abiertos, se formulan hipótesis que hay que comprobar, las soluciones son totalmente desconocidas, se maneja información incierta y se trabaja en contextos del comportamiento de los fenómenos del universo con un carácter más estocástico o aleatorio que determinístico, el ingeniero maneja problemas más (pero no únicamente) de tipo cerrado, en donde las posibles soluciones se conocen, el comportamiento de los fenómenos de la naturaleza son más determinísticos, predecibles y cuantificables. La adaptación de la metodología de la investigación al enfoque ingenieril es lo que se denomina diseño en ingeniería.

Existe una gran diferencia entre el científico que utiliza el método de investigación científica para resolver sus problemas de investigación y que estudia la ciencia en sí, en busca de una explicación de las causas y del comportamiento de las fuerzas y fenómenos de la naturaleza y del Universo, es decir, descubre, y el ingeniero, que toma los descubrimientos del científico y los utiliza y aplica para crear o diseñar soluciones de ingeniería a determinadas problemáticas, relacionadas con su disciplina. Esta diferencia se puede resumir en las dos estrategias utilizadas para resolver problemas: la metodología de la investigación científica utilizada por el primero, y el diseño en ingeniería utilizado por el segundo.

Las dos primeras etapas del enfoque ingenieril, formulación y análisis del problema, corresponden al primer paso en la metodología de investigación científica: formulación de hipótesis, pregunta de la investigación y especulación

sobre las posibles causas que originan los síntomas y efectos, es decir, la situación problemática (toda pregunta de investigación debe formularse como un problema con el fin de darle practicidad a la investigación); mientras que las etapas tercera y cuarta (búsqueda de alternativas y evaluación de alternativas) del enfoque ingenieril tienen su correspondencia con las etapas de experimentación y comprobación o descarte de hipótesis en el método científico.

La última etapa del enfoque ingenieril, selección y especificación de la solución preferida, podría compararse con el último paso del método científico: análisis, discusión, deducción de conclusiones y presentación de resultados de la investigación.

La IG, también llamada ingeniería simultánea, es un concepto que aparece a principios de la década de los ochenta en Japón y que llega a Estados Unidos a finales de esa misma década como una filosofía que integra en forma simultánea el diseño de productos y los procesos para su manufactura, desde un principio del ciclo de vida, de un producto, desde el diseño hasta su disposición final, pasando por la fabricación, la distribución y la venta. También se puede decir que la ingeniería concurrente es un nuevo enfoque de trabajo, donde las diferentes actividades de ingeniería se integran y se realizan simultáneamente, siempre que sea posible, en lugar de secuencialmente.

En el sistema de IG la planeación de producción comienza con el desarrollo del diseño del producto, involucrando la manufactura, el servicio de posventa, los aspectos de calidad, los proveedores de las materias primas, materiales y componentes importantes, e incluso se consulta la opinión de los posibles clientes potenciales.

Hasta hace muy pocos años, no más de 20 o 30, “los principales criterios utilizados en el diseño de productos y procesos, eran los de eficiencia, productividad, rentabilidad y otros similares” (Henry, Hinque, 1999, Pág. 9), mientras, los aspectos relacionados con el medio ambiente, la salud y la seguridad industrial (de los trabajadores), se consideraba un aspecto secundario.

En términos generales la producción más limpia es un enfoque o estrategia empleada en el diseño de los productos y su forma de producción, de tipo preventivo, tratando de detectar y prevenir los impactos ambientales que ellos generan, considerando desde el diseño el desarrollo, producción, uso y disposición del producto y que tiene como principio básico, que los controles de los procesos, la disposición de residuos y en general todo lo que afecte el medio ambiente, debe realizarse “al Interior del “Tubo” y no al Final del “Tubo” con medidas y tecnología remedial y no preventiva.

8.10 Actividades de aprendizaje

Realizar un trabajo de carácter práctico, consistente en la escogencia de un problema propio de la rama de la ingeniería que este cursando el estudiante y resolverlo desarrollando todas y cada una de las etapas o pasos del enfoque ingenieril y del diseño en ingeniería. Se debe incluir la mayoría de los conceptos estudiados, como enfoque ingenieril, el diseño en ingeniería, ingeniería concurrente, Producción más Limpia etc.

Bibliografía

- Baca Urbina, G. (1999). Introducción a la ingeniería. México: McGraw-Hill.
- Cross, H. (1970). Los ingenieros y las torres de marfil. México: MacGraw-Hill.
- Grech, P. (2001). Introducción a la ingeniería. Un enfoque a través del diseño. Bogotá: Pearson.
- Groover Mikell, P. (1997). Fundamentos de manufactura moderna. México: Prentice Hall.
- Henry, J. Glynn y Heinke Gary W. Ingeniería Ambiental, segunda edición, (1999, Ed. Pearson, Ciudad de México, México.
- Hicks, P. E. (1999). Ingeniería industrial y administración. México: Compañía Editorial Continental.
- Hoof, Bart van; Monroy Néstor; Saer Alex, Producción más Limpia, Paradigmas de la gestión ambiental, 2008, ed. Alfaomega Colombina S.A, Bogotá, Colombia.
- Juran, J. M. (1983). Manual de control de la calidad, segunda edición, Barcelona España ed. Reverté, S. A
- Krick, E. V. (1998). Introducción a la ingeniería. México: Limusa.
- Romero Hernández, O., Negrón Muñoz, D. y Hernández Romero, S. (2006). Introducción a la ingeniería. Un enfoque industrial. México: Thomson.
- Wright, P. H. (1994). Introducción a la ingeniería. Buenos Aires: Editorial Educativa (Addison-Wesley Iberoamericana).

Otros títulos de su interés

Diseño geométrico de carreteras
James Cárdenas Grisales

Administración para ingenieros
Miguel David Rojas López

Geometría descriptiva
Germán Valencia García

Evaluación de proyectos para
ingenieros
Miguel David Rojas López

Hidráulica de ríos
Tomas Ochoa

Ingeniería económica práctica
Dario García Montoya

Ingeniería de Pavimentos -
Tomo 1 y 2
Alfonso Montejo Fonseca

Guía práctica de dibujo para
ingeniería
German Valencia García

Introducción a la ingeniería

Una perspectiva desde el currículo en la formación del ingeniero



El presente libro busca dar una mirada al concepto de ingeniería desde cuatro núcleos principales:

1. Historia y desarrollo de la ingeniería: contiene el conocimiento necesario para entender los orígenes de la ingeniería y su evolución hasta nuestros días.
2. Fundamentación científica de la ingeniería como disciplina y los aspectos tecnológicos de las diferentes ramas de la misma.
3. La formación de un ingeniero: sirve para comprender qué es la ingeniería como disciplina y como carrera, además para saber cuáles son los conocimientos, habilidades, destrezas, actitudes y dificultades que implica ser un ingeniero.
4. El enfoque ingenieril: en esta sección se habla de la metodología que utilizan los ingenieros para resolver problemas propios de su disciplina y especialidad.

El texto es una guía para los profesores de ingeniería con el fin de que puedan entender cómo es la articulación de sus materias dentro de la formación integral del futuro profesional, propósito principal de toda estrategia curricular.

Colección: Ingeniería y arquitectura

Área: Ingeniería

ECOE
EDICIONES