

Introducción a la Ingeniería

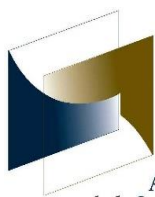
Edilberto Guevara Pérez

Con la colaboración de:
Manuel Torres Parra
Alonso Romero Martínez
Eduardo Buroz Castillo
Vivían Floríndez Portela



Academia Nacional
de la Ingeniería y el Hábitat

Segunda Edición
Revisada y Ampliada



Academia Nacional
de la Ingeniería y el Hábitat

Primera edición, 2005

ISBN: 980-12-1217-9

Depósito Legal: LF55320056201399

Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico

Universidad de Carabobo

Segunda edición revisada y ampliada, 2024

Título: INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA

Autor: Edilberto Guevara Pérez

Colaboradores: Manuel Torres Parra

Cap. 10. Sistemas Químicos y sus aplicaciones en ingeniería.

Coautor cap. 1. Historia de la ingeniería.

Coautor cap. 3. La ingeniería como profesión.

Alonso Romero Martínez

Cap. 4. La aplicación de las Ciencias Básicas y Sociales en ingeniería.

Eduardo Buroz Castillo

Coautor cap. 3. La ingeniería como profesión.

Coautor cap. 11. Sistemas Biológicos.

Vivian Floríndez Portela

Capítulo 19. Redefiniendo la ingeniería del mañana:

Transformación digital e inteligencia artificial.

Depósito Legal: DC2024001270

ISBN: 978-980-7106-15-3

Ediciones de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, ANIH

Diagramación: Fabio Capra Ribeiro

Diseño de portada: Fabio Capra Ribeiro

©2024

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra en cualquier medio de impresión electrónico o tipográfico, sin la autorización por escrito del autor.

ACADEMIA NACIONAL DE LA INGENIERIA Y EL HABITAT DE VENEZUELA, ANIH

Palacio de las Academias, Bolsa a San Francisco, Caracas, 1010 – Venezuela.

Teléfonos: (+58-212) 761.03.10 / 761.20.70

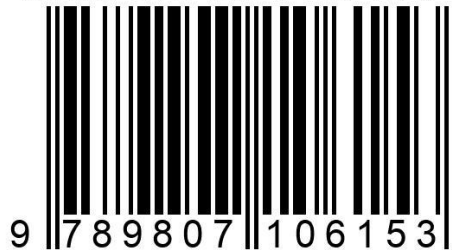
Correo-e: acadingven@gmail.com / url: www.acading.org.ve

Caracas, Venezuela, 2024

DESCARGO DE RESPONSABILIDADES

La Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de la República Bolivariana de Venezuela, hace constar que las publicaciones que propicia esta corporación se realizan respetando el derecho constitucional a la libre expresión del pensamiento y manifiesta expresamente que no se hace solidaria del contenido general de las obras o trabajos publicados, ni de las ideas y opiniones que en ellos se emitan, las cuales son de responsabilidad de los autores, cuanto en derecho se refiere

ISBN: 978-980-7106-15-3



El autor manifiesta su compromiso con los derechos establecidos en el marco legal vigente y las normativas internacionales sobre propiedad intelectual, por lo cual, para cualquier solicitud o sugerencia, pone a disposición su dirección de correo electrónico: eguevara99@gmail.com

PRESENTACIÓN

¿Cuándo y donde nació la ingeniería? ¿Quiénes fueron y que hicieron los primeros ingenieros? ¿Cómo ha evolucionado la ingeniería a través de la historia de las civilizaciones? ¿Cuáles han sido las obras de ingeniería más emblemáticas de cada pueblo, cultura y etapa de la historia humana?

¿Cuáles herramientas y métodos han desarrollado los ingenieros a través de la historia de la humanidad? ¿Cómo se relaciona la profesión de la ingeniería con las necesidades de la gente, de los pueblos y de las sociedades en el mundo? ¿Por qué se asocia a la ingeniería con las soluciones de problemas que otros no pueden resolver?

¿Qué significa ser un ingeniero? ¿Cuál es el alcance de la profesión de ingeniería y en cuántas y cuáles ramas se ha ido especializando la carrera de la ingeniería? ¿Por qué el ingeniero debe tener una mente despierta, imaginativa, creativa, curiosa, disciplinada, rigurosa en sus razonamientos, analítica y comprensiva, serena, paciente, tenaz, audaz, futurista, precisa y matemáticamente segura en sus diseños y obras acometidas?

¿Cómo ha evolucionado la formación del ingeniero a través de los tiempos y qué relación tiene su formación con los avances del conocimiento? ¿Por qué razones es una profesión que requiere de conocimientos profundos de matemática, de geometría, de diseño, de sistemas y métodos, de materiales, de herramientas de todo género, equipos especializados y del entorno ambiental, social y cultural?

¿Cuáles diferencias cualitativas, cuantitativas y de concepto pueden visualizarse entre las obras de ingeniería de las distintas épocas históricas, desde las pirámides, los templos, los palacios y los canales del milenario Egipto, de las grandes obras de arte de los griegos, de los caminos, puentes, acueductos, cloacas, fuertes militares, palacios y viviendas, barcos y carruajes de los romanos; castillos y ciudades amuralladas y templos de la edad media; industrias, ferrocarriles y máquinas de la revolución industrial; vehículos a motor, aviación, trenes de alta velocidad, naves de transporte civiles y militares, naves espaciales, misilística, vehículos eléctricos, computadoras, programas, algoritmos de cálculo y diseño computacional, comunicaciones vía internet, construcción mediante la fabricación aditiva en 3D, simulación de fenómenos para medir sus resultados y tantos nuevos inventos de la edad moderna y posmoderna, hasta alcanzar, la nanotecnología, la llamada revolución 5G, la inteligencia artificial regenerativa y la expectativa de una civilización transhumana?

¿Cuál ha sido el papel del ingeniero y cual es ahora en nuestra sociedad tan compleja, diversificada y llena de riesgos e incertidumbres? ¿Qué conocimientos debe adquirir quien aspire a ser un ingeniero? ¿Por qué el ingeniero tiene que continuar estudiando durante toda su vida? ¿Qué consecuencias e impactos sociales, culturales, económicos y ambientales tienen las obras realizadas por un ingeniero? ¿Cuál es su responsabilidad ética y moral frente a la sociedad y a sus propios clientes y usuarios?

Estas y muchas otras preguntas, que se suelen formular los jóvenes que aspiran a ingresar a los estudios de una carrera de ingeniería, podrían encontrar en la obra que se presenta una ventana por la cual asomarse a mirar, en su conjunto, al inmenso campo de ejercicio de la carrera, su naturaleza, objetivos, visión, misión, perfil, características generales y el papel que ha jugado en la historia.

Se trata de un libro introductorio que aspira a mostrar al joven estudiante una visión global tanto del significado y visión conceptual de la carrera de ingeniería, su campo de acción profesional, sus ramas y especialidades, sus necesidades de formación y estudio, las cualidades, aptitudes, actitudes, destrezas, habilidades y capacidades y otras cualidades que debe alcanzar y que se requieren para ser un buen ingeniero.

El texto del libro, INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA, se presenta en un lenguaje ameno, propio de autores con una larga experiencia en el ejercicio de la carrera, capaces de expresar con sencillez y a la vez profundidad conceptual las explicaciones y aspectos relacionados con el estudio de esta carrera tan importante en la historia de la humanidad.

Los estudiantes encontrarán en la lectura una visión viva y activa de lo que ha sido y es la ingeniería en todas las épocas, cómo es requerida por la sociedad en los más diversos campos, para resolver problemas, solucionar necesidades cotidianas de los pueblos, responder a los retos del desarrollo de los pueblos, los sueños del futuro, facilitar la vida y mejorar su calidad y disfrute.

Los profesores, por su parte, encontrarán en el libro una visión que les permitirá presentar y orientar sus asignaturas y contenidos de tal manera que los estudiantes encuentren en ellos una justificación y finalidad para su formación y una manera más amena y sencilla para entender la razón de su estudio y la necesidad de ser riguroso en la calidad y seguridad de las aplicaciones que realizará como profesional.

El libro también sirve de obra de consulta para quienes son usuarios y demandantes de servicios de ingeniería para comprender mejor el campo de este ejercicio profesional y del perfil de los profesionales que deben contratar para ejecutar determinadas obras. Igualmente, para aquellos lectores, profesores, programadores educativos y gerentes de la educación superior, que desean formarse una visión tanto del perfil del ingeniero como del diseño curricular.

La Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela, ANIHVEN, coloca en manos de los lectores esta obra, fruto de un trabajo en equipo de un grupo de académicos que tienen la aspiración de ofrecer un apoyo tanto a los jóvenes que aspiran estudiar esta carrera, como a los profesores y facilitadores que realizan tareas de orientación profesional y de docencia. No se trata de una obra acabada y debe actualizarse periódicamente a medida que la ciencia y tecnología van avanzando. En este proceso, se espera que los lectores hagan llegar sus opiniones y sugerencias para la mejora continua.

Rafael Isidro Quevedo Camacho

Sillón XXXI

Presidente de la ANIHVEN

INDICE

PRESENTACIÓN	3
INDICE	5
PRÓLOGO	11
1. HISTORIA DE LA INGENIERÍA	15
1.1. Los Ingenieros Egipcios	15
1.2. Los Ingenieros de Mesopotamia	15
1.3. Los Ingenieros Griegos	16
1.4. Los Ingenieros Romanos	16
1.5. Los Ingenieros Orientales	17
1.6. Los Ingenieros Europeos	17
1.7. Los Ingenieros del Nuevo Mundo	18
1.7.1. Ingeniería Precolombina	18
1.7.2. Ingeniería en Estados Unidos	21
1.7.3. Ingeniería en Latinoamérica	22
1.7.4. Ingeniería en Venezuela	22
1.7.5. El Secreto del Éxito de los Antiguos Ingenieros	23
2. DISCIPLINAS DE LA INGENIERÍA	25
2.1. Introducción	25
2.2. Ingeniería Aeroespacial	25
2.3. Ingeniería agrícola	26
2.4. Arquitectura	26
2.5. Ingeniería Civil	27
2.6. Ingeniería Química	27
2.7. Ingeniería Eléctrica	28
2.8. Ingeniería Industrial	28
2.9. Ingeniería Mecánica	29
2.10. Energía Nuclear	29
2.11. Ingeniería Petrolera	30
2.12. Otras Ramas de la Ingeniería	30
3. LA INGENIERÍA COMO PROFESIÓN	31
3.1. Introducción	31
3.2. Registro Profesional	31
3.3. Responsabilidad Profesional del Ingeniero	32
3.4. Organizaciones Profesionales	37
3.5. Ética En La ingeniería	37
3.6. Ética Ambiental y la Ingeniería	39
3.6.1. Introducción	39
3.6.2. Aspectos teóricos y conceptuales	39
3.6.3. Desarrollo moral y desarrollo profesional	40
3.6.4. Ética Ambiental	41
3.6.5. Aspectos económicos de la ética ambiental	42
3.6.6. Ética y políticas de conservación de los recursos	45
4. LA APLICACIÓN DE LAS CIENCIAS BÁSICAS Y SOCIALES EN INGENIERÍA	49
4.1. Introducción	49
4.2. Asignaturas Básicas	49
4.2.1. Matemática	49
4.2.2. Física	51
4.2.3. Química	54
4.2.4. Dibujo	60
4.2.5. Biología	62

4.2.6. Las Ciencias Sociales	62
5. ENSEÑANZA DE INGENIERÍA Y MÉTODO DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS. CREATIVIDAD E INNOVACIÓN	67
5.1. El Currículum de Ingeniería	67
5.2. La Clave Del Éxito En El Estudio De Ingeniería	68
5.2.1. Solución de Problemas	69
5.2.2. Taxonomía de la Solución de Problemas	69
5.2.3. Proceso de Solución de Problemas	70
5.2.4. El Factor Experiencia en la Solución de Problemas	70
5.2.5. Estrategias para la Solución de Problemas	70
5.2.6. Arranque y Desentramamiento	72
5.2.7. Enseñanza del Método Solución de Problemas	73
5.2.8. Creatividad	75
5.2.9. Innovación	76
6. PROCESO DE DISEÑO	79
6.1. Introducción	79
6.2. Reconocimiento de una Necesidad	79
6.3. Análisis del Problema	80
6.3.1. Requerimientos de Diseño	81
6.3.2. Requerimientos Funcionales	81
6.3.3. Especificaciones de Desempeño	82
6.4. Diseño Conceptual	84
6.4.1. Generación de Soluciones	84
6.5. Diseño Preliminar o Personalizado	86
6.6. Diseño Detallado	88
7. SISTEMAS MECÁNICOS	91
7.1. Introducción	91
7.2. Vectores y Escalares	91
7.3. Propiedades y Operaciones con Vectores	92
7.4. Componentes de Vectores	94
7.5. Fuerzas	97
7.6. Fuerzas Resultantes	99
7.6.1. Pares y Momentos	101
7.7. Diagramas de Cuerpo Libre	103
7.8. Equilibrio	104
7.9. Cerchas y Armaduras	107
7.10. Esfuerzo y Deformación	110
7.11. Diseño de Esfuerzos	113
8. SISTEMAS ELÉCTRICOS	117
8.1. Introducción	117
8.2. Corriente Eléctrica	117
8.3. Circuitos Eléctricos	118
8.4. Resistencia y Ley de OHM	119
8.5. Ley de Kirchhoff	121
8.6. Resistencia Equivalente	123
8.7. Instrumentos de Medición Eléctrica	127
9. SISTEMAS DE ENERGÍA	131
9.1. Introducción	131
9.2. Conservación de la Masa	131
9.3. Las Distintas Formas de Energía	132
9.4. Leyes de la Termodinámica	135
9.4.1. Primera Ley de la Termodinámica	135

9.4.2. Segunda Ley de la Termodinámica	137
10. SISTEMAS QUÍMICOS Y SUS APLICACIONES EN INGENIERÍA	141
10.1. Introducción	141
10.2. Fundamentos de Sistemas Químicos	141
10.3. Estados de la Materia	142
10.4. Disoluciones	143
10.5. Termodinámica Química	143
10.6. Equilibrio Químico	144
10.7. Principio de le Chatelier	145
10.8. Cinética Química	145
10.9. Aplicación de los Procesos Químicos en Ingeniería	146
10.10. Aplicaciones en Ingeniería Química	147
10.11. Automatización y sistemas de control en la ingeniería química	148
10.12. Aplicaciones en Ingeniería Civil:	149
10.13. Tratamiento de aguas blancas	151
10.14. Tratamiento de aguas negras	152
10.15. Prevención de la corrosión	152
10.16. Nanomateriales	153
10.17. Sostenibilidad y ambiente	154
11. SISTEMAS BIOLÓGICOS	157
11.1. Introducción	157
11.2. Ecosistemas y Ambientes Naturales	158
11.3. Ecología, Hábitats y Ecosistemas	160
11.4. Alimenticias, Transferencia de Energía y Productividad	163
11.5. Ecosistemas Cambiantes	165
11.5.1. Competición y relación depredador-presa	167
11.5.2. Sucesión ecológica y climax	168
11.5.3. Intervención humana en las sucesiones	168
11.6. Beneficio de los Ecosistemas	169
11.7. Principales Ecosistemas del Mundo	169
11.7.1. Bosques	169
11.7.2. Praderas o Pastizales	176
11.7.3. Ecosistemas mediterráneos	177
11.7.4. Los desiertos	178
11.7.5. Tundra	179
11.7.6. Ecosistemas marinos	179
11.8. Sistemas Biológicos y Sistemas Agrarios	179
11.9. Modelación matemática de sistemas biológicos	186
11.9.1. Modelos funcionales en sistemas biológicos	187
11.9.2. Modelos Mecanicistas	188
11.9.3. Modelos Estadísticos	190
12. HERRAMIENTAS DE INFORMÁTICA Y COMPUTADORAS	193
12.1. Introducción	193
12.2. Características de un Buen Software	193
12.3. Proceso de Diseño de Software	195
12.3.1. Diseño en cascada (de arriba hacia abajo)	198
12.3.2. Codificación estructurada	200
12.4. Lenguajes de Programación	201
12.5. Paquetes de Aplicaciones de Computadora	201
12.6. Inteligencia Artificial	206
12.6.1. Categorías de IA	207
12.6.2. Machine Learning y Deep Learning	207
12.6.3. Aplicaciones y casos prácticos de la inteligencia artificial	207

12.6.4. La historia de la inteligencia artificial	208
12.7. Los peligros de la inteligencia artificial	209
13. MANEJO DE DATOS - ESTADÍSTICA	213
13.1. Introducción	213
13.2. Distribución de Frecuencia	213
13.3. Medida de la Tendencia Central	215
13.4. Medida de la Variabilidad	215
13.5. Probabilidad y Distribución Normal	216
13.6. Regresión Lineal	218
13.7. Coeficiente de Correlación	220
14. OPTIMIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES	221
14.1. Introducción	221
14.2. Definiciones Fundamentales	221
14.3. Métodos de Solución	223
14.4. Búsqueda de la Sección Dorada	224
14.5. Algoritmo de la Sección Dorada	229
15. PRINCIPIOS DE INGENIERÍA ECONÓMICA	231
15.1. Introducción	231
15.2. Retorno Sobre el Capital	231
15.3. Valor Temporal del Dinero	231
15.4. Evaluación de Alternativas De Inversión	236
15.4.1. Valor Presente	237
15.4.2. Valor Futuro (VF)	238
15.5. Depreciación	239
15.5.1. Depreciación en línea recta	240
15.5.2. Método de la suma de dígitos de los años (SDA)	241
15.5.3. Método del balance declinante	241
16. PRESENTACIÓN DE DATOS Y COMUNICACIÓN GRÁFICA	243
16.1. Introducción	243
16.2. Gráficas	243
16.2.1. Gráficos lineales	243
16.2.2. Gráficas de barras	247
16.2.3. Gráficas tipo pastel	247
16.3. Bosquejo Técnico	249
16.3.1. Bosquejo de arcos y círculos	249
16.3.2. Bosquejo isométrico	250
16.4. Dibujos de Trabajo Y Ensamble	251
16.5. Modelación Geométrica	253
17. MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA	255
17.1. Introducción	255
17.2. Ciencia de los Materiales	255
17.2.1. Propiedades de los materiales y selección	255
17.3. Procesos de Manufactura	257
18. DISEÑO Y MONTAJE	261
18.1. Introducción	261
18.2. Procesos de Montaje	261
18.3. Sistemas de Montaje	262
18.4. Principio de Diseño para Ensamblaje	262
18.5. Principios del Diseño Aplicado al Montaje	265
19. REDEFINIENDO LA INGENIERÍA DEL MAÑANA: TRANSFORMACIÓN DIGITAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL	269

19.1. Inteligencia Artificial: Potenciando la Innovación.	269
19.2. Habilidades y Competencias del Ingeniero 4.0: Más Allá de lo Técnico	270
19.3. Innovación en la Ingeniería 4.0: El Futuro visualizado en Modelos Virtuales	271
19.4. Desafíos Éticos y Responsabilidades en la Ingeniería 4.0: El Compromiso Ineludible.	272
19.5. Regulaciones y Ética 4.0: El Marco Necesario para la Ingeniería del Futuro.	273
19.5.1. Privacidad y Respeto de los Datos:	273
19.5.2. Ciberseguridad como Prioridad:	273
19.5.3. Evolución de la Propiedad Intelectual:	274
19.5.4. Transparencia y Responsabilidad Ética:	274
19.5.5. Equidad en el Acceso a la Ingeniería 4.0:	274
19.5.6. Sostenibilidad Ambiental:	275
19.6. Potenciando la Innovación: Diversidad y Entornos Virtuales	275
19.7. Innovación en la Formación: Adaptación al Nuevo Paradigma.	276
19.8. Evolución Educativa: Desafíos y Competencias del Ingeniero 4.0.	278
19.9. Perspectivas de la Ingeniería 4.0: Reflexiones y Compromisos.	279

PRÓLOGO

La historia de la civilización es, en cierto sentido, la historia de la ingeniería: esa larga y ardua lucha por hacer que las fuerzas de la naturaleza trabajen para el bien del hombre.

Lyon Sprague DeCamp

Es notorio que la profesión de la Ingeniería ahonda sus raíces en la ciencia. Ella es, digamos, el “brazo ejecutor” de la ciencia, puesto que su objetivo consiste en la realización de obras basadas en leyes y principios científicos, concebidas como respuestas a necesidades o problemas concretos de la vida humana.

A diferencia de las actividades científicas, que tienen valor “per se” y están orientadas al avance del conocimiento, las obras de ingeniería tienen siempre finalidades prácticas, ya sea para mejorar la calidad de vida de las sociedades, o bien para ampliar las dimensiones espacio - temporales de las acciones y de los sentidos del hombre.

Podemos, por ejemplo, apreciar como las edificaciones “inteligentes” mejoran la calidad de vida de sus moradores al ofrecerles confort climático y sensorial, o bien como el desarrollo de maquinarias agrícolas e industriales reducen el esfuerzo físico de agricultores y obreros. También observamos la manera en que los modernos sistemas de transporte terrestres, marítimos y aéreos potencian las actividades humanas, al disminuir enormemente los tiempos de traslado de pasajeros y mercancías, mientras que las telecomunicaciones y el Internet reducen prácticamente a cero distancias y tiempos, interconectando instantáneamente y en forma audiovisual a personas ubicadas en lugares remotos del globo terrestre.

Y es que la evolución de la ingeniería ha ido al paso de los descubrimientos de la ciencia, los cuales, en el siglo XX y en lo transcurrido del siglo XXI, han experimentado un incremento vertiginoso que ha impulsado a la ingeniería en un desarrollo constante y diversificado, inimaginable hasta hace sólo pocas décadas.

En la segunda década del siglo XXI, este desarrollo ha situado la frontera tecnológica en una etapa denominada "IV Revolución Industrial", donde se han consolidado nuevas técnicas y ámbitos de aplicación ingenieril. En 2016, Klaus Schwab describió las principales características de la "IV Revolución Industrial", y puso en evidencia las formas en que muchas tecnologías emergentes dejaban obsoletos métodos e instrumentos previamente utilizados por científicos e ingenieros.

Entre estas tecnologías, destacan la robótica, la inteligencia artificial, la computación cuántica, la nanotecnología, la biotecnología, el internet de las cosas, la impresión 3D, y los sistemas autónomos, entre otras, que han ido integrándose en la vida y al quehacer de personas, organizaciones e instalaciones productivas. Específicamente, la robótica y la inteligencia artificial prometen avances radicales que potenciarán las capacidades físicas y cognitivas humanas hasta el punto de dar origen, quizás, a una nueva revolución, con el potencial de trascender la esfera industrial, modificar numerosos hábitos sociales tradicionales y generar inéditos paradigmas de trabajo y comportamiento.

No obstante, la evolución de la ingeniería no se limita únicamente a los aspectos técnicos. Desde la segunda mitad del siglo XX, los ingenieros han empezado a tomar conciencia de la necesidad de considerar y mitigar los perjudiciales efectos sociales y ambientales que en ocasiones producen sus obras.

En efecto, desde el punto de vista social, se acepta actualmente que las intervenciones ingenieriles pueden tener un profundo impacto en la cultura y las costumbres de las comunidades donde se llevan a cabo. Por ello, cada vez con más frecuencia, antes de iniciar nuevos proyectos, se realizan investigaciones entre los miembros de estas comunidades para comprender sus necesidades y preferencias, orientando así el desarrollo de las obras de manera acorde. Este enfoque aumenta significativamente las probabilidades de que las obras sean aceptadas y aprovechadas plenamente.

Es igualmente relevante destacar los esfuerzos realizados por la ingeniería para mitigar el impacto ambiental de sus proyectos. Esto incluye acciones a nivel local, como la prevención de la contaminación y el deterioro del entorno natural, así como a nivel global, donde se busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y frenar el consiguiente calentamiento global.

Es innegable que la toma de conciencia de los ingenieros respecto a los problemas ambientales no ha surgido de manera del todo espontánea. A partir de la segunda mitad del siglo XX, ha venido creciendo el coro de voces que critican a la ingeniería, considerándola una de las principales responsables de la devastación del ecosistema terrestre.

Sin embargo, hoy en día la ciencia y la tecnología tienen una oportunidad de rescate. Como mencionamos previamente, hoy estamos inmersos en la "IV Revolución Industrial", la cual se caracteriza por la emergencia de nuevas y asombrosas tecnologías que ofrecen a la humanidad las herramientas necesarias para enfrentar y mitigar las grandes amenazas que afectan al planeta, tanto en términos sociales como ambientales, y así corregir, en cierta medida, los daños causados en el pasado. No obstante, la efectividad de estas tecnologías dependerá de cómo las utilicemos en esta ocasión, es decir, de manera responsable, con plena conciencia de las problemáticas que conllevan.

Atrás han quedado los tiempos de las grandes migraciones de los legendarios pioneros del lejano oeste norteamericano. En aquel entonces, éstos podían acampar en medio de praderas ilimitadas sin preocuparse por encender fogatas o esparcir desechos, dado que el impacto causado por estas acciones en la inmensidad de aquellos territorios era insignificante.

Asimismo, los tiempos de la "I Revolución Industrial", marcada por el vapor, el carbón, la explotación indiscriminada del territorio y la inmisericorde explotación humana, han quedado como recuerdo de otros tiempos.

En la actualidad, los ingenieros enfrentan un desafío diferente, similar al de los astronautas, quienes deben sobrevivir en un espacio confinado y, por lo tanto, utilizar con sumo cuidado y eficiencia los recursos disponibles. Esto implica reciclar casi en su totalidad los materiales utilizados y disponer adecuadamente de los desechos para evitar que su pequeño ecosistema artificial se vuelva inviable.

Las consideraciones previas nos brindan una comprensión de las diversas ramificaciones, complejidad e implicaciones éticas inherentes a la ingeniería moderna. Es comprensible, por lo tanto, que muchos jóvenes, a pesar de sentir una inclinación natural hacia esta profesión, experimenten cierto desconcierto e indecisión a la hora de elegir y emprender la carrera universitaria de ingeniería. En este proceso influye particularmente, más allá de algunas idealizaciones, el desconocimiento de los principios y actividades que definen a la ingeniería: su relación con la ciencia, su metodología, sus herramientas, sus métodos de medición, su conexión con el modelaje matemático, sus proyectos basados en cálculos y dibujos técnicos, así como las labores de campo y los procesos de desarrollo de productos que le son intrínsecos. Y no menos importante, la elección consciente de esta carrera de estudio no puede obviar una visión panorámica de sus campos de aplicación.

Por lo tanto, un libro como el que estamos presentando, intitulado "Introducción a la Ingeniería", en donde se exponen las diversas facetas de la ingeniería actual, sus fundamentos, sus principales especializaciones, sus preceptos éticos y las responsabilidades sociales y ambientales de sus

profesionales, sin duda posee un valor ilustrativo y orientador importante para los aspirantes a la carrera de ingeniería, y no solo para ellos.

Debemos entonces aplaudir a la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH) por haber impulsado, a través de la Comisión de Educación Superior, la publicación de este libro, cuyo autor original es el profesor Edilberto Guevara. El libro, en su versión actual, ha sido actualizado y ampliado con las contribuciones de los Académicos Alonso Romero Martínez, Manuel Torres Parra, Eduardo Buroz y los Doctores Fabio Capra y Vivian Floríndez.

El libro consta de diecinueve capítulos que abordan diversos temas, desde la explicación de estrategias de estudio y resolución de problemas propios de la carrera, hasta el examen de las implicaciones éticas y las responsabilidades legales del ejercicio profesional. Además, se presenta una detallada descripción de las principales categorías que conforman la ingeniería.

Tras un sintético recorrido histórico, ilustrado en el primer capítulo, en el cual se aborda la evolución de la ingeniería desde la antigua civilización egipcia hasta la actualidad, con referencias específicas a la ingeniería venezolana, los autores proceden, en el segundo capítulo, a reseñar las principales especialidades de la ingeniería, demostrándose cómo estas especialidades prácticamente abarcan todos los ámbitos de las actividades humanas.

En el tercer capítulo se analizan los aspectos éticos de la profesión, así como las responsabilidades legales y morales que adquieren los ingenieros frente a las comunidades y los ecosistemas que albergan sus obras. En este mismo capítulo se incluye el "Código de Ética" del Colegio de Ingenieros de Venezuela, para resaltar la importancia que otorga a esta materia el máximo órgano gremial de los ingenieros venezolanos.

El cuarto capítulo también tiene relevancia especial, ya que destaca la necesidad de conocer los preceptos de las ciencias básicas para poder adquirir las competencias exigidas por la profesión. En efecto, la ingeniería requiere del dominio de los principios y leyes científicas, conseguido mediante el aprendizaje de la matemática, física, química y otras materias de ciencias sociales y naturales, para utilizar el conocimiento y aplicarlo en el desarrollo de soluciones útiles, seguras y eficientes, orientadas a resolver problemas concretos.

El capítulo cinco empieza analizando la estructura de un plan de estudio de ingeniería necesaria para poder proporcionar a los estudiantes las competencias que les serán requeridas en el futuro ejercicio de la profesión. Contiene, además, un conjunto de criterios de carácter actitudinal cuya adopción puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso en esta carrera universitaria en particular, puesto que la misma requiere de conductas y de una disposición mental muy diferentes de aquellas habituales en los estudios secundarios. A continuación, el capítulo se extiende en una descripción pormenorizada del método de resolución de problemas, considerado clave en los estudios de ingeniería, y sin embargo muchas veces dejado simplemente a la intuición de los estudiantes. De manera que, por el contrario, se recomienda multiplicar las oportunidades de aplicación guiada de estos procesos, hasta que los estudiantes aprendan a interpretar el planteamiento de los problemas y puedan así diseñar estrategias conducentes a la obtención de soluciones.

El capítulo seis aborda un proceso metodológico fundamental para el ingeniero, cual es el proceso de diseño. Quizás sea ésta la actividad que mejor define a la profesión del ingeniero, ya que representa el verdadero momento creativo en la realización de una obra. El proceso o método de diseño en ingeniería es un enfoque sistemático y estructurado utilizado por los ingenieros para desarrollar soluciones eficientes y efectivas a problemas técnicos. Este proceso implica una serie de pasos que involucran la identificación de problemas, la generación de soluciones, el desarrollo de proyectos detallados, la prueba y la optimización continua. Estos pasos generan finalmente productos y sistemas que satisfacen las necesidades y expectativas de los clientes y usuarios finales. Por lo tanto, es aquí donde el ingeniero debe valerse de su conocimiento de ciencias básicas, de su capacidad para el cálculo y el

dibujo técnico, así como para el uso de las herramientas y aplicaciones computacionales. Es aquí donde debe demostrar tener los valores morales para sortear las problemáticas sociales, ambientales, económicas inherentes a la satisfacción de una particular demanda o necesidad de intervención. En síntesis, es aquí donde debe demostrar haber adquirido las competencias que la carrera universitaria pretende integrar en su persona.

Los capítulos que siguen, del siete al doce y los capítulos diecisiete y dieciocho, describen las principales ramificaciones en que se subdivide la ingeniería, a saber: mecánica, eléctrica, energética, química, biológica e informática. Los capítulos diecisiete y dieciocho se adentran en la ingeniería de materiales y en los procesos industriales. Aunque esta reseña no es exhaustiva ni definitiva, dada la incesante aparición de nuevas disciplinas, hijas del continuo avance de la frontera tecnológica, es sin embargo muy ilustrativa y orientadora para los aspirantes ingenieros.

Los capítulos trece al dieciséis tratan de disciplinas afines a la ingeniería, cuyo dominio es sin embargo indispensable en la actualidad, habida cuenta de que hoy todo proyecto técnico de una cierta envergadura requiere de la intervención de equipos multidisciplinarios, lo cual a su vez requiere del ingeniero competencias multidisciplinarias para poder interactuar con los demás profesionales. Así que el capítulo trece introduce los fundamentos de la estadística, el catorce los métodos de optimización y toma de decisiones, el quince los principios de ingeniería económica, el dieciséis las modalidades de uso del dibujo técnico, siendo ésta la forma privilegiada por los ingenieros para comunicar e ilustrar sus proyectos.

Finalmente, el capítulo diecinueve sintetiza el estado actual de la frontera científico – tecnológica en la cual está inmersa la ingeniería: la transformación digital, la nanotecnología, las comunicaciones globales, la robótica, la inteligencia artificial, las energías alternativas, sólo para citar algunos de los maravillosos desarrollos que nos depara el futuro.

Dadas estas premisas, es evidente que cualquier documento que pretenda introducir a la ingeniería y a su desarrollo, quedará limitado a las realidades o como mucho, a las visiones de un momento histórico particular. Nunca podrá tener una conclusión, puesto que las realidades de hoy serán sustituidas por los avances del mañana, y las actuales visiones cambiarán rápidamente al compás de los nuevos descubrimientos.

En consecuencia, la recomendación más pertinente para la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, como promotora de este libro, es establecer un proyecto de actualización permanente de su contenido, a fin de que estudiantes y profesionales de la ingeniería puedan siempre disponer de una referencia válida sobre la profesión.

Paolo Maragno Gipardio

Presidente de la Comisión de Educación Superior

Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat

1. HISTORIA DE LA INGENIERÍA

1.1. Los Ingenieros Egipcios

Tanto los diseños de ingeniería, como las invenciones, son impulsados por las necesidades humanas. Se podría argumentar que en el caso del antiguo Egipto las verdaderas actividades ingenieriles tuvieron su motivación en la creencia de la existencia de vida después de la muerte. Esta creencia condujo a los reyes a construir tumbas que deberían contener todas las comodidades para ser felices en esa vida que les esperaba después de la muerte. Al principio, las tumbas eran construidas utilizando ladrillos quemados; luego usaron piedras. Por tal razón las primeras actividades ingenieriles en la cultura egipcia se relacionaban con ese tipo de construcción. De la información disponible se deduce que la primera obra de ingeniería significativa fue la construcción de la muralla de la ciudad de Memphis, la cual fue la décima capital del antiguo imperio egipcio.

El antiguo Egipto produjo muchos ingenieros, sobre todo en el área de la arquitectura. Se cree que el primer ingeniero fue Imhotep, quien construyó la primera pirámide para el rey Joser. La historia revela que la estructura de la pirámide se produjo como resultado de un cambio de idea de los reyes sobre sus deseos, dando fe desde los inicios que el diseño de ingeniería involucra una serie de decisiones y revisiones de las ideas y conceptos originales. Los reyes Kushite en el área del actual Sudán también mandaron a construir pirámides. Los ingenieros egipcios también construyeron canales y represas, en su mayor parte para proyectos de irrigación.

El análisis de esos proyectos de construcción en Egipto provee una visión sobre la forma de cómo los antiguos ingenieros resolvían los problemas. Dado a que algunas pirámides alcanzaron alturas de más de 150 metros, uno se pregunta ahora cómo pudieron mover las pesadas rocas que utilizaron en las mencionadas construcciones, considerando que no disponían de ningún tipo de maquinaria mecánica, como grúas. Historiadores y arqueólogos creen que utilizaban terraplenes y rampas de tierra para elevar las rocas hasta la altura deseada. Para una mente moderna ese método pudiera parecer una solución muy simple, pero para aquellos pioneros se trataba de una gran innovación.

Otro aspecto de los primeros esfuerzos es la consideración de la medida en que los primeros ingenieros han contribuido al desarrollo de la sociedad moderna. A través de los proyectos de construcción aprendieron mucho sobre canteras, movimiento de cuerpos pesados y moldeado, que sin duda ha contribuido a muchos de los avances tecnológicos de ahora.

1.2. Los Ingenieros de Mesopotamia

Se dio el nombre de Mesopotamia al área comprendida entre los ríos Éufrates y Tigris, es decir, lo que hoy es el territorio de Iraq. Si bien, los ingenieros del antiguo Egipto construyeron obras de riego, en realidad los primeros canales de riego en la historia fueron construidos por los Sumerios en el sur de Mesopotamia, como una necesidad de resolver los problemas creados por la condición desértica de la región. Debido a la necesidad de irrigar, los ingenieros hicieron los primeros avances en la elevación del agua mediante una especie de cucharas o baldes en forma manual. Igualmente fueron los ingenieros de Mesopotamia los primeros que utilizaron poleas para extraer el agua de pozos de agua subterránea. Al igual que los egipcios, los ingenieros de Mesopotamia también construyeron murallas y casas con sistemas de puertas soportadas por pines verticales, similares a los de la era moderna. Había otros avances de ingeniería atribuidos a Mesopotamia, sin embargo, estos avances se conocen a través de los

asirios, quienes invadieron a Mesopotamia. Los asirios fueron conocidos por su armamento militar; fueron los primeros en equipar a sus soldados con armas de hierro. Desarrollaron nuevas armas de guerra y vagones de tracción sobre ruedas, dando así origen a los vehículos de cuatro ruedas de la época moderna. Otra contribución significativa de los asirios se debe a su rey ingeniero *Sennacherib* quien construyó un acueducto y pavimentó las calles de la capital de su reino. Los ingenieros de Mesopotamia, en la época de los caldeos, construyeron el puente de piedra más antiguo que se conoce.

1.3. Los Ingenieros Griegos

La ingeniería en Grecia se desarrolló en forma paralela a la de Egipto y Mesopotamia; algunos de los conceptos constructivos fueron tomados de aquellas. Sin embargo, los griegos tuvieron la capacidad de avanzar más rápidamente sobre la base de los principios prestados. Los arquitectos griegos introdujeron el uso de elementos estructurales metálicos en las construcciones. Se cree que los griegos introdujeron la primera conexión entre la ciencia y la ingeniería. Así, por ejemplo, Archytas de Taras, durante la era griega dorada fue considerado como un científico puro y también como un ingeniero. Él resolvió una serie de problemas matemáticos y mecánicos. Como ingeniero inventó el pájaro mecánico que voló mediante el uso de aire comprimido. Algunos historiadores también le atribuyen la invención del tornillo.

Los ingenieros griegos también se dedicaron a otro tipo de proyectos, tal como sistemas de drenaje y túneles; sin embargo, no tuvieron éxito en la construcción de un canal a través de istmo de Corintio. Otra de las invenciones de los ingenieros griegos fue la catapulta que se utilizó como uno de los medios de artillería más efectivos en la guerra en los mares.

Otras contribuciones griegas se desarrollaron en el período helenístico, es decir una mezcla entre los griegos y los orientales, arreglo atribuido a Alejandro El Grande. Una de las principales contribuciones de este período lo constituye la escritura del libro denominado *Mecánica*. Los historiadores aún no se han puesto de acuerdo sobre el autor de esta obra maestra, pero su contenido definitivamente ha contribuido al desarrollo de algunos de los instrumentos mecánicos de nuestro tiempo. Así, por ejemplo, la descripción el mecanismo de transmisión de movimiento contenido en sus páginas ha podido dar origen a los mecanismos modernos en muchos tipos de maquinaria. En este período se inventaron la bomba de fuerza, órganos de tubería hidráulica y el reloj de agua. Probablemente el más conocido matemático-ingeniero del período helenístico sea Arquímedes, quien entre tantas contribuciones nos ha legado la ciencia de la hidrostática y desarrolló la teoría de la ventaja mecánica.

1.4. Los Ingenieros Romanos

Se cree que los romanos no contribuyeron en nada a la ciencia pura, pero fueron muy dinámicos en la ciencia aplicada. Sus ingenieros pueden ser denominados ingenieros civiles debido a que sus mayores actividades las dedicaron a la construcción de caminos, puentes, edificaciones públicas, acueductos y cloacas. Los ingenieros romanos ayudaron en el avance y mejoramiento de la maquinaria utilizada en el quehacer diario. Hicieron significativos avances en la construcción de casas. Se cree que reinventaron la técnica de calefacción indirecta central, cuyo invento original se atribuye al reinado de Anatolia alrededor de 1200 antes de Cristo.

El concreto que se utiliza en las construcciones modernas de edificaciones y puentes fue una invención de los constructores romanos, quienes fueron los primeros en descubrir el cemento. Se puede decir que la mayor contribución de los primeros ingenieros romanos fue en el campo de la construcción de edificaciones. Desarrollaron técnicas para la construcción de gigantescos edificios en un período de tiempo corto lo cual era mucho más barato que aquellos de las eras anteriores.

Los ingenieros romanos fueron principalmente ingenieros civiles, sin embargo, también hicieron avances en algunos equipos mecánicos previamente existentes. Así, durante el tiempo de los romanos apareció una mejor prensa y se hizo común el uso de la rueda hidráulica. Se desarrollaron muchos instrumentos de forma circular para elevar el agua y se mejoró la maquinaria para la producción de energía. Se usaron los molinos hidráulicos para suplir de harina a las ciudades. Otros aportes significativos de los romanos lo constituyen la invención de armaduras y pechinas.

El arquitecto e ingeniero Vitruvio, en el siglo I a. C. dio una gran lección en la llamada *Triada Vitruviana: firmitatis, utilitatis, venustatis* (estabilidad, utilidad, belleza) como las cualidades de una estructura. Estos tres elementos se unen para crear algo que es bello, coherente, en armonía con la naturaleza y no se puede tener la una sin la otra.

1.5. Los Ingenieros Orientales

La mayoría de las obras de los ingenieros orientales parecen estar confinadas a la construcción de templos, influenciadas por la propensión de la gente hacia las actividades religiosas. La contribución de los ingenieros hindúes está principalmente en su habilidad para los trabajos en hierro. Los ingenieros árabes continuaron la tendencia de sus colegas de Grecia, Egipto y Mesopotamia. Ellos construyeron relojes de agua, ruedas hidráulicas. Se cree que la idea de la moción perpetua fue introducida por los árabes. Desarrollaron plantas hidráulicas y las primeras aplicaciones prácticas de los molinos de viento.

Las construcciones de los ingenieros chinos eran similares a las de los discutidos anteriormente. Adicionalmente introdujeron el diseño curvo en los techos. El diseño de sus puentes es distinto; construyeron puentes colgantes suspendidos por cables hechos con bambú. También construyeron canales para riego. Se cree que la carretilla de ruedas fue inventada por los ingenieros chinos. Además, mejoraron muchos inventos ya existentes: mejoraron el escape del reloj, mecanismo que hace posible el control de la velocidad del reloj y permite que funcione con una fuente pequeña de energía.

1.6. Los Ingenieros Europeos

Parece ser que los primeros ingenieros europeos no produjeron muchas innovaciones originales, sino que avanzaron en el desarrollo de las invenciones existentes. Eran más bien artesanos que trabajaban con reglas aproximadas después de un proceso de aprendizaje. Sin embargo, durante la Edad Media, muchos aprendices se interesaron en las ciencias físicas, logrando avances en la estática y el análisis de esfuerzos en estructuras sólidas cargadas. En este período hubo algunos inventos notables, tal como la máquina voladora. Se incrementó el uso de la energía hidráulica y se introdujo el uso del martillo hidráulico.

En la Edad Media Alta se lograron muchos avances, tal como nuevas formas estructurales y armaduras en la construcción de casas. Las construcciones más significativas fueron las iglesias, específicamente, catedrales y castillos. La Europa Medioeval realizó avances en maquinaria de potencia, tal como los molinos hidráulicos; sin embargo, la contribución más significativa probablemente sea el molino de viento. Otros avances lo constituyen el mejoramiento del tráfico sobre ruedas. En efecto, el primer autobús, con capacidad de 60 pasajeros apareció al rededor del siglo 18. Los ingenieros europeos avanzaron en la ingeniería hidráulica, especialmente en el área de canalizaciones, mucho más que los propios romanos. También construyeron barcos. Hubo un gran progreso en el Renacimiento. En esa época aparecieron las escuelas de ingeniería, así como ramas definidas de estudio en esa ciencia.

1.7. Los Ingenieros del Nuevo Mundo

1.7.1. Ingeniería Precolombina

Antes de la llegada de los europeos, en el continente americano existían culturas florecientes que demostraban la presencia de mentes ingenieriles brillantes utilizadas en las construcciones de viviendas, templos, vías de comunicación, puentes, sistemas de riegos y sistemas completos de manejo de cuencas. En la época de la conquista se descubrieron en México instalaciones de cierta complejidad que habían sido utilizadas para almacenar y conducir agua durante muchas generaciones y cuyo origen no se ha podido determinar. En el Perú se encuentran, no sólo vestigios de sistemas de riego bien planificados de la época preincaica en los valles de la costa, sino aún se utilizan sistemas incaicos integrales de manejo de cuencas en el altiplano y muchos valles interandinos, por lo que a la cultura de los incas con justeza se les ha denominado los riegos de América.

Las sociedades americanas precolombinas han sido conocidas por haber desarrollado sistemas de planificación urbana y vial y capacidades técnicas en la gestión del agua, esta última, especialmente en aquellas regiones donde este recurso es escaso. Los arqueólogos han encontrado evidencias de técnicas de gestión del agua e ingeniería en las culturas andinas que ocuparon el territorio que abarca el área desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile y Argentina y que, eventualmente, fueron asimiladas o conquistadas por el imperio inca.

El primer centro urbano americano surgió en el valle del río Supe hace aproximadamente unos 5000 años ubicado a unos 200 km al norte de Lima, la capital actual del Perú. Se trata de la ciudad de Caral de la civilización del mismo nombre construida alrededor del año 3.000 a.C. y es considerada la ciudad más antigua de América. Lo interesante es que esta cultura era contemporánea de la civilización china, sumeria en Mesopotamia, harappa en la India y la civilización egipcia en el norte de África. Sin embargo, Caral se desarrolló en total aislamiento a diferencia de las culturas asiáticas y africanas que interactuaron, de acuerdo con las evidencias arqueológicas encontradas (Kuroiwa, 2016). Durante la época de la cultura caral se construyeron canales de irrigación, depósitos de agua y terrazas para contener la tierra. Los campos agrícolas eran fertilizados con estiércol de aves marinas y restos de cabezas de pescado. La cultura caral influyó en las culturas andinas que surgieron en los siguientes milenios. Se han encontrado evidencias del diseño de obras civiles en manifestaciones artísticas (Shady-Solís et al., 2006).

Los arqueólogos dividen la historia de expansión andina en horizontes y estos en períodos intermedios de formación de culturas locales. Así, tenemos que, por ejemplo, la cultura nazca floreció a lo largo de la costa centro del Perú entre los primeros años de nuestra era y el siglo VIII en el llamado Período Intermedio Temprano. Los nazca construyeron sistemas para desviar aguas subterráneas hacia canales que, a su vez, regaban campos y suministraba agua a pequeñas ciudades. En el estudio de Delgado-Gutarra (2003) resumido por Rodríguez-Zubiate (2005) se investigaron las técnicas de diseño y construcción de las galerías de filtración construidas por los nazca. El agua subterránea era interceptada antes de entrar en el estrato del aluvión del río Aija, el que se mantiene seco 10 meses al año. Se excavaron trincheras en el desierto de Nazca para captar agua subterránea provenientes de zonas más altas. Estas galerías de filtración alimentaban a canales de riego y a los sistemas de suministros a centros de población. Estos sistemas son similares a los denominados kanats o qanats de la antigua Persia construidos 1000 años a.C. (Ponce-Vega Luis A., 2015).

Wright y Valencia-Zegarra (2000) y Wright (2006) analizaron dos importantes centros de la cultura o imperio Inca (Horizonte Tardío) desde el punto de vista de la ingeniería: Machu Picchu y Tipón. Machu Picchu es una pequeña ciudad inca, ahora patrimonio de la humanidad ubicada en el valle de Urubamba; Tipón es un pequeño centro urbano inca ubicado a 24 km al sur de la ciudad del Cusco. En ambos casos se encuentran obras hidráulicas labradas en roca en las que las pérdidas de energía se

inducen aguas arriba de las cascadas creando un camino sinuoso que disminuye la energía del flujo disminuyendo la erosión.

Otras obras de ingeniería de conservación son las terrazas, llamadas localmente andenes. Proporcionaron estabilidad a la montaña controlando la erosión y los deslizamientos de tierra y permitiendo el cultivo mediante los muros de contención. Se incluyeron desagües de grava en la terraza. De acuerdo con Wright y Valencia-Zegarra (2000) los cultivos proporcionaban parcialmente suministro de alimentos a la ciudad y es seguro que la mayor parte del suministro de alimentos lo proporcionaban las granjas cercanas.

Las civilizaciones precolombinas andinas ingeniosamente resolvían los problemas relacionados con los recursos hídricos, mediante la adaptación de las técnicas de ingeniería a las condiciones locales y, en esencia, sin afectar negativamente el medio ambiente. Los casos mencionados son ejemplos de una buena planificación en ingeniería.

Habiendo sido la incaica la cultura precolombina más desarrollada en el aspecto agropecuario, es claro que ella poseía también los sistemas de conservación de los recursos naturales más avanzados, basados en el trabajo colectivo o cooperativo. Existe una estrecha correlación entre el carácter de los pueblos y el de la naturaleza de la que estos grupos etnológicos extraen la materia prima para su sustento biológico e intelectual. Esta era la razón de ser del sistema cooperativista de las culturas precolombinas, centrado en la modalidad de los ayllus agrícola- ganaderos en la costa y en la sierra, y la de la organización imperial (imperio de los incas) que se perfeccionó durante muchos siglos, hasta que repentinamente fue destruido, por la penetración de nuevos factores económicos, políticos y sociales que arribaron en las carabelas de Colón.

Todos los grupos humanos del pasado desarrollaron sus actividades hacia la prosecución de sus medios de vida, orientándose por la mínima resistencia que les oponían los factores geográficos y climatológicos de las comarcas que habitaban. Antes de subsistir de la agricultura o de la carne de animales domesticados, de la pesca o de la caza, lo hacían de la simple recolección de frutos, raíces y tallos alimenticios. Lentamente se pasa a lo largo de la historia de la economía recolectora a la agropecuaria, y así se pasa también de la condición de una especie de elementos inertes de la naturaleza a explotadores de los recursos naturales. Las sociedades colectivistas, como la de las culturas precolombinas de América, prestaron atención en esta última etapa a la conservación del ambiente, a lo que actualmente denominamos sustentabilidad; mientras que las sociedades europeas y las poscolombinas de América se distinguen por ser destructoras del ambiente debido al concepto de la propiedad individual y al ansia de enriquecimiento personal a costa de la sobre utilización de los recursos naturales.

La cultura precolombina más desarrollada en los aspectos agropecuarios, consiguientemente en la conservación de los recursos, fue la de los incas. Su afán conservacionista estaba ligado a las múltiples variedades topográficas, con sus respectivas variedades climáticas. Para simplificar la explicación señalaremos que el país de los incas (Perú actual) se divide en tres regiones generales: costa, sierra y selva. La costa abarca el 10 % de la superficie y alberga al 60 % de la población. La sierra comprende el 30% de la superficie y alberga al 30% de la población y la selva que comprende el 60% del área sólo alberga al 10% de la población. El imperio de los incas se denominó Tahuantinsuyo que significa "las cuatro regiones o Suyos que se integran" y que eran: Antisuyo al este, Cuntisuyo al oeste, Chinchasuyo al norte y Collasuyo al sur, en relación al Cuzco.

Se sabe que, a la llegada de los españoles, el imperio incaico se encontraba en una etapa agrícola de economía productiva intensamente desarrollada en la costa. No se puede pensar en esa realidad agrícola sin considerar que su desarrollo se efectuaba bajo el amparo de un perfecto sistema de irrigación y manejo de suelos y cultivos, y un conocimiento completo de las condiciones climáticas y topográficas. En la región andina la agricultura había rebasado las huertas familiares y se extendía sobre las cumbres de los cerros en que se habían construido las casas colectivas de los clanes, quizás en el

corazón de las *markas* o tierras acotadas durante la economía recolectora. Como expresión máxima de este período, se encuentra la agricultura en pleno desarrollo en *andenerías*, como una ampliación de la huerta casera y con la concurrencia del esfuerzo colectivo de la comunidad. Las *andenerías* aparecen, en su primera etapa (trabajo familiar), como escalinatas construidas de arriba hacia abajo, aprovechando los desmontes en el segundo o tercer plano; en su etapa definitiva constituyen verdaderos sistemas de conservación de suelos y aguas, extendiéndose hacia las defensas ribereñas y a las planicies de inundación. Los sistemas de riego se limitaban a las aguas de lluvia o a la escasa disponibilidad hídrica de esas alturas; predominando en esas condiciones climáticas el cultivo de la papa. El cultivo de la papa data desde unos 500 años a.C. El propio idioma quechua ha cristalizado todo el devenir económico, político y religioso de esta raza y sus vocablos han aprisionado toda la fenomenología agrícola que se generó alrededor de ese producto (la papa). Estos vocablos son tan ricos en expresión y colorido que aventajan sobradamente a los del castellano. Si se suprimieran de la mente o conocimiento de un indígena quechua, desgarraríamos un enorme trozo de su vida intelectual.

Los incas cultivaban otros tubérculos como los *ollucos* y *ocas*. Este último era considerado como una representación del *phalus* y un símbolo del placer sexual; el acto de la generación se denomina *oca-tarpu*, es decir la siembra de *ocas*. Si se considera que en todos los idiomas las comparaciones y expresiones de esta naturaleza son tan antiguos como las percepciones y sentimientos que les dieron origen, como *sapear*, *coger*, *comer*, y otras tantas de la idiosincrasia erótica de los pueblos, se verá que aquella expresión por sí misma es una verdadera especie arqueológica, sobre todo cuando se la relaciona con el concepto indígena a cerca de la tierra o *Mama Pacha*, la que se deja engendrar para alimentar a los hombres con sus productos, la que se deja meter o sembrar la *oca*, para gestar la simiente, para devolver en el parto o cosecha otras parecidas. Esta es la razón simbiótica por la que había que evitar la degradación de la *Mama Pacha* mediante los sistemas de conservación, para que siga produciendo más y más alimentos para una población siempre creciente. Se cree que, a la llegada de los españoles, el imperio incaico tenía una población de unos 10 millones de habitantes.

El trabajo colectivo se denominaba *mincca* o *minga*; incluye el trabajo voluntario, en conjunto, de todos los miembros de la comunidad o *ayllu* en una obra agrícola o de beneficio colectivo de viviendas para los recién casados; supone además la alimentación o porción alimenticia que cada comunero recibe de la comunidad o del particular a quien presta sus servicios. La expresión estatal de la *minga* lo constituye la *chunca*, a la cual se debe el cultivo de las extensas tierras de la *marka*, el perfeccionamiento de las terrazas, la construcción de grandes canales y acequias de riego, el florecimiento de las grandes industrias de alfarería, ya que había alimentación y tiempo suficiente para emprender esas tareas.

Los incas convirtieron a la *chunca* en la *mita*, dándole el carácter de obligatorio y castigando con la muerte al que osare no trabajar, de acuerdo con uno de sus principios básicos *amac-quella*, es decir, no seas perezoso (los otros principios básicos eran: *amac-sua* = no robar y *amac-yulla* = no mentir). La *mita* llegó a ser una perfecta organización y división del trabajo. Todos trabajaban: niños y ancianos en labores adecuadas; mujeres y varones adultos en toda clase de industrias y empresas; por que los ejércitos también construyeron calzadas, caminos, puentes y acequias. Sólo consumían, sin trabajaren obras productivas, los religiosos profesos y los enfermos. El Incanato supo aprovechar la energía vital de sus pobladores; pero no supo educar a sus hombre y pueblos ni prevenirlos para el porvenir ni para las contingencias; así fue que fueron presa fácil de una conquista despiadada.

Entre las obras de ingeniería hidráulica más conocidas o sistemas para la conservación tenemos: Los *racca rumi* o canales de roca para la conducción de las aguas sin pérdidas por infiltración; los *puquios* o almacenamientos de aguas superficiales dentro del perfil del suelo para evitar la evaporación (similares a los *khanates* persas, mencionados antes); las defensas ribereñas para la protección de las planicies de inundación; y los *qochas*. Estos últimos eran sistemas integrales de manejo del suelo y el agua, similares a las franjas en contorno modernos. Los *qochas* eran (y aún son) lagunas en perfectos

círculos, en sucesión superpuesta, como si fueran cráteres de volcanes aplanados por los vendavales de siglos. Existen también rectangulares y abarcan extensiones de hasta 16000 hectáreas en la región del Altiplano. Probablemente se originan como una combinación del uso de las características naturales con un perfeccionamiento continuo. Se construían para manejar las tierras de zonas áridas, para controlar las heladas y la erosión. En la actualidad los qochas representan un manejo eficiente del medio ecológico y se presentan como círculos concéntricos de cultivos alternados multicoloreados. El círculo interior se siembra con tarwi (azul), el círculo intermedio es de quinua (color rojo) y el círculo externo lleva papas (color verde). El sistema permite efectuar rotaciones de ollucos, habas, ocas, cañihua, cebada, avena y pastos; igualmente se utiliza el barbecho, como técnica de recuperación de la fertilidad de los suelos.

Las labores de conservación se extendían a los animales a través de un profundo conocimiento de la sicología y costumbre de los animales y una completa organización política y administrativa: El Chaco.

Aún persisten vestigios precolombinos de las actividades ingenieriles en el nuevo mundo. Están como muestra en el aspecto arquitectónico la pirámide central de Caral, las pirámides del sol y de la luna de la cultura Chimú, pirámides del sol y de la luna de Teotihuacán en México, las pirámides de Tical en Guatemala, Sacsahuamán, Ollantaitambo, Machupichu, Tiahuanaco, etc. También están los sistemas viales, incluyendo caminos, puentes y tambos, en una extensión de más de 23 mil kilómetros de longitud sobre una topografía agreste como es la región de los Andes.

1.7.2. Ingeniería en Estados Unidos

La historia de la ingeniería en Estados Unidos ha evolucionado desde los primeros asentamientos coloniales hasta convertirse en un componente integral del desarrollo tecnológico y económico del país. La ingeniería estadounidense ha desempeñado un papel clave en la construcción de infraestructuras, el avance de la industria y la exploración de nuevas fronteras.

Época Colonial y Preindustrial (Siglos XVII-XVIII): Durante la época colonial, la ingeniería en Estados Unidos estaba centrada en la construcción de asentamientos y fortificaciones para asegurar la supervivencia en el Nuevo Mundo. La ingeniería hidráulica se volvió crucial para el desarrollo de molinos y sistemas de riego. Ingenieros como Benjamín Franklin, además de sus contribuciones en la ciencia, participaron en proyectos de ingeniería, como la mejora de sistemas de iluminación pública

Siglo XIX y la Revolución Industrial: El siglo XIX marcó un cambio significativo con la Revolución Industrial, que transformó la sociedad y la economía estadounidenses. La construcción de ferrocarriles y canales, como el canal de Erie, se convirtió en una prioridad para mejorar la conectividad y el transporte de mercancías. Ingenieros como John A. Roebling, diseñador del puente de Brooklyn, y James Buchanan Eads, constructor del puente de Eads y el túnel submarino del río Missouri, dejaron un impacto duradero en la infraestructura del país.

Ingeniería en el Siglo XX y Desarrollo Tecnológico: El siglo XX vio un rápido avance en la ingeniería estadounidense. Desde la construcción de la presa Hoover hasta la implementación del Proyecto Manhattan, la ingeniería estuvo en el centro de los logros tecnológicos y científicos del país. La llegada de la era espacial llevó a ingenieros como Wernher von Braun a desarrollar tecnologías para la exploración del espacio. La construcción de la red de autopistas interestatales bajo la dirección del presidente Dwight D. Eisenhower también fue un hito en la ingeniería de infraestructuras.

Ingeniería en la Era Contemporánea (Siglo XXI): En el siglo XXI, la ingeniería en Estados Unidos continúa desempeñando un papel crucial en el desarrollo tecnológico. La innovación en áreas como la informática, la biotecnología y las energías renovables está liderada por ingenieros que buscan soluciones para desafíos globales, desde el cambio climático hasta la salud pública. Grandes proyectos

de ingeniería, como la construcción de rascacielos y la expansión de infraestructuras de transporte, también definen la paisaje urbano y económico del país.

1.7.3. Ingeniería en Latinoamérica

La historia de la ingeniería en Latinoamérica es un relato fascinante que abarca desde las civilizaciones precolombinas hasta la actualidad, reflejando la diversidad de culturas y los desafíos y logros en el ámbito de la ingeniería. A lo largo de los siglos, los ingenieros latinoamericanos han contribuido significativamente al desarrollo de infraestructuras, industrias y tecnologías que han transformado la región.

Época Precolombina: Como se ha mencionado, antes de la llegada de los colonizadores europeos, las civilizaciones indígenas en Latinoamérica desarrollaron técnicas ingenieriles avanzadas. Los mayas, aztecas e incas construyeron sistemas hidráulicos, caminos, templos y terrazas agrícolas impresionantes. La ingeniería precolombina se destacó en la arquitectura, la planificación urbana y la gestión sostenible de recursos naturales.

Colonización y Construcción de Infraestructuras (Siglos XVI al XIX): Con la colonización, la ingeniería europea se introdujo en la región para satisfacer las necesidades de los colonizadores. Se construyeron fortificaciones, puentes y caminos para facilitar la extracción de recursos y el control territorial. Durante el siglo XIX, con la independencia de las naciones latinoamericanas, la ingeniería se orientó hacia el desarrollo de infraestructuras para impulsar la economía y la conectividad interna.

Desarrollo Industrial y Avances Tecnológicos (Siglo XX): El siglo XX presenció un rápido avance en la ingeniería latinoamericana. La industrialización trajo consigo la necesidad de infraestructuras más complejas, como carreteras, puentes, puertos y sistemas de transporte masivo. En esta época, países como México y Brasil desarrollaron industrias automotrices y aeroespaciales, lo que requirió la participación activa de ingenieros en el diseño y la implementación de procesos y tecnologías avanzadas.

Ingeniería en el Sector Energético y Recursos Naturales: La segunda mitad del siglo XX y principios del siglo XXI estuvieron marcados por la importancia de la ingeniería en la gestión de recursos naturales, especialmente en el sector energético. La explotación de petróleo en países como Venezuela y México generó la necesidad de ingenieros especializados en la perforación, refinación y distribución de hidrocarburos. Además, la ingeniería ambiental se volvió esencial para abordar los impactos de la explotación de recursos naturales en el entorno.

Desafíos y Oportunidades Actuales: En la actualidad, la ingeniería en Latinoamérica enfrenta desafíos como la infraestructura obsoleta, la urbanización rápida y la necesidad de abordar problemas ambientales. Sin embargo, también hay oportunidades significativas en el desarrollo de energías renovables, la gestión sostenible de recursos y la implementación de tecnologías para mejorar la calidad de vida de la población.

1.7.4. Ingeniería en Venezuela

La historia de la ingeniería en Venezuela refleja el desarrollo y la evolución del país desde la época colonial hasta la actualidad. La ingeniería en Venezuela ha desempeñado un papel crucial en la construcción de infraestructuras, el aprovechamiento de recursos naturales y el impulso del progreso tecnológico.

Época Colonial y Preindependencia (Siglos XVIII y XIX): Durante la colonización española, la ingeniería en Venezuela estaba centrada en la construcción de obras civiles y militares. La importancia estratégica de la región llevó a la creación de fortificaciones y caminos para facilitar el

control y la comunicación. Ingenieros militares como Agustín Crame y Francisco Eugenio Pezet dejaron su huella en la planificación y construcción de obras defensivas. Con la independencia de Venezuela en 1811, la ingeniería jugó un papel clave en la consolidación de la república, abriendo caminos y diseñando infraestructuras esenciales.

Siglo XIX: La construcción de ferrocarriles, puentes y carreteras se intensificó para facilitar el transporte de bienes y personas. Ingenieros como Manuel Antonio Pulido, reconocido por su labor en la construcción del ferrocarril Caracas-La Guaira, contribuyeron al crecimiento económico y a la integración del país.

Siglo XX: En el siglo XX, la ingeniería en Venezuela experimentó un rápido desarrollo. La llegada de la industria petrolera en la década de 1920 dio lugar a la creación de la Empresa Venezolana de Petróleo (PDVSA) en 1976, impulsando la ingeniería en el ámbito petrolero y energético. La construcción de la Central Hidroeléctrica de Guri en la década de 1970, a cargo de ingenieros venezolanos y extranjeros, marcó un hito en la generación de energía eléctrica. Además, la expansión de la industria petroquímica y la construcción de la refinería de Amuay fortalecieron la presencia de la ingeniería en el sector energético. Ingenieros como Gustavo H. Machado, pionero en la ingeniería estructural, contribuyeron al diseño de edificaciones icónicas en Venezuela.

Siglo XXI: En el siglo XXI, la ingeniería en Venezuela ha enfrentado desafíos significativos. La crisis económica y política ha impactado la inversión en infraestructuras, aunque ingenieros venezolanos continúan trabajando en proyectos clave. El desarrollo de proyectos de energías renovables y la modernización de infraestructuras son objetivos actuales para impulsar el crecimiento sostenible.

1.7.5. El Secreto del Éxito de los Antiguos Ingenieros

Se cree que los secretos del éxito de los antiguos ingenieros son de tres tipos: 1) Ellos hicieron uso de todos los instrumentos y herramientas simples que tenían a la mano. 2) Ellos disponían de mano de obra ilimitada y supieron organizar el trabajo de las masas. 3) Ellos tenían infinita paciencia. Si se acepta que esos tres aspectos son ciertos, entonces los ingenieros de ahora tienen mucho que aprender de sus antecesores. Por lo tanto, para alguien que se está preparando para la profesión de ingeniería, es sumamente importante ejercitar la última cualidad que condujo al éxito a los antiguos ingenieros, es decir Paciencia. Es necesario tomar el tiempo requerido para estudiar cada materia, aunque algunas veces se encuentre conceptos difíciles de dominar. La norma es: Tome el tiempo necesario y tenga la paciencia para dominar al concepto. Cualquier apresuramiento sólo conducirá a errores en el proceso de aprendizaje y a una pérdida inútil del tiempo.

Referencias

Bingham, H. (1913) In the wonderland of Peru. National Geographic Magazine. (Abril 23): 387-574. Also available on the Internet (See Internet References).

De Campo, L. S. (1990): "The Ancient Engineers". Dorset Press, New York.

Delgado-Gutarra, Louise Enrique (2003) Estudio de las Galerías Filtrantes de Nazca. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil. Lima, Peru.

Galves Soto, Eduardo (2015): "Introducción a la Ingeniería, Dossier, México.

Hodge, H. (1992): "Technology in the Ancient World". Barnes & Noble Inc

Kuroiwa, Julio M. (2016): Historic examples of water management in pre-columbian andean society. In: Hydrolink 2016/3. Madrid: International Association for Hydro-Environment Engineering and Research. (IAHR). S. 73-75.

<https://www.iahr.org/library/hydrolink?hid=443>

Ponce-Vega Luis A. (2015). Puquios, qanats y manantiales: gestión del agua en el Perú antiguo. Agricultura, Sociedad y Desarrollo Vol.12 No. 3 Texcoco. Jul./sep. 2015 jul./Sep.2015

Rodríguez-Zubiate, Edgar (2005) Las Galerías Filtrantes de Nazca. Ingeniería Civil. Revista Técnica N° 30. Colegio de Ingenieros del Perú – Consejo Departamental de Lima. Lima, Peru.

Romero Hernández, Sergio y colaboradores (2015) Introducción a la Ingeniería”, 2ª Edición, Cengage Learning, México.

Shady-Solís, R.; Cáceda-Guillén, D.; Crispín-Balta, A.; Machacuay Romero, M.; Novoa-Bellota, P.; Quispe-Loayza, E. (2009) Caral la Civilización más Antigua de las Américas: 15 años develando su historia. Proyecto Especial Arqueológico Caral-Supe. Instituto Nacional de Cultura. Lima, Perú.

Wright, Kenneth and Valencia-Zegarra, Alfredo with Wright, Ruth y McEwan, Gordon (2000) Macchu Picchu: A Civil Engineering Marvel. ASCE Press. Reston, Virginia. Estados Unidos de América.

Wright, Kenneth R. con McEwan, Gordon y Wright (2006) Tipón: Obra maestra de la ingeniería hidráulica del imperio de los incas. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia. Edition in Spanish: Universidad Nacional de Ingeniería (2008). Lima, Perú.

Internet references National Geographic Society

https://historia.nationalgeographic.com.es/a/caral-gran-civilizacion-norte-peru_14823.

Consultado 19-05-2024

2. DISCIPLINAS DE LA INGENIERÍA

2.1. Introducción

Con frecuencia los ingenieros no son reconocidos por ellos mismos, debido a que el pueblo normalmente no tiene conocimiento real de lo que son ni de lo que hacen. Algunos estudiantes han podido haberse decidido por los estudios de ingeniería por influencia de sus padres o amigos, sin saber realmente cuál de las ramas les interesa. Por ello, en este punto vamos a describir brevemente las disciplinas que comprende la carrera de ingeniería. Sin embargo, hay que hacer énfasis en que la naturaleza de la ingeniería es cambiante y muchos se están dando cuenta que los límites entre sus diferentes disciplinas deben ser removidos. Un equipo típico de ingeniería puede estar conformado por ingenieros de diferentes disciplinas, y para que funcione en forma efectiva, cada miembro del equipo debe tener conocimientos básicos de todas las disciplinas. A pesar de la tendencia de borrar los bordes entre las diferentes ramas, cada una mantendrá su característica distintiva a través del futuro predecible.

Antes de entrar a discutir la esencia de cada rama, veamos algunas definiciones del concepto de ingeniería:

- Es el uso del razonamiento en el proceso de toma de decisiones para la solución de los problemas.
- Es la aplicación de los recursos matemáticos a los elementos para dominar las fuerzas latentes del universo.
- El Comité de Acreditación de Ingeniería y Tecnología de EE.UU. (ABET) define a la ingeniería como “la profesión que aplica racionalmente los conocimientos matemáticos y de las ciencias naturales adquiridos a través de estudio, experiencia y práctica, para desarrollar formas económicas de uso de los recursos y fuerzas de la naturaleza para el beneficio de la humanidad”.

Las definiciones anteriores indican que existe un cuerpo de conocimientos común a todos los ingenieros. En la mayoría de las Escuelas de Ingeniería, los estudiantes de todas las ramas toman las mismas materias durante los dos primeros años del proceso de su formación. La diferenciación en disciplinas se inicia en el tercer año. En las secciones que siguen se presenta una breve descripción de las ramas principales de la ingeniería con la finalidad de ayudar al lector (estudiante) a tomar una mejor decisión en la selección de su preferencia académica.

2.2. Ingeniería Aeroespacial

El mayor interés de esta disciplina se centra en el estudio de los vuelos de toda clase de vehículos, operados bajo diferentes condiciones de velocidad y altitud. Comprende todas las fases de investigación, diseño y desarrollo de vehículos militares y comerciales, naves espaciales, helicópteros, misiles y submarinos. Comprende dos subdisciplinas principales: Aeronáutica y Astronáutica. La ingeniería aeronáutica se dedica a los vuelos confinados en la atmósfera terrestre; mientras que la astronáutica se refiere a los vuelos espaciales más allá de la atmósfera terrestre.

A medida que una nave se desplaza a través de la atmósfera, hay muchas variables que deben tomarse en cuenta, tal como la interacción entre el cuerpo de la nave y el aire circundante, el comportamiento de la estructura, la estabilidad y el control de la nave. Por lo tanto, por lo menos hay

cuatro áreas de especialidad en esta disciplina: Aerodinámica, diseño estructural, sistemas de propulsión, y dirección y control.

Los ingenieros aerodinámicos se ocupan de lo que sucede en la superficie externa de las naves, tal como fuerzas ascendentes o descendentes y los cambios de temperatura que se generan por el rozamiento. El ingeniero aerodinámico tiene que ser capaz de identificar dichas variables y diseñar las superficies externas de tal modo de manejar adecuadamente la situación.

El que se orienta a la parte estructural se dedica al diseño de la estructura de la nave de tal modo que resista las altas presiones y temperaturas durante el vuelo. El ingeniero estructural tiene que trabajar en coordinación con el ingeniero aerodinámico, quien le proveerá información sobre las fuerzas y temperaturas. En adición, el ingeniero estructural interactúa con el ingeniero aerodinámico en el desarrollo de la geometría de las alas y del fuselaje de la nave. El diseño estructural debe resistir los efectos de las vibraciones mecánicas y otras fuerzas dinámicas resultantes del vuelo de la nave.

El especialista en propulsión se orienta al diseño de turbo propulsores, turbo jet y hélices y el sistema completo de propulsión.

El especialista en el área de dirección y control se dedica al análisis y síntesis de la información necesaria para maniobrar y controlar la nave durante el vuelo. También diseña sistemas para guiar y controlar la trayectoria de los misiles.

Un estudiante de ingeniería aeroespacial tendrá que estudiar materias como transferencia de calor, mecánica de fluidos y diseño estructural. Adicionalmente estudiará elementos de propulsión, y aprenderá cómo determinar las formas óptimas de las alas y cuerpo de una nave.

2.3. Ingeniería Agrícola

El ingeniero agrícola tiene que ver con la producción masiva de alimentos. Por lo tanto, ésta es la disciplina que aplica los conocimientos de maquinaria y la comprensión de los sistemas suelo, agua, planta y ambiente para crear técnicas y tecnología esencial para continuar la producción y el procesamiento de productor agrícolas. El ingeniero agrícola se especializa por lo menos en cuatro áreas:

- Maquinaria de potencia: diseño y mejoramiento de maquinaria agrícola, como tractores, cosechadoras y sistemas agrícolas de alimentación.
- Ingeniería de alimentos: diseño de equipos para el manejo y procesamiento de productos alimenticios. Minimización del uso de energía y reducción de desechos y problemas ambientales creados por los desechos.
- Ingeniería de Riego y Drenaje y de Mecánica de suelos: diseño y mejoramiento de métodos de riego, de sistemas de irrigación, drenaje, control de la erosión y manejo de las tierras.
- Construcciones rurales: diseño y desarrollo de estructuras para establos, depósitos agrícolas y construcciones de viviendas rurales.

2.4. Arquitectura

Las actividades de ingeniería más antiguas se centraban en la construcción de templos, pirámides y casas. Estas obras eran desarrolladas por arquitectos. Los arquitectos se concentran en las formas, espacio y estética de las edificaciones. El estudio de la ingeniería arquitectural requiere de la contribución del diseño de componentes arquitectónicos. Su principal ocupación tiene que ver con la integridad estructural y la seguridad de las edificaciones, así como con la estética de la obra. Adicionalmente, el arquitecto se ocupa del análisis y diseño de materiales usados en la construcción.

2.5. Ingeniería Civil

Ingeniería Civil es el nombre que se da a la más antigua actividad de ingeniería. Esta denominación se utilizó por primera vez en el Siglo XIX para diferenciar entre las disciplinas que afectan la vida cotidiana y las actividades militares, que tenían como principal función la construcción de maquinaria bélica y de la infraestructura necesaria para soportar al cuerpo militar. Las actividades que comprende la ingeniería civil son visibles a simple vista: obras de abastecimiento de agua, construcción de vías, puentes, represas, edificaciones para vivienda, industria, etc. Entre las áreas de especialización se tienen: Hidráulica, Estructuras, Transporte, Ambiente, Geotecnia y Geodesia.

La Hidráulica comprende el estudio de la mecánica de fluidos, flujo en canales y conductos, el diseño de represas, de sistemas de riego y drenaje, de obras para el control de las crecientes y para la conservación y protección de las cuencas; así como el estudio de estuarios y de los humedales y diseño de obras para la generación de energía hidroeléctrica.

El ingeniero estructural se ocupa del diseño de grandes construcciones, puentes, caminos, túneles, represas, torres y otras obras de gran magnitud. El diseño estructural generalmente toma en consideración la ocurrencia de fenómenos naturales como terremotos o vientos de elevada intensidad que afectan a la estabilidad de la estructura. Los ingenieros estructurales pueden trabajar en compañías aeroespaciales y en firmas constructoras.

La ingeniería de transporte es responsable de la planificación, diseño, construcción y mantenimiento de autopistas, aeropuertos, puerto y otras facilidades relacionadas con el movimiento de la gente. Adicionalmente esta rama se ocupa de los instrumentos de control del flujo del tráfico, tal como las señales y símbolos del tránsito.

La ingeniería ambiental se ocupa de la conservación del ambiente; por lo tanto, comprende el manejo de residuos sólidos, tratamiento y conservación de las aguas y del aire; así como diseños y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas servidas.

La ingeniería geotécnica se ocupa del análisis del comportamiento estructural del suelo y de las rocas, vistos como material de construcción y como soporte de las estructuras. Por lo tanto se ocupa del diseño de las fundaciones y otras bases de soporte.

La ingeniería geodésica es responsable por el desarrollo de la información cartográfica y proporciona las investigaciones topográficas que se requieren para la ingeniería de transporte.

Como se ha mencionado antes, las actividades relacionadas con la ingeniería civil afectan el quehacer cotidiano. Por lo tanto, no es de sorprenderse que la mayoría de los ingenieros empleados en la administración pública, nacional, regional y municipal sean civiles.

2.6. Ingeniería Química

La ingeniería química se relaciona con el desarrollo de procesos y con el diseño y operación de plantas que transforman las características químicas de los materiales durante la manufactura de algún producto. Los ingenieros químicos, por lo tanto, aplican las leyes fisicoquímicas, físicas y matemáticas en el desarrollo de los mencionados procesos. Utilizan los métodos matemáticos de optimización para el arreglo de los materiales, de las facilidades y de la energía para producir los procesos más eficientes y costo - efectivos.

Los ingenieros químicos trabajan en plantas piloto, pues ellos son los responsables de la producción masiva de materiales que los químicos elaboran en el laboratorio, frecuentemente en tubos de ensayo. Una planta piloto determina la factibilidad de llevar a cabo un proceso a una escala mayor a

la del laboratorio. En la planta piloto se desarrollan operaciones unitarias que son necesarias para desarrollar y llevar a cabo los procesos a gran escala. Las operaciones unitarias son procesos, como mezcla, filtración, evaporación y otros procesos químicos que el ingeniero químico combina para producir un producto deseado. Entre las responsabilidades del ingeniero químico se incluye la evaluación económica de nuevos proyectos. Los ingenieros químicos también se ocupan de aspectos como manejo de materiales, almacenamiento y conducción de los flujos en las plantas procesadoras.

Los ingenieros químicos trabajan en la industria farmacéutica, en plantas procesadoras de alimentos, en plantas de fabricación de papel, en la industria de plásticos y en otras plantas que tienen que ver con procesos químicos. Cada día se incrementa el rol que juega el ingeniero químico en el control de la contaminación.

2.7. Ingeniería Eléctrica

La ingeniería eléctrica se ocupa de todo lo que se refiere a la aplicación de la electricidad, variando desde la iluminación y sistemas de potencia hasta equipos electrónicos, como radios, radares y computadoras electrónicas. Actualmente se puede decir que constituye el área más amplia de la ingeniería. Las áreas de especialización incluyen: Potencia, Electrónica, Comunicaciones e Informática.

El ingeniero electricista especializado en Potencia se ocupa de la luz eléctrica y de la potencia. Sus principales responsabilidades vienen a ser la producción y distribución de energía eléctrica en aplicaciones residenciales e industriales. Por lo tanto, tiene que ver con el diseño, manufactura y uso de generadores, turbinas, transformadores, líneas de transmisión, motores y otros equipos pesados que se requieren para operar las plantas eléctricas.

El área de estudio del ingeniero electrónico tiene que ver con el movimiento de los electrones a través de los metales. Actualmente es muy difícil vivir sin entrar en contacto con equipos e implementos que resultan del trabajo de un ingeniero electrónico. Cuando se mira TV, se usa una calculadora o una computadora, se está utilizando los avances de la ingeniería electrónica. Todos los equipos domésticos que no usan corrientes elevadas provienen de los esfuerzos del ingeniero electrónico. Ellos diseñan circuitos utilizando varios elementos eléctricos, tal como circuitos integrados, transistores, tubos de vacío, o cualquier otro tipo de instrumentos similares que producen y/o amplifican las señales eléctricas.

El especialista en comunicaciones se ocupa de la transferencia de información. Las comunicaciones pueden efectuarse con cables, como el teléfono o sin cables, como los satélites. El especialista en comunicaciones es responsable del diseño de radios, teléfonos, TV's, información digital entre computadoras, etc.

El ingeniero electricista especializado en computadoras es responsable por el diseño, construcción y operación de sistemas de computadoras. Interactúa con los ingenieros electrónicos para diseñar los microprocesadores que se usan en computadoras y equipos electrodomésticos. Es importante señalar que no sólo tienen que ver con el hardware, sino también con el software.

2.8. Ingeniería Industrial

La ingeniería Industrial es aquella disciplina que mezcla los conocimientos de las ciencias físicas y matemáticas con las ciencias sociales y los principios del análisis de ingeniería para diseñar sistemas integrados capaces de prestar servicios o producir bienes. Los ingenieros industriales se orientan principalmente al diseño de sistemas de manufactura. Para ello utilizan métodos efectivos para el uso de los recursos económicos, materiales, humanos, tiempo, maquinaria y energía.

Los ingenieros industriales siempre se interesan en el mejoramiento de los sistemas de manufactura, y como resultado de ello, se involucran en la planificación y control de la producción. Para lograr efectividad, conducen estudios de tiempos y movimientos con la finalidad de llegar a la optimización del manejo de los materiales y del desempeño general del sistema de manufactura. También se ocupan de aspectos como control de calidad, minimización de desechos, de material y de energía.

Algunos ven al ingeniero industrial como el intermediario entre la parte gerencial y la parte técnica de una empresa. Sus conocimientos en gerencia y en ingeniería contribuyen para que ellos sean seleccionados como gerentes del más alto nivel en las organizaciones. Los ingenieros industriales trabajan en compañías manufactureras, hospitales, líneas aéreas y muchas otras organizaciones que se preocupan por la planificación de los costos.

2.9. Ingeniería Mecánica

La ingeniería mecánica es una de las disciplinas más antiguas, y de las más amplias. Cubre muchos aspectos relacionados con la energía y los sistemas mecánicos. En lo que se refiere a la industria la ingeniería mecánica es omnipresente. Los ingenieros mecánicos tienen que ver con maquinaria, producción de potencia y métodos de manufactura. Es la disciplina relacionada con fuerzas y movimientos inducidos. Hay muchas áreas de especialización, pero todas caen en una de las dos siguientes (principales) categorías: Sistemas mecánicos y Sistemas térmicos.

El área de Sistemas Mecánicos comprende el diseño de máquinas y mecanismos que se utilizan en todo tipo de operación de manufactura. Adicionalmente, los ingenieros de esta área se involucran en el diseño de modos de transporte, tal como automóviles, aviones, barcos y trenes. También se ocupan del diseño de equipos agrícolas, tal como tractores, cosechadoras, sembradoras, cortadoras, etc. Tiene que poseer una buena formación en vibraciones y lubricación.

Los especialistas en diseño de Sistemas Térmicos trabajan coordinadamente con otros ingenieros mecánicos en el desarrollo de sistemas de producción de potencia, tal como calderas y turbinas. Son responsables por el diseño de sistemas de bombeo, incluyendo los sistemas de tuberías. También se ocupan del diseño de los sistemas de refrigeración, aire acondicionado, ventilación y calefacción.

El ingeniero mecánico puede encontrar ocupación en cualquier tipo de instalación industrial, inclusive en la industria electrónica, donde tiene que diseñar los sistemas de remoción de calor generado por el uso del artefacto electrónico.

2.10. Energía Nuclear

La ingeniería nuclear trata principalmente del uso y manejo de la energía derivada de las reacciones nucleares. Los ingenieros nucleares se involucran en el diseño y construcción de reactores nucleares de potencia. También manejan los combustibles para los reactores nucleares. Debido al pánico que ocasiona en la gente los aspectos ambientales cuando escuchan sobre la energía nuclear, los ingenieros nucleares utilizan una gran parte del tiempo en el análisis de los sistemas de seguridad. Entre sus actividades figuran evaluación de riesgos en caso de fallas en los reactores y desarrollo de alternativas para la prevención de los accidentes nucleares. Los ingenieros nucleares encuentran ocupación en los ministerios de defensa, especialmente en programas de desarrollo de armas nucleares. También pueden emplearse en compañías que utilizan la energía nuclear para la generación de electricidad.

2.11. Ingeniería Petrolera

La ingeniería petrolera tiene que ver con la extracción de hidrocarburos líquidos o gaseosos de la tierra. Las actividades del ingeniero petrolero son fundamentales para la sobre vivencia de la industria moderna y para el nivel del confort que gozan todas las naciones industrializadas del planeta.

Entre las áreas de especialización de la ingeniería petrolera están la perforación, y la producción. La ingeniería de perforación es responsable por el diseño de sistemas de armaduras. Debe conocer del tipo de materiales que son apropiados para las operaciones de perforación. El trabajo del ingeniero de producción se inicia una vez que el pozo ha sido perforado. Su función consiste en extraer los productos crudos (petróleo crudo o gas) y simular la producción. También está encargado de diseñar los sistemas de almacenamiento y despacho del combustible.

2.12. Otras Ramas de la Ingeniería

Hay otras ramas de ingeniería que no se han discutido aquí. Eso no significa que dichas disciplinas no sean importantes. Entre esas otras ramas figuran: ingeniería geológica, metalúrgica, de sistemas, geofísica, de minas, biomedicina, bioingeniería, biorremediación, oceanografía, pesquería, manufactura, etc. Para escoger la rama el estudiante debe considerar, a parte de su inclinación natural, varios factores, como oferta de trabajos para después de la graduación, la propia habilidad para tener éxito en la rama seleccionada y la posibilidad de que la disciplina seleccionada le proporciona una amplia base en la formación de la ingeniería, no sólo para lograr la excelencia profesional, sino para extender las oportunidades de empleo a través de sólo cortos períodos de estudios complementarios.

3. LA INGENIERÍA COMO PROFESIÓN

3.1. Introducción

La ingeniería tiene que ver con todo el quehacer diario; sin embargo, en muchas sociedades los ingenieros reciben poco reconocimiento debido a que sus miembros no entienden la importancia de este grupo de profesionales. Hay que tener en cuenta que, sin la acción de la ingeniería, ninguna otra profesión hubiera podido desarrollarse a su nivel actual. Tomemos como ejemplo la medicina, la cual, sin la ayuda de la ingeniería no hubiera podido desarrollar los equipos que tanto han ayudado a las especialidades que existen ahora en las ciencias de la salud. Además, consideremos el hecho de que cuando un médico comete un error, sólo afecta a unas pocas personas, mucho más si se llega a la muerte del paciente; cuando un ingeniero falla en sus diseños, el costo de los errores puede ser exorbitante, tanto en vidas humanas, como en el aspecto monetario. Hay muchos ejemplos que dramatizan este hecho, pero consideremos sólo algunos que probablemente se mantienen en la memoria de la gente:

- La falla ocurrida en el hotel Hyatt Regence en Kansas City que ocasionó la muerte de más de 100 personas y quedaron más de 180 heridos.
- La explosión del Challenger en 1986, con un saldo trágico de 7 personas muertas y la pérdida de muchos billones de dólares en cuestión de sólo unos segundos. Se utilizaron años para el rediseño de la nave; el programa espacial de NASA sufrió una enorme pérdida de credibilidad
- El accidente de la planta nuclear de Chernovil en la ex URSS, cuyos efectos aún se siguen manifestando.
- La explosión de la planta química de Carbide en India que ocasionó centenares de víctimas.

El término Profesión se ha hecho tan común que sólo unos cuantos reflexionan sobre su significado. Se puede definir como una denominación que requiere conocimiento especializado y frecuentemente una preparación académica larga e intensiva. La profesión de ingeniería consiste de individuos con un conocimiento básico común de matemáticas, física, química y la habilidad para resolver problemas complejos. Los ingenieros del agro y del ambiente deben agregar conocimiento básico en biología y ecología. Los arquitectos y urbanistas deben agregar conocimientos de bellas artes en especial de sus componentes esenciales de formas, composición, color, luz y sus expresiones como la pintura, la escultura y la arquitectura, entre otras. Estos conocimientos son necesarios para promover la creatividad, la imaginación, el pensamiento crítico y la resolución de problemas. En este punto vamos a examinar los elementos de esta profesión, incluyendo el entrenamiento básico que demanda y los esfuerzos involucrados para el mantenimiento de los estándares de la profesión.

3.2. Registro Profesional

Debido a que los ingenieros proveen servicios a la sociedad es importante que reciban una certificación en el sentido de que sí están capacitados para funcionar como tales. Esta certificación se conoce como el Registro en el Colegio d Ingenieros. El propósito del registro es proteger al público de individuos no calificados que se dicen ser ingenieros. Al igual que en las ciencias de la salud, cuando un individuo está enfermo, desea ser atendido por un médico competente y licenciado para el ejercicio de la profesión. En forma similar, cuando uno maneja su automóvil por sobre un puente, uno desea estar seguro de que el puente ha sido diseñado por un ingeniero competente y mantenido aun nivel apropiado, con la finalidad de no correr riesgos al cruzarlo.

En la mayoría de los países no se puede usar la designación de ingeniero a menos que uno esté debidamente registrado como tal. En Venezuela el registro se efectúa en el Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV) después de obtener el título de Ingeniero en cualquier escuela de ingeniería del país, con un currículum de estudios de por lo menos cinco (5) años. Incluso, las asignaturas relacionadas con el ejercicio profesional son dictadas por profesores que están registrados como ingenieros; es decir que, para ser docente de ingeniería en materias profesionales, es requisito indispensable estar registrado en el CIV.

En países como EE.UU., Canadá y países europeos, el registro involucra un proceso de cuatro etapas:

1. Una formación de cuatro o cinco años en ingeniería en una escuela cuyo currículum haya sido acreditado por el Comité de Acreditación de Ingeniería y Tecnología. La graduación de un programa de ese tipo califica al graduando para la segunda etapa.
1. Aprobar el Examen de Fundamentos de Ingeniería. Es una prueba de ocho horas de duración y cubre los fundamentos en matemáticas, física, química, ingeniería mecánica, ciencias eléctricas, termodinámica, mecánica de fluidos y economía. Hay mayor oportunidad de aprobar este examen si se toma durante el último año de la carrera universitaria.
2. Obtención de un mínimo de cuatro años de experiencia en ingeniería después de la graduación académica.
3. Aprobar la prueba de principios y prácticas de ingeniería o de ingeniero profesional. Esta prueba también dura ocho horas y en ella se examina el conocimiento del candidato en los principios de la práctica de ingeniería en el campo de su especialidad. Por ejemplo, si el candidato es un ingeniero civil, la prueba versará sobre los principios de la práctica de la ingeniería civil.

En el caso de EE. UU, y Canadá, cada Estado/Provincia tiene sus propias reglas, pero en términos generales, se acepta los resultados del examen profesional de otro Estado/Provincia. En Venezuela, el simple hecho de poseer el título de ingeniero y registrarlo en el Colegio de Ingenieros de Venezuela, habilita al profesional para el libre ejercicio de la profesión.

3.3. Responsabilidad Profesional del Ingeniero

La ingeniería es una profesión que confronta los avances de la ciencia y la tecnología con las necesidades cotidianas de la sociedad. Por ello, un ingeniero profesional es un individuo que a través del entrenamiento y la experiencia es capaz de utilizar los avances de la ciencia y tecnología para encontrar soluciones a los problemas derivados de dichas necesidades. Un ingeniero profesional es un individuo altamente motivado y con un fuerte deseo de servicio a la humanidad a través de la creación de instrumentos que hacen la vida más confortable.

El ingeniero al ejercer su profesión tiene responsabilidades ante la sociedad: Responsabilidad penal, civil, administrativa, gremial y social. La penal está establecida en el código penal, la civil en el Código Civil, la administrativa en la normativa legal de la administración pública y la gremial establecida en el código de ética del ingeniero.

La labor del ingeniero en Venezuela se erige como un pilar fundamental en el desarrollo y progreso de la sociedad. Su responsabilidad va más allá de la mera aplicación de conocimientos técnicos, extendiéndose hacia un compromiso ético y social que impacta directamente en la seguridad, bienestar y sostenibilidad de la comunidad.

En el ejercicio de su profesión, el ingeniero está llamado a cumplir con estándares éticos y legales rigurosos. La transparencia, honestidad y respeto son valores intrínsecos que guían su actuar,

asegurando la integridad de los proyectos que lidera. La fidelidad a las normativas locales e internacionales es esencial para garantizar la calidad y seguridad de las obras, contribuyendo así al fortalecimiento de la confianza pública en la ingeniería.

La responsabilidad del ingeniero se manifiesta en todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto. Desde la concepción y diseño, pasando por la ejecución y supervisión, hasta la operación y mantenimiento, cada decisión y acción debe regirse por principios éticos y técnicos. La consideración de factores ambientales y sociales también juega un papel crucial, destacando el compromiso del ingeniero con el desarrollo sostenible y la preservación del entorno.

En el contexto venezolano caracterizado por retos económicos y políticos, el ingeniero se convierte en un agente de cambio. Su responsabilidad social se refleja en la búsqueda de soluciones innovadoras y accesibles que impulsen el progreso inclusivo. La formación continua y la actualización constante son imperativos para mantenerse a la vanguardia de las mejores prácticas y tecnologías, contribuyendo así al crecimiento sostenible del país.

Además, el ingeniero debe ser consciente de la importancia de la seguridad en sus proyectos. La prevención de riesgos laborales y la aplicación de estándares de seguridad industrial son esenciales para preservar la vida y el bienestar de quienes participan en la ejecución y utilización de las estructuras y sistemas creados.

En resumen, la responsabilidad profesional del ingeniero trasciende las fronteras técnicas para abrazar un compromiso ético y social. Su labor impacta directamente en la calidad de vida de la sociedad, y su actuar debe reflejar una dedicación inquebrantable hacia la excelencia, la integridad y el desarrollo sostenible. En un país que busca superar desafíos, el ingeniero se erige como un actor fundamental, cuya responsabilidad es forjar un futuro más seguro, eficiente y equitativo para todos.

La responsabilidad del ingeniero abarca diferentes áreas, incluyendo la penal y la administrativa, y está regida por diversas leyes y normativas. Es importante tener en cuenta que la información legal puede cambiar con el tiempo, por lo que es recomendable verificar las leyes más recientes y consultar con un profesional del derecho para obtener asesoramiento actualizado. Hasta la última actualización en enero de 2022, algunas de las leyes relevantes podrían incluir:

Responsabilidad Penal:

Código Penal: Establece las normas y sanciones penales en Venezuela. El ingeniero podría enfrentar responsabilidad penal si se demuestra que ha cometido algún delito en el ejercicio de su profesión, como negligencia, fraude o cualquier acto ilícito que resulte en daño a terceros.

En Venezuela, la responsabilidad penal de un ingeniero podría estar sujeta a diversos artículos del Código Penal. A continuación, se mencionan algunos de ellos que podrían ser relevantes en casos de responsabilidad penal para profesionales, incluyendo ingenieros:

Negligencia Profesional:

Artículo 117: Este artículo se refiere a la negligencia en el ejercicio de una profesión y establece sanciones para aquellos que, por imprudencia, impericia o negligencia inexcusable, causen un daño.

Estafa y Fraude:

Artículos 462 y siguientes: Estos artículos tratan sobre los delitos de estafa y fraude, que podrían ser aplicables si un ingeniero comete actos fraudulentos o engañosos en el ejercicio de su profesión.

Lesiones u Homicidio Culposo:

Artículos 409 y siguientes: Estos artículos se refieren a los delitos de lesiones y homicidio culposo, que podrían aplicarse en situaciones en las que las acciones negligentes de un ingeniero resultan en daño físico o la pérdida de vidas.

Daños a la Propiedad:

Artículos 466 y siguientes: Se refieren a los delitos relacionados con daños a la propiedad. Un ingeniero podría ser responsable penalmente si sus acciones provocan daños materiales.

Responsabilidad Administrativa:

Ley de Ejercicio de la Ingeniería, Arquitectura y Profesiones Afines: Esta ley regula el ejercicio de la ingeniería y disciplinas afines en Venezuela. Establece los requisitos para la obtención de la matrícula y regula el comportamiento ético y profesional de los ingenieros. También establece sanciones administrativas en caso de incumplimiento de las normas.

Ley de Contrataciones Públicas: En el caso de proyectos vinculados a contrataciones públicas, el ingeniero puede estar sujeto a esta ley, que regula los procedimientos de contratación, los derechos y obligaciones de las partes, y establece sanciones en caso de incumplimientos.

Es crucial que los ingenieros estén familiarizados con estas leyes y regulaciones, así como con cualquier actualización o enmienda que pueda haberse realizado desde mi última actualización en enero de 2022. Además, es recomendable que consulten con un abogado especializado en derecho penal y administrativo para obtener asesoramiento específico sobre su situación y las leyes vigentes.

Responsabilidad civil:

El Código Civil también le asigna responsabilidades al ingeniero. En efecto, puede establecer responsabilidades para los ingenieros, especialmente en lo que respecta a las obligaciones contractuales y los daños derivados de su actividad profesional. Algunos puntos relevantes del Código Civil que podrían ser aplicables incluyen:

Responsabilidad Contractual:

Artículo 1.164 y siguientes: Estos artículos del Código Civil establecen las reglas generales sobre los contratos. El ingeniero puede tener obligaciones contractuales con sus clientes, y cualquier incumplimiento de dichas obligaciones podría generar responsabilidad.

Responsabilidad Extracontractual (o por Hechos Ilícitos):

Artículo 1.185 y siguientes: Estos artículos tratan sobre la responsabilidad extracontractual, es decir, la responsabilidad por actos ilícitos que causen daño a otra persona. Si el ingeniero actúa de manera negligente o comete algún acto ilícito que cause daño a terceros, podría ser sujeto a responsabilidad bajo estas disposiciones.

Responsabilidad por vicios ocultos.

Artículo 1.191 y siguientes: Si la obra realizada por el ingeniero presenta defectos ocultos que la hagan inapropiada para el uso al que estaba destinada, podría surgir la responsabilidad por vicios redhibitorios, según lo establecido en estos artículos.

Es fundamental que los ingenieros estén familiarizados con las disposiciones relevantes del Código Civil y otras leyes pertinentes, ya que estas normativas proporcionan el marco legal que rige las relaciones contractuales y extracontractuales en el ámbito de la ingeniería. Además, es recomendable contar con asesoramiento legal específico para entender completamente las implicaciones de estas normativas en situaciones particulares.

Es importante tener en cuenta que la interpretación y aplicación de estos artículos pueden depender de las circunstancias específicas de cada caso.

El ingeniero profesional es responsable por el establecimiento de procesos y criterios de diseño. Una de sus mayores responsabilidades es mantenerse actualizado con los avances de la ciencia y tecnología y los nuevos descubrimientos. Esto significa que un ingeniero profesional tiene que actualizar continuamente sus conocimientos mediante la asistencia a cursos de actualización cortos, congresos profesionales y mediante la lectura de las revistas técnicas.

Adicionalmente, un ingeniero debe estar familiarizado con las normas técnicas que rigen en los diseños profesionales. Estas pueden ser de carácter general como de orden particular, también pueden ser de mandatorio cumplimiento por estar expresamente exigidas en leyes, reglamentos o decretos del sistema jurídico de cada nación.

La UNESCO, 2010 incluye la definición de establecida por la Guía ISO/IEC 2 y reconoció la necesidad de las normas técnicas o estándares del modo que se indica a continuación:

Una norma es un documento, establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que prevea, en común y repetidas uso, reglas, directrices o características de las actividades o de sus resultados, dirigido al logro del grado óptimo de orden en un determinado contexto.

Los estándares:

- Facilitan el desarrollo, la fabricación y la mejora eficiente y segura, el suministro de productos y servicios y la construcción y mantenimiento de edificios e infraestructuras;
- Facilitan el comercio justo dentro y entre regiones o países;
- Permiten que los proveedores, proveedores de servicios y contratistas produzcan productos y resultados consistentes;
- Proporcionan un medio para regular las cuestiones relacionadas con la salud, seguridad y protección del medio ambiente;
- Difunden avances técnicos e innovaciones, nuevos procesos, procedimientos y métodos, y buenas prácticas de gestión;
- Salvaguardan a los consumidores y usuarios de productos y servicios; y proporcionan soluciones a problemas comunes.

Las normas generales comprenden las pertinentes a la adecuada comunicación de los estudios o proyectos de ingeniería como las memorias descriptivas, los sellos de planos y mapas, los informes técnicos. En cada una de las materias profesionales que curse el futuro ingeniero debe estar muy atento a las indicaciones sobre como redactar las memorias descriptivas de cada uno de los informes profesionales que le corresponda ejecutar. De un modo general las memorias descriptivas deben informar sobre el modo que se desarrolló el proyecto, las fórmulas y cálculos aplicados y resultados obtenidos, la comparación técnica y económica y la escogencia entre soluciones posibles, las normas o guías profesionales utilizadas, los cálculos métricos, los estimados presupuestarios, especificaciones de ejecución y los mapas y planos que la acompañan.

No se incluyen las normas pertinentes a los estándares de comunicación de trabajos de investigación científica en ingeniería regidos por normas particulares inherentes a la metodología de investigación.

Las normas de carácter particular comprenden, entre otras, normas de diseño, de fabricación, de higiene ocupacional y de seguridad industrial, de control de contaminación y saneamiento ambiental, de calidad, de gestión, etc.

En Venezuela COVENIN publica normas de obligatorio cumplimiento y FONDONORMA de carácter voluntario. Instituciones actualmente inexistentes como el Ministerio de Obras Publicas y el Instituto Nacional de Obras Sanitarias publicaron normas y manuales de diseño. Unas normas de uso común en Venezuela son las Normas Sanitarias, 1988

Sin embargo, en algunos reglamentos se remite al uso de normas internacionales, como en el caso de las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de agua y Vertidos o Efluentes Líquidos de 1995, artículo 41, parágrafo tercero.

Los Laboratorios Ambientales a que se refiere este artículo llevarán a cabo todas las acciones de captación, preservación y análisis de las muestras mediante los procedimientos descritos en las Normas Venezolanas Convenin o en su defecto en el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", publicado por la American Public Health Asociation, American Water Works Asociation and Water Pollution Control Federation, en su más reciente edición, u otro método equivalente aprobado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Algunas normas internacionales utilizadas en proyectos de ingeniería son las normas ASTM (American Society for Testing and Materials); las IEEE (Institute for Electrical and Electronics Engineering); Water Pollution Control Federation; American National Standards Institute (ANSI); Internet Engineering Task Force (IETF), Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)

Los ingenieros del agro deben consultar las normas establecidas en el Codex Alimentarius es una colección de normas, códigos de prácticas, y otras recomendaciones reconocidas internacionalmente y publicadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en relación con los alimentos, la producción de alimentos, el etiquetado de alimentos y la inocuidad de los alimentos.

Es su responsabilidad soportar las actividades de la profesión compartiendo sus conocimientos con otros miembros de su profesión. Además, debido a que las decisiones ingenieriles se basan en hechos y datos históricos, un ingeniero profesional debe ser muy cuidadoso en el reporte de los resultados de sus actividades de tal modo de no mal orientar al público. Es su responsabilidad ajustarse a los códigos de ética definidos por el colegio profesional respectivo. La reputación de la profesión cabalga sobre el lomo del ingeniero profesional. Esto significa que el ingeniero tiene que ser extremadamente cuidadoso en la práctica de la ingeniería. Es inaceptable que un ingeniero profesional tome la calidad del diseño de sus obras con ligereza.

Para enfatizar la responsabilidad que el ingeniero tiene frente a la sociedad, vamos a concluir esta sección con una acotación hecha por el ingeniero Herbert Hoover, trigésimo primer presidente de EE.UU.:

La gran responsabilidad de un ingeniero...está en que sus obras son expuestas a la vista pública. Sus actos, paso a paso, se convierten en sustancia dura. No puede enterrar sus errores como lo suelen hacer los galenos; tampoco puede atribuirlos a la falta de aire o a cualquier otra complicación o deficiencia del organismo del paciente; ni tampoco puede culpar a los jueces como lo hacen los abogados. No puede cubrir sus fallas con árboles o enredaderas, como lo hacen los arquitectos. No puede ocultar sus deficiencias, como lo hacen los políticos, culpando a sus oponentes y esperando que el tiempo haga que la gente se olvide del asunto. El ingeniero simplemente no puede negar que él es el autor de la obra. Si su trabajo no funciona, será sencillamente

condenado por ello...a diferencia del médico, su vida no está entre los débiles. A diferencia del soldado, la destrucción no es su propósito. A diferencia del abogado, las querellas no son su pan de cada día. Al ingeniero le toca el trabajo de vestir los lisos huesos de la ciencia con vida, confort y esperanza.

3.4. Organizaciones Profesionales

La ingeniería, una profesión con muchas disciplinas, se agrupa en muchas organizaciones profesionales y sociedades. A nivel nacional tenemos las seccionales estatales del Colegio de Ingenieros de Venezuela y las sociedades de las diferentes ramas de la ingeniería, tal como Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica (SVIH), Sociedad Venezolana de Ingeniería Agronómica, Sociedad de Ingeniería Geológica, Asociación Venezolana de Ingenieros Directores, Inspectores y Supervisores de Obras (AVIDISO), Sociedad de Ingenieros Civiles, Químicos, Industriales, Mecánicos, Electricistas, etc. A nivel de EE.UU., hay un sin número de sociedades, tal como ASCE (American Society of Civil Engineering), ASME (American Society of Mechanical Engineering), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc), etc. Al nivel internacional tenemos, por ejemplo, UPADI (Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenierías), IAHR (International Association of Hydraulic Research), IAHS (International Association of Hyrologic Science), Asociación Latinoamericana de Ingeniería Hidráulica, AIDIS (Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, etc. El propósito de las sociedades profesionales es facilitar el intercambio de ideas y avances entre sus miembros. Esto se lleva a cabo mediante publicaciones técnicas que contienen importantes desarrollos en cada disciplina y mediante la organización de eventos científicos, como conferencias, congresos, simposios, cursos cortos, etc. en tecnologías actuales y otras áreas de conocimiento requeridas. Muchas de estas organizaciones promueven activamente a la profesión y sirven como patrocinantes de los eventos científicos sobre aspectos relacionados con la ingeniería. Muchas sociedades se involucran profundamente en el control de la calidad de la enseñanza de la ingeniería.

El estudiante de ingeniería debe hacer un esfuerzo para explorar las organizaciones relacionadas con la disciplina de su selección. Se recomienda inscribirse en la sección estudiantil de la organización de su especialidad para que de ese modo vaya conociendo los servicios que provee. Además, su participación en alguna organización le puede dar la oportunidad de desarrollar ciertas características de liderazgo que le serán de mucha utilidad en la vida profesional. Después de la graduación, el profesional debería tratar de participar activamente en la vida de su organización, soportando su sostenimiento con su cuota anual. Como retribución, la organización le permitirá compartir con sus colegas, intercambiar ideas y hasta hacer negocios.

3.5. Ética en la ingeniería

Frecuentemente la gente opina que una determinada persona no actúa profesionalmente para indicar que, en general, dicho individuo no se ha ajustado a los estándares éticos de la profesión. ¿Esto conduce a la pregunta de Qué es la ética? La Ética es una disciplina que trata de lo que es bueno y lo que es malo, del deber moral y la obligación. Es el principio de conducta que gobierna a un individuo o grupo.

La ética es una materia muy interesante sobre la cual hablan muchos, pero sólo unos pocos se apegan a ella. Es muy difícil hablar de ética sin considerar a la religión, debido a que la pregunta en el análisis final es: Quién determina lo que es correcto y lo que es incorrecto? Es un hecho aceptado que la civilización occidental tiene sus raíces en la ética Judeo - cristiana. No es nuestra intención seguir aquí el procedimiento estándar para discutir la ética; sino mas bien recordar al lector que ser ético todo el tiempo significa hacer lo que es correcto en todas las circunstancias y ser veraz en cada situación.

Mucha gente, especialmente los políticos, a sabiendas les gusta hacer cosas incorrectas; pero como no está escrito en sus manuales de ética, lo hacen aduciendo que no son anti-éticas.

La gente frecuentemente se queja de que las discusiones sobre ética son muy difíciles e inequívocas. Probablemente la gente tenga miedo de las consecuencias que podrían sufrir por el hecho de ser veraces. Mucha gente solicita que se diga la verdad, cuando en realidad no lo desea. Cuando se dice la verdad se corre el riesgo de perder un amigo o el trabajo. Así por ejemplo, supongamos que un ingeniero recibe de su supervisor la instrucción de falsificar los datos para un diseño determinado. La decisión de no seguir la instrucción no es difícil, sin embargo, puede conducir al despido. Por supuesto que no debe haber discusión en saber que la mencionada instrucción es incorrecta. El punto es que no es difícil ser ético si uno está en la situación de aceptar las consecuencias de ser veraz. Hay que recordar que la verdad debe prevalecer siempre. Aunque no sea en el mismo instante, eventualmente uno se sentirá confortable diciendo la verdad. Adicionalmente no se puede ignorar el hecho de que muchas conductas no éticas han sido o pueden ser descubiertas para la vergüenza de los involucrados.

Debido a que la ética requiere de la definición de estándares aceptables, las asociaciones nacionales e internacionales de ingenieros han aprobado Códigos de Ética Profesional. En el Anexo 1 se presenta el Código de Ética del Colegio de Ingenieros de Venezuela.

Vamos a ampliar la discusión de los aspectos éticos en la ingeniería hacia el campo académico, es decir, la consideración de la materia en la enseñanza y formación universitaria del ingeniero. Es muy importante enseñar a los estudiantes a ser éticos, porque para ser un ingeniero ético es indispensable poseer un comportamiento ético como estudiante. Es casi imposible que un individuo que ha mantenido una conducta deshonesto o no ética durante su vida estudiantil de repente se conviertan en un ingeniero ético después de su graduación. Debido a que a los estudiantes no les agrada ser acusados, una buena práctica para abordar el tema de la deshonestidad consiste en iniciar las discusiones con temas generales sobre la ética. Los profesores no deben asumir que los estudiantes son automáticamente éticos. La ética debe ser internalizada en el estudiante, más efectivamente, mientras se incluya la materia dentro del currículum a lo largo de todos los estudios, en vez de adicionar un curso o seminario sobre ética al final de la carrera. La ética se puede introducir en el proceso de enseñanza - aprendizaje bajo la modalidad justo a tiempo en cada clase discutiendo los aspectos éticos involucrados cada vez que el tema sale a flote. Existen varias técnicas para la internalización de la conducta ética, a continuación, vamos a presentar algunas:

- El profesor debe jugar el rol de modelo ético todo el tiempo a través de su honestidad intelectual, evitando cualquier forma de explotación estudiantil (incluyendo el intercambio de sexo por notas), evitando que diferencias personales con estudiantes o colegas obnubilen su evaluación profesional, observando la normativa de la institución, mientras las normas no atenten contra la libertad académica y observando los deberes y ejerciendo los derechos de cualquier buen ciudadano. Más allá del código de ética, el académico tiene la responsabilidad de reportar las deficiencias en la integridad de otros, tanto académicas, como en investigación.
- Discutir después de la primera prueba en cada curso la necesidad de un comportamiento ético en los ingenieros. Lo que se pretende es que los estudiantes inicien inmediatamente y continúen las prácticas de comportamiento ético. Luego discutir las reglas de honestidad al desarrollar las pruebas.
- Los temas de los seminarios sobre profesionalismo deben contener por lo menos una sesión sobre ética. Se debería distribuir y discutir el código de ética apropiado. Se puede iniciar con códigos de ética general. A continuación, se enumera los principios y cánones fundamentales, adaptado del Comité de Acreditación para

Ingeniería y Tecnología de EE.UU. (ABET o Accreditation Board for Engineering and Technology, Inc. USA):

- En las discusiones sobre ética el profesor puede jugar el rol del abogado del diablo. En este sentido, autores como Florman sugiere que las leyes han tomado el lugar de los códigos de ética y por lo tanto la mayoría de ellos están obsoletos; recomienda aproximarse a la ética mediante el sentido común y propone dos postulados: 1) No transgredir la ley; y 2) Ser consciente de la necesidad de mucho cuidado, laboriosidad, dedicación e innovación. Tratar de influir sobre los eventos sin ser demasiado disruptivo; trabajar dentro del sistema establecido.
- Es sumamente ilustrativo la presentación y debate de casos de estudio, ya sea como parte de una clase regular o como un seminario. Se pueden tratar temas como la ética en problemas ambientales o la participación de un ingeniero en la construcción de armas destructivas.

3.6. Ética Ambiental y la Ingeniería

3.6.1. Introducción

Como hemos visto más arriba, la Ética se ocupa de definir lo que debe ser una conducta correcta, aspecto que se torna crítico cuando se trata de servicios y servidores públicos y en situaciones donde se manejan grandes montos de dinero que son de propiedad pública. Los aspectos éticos son tan diversos que obligan aquí a restringir la discusión al caso de la ingeniería y dentro de ella, al medio ambiente físico o ecosistema que es el que reacciona directamente a consecuencia de la explotación y uso de los recursos naturales

La preeminencia del hombre sobre el planeta se debe a su capacidad de interacción entre el cerebro y las manos; eso es lo que constituye el profesionalismo, es decir, la ingeniería. La ciencia es el intento de entender el universo y la tecnología el de usar los recursos; la ingeniería es una amalgama de ambas, es investigación, es tecnología, es diseño de estructuras, de sistemas y de procesos orientados al sostenimiento y enriquecimiento de nuestras vidas. El ingeniero contribuye al bienestar de la humanidad, pero dentro del contexto de su contribución posee un doble papel moral y ético, como individuo y como profesional y está obligado a formularse las siguientes interrogantes: 1) Acaso está sobre enfatizando su función tecnológica e ignorando u olvidando su deber de velar por la sustentabilidad del ecosistema?; 2) Acaso está obrando como un puro mercenario técnico/profesional al servicio de alguna corporación o de algún otro interés particular, actuando sin importar los efectos que puedan producir sus acciones?; 3) Está percibiendo el bienestar en términos puramente materialistas, ignorando las otras dimensiones de la vida humana, como belleza, verdad y justicia; y 4) Está considerando el servicio a los humanos como la única forma de comportamiento ético, sin pensar en el resto de la naturaleza, excepto como un recurso utilizable?.

Se pretende que esta investigación contribuya a propiciar un cambio de actitud del individuo frente al medio ambiente a través de la evaluación del origen de su comportamiento y de los aspectos conceptuales de la ética ambiental.

3.6.2. Aspectos teóricos y conceptuales

La sociedad espera que los ingenieros actúen éticamente; pero uno se pregunta qué es un comportamiento ético, y cómo se define a un individuo ético? Hay tres posibles interpretaciones: 1) Es aquel que posee un conjunto de valores privados y se rige por ellos; es el concepto individual de la ética que opera sobre la base de compromisos informales. 2) Es aquel que posee un conjunto de valores que

los comparte con otros individuos de su grupo; es el concepto social de ética que opera sobre la base de compromisos institucionales. 3) Es aquel que se rige por un conjunto de valores que son universalmente válidos, reconocidos y compartidos; es el concepto universal de ética que opera sobre la base de la supremacía de los valores.

Ahora bien, los profesionales de la ingeniería no tienen que aceptar pasivamente los códigos y leyes si ellos van en contra de la armonía del medio ambiente. La obediencia debe basarse en la premisa de que las reglas son buenas y razonables; cuando no lo son, deben propiciar el cambio y en casos extremos, la desobediencia. La aplicación de dichos valores en la profesión de la ingeniería está llena de dificultades, siendo la casi total ignorancia de los principios éticos probablemente la más resaltante. La ética se desarrolla, evoluciona con la evolución moral del individuo, al igual que el desarrollo profesional; ambos, desarrollo moral y desarrollo profesional, constituyen el sistema ético que utiliza el ingeniero en la toma de sus decisiones para resolver los problemas que confronta. Por lo tanto, sólo la cabal comprensión de ambos aspectos ayudará a conformar a dicho sistema con los mejores valores. Por ello, a continuación, vamos a llevar a cabo un símil entre el desarrollo moral y el desarrollo profesional.

3.6.3. Desarrollo moral y desarrollo profesional

Cada individuo desarrolla a lo largo de su vida profesional estándares de comportamiento que constituyen el sistema ético que gobierna la toma de decisiones en la solución de sus problemas. El ingeniero en adición a sus deberes de ciudadano tiene la responsabilidad profesional, es decir, está obligado a reconocer la dimensión ética de sus acciones profesionales. Los valores morales que proveen la base para el desarrollo de la conducta ética se van desarrollando con la experiencia individual de cada quien, iniciándose a temprana edad con el reconocimiento de lo que es bueno y lo que es malo. La forma de cómo esos valores se traducen a la práctica profesional determina el modo de cómo cada individuo actúa profesionalmente. La ética entonces influye en la selección de las alternativas de los cursos de acción, transformándose en un factor fundamental para el proceso de toma de decisiones.

El desarrollo moral es el crecimiento desde temprana edad, pasando por la juventud y la edad adulta, de la habilidad de una persona para: 1) Identificar situaciones en las cuales, decisiones y acciones se basan en conceptos de justicia, rectitud, deber y cuidado; 2) Razonar la selección de la acción en las situaciones mencionadas; 3) Llevar a cabo el seguimiento de la acción seleccionada con la debida atención.

Tanto Piaget 1965, como Kolberg 1973, han estudiado las etapas del desarrollo del individuo en relación con la moral. El segundo identifica tres niveles de desarrollo moral que coinciden con las seis etapas del primero, basados en las estructuras cognoscitivas dentro de una secuencia temporal de asimilación de experiencias paso a paso. El desarrollo del conocimiento moral puede ser cuantificado y su traducción a la conducta profesional es lo que constituye la ética.

Ahora bien, en cuanto al desarrollo de la moral profesional, hay que hacer notar que los profesionales asumen la responsabilidad de sus propios actos profesionales ante la sociedad, creándose, en adición a su ética personal, un segundo estrato ético, el de su conducta profesional. Utilizando un símil entre el desarrollo moral y el desarrollo profesional, McCuen 1979 sugiere seis etapas del desarrollo profesional:

- Inconsciente de responsabilidades sociales y profesionales; la conducta profesional es dictada por el beneficio individual, sin importar las consecuencias.
- Ser bueno para obtener beneficios; en esta etapa el profesional es consciente de que su conducta afecta o condiciona su mercado de trabajo; es la etapa de lealtad a la empresa, confidencialidad y conducta profesional adecuada; el comportamiento ético se basa en la motivación de auto avance.

- La lealtad a la empresa está por sobre todo; la empresa libera al profesional de consideraciones éticas; es lo que Florman 1976 denomina el placer existencial de la ingeniería, estado en el cual, el ingeniero está totalmente inmerso en los aspectos técnicos, similar a un jugador de equipo (su equipo es la empresa), ignorando sociedad y ecosistema.
- En esta etapa el ingeniero mantiene la lealtad a su empresa, es consciente de que la compañía es parte de su profesión y que mejorando su reputación profesional automáticamente mejora la de su institución; la práctica ingenieril en esta etapa es vista desde una perspectiva puramente técnica sin considerar la responsabilidad profesional y social; el ingeniero sigue las leyes que regulan la conducta profesional del modo que han sido formuladas por las sociedades profesionales.
- El aspecto más importante en esta etapa es la acción en favor del bienestar general; se reconoce que el servicio social redundará en créditos para la empresa y para el profesional; la fuerza motora es ahora el servicio a la sociedad; la conducta profesional se ajusta a las normas de la sociedad.
- En esta etapa, la conducta profesional es dictada por las normas universales de justicia y por la preocupación del ecosistema total; las acciones en esta etapa son las más difíciles porque normalmente coliden con intereses prevalecientes. El reconocimiento de estas etapas en el desarrollo de la ética profesional ayuda a entender nuestro comportamiento y el de los colaboradores en la toma de decisiones éticas para la resolución de problemas de tipo técnico.

3.6.4. Ética Ambiental

Nuestro comportamiento o conducta frente al ambiente es lo que se denomina ética ambiental. Existe una estrecha relación entre la forma cómo tratamos a la naturaleza y el modo de como la percibimos. Nuestros valores y por lo tanto nuestras acciones están ligadas a nuestra percepción. Lo que en el lenguaje común se denomina actitud de una persona frente a algo o a alguien puede describirse como una combinación de su percepción sobre ese algo/alguien y de su pensamiento de cómo debe ser tratado ese algo/alguien.

Se dice que hay un progreso en la moral cuando los miembros de la clase dominante empiezan a verse a sí mismos como individuos con deberes frente a sus inferiores. En un estado más avanzado se llega a la comunidad moral, es decir, una sociedad de iguales caracterizada por el respeto mutuo. Un aspecto paralelo a la comunidad moral es la actitud humana frente a la naturaleza, mejor dicho, frente al resto del ecosistema. Hasta hace poco la cultura occidental consideraba a la ética como un aspecto exclusivo de las relaciones entre humanos. Gradualmente se ha ido evolucionando hacia el reconocimiento de nuestras obligaciones con el mundo no humano, aunque todavía en forma muy selectiva.

Probablemente poseamos una ética a cerca del medio ambiente, pero no nos vemos a nosotros mismos como parte de una comunidad moral con el resto de la naturaleza. Analicemos el origen de esta actitud: Se argumenta que una fuente histórica de la dicotomía entre hombre y naturaleza es la religión. Se cree que la tradición judeo-cristiana es la fuente de nuestra actitud actual frente a la naturaleza y por lo tanto del trato explotador hacia el ambiente al subordinar al hombre el resto de la creación, como se lee en Génesis I: 28. "Dios los bendijo y les dijo, sean productivos y crezcan, cubran la tierra y domínenla, gobiernen sobre los peces de los mares, sobre los pájaros de los cielos y sobre todas las cosas vivientes que se mueven sobre la tierra".

Otra raíz histórica de la conducta antiambientalista del hombre es la secular. Por lo menos hasta el siglo 17, la corriente secular dominante de la cultura occidental separaba al hombre del resto de la naturaleza en forma tajante; la naturaleza era vista desde el punto de vista mecanicista en asociación

con corrientes filosóficas como las de Galileo, Bacon, Hobbes, y Descartes. El mundo y sus componentes, incluyendo al hombre, se consideraban como una organización material compleja y mecánica. Los procesos naturales, incluyendo el comportamiento de los animales, tenían una explicación causal. La naturaleza total se consideraba como un sistema determinístico.

Actualmente se practica la ética especialista mediante la cual se reconoce la sensibilidad de los animales, pero aún se cree que no poseen capacidad mental. El interés del hombre está de primero porque él es superior. Poseemos la visión cartesiana: sólo el hombre posee capacidad intelectual, moral y espiritual. Nuestra visión sobre el mundo inanimado es del tipo explorativo. El mundo es visto como una fuente de recursos inagotables a ser utilizados tanto como uno desee.

Tardíamente estamos reconociendo que los recursos son limitados y que su uso irracional conduce a la degradación del ambiente y por lo tanto se requieren políticas de conservación. En contraste, deberíamos implementar políticas de preservación/conservación, considerando a la naturaleza en sí misma como un valor y no meramente como un recurso a ser utilizado y no permitiendo que, por lo menos, ciertas áreas se sometan al impacto adverso de la actividad humana.

Los especialistas consideran a los otros elementos de la naturaleza como pacientes morales inertes, no como agentes dinámicos; no existe comunidad moral con la naturaleza, ella es un bien que hay que consumir; la ética sólo regula las relaciones entre los hombres ¿Acaso no deberíamos preguntarnos cómo tratar al ambiente después de haber resuelto el problema de cómo tratar a los semejantes?

De acuerdo con la definición inicial, el desarrollo de una ética ambiental requiere de un cambio de la percepción y de la conducta frente a la naturaleza y el paso de la concepción del Homo Sapiens como conquistador a la de Homo Sapiens como miembro nato y ciudadano del ecosistema; ello implica respeto por los otros miembros y por la comunidad como tal. El valor central de este concepto es según Leopold 1966: una acción es correcta cuando tiende a preservar la integridad, la estabilidad y la belleza de la comunidad biótica. Es incorrecta cuando tiende a lo opuesto. Lo irónico es que en ambos extremos del debate ambientalista encontramos una aberración común: tanto los que propician la idea de mantener el ecosistema en su estado original, como los que abogan por un desarrollo a costa del uso irrestricto de los recursos naturales, ven a la naturaleza separada del hombre. Este concepto es ilustrado por Graber 1976 al afirmar que la naturaleza está siendo gradualmente puesta bajo el control del poder humano y que por ello constituimos la primera generación que aspira a ser libre de la tiranía de las fuerzas físicas naturales que han plagado al hombre desde sus inicios.

Así pues, la primera condición para desarrollar una ética ambiental consiste en liberarse del criterio especialista y aceptar a los otros elementos de la naturaleza como componentes de la comunidad natural; igualmente debe aceptar el hecho de que el hombre no es el único elemento con atributos y que posee obligaciones con el resto de la comunidad natural. La segunda condición es la aplicación del criterio de universalidad, es decir que la ética debe trascender las fronteras de la comunidad, sustrayéndonos el derecho de explotar y destruir los recursos naturales a nuestro antojo, mucho menos aquellos no requeridos con urgencia.

3.6.5. Aspectos económicos de la ética ambiental

La economía ambiental se fundamenta en la economía del bienestar y se puede considerar como una elaboración más detallada de la filosofía moral utilitaria desarrollada por Bentham, Mill y otros en los siglos 18 y 19. Sin embargo existen sistemas éticos rivales que crean normas diferentes para el comportamiento moral individual y social.

¿Pero qué tiene que ver filosofía moral con economía ambiental? Por qué la ética tiene su origen en la economía y por qué es filosofía. El primer aspecto se relaciona con la aplicación del análisis

Beneficio/Costo a aspectos ambientales de gran magnitud creando preocupación sobre lo adecuado de los aspectos conceptuales, su aplicación y su base empírica. Desde el punto de vista de la filosofía moral hay interés en conocer las implicaciones éticas del impacto del hombre sobre el ambiente. Por lo tanto, es necesario enfocar los aspectos económicos desde el punto de vista de los filósofos naturalistas, y los esfuerzos de los economistas para desarrollar el criterio de sustentabilidad, tanto de un recurso en particular, como del sistema económico total. Se pretende que dichos aspectos provean una guía moral para la obtención de un comportamiento adecuado en aquellos casos de consumo de los recursos o degradación del ambiente que atentan contra el bienestar de las generaciones futuras. Desarrollos más recientes del análisis B/C se orientan a programas nucleares, almacenamiento de desechos radioactivos, cambios climáticos globales inducidos por el hombre, regulación de sustancias tóxicas, etc, muy complejos debido a la magnitud de las exposiciones, a los riesgos secundarios y a la duración de los efectos. Las nuevas aplicaciones del análisis de B/C tienen que ver definitivamente con aspectos de ética y valor que se deben considerar desde el punto de vista económico.

Los filósofos naturalistas modernos o nuevos han abandonado la filosofía humanística en la discusión de los aspectos éticos y políticos en pro de la nueva ética naturalista. En muchos casos la discusión se inicia con la pregunta sobre la naturaleza y extensión de las obligaciones del hombre frente a las criaturas no humanas. Actualmente existe una amplia literatura sobre los Derechos de los Animales. Se abandona la filosofía humanista por una visión puramente naturalista de la ética. Así tenemos que en la obra de Gray 1979 *Why the Green Nigger* se intenta mostrar que siempre ha existido un modelo jerárquico del universo basado en lo masculino (con el hombre en la cúspide) que es responsable por convertir a la naturaleza en green nigger. El sexo femenino y la naturaleza inferior, sin derechos son manejados, manipulados y oprimidos por el hombre superior. Esta concepción está afectando a la supervivencia de la vida sobre el planeta tierra. Afortunadamente hay esperanzas de cambio, especialmente cuando se comprende que la realidad no es jerárquica sino más bien una compleja y dinámica red de energía, de la cual el hombre forma parte con un valor no mayor que el resto de los elementos que la componen.

Watson 1979 invoca la idea de reciprocidad en la discusión filosófica de moralidad para explicar y justificar la atribución de derechos morales y obligaciones. Se distinguen dos sentidos de reciprocidad: 1) la posibilidad de acción recíproca real entre agentes; y 2) Uso de la reciprocidad más en el sentido de la regla de oro: hacer a otros lo que se espera que hagan con uno (o quizá no hacer a otro lo que uno no quiere que le hagan). Al concepto de derecho, como el de los animales, se le asigna dos significados: 1) derechos legales; y 2) derechos morales o inherentes. Es obvio que las entidades no humanas pueden tener derechos legales. Las corporaciones poseen derechos legales al igual que las áreas silvestres y los animales de laboratorio, aunque en este último caso la imposición legal es nula. El aspecto crucial es si los entes no humanos pueden poseer derechos intrínsecos relativos a *das Ding an sich* (la cosa en sí misma).

Vamos a concluir la discusión económica de la ética comparando los principales sistemas éticos usados en la economía:

- Utilitarismo. En el concepto clásico de utilitarismo, las acciones individuales o colectivas deben ser tomadas en un sentido tal que se maximice el bienestar de toda la sociedad. De ese modo es posible que un individuo puede ser forzado a tomar acciones que van en contra de sus propios intereses en pro del bien de la colectividad. El utilitarismo neoclásico requiere que el individuo maximice sólo su propia utilidad. La economía del bien estar neoclásica demuestra que bajo condiciones bien restrictivas, esa maximización individual de utilidades resulta en un máximo de bienestar para todo el sistema económico, lo que conduce más bien al criterio de una distribución justa de los beneficios o utilidades. De otro lado, se considera que los individuos poseen funciones de utilidades diferentes; así por

ejemplo, Edgeworth 1967 opina que los ricos poseen más sensibilidad que los pobres y que por lo tanto pueden disfrutar mejor los ingresos de dinero (en *Mathematical Physics*, publicado por primera vez en 1881); este concepto se fundamenta en la creencia de que la sociedad maximiza sus utilidades totales proporcionando más ingresos a los ricos.

- **Igualitarismo.** Desde el punto de vista del igualitarismo el bien estar de la sociedad se mide mediante el bien estar del individuo que se encuentra en peores condiciones. La adopción literal de este criterio conduciría a una distribución totalmente igualitaria de las utilidades y puede resumirse para una sociedad de dos personas como $\text{MaxMin}(U_a, U_b)$, donde se trata de maximizar la utilidad del individuo que posee la mínima utilidad. En este argumento está implícita la idea que las funciones de utilidad con respecto al ingreso son similares. El criterio ético opera en el sentido de una distribución de ingresos relativamente igual entre individuos de una sola generación o en una situación intergeneracional a través de varias generaciones.
- **Elitismo.** El criterio del elitismo es precisamente opuesto al criterio del igualitarismo; es decir que el bien estar de la sociedad se mide por el bien estar de los individuos de más alto bienestar. Todo acto es correcto cuando incrementa el bien estar de los mejores; es incorrecto cuando tiende a lo contrario. Como ejemplo podemos citar el caso de la crisis de combustible de 1979 que, según la prensa de Los Ángeles, motivó al senador Hiyakawa de California al siguiente comentario: Lo más importante es que la mayoría de los pobres no necesitan de combustible porque no están trabajando. En este sentido la productividad económica racionaliza a una elite definida. De ese modo el concepto de mérito puede ser elitesco por naturaleza: Aquellos que producen más deberían tener el mérito de incrementos salariales (aunque poseyeran ya los salarios más altos). Matemáticamente este criterio se expresa como la maximización de las utilidades de aquellos que han logrado las utilidades más altas, es decir, se refiere a la función $\text{Max Max}(U_a, U_b)$. En el sentido más amplio este argumento significa enriquecimiento de A a costas del empobrecimiento de B; para que A logre su objetivo, debe mantener a B en un estado de subsistencia (mínima educación y servicios de salud y bienestar).
- **Criterio de Pareto.** Los tres conceptos éticos que hemos discutido se refieren al bien estar de toda la sociedad. El criterio Pareto se refieren más bien a la protección de los derechos individuales.
- Es una amalgama de un número de principios éticos imbuidos en parte en la ética cristiana (la Regla de Oro), así como en el punto de vista plasmado en algunas constituciones (como la de EE.UU.) en el sentido que prevalece la libertad individual, excepto cuando otros pueden ser lastimados. Estos criterios enfatizan los derechos individuales y han sido formalizados por Nosick 1974 en un marco estrictamente libertario, en el sentido de que no se persigue cambiar el estado de la situación original del individuo dentro de la sociedad a algún estado ideal, sino más bien se persigue beneficiar a todos o por lo menos prevenir de daños a los otros, aunque los otros estuvieran en mejor posición. Este criterio ético es lo que los economistas denominan superioridad Pareto, lo que significa que un mejoramiento no ambiguo del bien estar requiere que todas las personas mejoren a consecuencia de un cambio en el uso de los recursos, o por lo menos no empeoren. Todo acto que no conduce a este concepto es, por lo tanto, inmoral o incorrecto.

3.6.6. Ética y políticas de conservación de los recursos

En cuanto a la conservación de los recursos, las reglas de decisión varían con los objetivos nacionales, unas se encuadran dentro de las teorías económicas probadas en el tiempo, otras se encuentran en un estado preliminar de desarrollo y prueba, dependiendo de la situación particular política, social y económica de cada país. Los objetivos pueden ser preservación de la naturaleza, preservación de la especie humana, equidad Intergeneracional, preservación de sitios escénicos, preservación de los recursos renovables, preservación de los suelos y explotación de los recursos no renovables.

Cualquiera que sea el enfoque, el estado del ambiente ha alcanzado un punto crítico. La crisis se debe en su mayor magnitud al intento de desarrollo del hombre; es decir por el esfuerzo en hacer la vida más confortable, más sofisticada y satisfactoria. El desarrollo incluye cambios tecnológicos, sociales y económicos, que se denominan progreso, pero con efectos devastadores sobre el ambiente. Sin embargo, un estilo de vida primitivo idealista de regreso a la naturaleza no será una solución global de la crisis ambiental. Los ambientalistas más realistas de ahora proponen el desarrollo sustentable; es decir, un desarrollo que no dañe al ambiente, el cual teóricamente, podrá continuar en forma indefinida. El desarrollo sustentable requiere de un cambio de actitud y de la toma de acciones en cuatro niveles: Individual, autoridades locales, gobiernos nacionales y comunidad internacional. El cambio de conducta se puede lograr a través de educación ambiental. Las autoridades locales pueden promover desarrollo sustentable a través de una mejor planificación urbana. Cada ciudad debería ser lo suficientemente pequeña como para autoabastecerse con los suministros de las áreas circundantes y de la industria local. Las autoridades locales deben controlar el tránsito vehicular en las ciudades, prohibir la circulación en las áreas comerciales, construir servicios a distancias accesibles para el peatón, construir vías para el tránsito de bicicletas y proveer centros de reciclado. Los gobiernos nacionales pueden promover desarrollo sustentable a través de la legislación y de políticas sobre agricultura, energía, transporte y comercio. Se podría implementar impuestos al uso del carbón, impuesto al corte de madera y al contaminador. Desafortunadamente los gobiernos están más interesados en ganar las próximas elecciones que en proteger el ambiente a través de impuestos impopulares.

Una descripción más detallada de los aspectos éticos profesionales y de las políticas de conservación de los recursos naturales está fuera de la amplitud permitida en esta presentación, pero puede encontrarse en Guevara, 1999, 2000, 2009 y 2013.

Anexo 1. Código de Ética del Colegio de Ingenieros de Venezuela

“Se considera contrario a la ética e incompatible con el digno ejercicio de la profesión para un miembro del Colegio de Ingenieros de Venezuela (tomado de la cartilla del Colegio de Ingenieros):

1°. Actuar en cualquier forma que tienda a menoscabar el honor, la respetabilidad y aquellas virtudes de honestidad, integridad y veracidad que deben servir de base a un ejercicio cabal de la profesión.

2°. Violar o permitir que se violen las leyes, ordenanzas y reglamentaciones relacionadas con el ejercicio profesional.

3°. Descuidar el mantenimiento y mejora de sus conocimientos técnicos desmereciendo así la confianza que al ejercicio profesional concede implícitamente la sociedad.

4°. Ofrecerse para el desempeño de actividades y funciones para las cuales no tenga capacidad, preparación y experiencia razonables, así como expresarse de sí mismo o anunciarse en términos laudatorios o en cualquier forma que atente contra la dignidad y seriedad de la profesión.

5°. Dispensar por amistad, conveniencia o coacción, el cumplimiento de disposiciones obligatorias, cuando la misión de su cargo sea la de hacerlas respetar y cumplir.

6°. Ofrecer, solicitar o prestar servicios profesionales por remuneraciones inferiores a las establecidas como mínimas por el Colegio de Ingenieros de Venezuela.

7°. Elaborar proyectos o preparar informes con negligencia o ligereza manifiestas o con criterio indebidamente optimista.

8°. Firmar inconsultamente planos elaborados por otros y hacerse responsable de proyectos o trabajos que no estén bajo su inmediata dirección, revisión o supervisión.

9°. Encargarse de obras sin que se hayan efectuado todos los estudios técnicos indispensables para su correcta ejecución o cuando para la realización de éstas se hayan señalado plazos incompatibles con la buena práctica profesional.

10°. Concurrir deliberadamente o invitar a licitaciones de estudio.

11°. Ofrecer, dar o recibir comisiones o remuneraciones indebidas y solicitar influencias o usar de ellas para la obtención u otorgamiento de trabajos profesionales o para crearse situaciones de privilegio en su actuación.

12°. Usar las ventajas inherentes a un cargo remunerado para competir con la práctica independiente de otros profesionales.

13°. Atentar contra la reputación o los legítimos intereses de otros profesionales.

14°. Adquirir intereses que, directa o indirectamente, colindan con los de la empresa o cliente que emplea sus servicios o encargarse sin conocimiento de los interesados de trabajos en los cuales existan intereses antagónicos.

15°. Contravenir deliberadamente los principios de justicia y lealtad en sus relaciones en sus relaciones con clientes, personal subalterno y obreros; de manera especial, con relación a estos últimos, en lo referente al mantenimiento de condiciones equitativas de trabajo y a su justa participación en las ganancias.

16°. Intervenir directa o indirectamente en la destrucción de los recursos naturales u omitir la acción correspondiente para evitar la producción de hechos que contribuyan al deterioro ambiental.

17°. Actuar en cualquier forma que permita o facilite la contratación de empresas extranjeras, de estudios o proyectos, construcción o inspección de obras, cuando a juicio del Colegio de Ingenieros exista en Venezuela la capacidad para realizarlos”.

Principios fundamentales:

Los ingenieros deben mantener y mejorar la integridad, el honor y la dignidad de la profesión mediante:

- La puesta en uso de sus conocimientos y habilidades para mejorar el bienestar de la humanidad.
- Siendo honestos e imparciales y sirviendo con fidelidad al público, a sus empleados y a sus clientes.
- Elevando sostenidamente el grado de competencia y el prestigio de la profesión.
- Proporcionando soporte a las asociaciones profesionales y técnicas de su disciplina.

Cánones fundamentales:

Los ingenieros deben:

- Mantener la preeminencia de la seguridad, salud y bienestar del público en el desarrollo de sus obligaciones profesionales.
- Sólo deben ofrecer sus servicios profesionales en las áreas de su competencia.
- Deben emitir opiniones públicas sólo de un modo veraz y objetivo.
- Deben actuar en asuntos profesionales frente a cada empleador o cliente como agentes fidedignos y deben evitar los conflictos de interés.
- Deben construir su reputación profesional sobre la base de los méritos logrados a través de sus servicios profesionales.
- Deben actuar de un modo tal de mantener y mejorar el honor, la integridad y la dignidad de la profesión.
- Deben continuar su desarrollo profesional a lo largo de su carrera y deben brindar la misma oportunidad de desarrollo a los profesionales bajo su supervisión.

Referencias

Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, 2011, Boletín 16, Caracas, Colegio de Ingenieros de Venezuela, 1976, Código de Ética, Caracas.

Edgeworth F, 1967. Mathematical Psychis: An Essay on the Application of Mathematics to the Moral Science. A.M. Keley. New York.

Florman S, 1 976. The Existential Pleasures of Engineering. St. Martin's Press, New York.

Graber L. H, 1976. Wilderness as Sacred Space. American Society of Geographers, Washington D.C.

Guevara, E. (2013): "Ética y Educación Ambiental: Una herramienta para la Cultura del Agua". Autoridad Nacional del Agua. Lima. Perú. ISBN: 978-612-46552-3-4. URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/432>

Guevara, E. (2009): "Porqué Ética y Educación ambiental para el desarrollo sostenible?". Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias. Revista electrónica. Año 2, Vol. I. <http://servicio.cid.uc.edu.ve/ingenieria/revista/Inge-Industrial/index.htm>

Guevara, E. (2000): Ética y Educación Ambiental. Dirección general de Medios. Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

Guevara, E. (1999): Ética Ambiental y Políticas de Conservación de los Recursos. CDCH - UC, Valencia, Venezuela.

Guevara E, 1997. Manejo Integrado de Cuencas. Documento de referencia para los países de América y El Caribe. RLC/97/04-FOR-54. FAO, Oficina Regional para América Latina y El Caribe. Santiago de Chile.

Gray E. D, 1979. Why the Green Negger? Re-Mything Genesis. Roundtable Press, Welesley.

Kolgerg L, 1973. Collected Papers on Moral Development and Moral Education. The Free Press, New York

Leopold A, 1966. The Land Ethic. In a Sand Country Almanac with Essays on Conservation from Round River, Oxford University Press. New York.

McCuen R, 1979. The Ethical Dimensions of Professionalism. Journal of Professional Activities Am. Soc. Civil Eng. 105 (12):

Nosick R, 1974. Anarchy, State and Utopia. John Hopkins University Press. Baltimore.

Piaget J, 1965. The moral judgment of the child. The Free Press, New York.

Venezuela, Código Penal, 2005, Caracas.

Venezuela, Código Civil, 1982, Caracas.

Watson R.A, 1979. Self-Consciousness and the Rights of Nonhuman Animals and Nature. Environmental Ethics. 1(2): 99

4. LA APLICACIÓN DE LAS CIENCIAS BÁSICAS Y SOCIALES EN INGENIERÍA

4.1. Introducción

Las ciencias básicas aplicadas a la ingeniería abarcan la matemática, la física, la química y la biología; en ellas se fundamentan todas las carreras de ingeniería. Las asignaturas que las contienen son parte esencial de los estudios que conducen a un título de ingeniero; no son asignaturas de nivelación para corregir fallas del sistema educativo en bachillerato, ni tampoco un ciclo básico separado de la carrera; es ciencia básica aplicada que pertenece a la carrera de ingeniería en todas sus especialidades. Son asignaturas comunes, que están ubicadas a lo largo de toda la carrera.

Las ciencias sociales abarcan la antropología, la sociología, la psicología, la economía, la geografía, la ecología, las ciencias políticas y la historia. El ingeniero debe poseer nociones de estas disciplinas para que adquiera una formación integral tal que le permita desenvolverse en el medio donde tiene que desarrollar su actividad profesional creando proyectos sostenibles, esto es, proyectos que brinden confort a las personas que los usen y mejoren su calidad de vida. Así mismo, contribuyen a formar conciencia de la importancia que tiene para la humanidad el buen uso de los recursos naturales a fin de asegurar la vida en el presente y en el futuro.

4.2. Asignaturas Básicas

Comprenden materia esencial en la configuración del currículo, ya que constituyen el fundamento para acometer con éxito los estudios que conducirán a un título de carácter profesional. Estas asignaturas son la piedra angular que sirve de base para estructurar todo el saber necesario que le permitirá al estudiante ejercer la profesión que ha escogido para desarrollarse en la vida.

Son asignaturas informativas, porque contienen la materia prima que nutre la transformación del medio físico encomendada al ingeniero para que los usuarios lo aprovechen con eficacia y confort.

Son de carácter formativo, porque contribuyen a desarrollar el pensamiento lógico - deductivo del estudiante, así como los fundamentos de los fenómenos químicos y físicos que modelan el espacio que sirve de hábitat a la humanidad. Alimentan la creatividad y curiosidad de los estudiantes, además de facilitarles el uso útil de la tecnología. Es primordial aprender a “pensar” y fundamentalmente, a tener claridad de conceptos para que se puedan distinguir los contenidos erróneos o falsos que abundan en las redes. Estas asignaturas contienen el basamento necesario para comprender todo lo que se enseña en las escuelas profesionales.

4.2.1. Matemática

A la geometría se le debe prestar mucha atención, ya que en muchas ocasiones se le confunde con el dibujo, principalmente a la geometría descriptiva. No se puede olvidar que la matemática comenzó con la geometría. La geometría es la asignatura que más contribuye a desarrollar en el estudiante de ingeniería y de arquitectura el concepto de espacio. En un principio todos los problemas de la incipiente ciencia matemática se resolvían geoméricamente. Luego fueron apareciendo sus otras expresiones. Sin embargo, la geometría no ha perdido su vigencia, ni mucho menos, en la ingeniería y la arquitectura, ya que todos los proyectos deben ser materializados físicamente conformando cuerpos,

y éstos son siempre geométricos. En Atenas se ve esculpida encima de la puerta principal de La Academia, (Figura 4.1) la siguiente inscripción atribuida a Platón:



Figura 4.1 Placa en la Academia de Atenas

Si se prescinde de la geometría, no se puede utilizar adecuadamente el espacio, puesto que nos movemos en un mundo material, y la materia tiene dimensiones físicas bien definidas que ocupa un lugar en ese espacio. Ahora bien, la geometría que se enseña en la Facultad de Ingeniería es aplicada a resolver problemas ingenieriles. Para un matemático puro, una recta es la expresión:

$$y = ax + b \quad \text{donde } x, y \text{ son variables}$$

Si además se agrega que $a = 0$, entonces para cualquier valor de x

$$y = b \quad \text{y es constante, por tanto, la recta es horizontal.}$$

Esta idea, expresada de esta manera, no la percibe el cerebro como una línea recta. Para que se forme la imagen real de la recta horizontal, es necesario que el individuo tenga un conocimiento previo de una función matemática, y, aun así, no imagina el objeto que le presentan. En cambio, si se dibuja la recta horizontal (Figura 4.2), que es la manera de expresar las ideas en geometría, intuitivamente cualquier persona la capta.



Figura 4.2. Recta horizontal $y=b$

Esto es importante cuando un arquitecto o un ingeniero realiza un proyecto; necesariamente tienen que hacer uso del dibujo, y no se puede dibujar sin aplicar la geometría. Tampoco se puede

confundir el dibujo con la geometría. La geometría es parte de la matemática, por tanto, es conforme a postulados, axiomas y teoremas; y el dibujo es el lenguaje de la geometría, como los números, las letras y los símbolos, son el lenguaje de la aritmética, del álgebra y del cálculo en general. La geometría no se aplica sólo para dibujar, es útil para resolver problemas de ingeniería; y la rigurosidad de sus axiomas, postulados, teoremas y demostraciones, es lo que le confiere la propiedad de desarrollar el pensamiento lógico.

Es cierto que todos los problemas de la ingeniería y la arquitectura se pueden resolver mediante el cálculo, pero, por alguna razón, Leibnitz, habiendo desarrollado el cálculo diferencial e integral, siguió resolviendo problemas mediante la geometría. De todos modos, cuando se trata de resolver un problema por métodos analíticos, siempre es conveniente y útil dibujar un esquema que muestre los pasos a seguir para obtener la solución, es decir, se resuelve el problema geoméricamente, lo cual da una respuesta cualitativa porque se hace a mano alzada, y luego se aplica la formulación algebraica para obtener resultados exactos. Si se quiere encontrar la solución geoméricamente, habrá que realizar el dibujo a escala.

EJEMPLO: ¿Qué longitud debe tener una escalera que se apoyará en una pared para alcanzar una altura de 4m, si su inclinación no debe ser mayor a 60°?

SOLUCIÓN: Paso 1. Dibujar esquemáticamente el planteamiento (Figura 4.3):

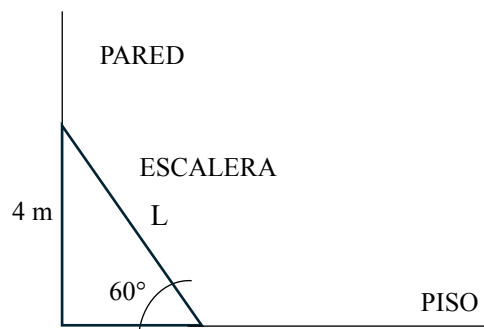


Figura 4.3. Esquema

Paso 2. Formular el problema: El dibujo conduce inmediatamente a la formulación.

Una pared es perpendicular al piso, por lo tanto, la escalera formará un triángulo rectángulo al recostarla. Si se conoce el cateto opuesto al ángulo, la función que aplica es: seno de 60°.

$$\frac{4}{L} = \text{sen}60^\circ \therefore L = \frac{4}{\text{sen}60^\circ}$$

$$L = \frac{4}{\sqrt{3}/2} \therefore L = 4,62 \text{ m}$$

4.2.2. Física

La física es la piedra angular de todas las ingenierías, contiene la base de la resistencia de materiales, la mecánica, la estática, la dinámica, las instalaciones eléctricas y sanitarias, el comportamiento de los líquidos y los gases, etc. Muchos problemas de física se resuelven con mayor facilidad mediante métodos gráficos, por ejemplo:

Obtener la resultante de un sistema de fuerzas aplicado a un bloque de piedra, cuyas magnitudes son las indicadas en la Figura 4.4.

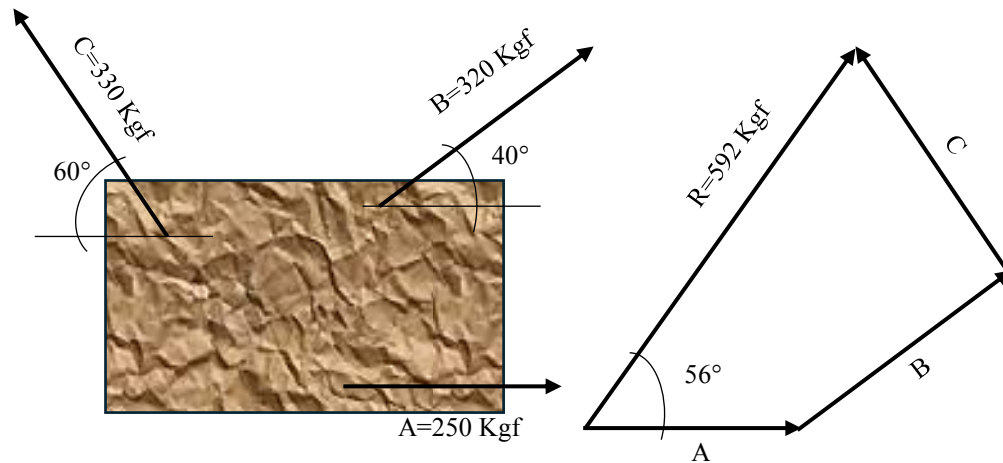


Figura 4.4. Sistema de fuerzas

Siendo la fuerza una magnitud vectorial, se puede expresar mediante un vector a escala, y se copian paralelamente, una a continuación de la otra, a partir de un punto arbitrario P. Se genera así una línea poligonal (ABC), tal que, el vector que une P con el extremo final de C \vec{C} , es \vec{R} , la resultante de las fuerzas dadas. Bastará entonces medirla con un escalímetro y se obtiene su módulo, $R=592$ Kgf. Con ayuda de un transportador se obtiene el ángulo de 56° .

Si se quiere resolver el problema por métodos analíticos, igualmente se hace el dibujo sin necesidad de escala, y se aplican las fórmulas respectivas. En este caso, se trata de una suma de vectores. Se sabe que todo vector se puede descomponer en otros dos que tienen direcciones paralelas a los ejes coordenados x, y. Esto facilita la solución porque así se puede trabajar con dos conjuntos de vectores cuyos sumandos tienen la misma dirección, por tanto, sus módulos se suman aritméticamente. El problema se reduce a proyectar todos los vectores en los ejes x, y. Un vector B que forma un ángulo α con el eje x, tendrá dos componentes: (ver Figura 4.5)

$$B_x = B \cos \alpha \quad \Delta \quad B_y = B \sin \alpha$$

Solución: Módulos de las fuerzas proyectadas en los ejes coordenados, en Kgf

$$A_x = 250 \quad B_x = 320 \cos 40^\circ \quad C_x = -330 \cos 60^\circ$$

$$A_y = 0 \quad B_y = 320 \sin 40^\circ \quad C_y = 330 \sin 60^\circ$$

$$A_x + B_x + C_x = 250 + 245 - 165$$

$$R_x = 330 \text{ Kgf}$$

$$A_y + B_y + C_y = 206 + 286$$

$$R_y = 492 \text{ Kgf}$$

$$R = \sqrt{(330^2 + 492^2)} \text{ (FIG 5)}$$

$$= 592 \text{ Kgf}$$

$$\tan \alpha = 492/330$$

$$\tan \alpha = 1.4909$$

$$\alpha = 56^\circ$$

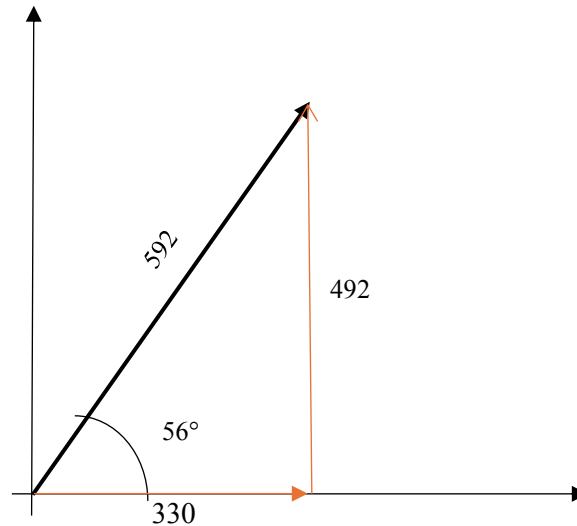


Figura 4.5. Componentes de R

Si se trata de dos fuerzas solamente, simplemente es necesario resolver un triángulo que puede tener cualquier forma. Así que los problemas de física conducen a resolver figuras geométricas, que exigen conocer sus propiedades y las relaciones métricas entre sus lados y segmentos fundamentales. También será de gran ayuda la trigonometría.

La electricidad y el magnetismo se comprende mucho mejor conociendo los métodos de la geometría descriptiva. Por ejemplo, (Figura 4.6.) un conductor rectilíneo crea a su alrededor un campo magnético con líneas de fuerza circulares contenidas en un plano perpendicular al conductor.

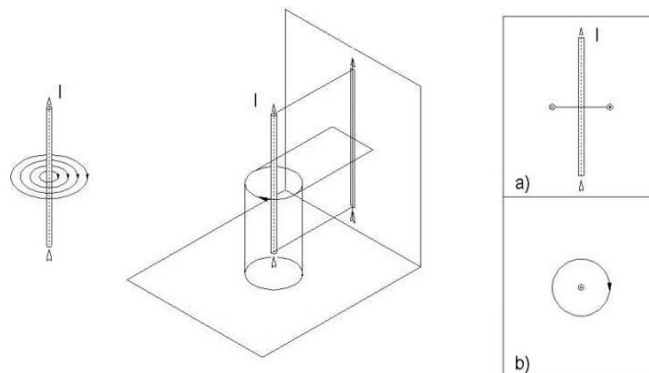


Figura 4.6. Campo magnético

Un polo magnético N-S (Figura 4.7) giraría alrededor del conductor manteniéndose en una circunferencia que es tangente a la fuerza F que genera la corriente.

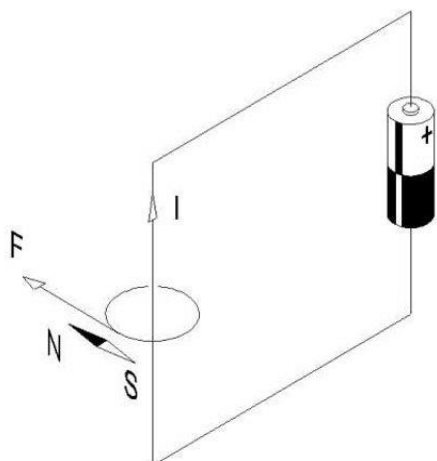


Figura 4.7. Giro de un polo magnético

Una espira (Figura 4.8), o conductor circular I , genera una fuerza F en dirección perpendicular al plano de la espira, cuya línea de acción pasa por su centro. Aquí sólo se pretende ilustrar que la solución del problema es espacial, por lo que se facilita empleando los métodos de la geometría descriptiva; además, se requiere aplicar el cálculo diferencial. Así se pueden indicar muchísimos ejemplos de geometría y cálculo aplicado, en todas las áreas de la ingeniería.

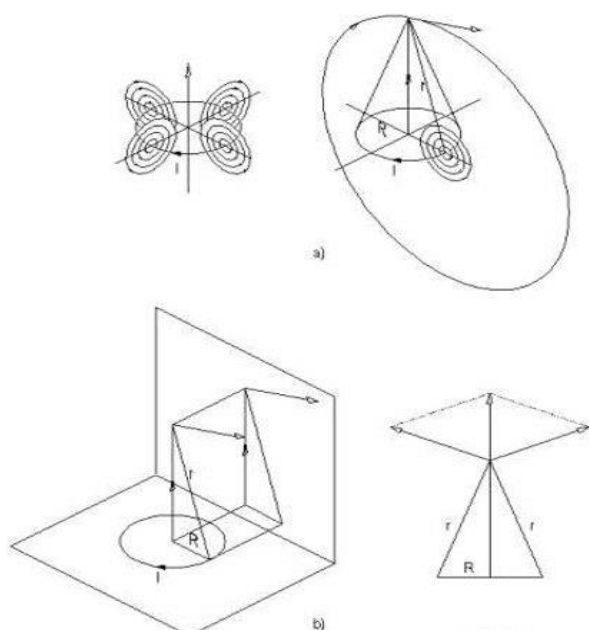
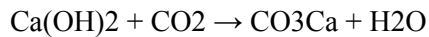


Figura 4.8 Conductor circular

4.2.3. Química

Los materiales de construcción, que darán forma y harán realidad lo que se concibe en un proyecto de ingeniería, son el resultado de combinaciones y mezclas entre elementos químicos. Las reacciones entre los elementos constitutivos del concreto, de los bloques para la tabiquería, de los frisos, de ductos y tuberías, etc. pueden mejorar y optimizar sus propiedades si se usan los materiales adecuados y en las proporciones establecidas, pero también pueden causar una patología de la construcción si se combinan mal o se exponen a un ambiente agresivo, como el dióxido de carbono (CO_2) que está siempre presente en el aire, principalmente en las zonas adyacentes a las calles con alto tránsito de vehículos, y la cal que se utiliza en todas las construcciones. La reacción de este ácido con

la cal libre, que es hidróxido de calcio (CaOH), contenida en el concreto, produce el carbonato de calcio (CaCO₃), que es una sal insoluble:



Esto reduce el PH, es decir la alcalinidad del concreto, en el recubrimiento de la cabilla haciendo que pierda su capacidad protectora. (Figura 4.9) Normalmente el PH del concreto proporcionado por la cal libre (hidróxido de calcio) es de 12 o 13, y se reduce por el efecto de la reacción entre el anhídrido carbónico y el hidróxido de calcio a 9 o 9,5 que no es suficiente para proteger las cabillas de la corrosión. En estas condiciones el acero de refuerzo se oxida y se expande rompiendo la capa de concreto que lo recubre quedando las cabillas descubiertas y corroídas; también se observan manchas blancas en las superficies dañadas producidas por las sales. Estas manchas blancas se llaman eflorescencias.



Figura 4.9. Fallas por carbonatación

Las cabillas (Figura 4.10) que se encuentran a la intemperie se oxidan por la presencia del oxígeno y del agua en la atmósfera. Esta oxidación no es perjudicial para la cabilla mientras no comience la corrosión. Una cabilla al corroerse pierde masa y si continúa el proceso llega a destruirse, por lo tanto, una cabilla corroída pierde capacidad resistente.



Figura 4.10 Cabillas a la intemperie

En los ambientes cercanos a los mares se observa con frecuencia la acción de las sales, principalmente cloruros, que atacan los elementos metálicos, (Figura 4.11) inclusive las cabillas que se encuentran dentro del concreto, provocando su corrosión.



Figura 4.11. Muestra de Corrosión

Los sulfatos de sodio, de potasio, de calcio y de magnesio; que se acumulan en los morteros (mezcla de cemento y arena) que unen las piedras de un muro, (Figura 4.12) provocan expansiones y rupturas.



Figura 4.12. Fallas por sulfatos

En los muros de concreto (mezcla de piedra, arena, cemento y agua endurecido), los sulfatos reducen la resistencia del material porque atacan la adherencia entre las partículas de cemento y los agregados (piedra y arena) que lo constituyen.

En paredes frisadas, suelen verse grietas horizontales, verticales o escalonadas a lo largo de las hiladas de bloques o ladrillos. También se pueden producir desconchamientos y desprendimientos del friso, observándose eflorescencias en la cara de los ladrillos o bloques expuestos. Estos daños generalmente son ocasionados por la acción química entre los sulfatos contenidos en los bloques de arcilla y ladrillos para paredes y los aluminatos que contiene el cemento Portland o la cal hidráulica usados en los morteros. La reacción es expansiva, y se produce más rápidamente en presencia de humedad.

En los recubrimientos de las paredes aparecen eflorescencias si la pintura contiene sales solubles. Las pinturas que contienen demasiado cloruro de calcio atacan los tubos de acero provocando corrosión. Las sales higroscópicas, como los sulfatos, pueden producir en las obras de ladrillo sin recubrir (Figura 4.13), deformaciones y grietas en el paramento, o roturas de los bordes de los ladrillos, debidas a la dilatación del mortero por hidratación de las sales.

Los sulfatos pueden encontrarse en los ladrillos, especialmente en los poco cocidos y en las piedras. Pueden venir también disueltos en el agua del suelo que sube por capilaridad, o estar contenidos en la atmósfera o en el agua de mar.

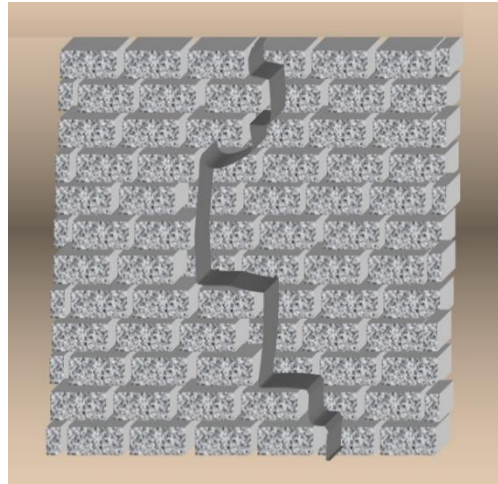


Figura 4.13. Grieta por sulfatos en pared de ladrillo sin recubrir.

La capilaridad es la propiedad que tienen los líquidos (Figura 4.14) cuya adhesión es mayor que la cohesión, como es el caso del agua, de ascender en tubos de sección delgada; mientras menor sea el diámetro del tubo, mayor será la altura que alcanza el líquido.

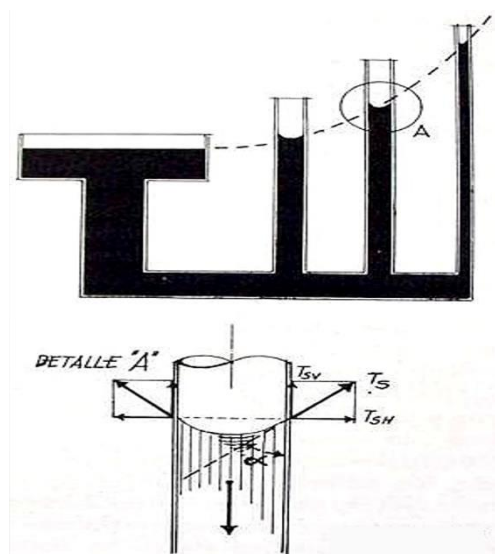


Figura 4.14. Tubos capilares

Los poros de los materiales de construcción configuran estos tubos, de tal manera que el agua contenida en los suelos sobre los que se construye la pared sube por capilaridad, humedeciéndola hasta una altura de 1,00 m aproximadamente. (Figura 4.15) Esta es la razón por la que muchas casas presentan en la parte inferior de las paredes desconchamientos producidos por la humedad ascendente. Esto, además de crear problemas estéticos, es un peligro porque a esa altura se encuentran las canalizaciones de los tomacorrientes, lo cual puede originar cortocircuitos.



Figura 4.15. Humedad ascendente

Cuando se realiza el vaciado del concreto en una obra, es necesario esperar un tiempo, que puede ser de 10 horas para que haya endurecido. Este proceso de endurecimiento es el fraguado. En muchas obras, por razones de tiempo, es necesario que el concreto fragüe rápidamente, otras veces, conviene retardarlo ya que el fraguado comienza a las dos horas o menos y, por alguna razón, se requiere más tiempo para el proceso de vaciado. En estos casos se le agrega a la mezcla un aditivo que es un producto químico que se mezcla con el cemento. Los aditivos para acelerar o retardar el fraguado del concreto, generalmente contienen el ion cloro, que provoca la corrosión de las cabillas.

En muchas ocasiones se colocan en contacto dos materiales que son incompatibles porque reaccionan químicamente entre ellos. Al reaccionar se forma un par galvánico, esto es, dos metales distintos, que en contacto agua, tienen una diferencia de potencial, por lo que se forma una pila galvánica en la que el metal más negativo que es el ánodo cede electrones, mientras que el polo menos negativo que es el cátodo recibe electrones. El flujo de corriente es, entonces, del ánodo al cátodo. Al formarse el par galvánico el ánodo es el polo positivo y el cátodo es el polo negativo. Es el caso de una tubería de cobre en contacto con una cabilla de acero; el cobre es un cátodo y el acero es un ánodo, por consiguiente, se establece una corriente de electrones de la cabilla de acero a la tubería de cobre, así, la cabilla se corroe al perder partículas (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Lista de materiales incompatibles

Cobre y zinc
- Cobre y acero
- Cobre y acero galvanizado
- Cobre y hierro
- Cobre o bronce y ciertas gomas vulcanizadas
- Aluminio y cobre
- Aluminio y bronce
- Aluminio y acero
- Concreto o mortero fresco y plomo
- Concreto o mortero fresco y aluminio
- Metales y oxidaciones de magnesio (cemento magnésico, suelos continuos)
- Acero o plomo y algunas maderas húmedas
- Yeso y hierro
- Yeso y acero
- Ciertas piedras o ladrillos entre si
- Cemento y agregados arcillosos o con sales agresivas
- Mortero asfáltico y PVC
- Mortero de cal y productos asfálticos
- Pintura y soporte alcalino, como son algunos frisos de cemento o de cal.

La Figura 4.16 muestra un caso de corrosión en tuberías (Ortega Francisco, 1999). Se observó humedad en una pared, y al descubrir la zona, se encontró un tubo de aguas claras dañado que provocaba la humedad. Se sustituyó el trozo dañado y se consideró resuelto el problema. Al cabo de unos meses apareció nuevamente la humedad; se practicó el mismo tratamiento y ocurrió nuevamente la falla. Entonces se pensó que estaba ocurriendo una corrosión de origen electroquímico; se realizaron mediciones de diferencia de potencial entre diferentes puntos del edificio a fin de ubicar los polos que lo generaban, y se encontró que en el edificio existe un sistema de tierra con barras de cobre enterradas, lo cual provocó una corriente de electrones a través de la pared que funcionó como dieléctrico, entre la tubería de distribución de agua del edificio convertida en ánodo y la toma de tierra en cátodo. La pérdida de material en el tubo al ceder electrones ocasionaba la filtración. El problema se resolvió colocando una camisa de zinc a la barra de cobre, invirtiendo así el flujo de electrones al funcionar el zinc como ánodo de sacrificio. (Figura 4.17) Se llama ánodo de sacrificio porque ahora la corrosión aparecerá en la camisa de zinc y habrá que cambiarla al cabo de un tiempo, pero ya no ocasiona daños al edificio.

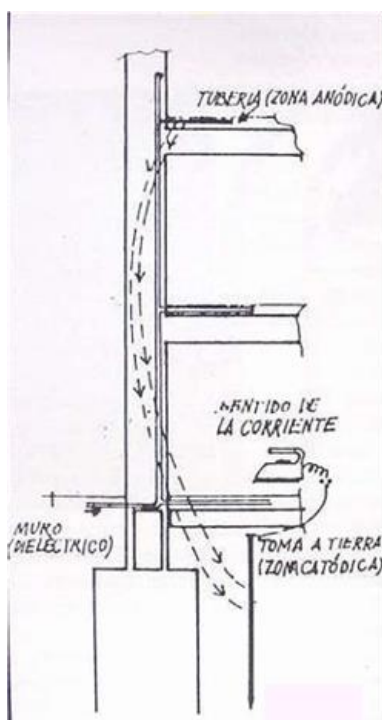


Figura 4.16. Corrosión en tubo

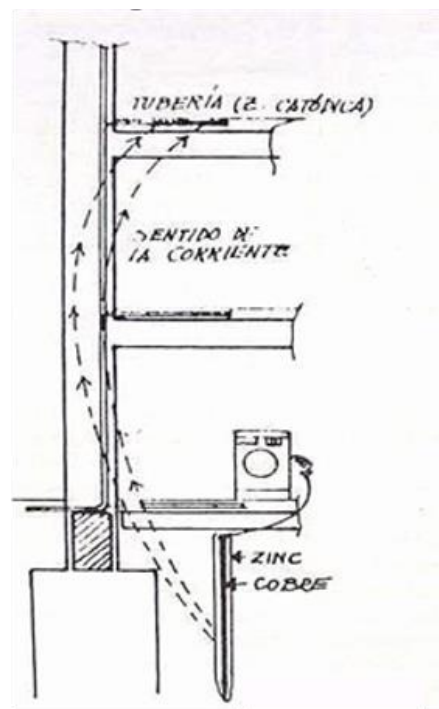


Figura 4.17. Corrosión en tubo

Fuente: Ortega Andrade Francisco, 1999, *La Obra de Fábrica y su Patología*, Colegio de Arquitectos de Canarias, España.

4.2.4. Dibujo

Todo ingeniero y también el arquitecto, necesita como herramienta fundamental el dibujo. Cualquier proyecto tiene que reflejar lo que el proyectista ha ideado, para que se materialice en una obra concreta. Esto le da al dibujo características de lenguaje; es la forma de comunicarse entre las personas que intervienen en un proyecto, desde su concepción hasta el logro de su resultado final que, en el caso de una vivienda, por ejemplo, es el edificio construido, listo para habitarse.

Hoy se ha extendido el uso del computador en todas las actividades profesionales. Existen programas para dibujar que facilitan notablemente la elaboración de planos; sin embargo, para que esos dibujos expresen cabalmente un proyecto de cualquier tipo, el usuario del programa necesita conocer las normas de dibujo y dominar los métodos de expresión gráfica. Un plano siempre será el resultado de una proyección ortogonal, o axonométrica u oblicua, sea dibujado a lápiz o con un computador. El computador solo sustituye la regla, las escuadras, el compás y el tiralíneas, por tanto, se requerirá el mismo adiestramiento en el aula para dibujar con el computador que para hacerlo con métodos tradicionales; sólo que, para utilizarlo, habrá que aplicar los programas adecuados; pero aplicar estos programas es mecánico, el adiestramiento en el dibujo de ingeniería resulta de una formación, he aquí la gran diferencia. Salta a la vista entonces, que la destreza en el uso de programas de dibujo es independiente de la posibilidad de realizar un plano de ingeniería o de arquitectura, para esto se requiere ser ingeniero o arquitecto, no dibujante. Para dibujar proyectos se requiere esa destreza, pero el que sólo tenga esa destreza no puede dibujar proyectos. Es necesario el conocimiento de la simbología propia de la actividad, del significado de lo que se representa y de toda la teoría de los sistemas de representación.

Además, el ingeniero necesita dibujar a mano alzada. Como se vio en los párrafos anteriores, la solución de los problemas y la interpretación de los fenómenos físicos, requieren de dibujos para

analizarlos. Para explicar una tarea a un albañil, o a cualquier trabajador de la construcción, o de un taller mecánico, o de una planta industrial, el ingeniero tiene que dibujarlo porque con sólo palabras no le entenderán. Incluso a los clientes debe darles explicaciones con dibujos de lo que va a realizar.

El primer informe de ingeniería de La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2010) sobre Ingeniería: Problemas, retos y oportunidades de desarrollo, destaca que el ingeniero es un factor importante en la innovación; (Figura 4.18) para que esto sea así, se requiere que el ingeniero posea una sólida formación básica, con profundos conocimientos de matemática, física, química y biología, con los cuales el individuo desarrolla su imaginación y lo impulsan a escudriñar nuevos horizontes. Para innovar se requiere dominar lo que existe y saber resolver problemas; esta destreza se adquiere mediante el estudio de las ciencias básicas. Son las que permiten al profesional aprovechar los cambios propiciados por las tecnologías disruptivas, y las complementarias, que aparecerán continuamente, según la tendencia observada; para que se puedan adaptar a nuevas herramientas y conceptos que dejan obsoletas las prácticas aprendidas.



Figura 4.18. Formación del ingeniero

Una mega tendencia en la educación superior apunta a dar más importancia a los contenidos especializados. Este criterio puede ir en detrimento de la formación básica. Los contenidos especializados son precisamente los que cambian con los avances tecnológicos. En cambio, los contenidos de las asignaturas básicas son invariantes, configuran criterios y crean aptitudes para la especialización. Toda especialización tiene intrínsecamente una alta dosis de material básico que tiene que ser conocido previamente. Un individuo altamente especializado se convierte en un técnico y pierde su capacidad innovadora. La mente del ingeniero tiene que ser amplia, aunque posea una especialización. El ingeniero debe ser capaz de innovar dentro de una especialidad. La tecnología se nutre de las ciencias básicas, ya que es el resultado de la aplicación de los principios, teorías y fundamentos que desarrollan.

De tal manera que, los planes de estudio no deben quitar espacio a las materias básicas. Lo que sí es necesario, depurar los contenidos, para que se profundicen los conocimientos que se aplican en las

respectivas carreras de ingeniería, como la geometría aplicada, la teoría combinatoria, el cálculo matricial, y el cálculo diferencial e integral que se requieren para todas las carreras de ingeniería.

Además, por ser formativas, contribuyen a desarrollar la inteligencia, y ordenan el pensamiento mediante la aplicación del método científico para llegar al conocimiento del objeto; necesariamente tienen que ir antes que cualquier especialización.

4.2.5. Biología

La biología se aplica en muchas de las carreras de ingeniería, principalmente en las que tienen que ver con la bioingeniería, la ingeniería sanitaria, la ingeniería agrónoma, la ingeniería ambiental, etc. (Ver capítulo sobre sistemas biológicos). En las plantas de tratamiento de agua los conocimientos de biología son indispensables para determinar los procesos de purificación del agua que se suministra a las poblaciones para el consumo humano. También se requieren para diseñar y operar las plantas de tratamiento de aguas servidas que deben tratar el agua antes de verterlas en ríos y quebradas a fin de evitar su contaminación. En todas las carreras de ingeniería se encuentran aspectos relacionados con la biología.

4.2.6. Las Ciencias Sociales

En 1818, cuando se fundó en Londres la Institución de Ingenieros Civiles, que fue el primer organismo profesional de ingeniería del mundo, el ingeniero Henry Robinson Palmer dio la siguiente definición:

Un Ingeniero es un mediador entre el Filósofo y el Mecánico que trabaja; y como un intérprete entre dos extranjeros debe entender la lengua de ambos. El Filósofo escudriña en la Naturaleza y descubre sus leyes, y promulga los principios y los adapta a nuestras circunstancias. El Mecánico de trabajo, gobernado por la superintendencia del Ingeniero, lleva sus ideas a la realidad. De ahí la absoluta necesidad de poseer conocimientos tanto prácticos como teóricos.

Estas palabras no han perdido vigencia. Claramente se destaca aquí la formación integral que debe tener el ingeniero.

El arquitecto conjuntamente con el ingeniero, resuelven las necesidades habitacionales y de infraestructura de los centros urbanos. Siendo este trabajo de orden social, es necesario que el profesional, además de dominar el campo de la ciencia que le permita atacar el aspecto técnico de la profesión, debe sensibilizarse con los factores sociales, políticos y económicos que influyen en una comunidad. Sólo así, tanto el arquitecto como el ingeniero proyectarán obras que realmente proporcionen bienestar a las personas que la van a utilizar.

La UNESCO recomienda que la educación debe orientarse hacia el desarrollo sostenible, esto es: garantizar el cuidado del medio ambiente a fin de no perjudicar las futuras generaciones y, fundamentalmente, crear condiciones de vida que produzcan bienestar y confort a las personas; por lo tanto, se deben impartir conocimientos bien cimentados del medio ambiente, de los factores que determinan el cambio climático y de las consecuencias en general de los movimientos de tierra y deforestaciones que se ejecutan para implantar urbanismos y otras obras de construcción. Además, se deben controlar las emisiones de gases que contaminan el ambiente y los desechos industriales que contaminan las aguas de ríos y lagos.

Las obras de ingeniería transforman la topografía natural y cambian significativamente, el paisaje. Esta intervención tiene que realizarse conforme a los criterios de sostenibilidad para que verdaderamente contribuyan a mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos.

El ingeniero, al actuar como un agente de cambio en el medio ambiente, se hace responsable también de la salud y de la economía de la población; por lo tanto, tiene que estar consciente de las consecuencias que acarrea un movimiento de tierra incontrolado, la extracción de piedra y arena de canteras y ríos, la explotación de minas y yacimientos de minerales.

Las plantas para fabricar el cemento son altamente contaminantes de las masas de aire que las rodean, por consiguiente, no pueden estar ubicadas en centros poblados. Las fábricas generan grandes cantidades de desechos que muchas veces se disponen en los ríos contaminando sus aguas.

El ingeniero sólo podrá contribuir eficazmente a la recomendación de la UNESCO con relación al desarrollo sostenible, si tiene un conocimiento, aunque sea somero, de la antropología, de la sociología, de la geografía, de la ecología y de la historia. De aquí que se recomiende que todos los planes de estudio de las ingenierías contengan un mínimo de 10% de ciencias sociales y humanidades.

La UNESCO, en la Conferencia Mundial sobre la Educación Superior en el Siglo XXI, (1998) determinó:

Las instituciones de educación superior deben formar a los estudiantes para que se conviertan en ciudadanos bien informados y profundamente motivados, provistos de un sentido crítico y capaces de analizar los problemas, buscar soluciones para los que se planteen a la sociedad, aplicar éstas y asumir responsabilidades sociales. (Citado por Arias M. et al 2018).

Esto requiere que los docentes estén familiarizados con este criterio y lo asuman como propio, pero también el alumno debe estar abierto a esta realidad. Todo profesional debe poseer sólidos conocimientos, conciencia de la globalización, de la sostenibilidad, mente analítica, y sensibilidad social. Todo oficio debe ser puesto al servicio de la sociedad.

La antropología estudia al hombre en todos sus aspectos, incluyendo su cultura y su civilización. Generalmente toda obra, bien sea una construcción o una planta industrial, un puente, una carretera; siempre provoca reacciones de las personas que se sienten afectadas por el impacto que generan en el entorno. Por otra parte, todo trabajo de ingeniería se realiza para satisfacer una necesidad. Si el arquitecto y el ingeniero tienen conciencia de los arraigos que sienten los pobladores a su lar nativo, las tradiciones, las costumbres, se pueden realizar obras, implantar industrias, fabricar objetos, que se adapten a los requerimientos de la sociedad sin que los cambios que se generen impacten negativamente a la comunidad.

La sociología trata de la estructura y funcionamiento de las sociedades humanas. El hombre es por naturaleza un ser social, por eso tiende a formar comunidades donde pueda relacionarse con sus semejantes, compartir experiencias y disfrutar de ambientes confortables. Con esta visión se deben concebir los proyectos de ingeniería. Hacia allí debe estar orientada la innovación, la creatividad.

La psicología contribuye a manejar las situaciones que se presentan en las relaciones con clientes, con obreros, con personal de planta y de oficina, a fin de crear un ambiente de armonía en las actividades. Así se mejora la productividad y se incentiva la creatividad. Mediante los principios psicológicos, se desarrolla la capacidad de visualizar soluciones y de abordar los problemas.

La economía es la base para que las actividades de una planta industrial, de una obra de construcción, de una oficina de proyectos, etc., pueda funcionar eficientemente con altos rendimientos y con seguridad para sus empleados y sus directivos. Además, el desarrollo de los pueblos en cuanto a su infraestructura, a la dotación de viviendas y a edificaciones de todo tipo, está íntimamente ligado su sistema económico.

La geografía tiene aplicaciones en todos los campos de la ingeniería, puesto que todas las obras deben ser implantadas en un terreno, que a la vez, tiene una situación en alguna zona de la geografía

del país. Para la aplicación de las normas sísmicas, se requiere conocer el mapa de zonificación. Hay una rama de la ingeniería que es la Geomática, que se ocupa de estudiar y gestionar la información geográfica. Uno de los usos más difundidos actualmente, y de gran utilidad para todas las personas, es el Sistema de Posición Global (GPS). La geomática se está desarrollando notablemente sustituyendo los métodos tradicionales de la topografía y la geodesia para elaborar planos que abarcan grandes superficies.

La ecología es una rama de la biología que estudia las relaciones entre los seres vivos y con el entorno. El conjunto de organismos vivos y su entorno material es un ecosistema. Los ecosistemas deben ser protegidos y esto se logra con una buena práctica de la ingeniería y el conocimiento de su funcionamiento.

Las ciencias políticas se refieren al gobierno y las relaciones de poder que existen en una sociedad. La política incide en el desarrollo de los pueblos, por lo tanto, afecta directamente el ejercicio profesional. Las obras públicas dependen de las políticas del estado. El funcionamiento de la industria también está influenciado por la filosofía del gobierno; por lo tanto, el ingeniero tiene que estar al tanto de la actividad política y tomar parte activa en su desenvolvimiento.

La historia de la ingeniería es fundamental para orientar al estudiante en el camino que debe recorrer, analizando el ya recorrido; no para que lo copie ni para que repita la historia, sino para que le sirva de punto de apoyo a la palanca que lo ha de impulsar a un nuevo mundo. Actualmente existen unas cuantas obras que tratan la historia de la ingeniería, donde se puede conocer la evolución que ha tenido desde los tiempos de la cultura egipcia, griega y romana hasta nuestros días. Antiguamente la encontrábamos mezclada en los libros de arquitectura y algunos libros especializados de ingeniería. Hoy varios autores han publicado obras expresamente dedicadas a la historia de la ingeniería, que pueden servir de texto para una cátedra que debe incluirse en el plan de estudios como asignatura obligatoria. Se pueden citar aquí: Historia de la Ingeniería en Venezuela (Arcila Eduardo. 1961); Inicio de la Ingeniería Estructural en Venezuela (Grases José, Arnaldo G. y Rafael S.); Un país en su artificio (Méndez Nelson 2011); Historia de la Ingeniería en el Zulia (Parra, Iván Darío 1996); además de muchos artículos que se han publicado en revistas especializadas y que pueden servir de base para abrir una línea de investigación en este campo.

Referencias

Arias Gómez Ma. de Lourdes et al, 2018, “Perfil y competencias del docente universitario recomendados por la UNESCO y la OCDE”, Revista Atlante: Cuadernos de Educación y Desarrollo (junio 2018). En línea: <https://www.eumed.net/rev/atlante/2018/06/competencias-docente-universitario.html> //hdl.handle.net/20.500.11763/atlante1806 competencias-docente-universitario.

Ortega Andrade Francisco, 1999, La Obra de Fábrica y su Patología, Colegio de Arquitectos de Canarias, España.

Ortega Andrade Francisco, 1994, Humedades en la Edificación, Editan, Sevilla, España, (1ª edición 1989).

Porrero Joaquín y otros, 1987, Manual del Concreto Fresco, Siderúrgica del Turbio, Caraca.

Romero Martínez Alonso, 1990, Dibujo de Proyectos de Obras Civiles. 153 páginas. Editorial Innovación Tecnológica, Caracas, 1º ed. 1990, 3º reimpresión 1999, 2º ed. 2009, 5º reimpresión 2014. Libro de texto.

Romero Martínez Alonso y Cristina Echeverría Coll, 2010, Control de obras de albañilería, revestimientos y acabados. Colocación, mantenimiento, reparación y restauración. Coordinación de Extensión, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Romero Martínez Alonso, “La Geometría Descriptiva y los Campos Magnéticos”, encarte del boletín Ingeniería UCV, año 12, N° 38, junio – julio 2004.

Romero Martínez Alonso, “¿Cómo actúan las cargas eléctricas entre sí?”. Sección Cátedra de Física, Revista Expresión de Venezuela N° 6. Caracas. 1966.

UNESCO (1998): Declaración Mundial sobre la Educación Superior en el siglo XXI: Visión y acción. CONFERENCIA MUNDIAL SOBRE LA EDUCACION SUPERIOR: La educación superior en el siglo XXI: Visión y acción. 9 de octubre de 1998, Paris, Francia.

5. ENSEÑANZA DE INGENIERÍA Y MÉTODO DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS. CREATIVIDAD E INNOVACIÓN

5.1. El Currículum de Ingeniería

El objetivo fundamental del plan de estudios de la profesión de ingeniería es el de proveer al estudiante el conocimiento necesario para ingresar en la profesión. En adición, el mencionado plan se diseña para enseñar a los estudiantes los métodos básicos requeridos para resolver problemas exitosamente. Esto incluye procedimientos de análisis del problema dentro de un proceso de toma de decisiones orientada a la solución óptima. Por ello, el currículum incluye materias que ayudan, no sólo a formular problemas, sino también a concebir y formular soluciones a dichos problemas.

Un currículum de ingeniería es un plan bien pensado con una necesidad fundamental de establecer criterios específicos. El ingeniero utiliza recursos materiales y energía en actividades creativas. Por lo tanto, el plan de estudios incluye cursos que proveen al estudiante los conocimientos básicos de materiales y energía y su utilización. Debido a que los ingenieros modelan la naturaleza, sus conocimientos básicos deben incluir matemáticas, física y química u otras ciencias físicas, así como los conocimientos fundamentales de ética ambiental con la finalidad de evaluar los probables efectos de sus acciones para que la toma de sus decisiones tienda a minimizarlos. Dado que un buen ingeniero es un integrador de conocimientos, el plan de estudios debe contener, además, materias que enseñen habilidades de comunicación oral, escrita y gráfica, tal como cursos de ciencias sociales y comunicación.

Para asegurar que el currículum provea al estudiante de ingeniería un conocimiento básico para establecer y sostener al estudiante a medida que él intenta funcionar como un ingeniero, tiene que existir un organismo que lleve a cabo un control de calidad de todas las Escuelas de Ingeniería. En Venezuela esa función de acreditación de las escuelas de ingeniería está asignada al Consejo Nacional de Universidades (CNU). El reconocimiento de cualquier escuela de ingeniería provee al público la confianza de que un estudiante que ha aprobado las asignaturas que constituyen el currículum posee los conocimientos mínimos necesarios para ejercer la profesión de ingeniería. En Estados Unidos de Norteamérica, por ejemplo, el mencionado control lo lleva a cabo el Comité de Acreditación de Ingeniería y Tecnología, aunque éste no propone específicamente los cursos que el estudiante debe cursar y aprobar, establece que, para su reconocimiento, el currículum debe contener por lo menos los siguientes aspectos:

- Un medio año de matemáticas más allá de Trigonometría y Álgebra.
- Un medio año de ciencias básicas
- Un año de ciencias de la ingeniería
- Un medio año de diseño de ingeniería
- Un medio año de ciencias sociales y humanidades.

Tanto en Venezuela, como en otros países, en la mayoría de las escuelas de ingeniería los dos primeros años de estudios son comunes para todas las ramas de la ingeniería. En este período se cubre Matemáticas, Ciencias Básicas y Ciencias de Ingeniería. Los cursos de matemáticas se refieren típicamente a Cálculo y Ecuaciones Diferenciales. Las Ciencias Básicas se refieren a Física y Química. La Ciencia de Ingeniería cubre cursos de Mecánica, Termodinámica, Hidráulica, Teoría de Circuitos y Ciencia de los Materiales. En las Ingeniería del Agro las Ciencias Básicas incluyen además Botánica,

Zoología Agrícola, Anatomía de Animales Domésticos, Ecología y la Bioquímica y Química Agrícola y las Ciencias de la ingeniería agregan la Edafología y la Fisiología Vegetal. La Arquitectura y Urbanismo como una ciencia del diseño requiere de factores científicos, artísticos y sociales. Durante los dos o tres últimos años, el currículum, en términos generales, se orienta específicamente a cada disciplina para proporcionar al estudiante un conocimiento profundo en el área de concentración escogida.

5.2. La Clave del Éxito en el Estudio de Ingeniería

La ingeniería es una profesión remuneradora, pero demanda esfuerzo y como tal, la preparación para una carrera de este tipo constituye un reto. El estudiante de ingeniería debe reconocer inmediatamente después de su admisión que se ha iniciado en una disciplina que demanda mucho tiempo y concentración. Sobre la base de esta visión, es necesario que el estudiante de ingeniería se considere a sí mismo diferente del resto de la población estudiantil, no sólo en lo que se refiere a la búsqueda de hobby o placeres, sino también en cuanto a su actitud frente a sus compromisos académicos (tareas). Los ingenieros son hacedores; obtienen experticia a través de la experiencia. Por lo tanto, el éxito de un estudiante en una escuela de ingeniería bien podría depender del tiempo que le dedique a los estudios y a la resolución de sus diferentes asignaciones. La mayoría de los principiantes descubre con mucha frecuencia y muy tarde que el fracaso en sus estudios universitarios se debe a que han aplicado los hábitos de estudio inadecuados que aprendieron en el colegio. Para tener éxito en las escuelas de ingeniería, el estudiante debe adoptar nuevas actitudes frente al estudio y al disfrute de su tiempo libre. Aunque la demanda de un nuevo comportamiento puede resultar frustrante, hay ciertos criterios que el estudiante puede seguir para resolver los problemas que le crean sus estudios universitarios. A continuación, se discuten los cuatro principales:

- **Entusiasmo.** Es bien conocido que la gente se supera en aquellos aspectos sobre los cuales se siente entusiasta. Un estudiante exitoso debe estar siempre motivado y deseoso de aprender nuevos conceptos. Puede haber temas que no despiertan interés y si uno no está entusiasmado y auto motivado será muy difícil aprender esas materias.
- **Sistematicidad.** Para que un estudiante de ingeniería sea exitoso tiene que aprender a ser sistemático. Tiene que desarrollar la actitud de ser ordenado en lo que hace. Siempre existe la necesidad de apresurarse y graduarse lo más rápido posible. En este caso, hay estudiantes que toman cursos sin prestar la debida atención a los prerrequisitos. Hay que recordar que el currículum se ha desarrollado sobre el concepto de que el conocimiento se construye sobre el conocimiento. Así, por ejemplo, puede haber un estudiante interesado en tomar un curso en Mecánica sin haber visto los conceptos fundamentales de mecánica que deben impartirse en Física. En este caso, el estudiante se está conduciendo a si mismo a un fracaso y una frustración al tomar ese curso.
- **Tenacidad.** Los ingenieros nunca se rinden. Podría ser que la solución de un problema dado no sea aparente al inicio; pero la actitud del ingeniero debe ser tal que, si existe un problema, entonces tiene que haber una solución. Es decir, deberá ocuparse del problema hasta encontrar la solución. Esta actitud es lo que se denomina Tenacidad. Para que un estudiante tenga éxito debe ser paciente. Si no entiende algún tópico cubierto en clase, debería estudiarlo de nuevo inmediatamente después de clase. Si aún así no se entiende el tópico en el libro de texto, entonces el estudiante debe ir a la biblioteca y buscar el concepto en otras referencias, donde el concepto está presentado de otra manera. En última instancia se debe discutir el tema con sus compañeros y finalmente con el profesor. La mayoría de los profesores estará en disposición de ayudar al estudiante, pero éste debe mostrar que realmente ha invertido un esfuerzo en entender el material. La mayoría de los estudiantes desean recurrir en primera instancia

al profesor, sin haber agotado los otros recursos. El estudiante se hará un bien si aprende a usar los recursos disponibles. Después de todo, eso es lo que mejor sabe hacer (o debería saber hacer) un ingeniero: Utilizar los recursos disponibles.

- Auto disciplina. Este concepto se ha convertido en una palabra indeseada en la mente de muchos individuos de la sociedad actual. Un viejo proverbio romano reza: El que se conquista a sí mismo, es un ganador. Probablemente esta característica sea la más importante que debe poseer un estudiante. No cabe duda de que pueden haber muchas cosas que el estudiante preferiría o desearía hacer en vez de estudiar. Hay muchas cosas que pueden proporcionar placer, pero el tiempo que demandan es un tiempo sustraído al tiempo de los estudios. Hasta podría ser necesario ignorar totalmente esas actividades. Una decisión de ese tipo no es nada fácil, a no ser que el estudiante tenga control total sobre sí mismo y un conocimiento profundo de sus prioridades. La autodisciplina significa, por ejemplo, escoger entre ir a una fiesta de graduación o quedarse estudiando para la prueba del siguiente día. Es probable que un estudiante sin auto disciplina decida ir a la fiesta y posponer el estudio para más tarde. Pero la autodisciplina también se manifiesta en el manejo del tiempo. El estudiante debe planificar adecuadamente su tiempo de estudio. Una buena norma consiste en utilizar por lo menos unas tres horas de estudio por cada hora de clases del profesor para digerir el material. El dominio del tema demanda, primero una revisión de los aspectos teóricos y conceptuales del tópico que se está tratando de dominar; y luego, una práctica extensa mediante la resolución de problemas relacionados. Eso significa que el estudiante debe desarrollar muchas tareas, fuera de las asignadas en clase.

5.2.1. Solución de Problemas

La educación en ingeniería se centra fuertemente en la solución de problemas, pero muchos docentes se limitan a enseñar contenidos y esperan que los estudiantes resuelvan problemas por su cuenta sin haberles mostrado el proceso. Es necesario incluir en las clases discusiones sobre los métodos para la solución de problemas.

La mayoría de las escuelas de ingeniería son muy buenas en la enseñanza de rutinas y diagnósticos; los estudiantes se especializan en ello porque son parte de ese esquema. Las fallas están en análisis de estrategias, interpretación y generación de alternativas. Mediante este documento se pretende aportar a la corrección de las mencionadas deficiencias centrando la atención en dichos aspectos del proceso de solución de problemas.

5.2.2. Taxonomía de la Solución de Problemas

La solución de problemas en ingeniería se da en los cinco niveles taxonómicos siguientes:

- Rutinas: Son operaciones o algoritmos que se pueden ejecutar sin necesidad de tomar decisiones, como la resolución de expresiones matemáticas. Se consideran como problemas de un nivel de aplicación directa (plug and chug).
- 2Diagnosis: Es la selección del procedimiento correcto para usar una rutina, tal como la escogencia de una fórmula entre varias disponibles para determinar la solución a un determinado problema.
- Estrategia: Es la selección de rutinas y el orden en que deben aplicarse para solucionar un problema. Forma parte del Análisis y Evaluación de la taxonomía de Bloom et al. (1956).
- Interpretación. Es la solución de un problema en el mundo real. Incluye acepciones e interpretaciones que transforman los datos naturales a formas útiles.

- Generación. Es el desarrollo de rutinas nuevas para el usuario. Incluye el rearrreglo de rutinas conocidas en un nuevo marco o patrón.

5.2.3. Proceso de Solución de Problemas

La solución de problemas es un proceso complejo. Los psicólogos cognitivos están de acuerdo en que existen destrezas generales para la solución de problemas, pero también lo están en el hecho de que el proceso es muy dependiente del conocimiento mínimo requerido para encontrar la solución. De acuerdo con el tipo de problema que se confronta, dicho proceso se clasifica en tres esquemas:

- Un esquema basado en el grado de definición del problema, relacionado estrechamente con la estrategia requerida
- Estrategias relativamente bien estructuradas para problemas bien definidos.
- Problemas deficientemente estructurados o pobremente definidos que requieren un enfoque concentrado en su determinación y en las metas. Para problemas con grados intermedios de definición se pueden aplicar estrategias de pasos múltiples.

Análisis y Síntesis forman parte de la taxonomía de Bloom, mientras que Generalización rara vez se incluye como componente de la taxonomía de la solución de problemas. Simplificación se usa cuando se desea llegar a una solución rápida. Creatividad es un elemento muy estudiado, pero poco entendido. Toma de decisiones es parte integrante del proceso de solución de problemas.

5.2.4. El Factor Experiencia en la Solución de Problemas

Un experto puede almacenar en el cerebro durante un período de 10 años una masa de más de 50 mil patrones de conocimiento especializado fácilmente accesible, conectados de algún modo (palacio de la memoria). Raras veces almacena hechos aislados. Por ello, los estudiantes necesitan ejercitar para desarrollar árboles o redes de interconexión del conocimiento. No puede pretenderse que durante su formación académica de unos cinco años el estudiante de ingeniería se convierta en un experto. Sin embargo, es razonable formar profesionales capaces de resolver problemas desde el inicio de su actividad profesional, capaces de convertirse en expertos con unos cuantos años de experiencia. Hay diferencias en el modo de cómo resuelven los problemas los expertos y los novatos. En la Tabla 1 se dan esas diferencias. Observando esas diferencias los educadores de ingeniería pueden encontrar áreas en las cuales deberían centrar su atención para mejorar la habilidad de sus estudiantes. En la categoría de prerrequisitos, debería motivarse a los estudiantes para aprender los aspectos fundamentales y desarrollar procedimientos detallados. El conocimiento debe estructurarse de modo tal de agruparlos en patrones en vez de hechos aislados. Al trabajar con problemas los estudiantes deben practicar definiciones, formulación, gráficas de diagramas, interpretación, análisis (descomposición del problema en sus componentes) y exploración. Luego que conocen una estrategia, deben monitorear su proceso; conocer procedimientos para salir de las trabas. Deben comprobar sus resultados y evaluarlos sobre la base de criterios internos y externos. Si han cometido errores deben aprender de ellos y permanecer activos y precisos.

5.2.5. Estrategias para la Solución de Problemas

Cualquiera que sea la estrategia seleccionada, debe usarse en forma consistente. Algunos expertos recomiendan usar estrategias de 4 a 15 etapas. Menos de 4 probablemente resulta muy corta con deficiencia en los detalles; más de 15, resulta muy larga, engorrosa y difícil de recordar y usar. Aquí se recomienda usar una estrategia de un paso inicial centrado en la motivación y 6 pasos operacionales:

- Motivación
- Definición

- Exploración
- Plan
- Desarrollo
- Verificación
- Generalización.

En la industria el proceso de solución de problemas también se lleva a cabo en seis pasos: Identificación, Análisis, Generación de Alternativas, Selección de Alternativas, Implementación y Control.

A continuación, vamos a describir brevemente en qué consiste cada etapa:

1. Motivación. Debido a la carga negativa que produce la ansiedad de un principiante, es necesario trabajar sobre la autoconfianza del estudiante y practicar algunos ejercicios simples de relajación o de control del estrés.
4. Definición. Listar las variables conocidas/desconocidas; dibujar un diagrama mostrando las relaciones fundamentales; definir claramente los criterios y restricciones.
5. Exploración. Es la fase de pensar a cerca del problema o ponderar. El experto hace preguntas exploratorias a la audiencia sobre todas las dimensiones del problema. Si se trata de un problema rutina, su solución será directa e inmediata; si no lo es, analizará el problema descomponiéndolo en partes, muchas de las cuales podrán ser rutinas. Buscará la solución alterna para las otras partes.

Tabla 5.1. Comparación de las acciones de un novato y un experto en la solución de problemas.

CARACTERÍSTICA	NOVATO	EXPERTO
Memoria	pequeños trozos, pocos elementos	Palacio de la memoria. En masa o patrones. Unos 50 mil elementos
Actitud	Se rinde después del primer intento. Ansioso	Puede lograrlo si persiste. Confianza
Categorización	Detalles superficiales	Fundamentos
Formulación	Dificultad en la Re descripción. Lento e impreciso. Salta a conclusiones	Muchas técnicas de Re descripción. Rápido y preciso. Toma tiempo redefiniendo. Redefine varias veces
Problemas bien definidos Simple	Lento. Trabaja hacia atrás	4 veces más rápido. Trabaja hacia adelante con procedimientos conocidos
Estrategia	Prueba y error	Usa una estrategia
Información	No conoce lo relevante. No puede inferir de datos incompletos	Reconoce información relevante. Puede trazar inferencias
Partes (problema más difícil)	No analiza en sus partes	Analiza. Procede en etapas. Busca patrones
Después del primer paso (en problemas difíciles)	Trata de calcular (fase de hacer)	Define y traza. Diagrama. Explora
Diagramación	Frecuentemente no	Tiempo considerable. Principios abstractos. Muestra movimientos

Límites	No calcula límites	Calcula para llegar más rápido a la solución
Ecuaciones	Memoriza o busca en cada circunstancia	Utiliza relaciones fundamentales para derivar resultados requeridos
Procedimientos de solución	No compilados. Decide cómo resolver después de escribir la ecuación	Procedimientos compilados. Ecuación y solución son procedimientos singulares
Monitoreo del progreso	No lo hace	Sigue el desarrollo del proceso. Comprobación V.S. Estrategia
Evaluación de resultados si se trabaja	No lo hace. Adivina. Abandona	Usa heurísticos. Persevera. Tormenta de ideas
Precisión	No interesado. No comprueba	Muy preciso
Errores o falla en la solución	Lo ignora	Aprende lo que ha debido hacer. Desarrolla nuevos métodos
Acciones	Se sienta y piensa. Inactivo. Abandona	Usa papel y lápiz. Muy activo. Diagrama. Escribe ecuaciones. Flujo de patrones. Subvocalización (se habla a sí mismo)
Decisiones	No entiende el proceso. Criterio no claro	Entiende el proceso de decisiones. Criterio claro

6. Plan. Se usa la lógica formal para establecer las fases del problema. En problemas de muchas fases podría usarse un diagrama de flujo. Las ecuaciones pueden escribirse y resolverse literalmente.
7. Desarrollo. Calcula la respuesta. Es el paso que los novatos desean hacer de primero. Incluso, la mayoría de los profesionales con ciertas habilidades combina los pasos 3 y 4 y no desarrolla soluciones simbólicas. Contemplar ambos pasos separadamente permite verificar y generalizar más fácilmente.
8. Verificación. Este paso debería ser un paso automático de la solución de problemas. Se requiere una comprobación interna de ecuaciones y números utilizados y una evaluación con criterios externos. En ambos casos se debe usar el sentido común.
9. Generalización. Esta fase es casi siempre obviada por los estudiantes, a menos que se les instruya expresamente. La idea es definir lo que se ha aprendido y la posibilidad de simplificar el proceso en el futuro para hacerlo más eficiente. ¿Por ejemplo, se puede desprestigiar algún término sin afectar sensiblemente el resultado? ¿Existen tendencias lineales que puedan expresarse con menos puntos y cálculos? Encontrar las retroalimentaciones para la solución de otros problemas.

5.2.6. Arranque y Desentramamiento

Una estrategia se torna inútil si no muestra cómo arrancar y cómo salir de los atolladeros. Los novatos tienden a abandonar o a realizar estimaciones groseras; mientras que los expertos reinician la fase de definición y utilizan heurísticos. El docente debe usar eslóganes motivadores (ganadores nunca abandonan, los que abandonan nunca ganan); animar a sus estudiantes para que reinicien su estrategia (releer la formulación y verificar los números); y sugerir la identificación de sus dificultades con el problema. Luego de ubicar los obstáculos, es más fácil bordearlos; y si aún hay dificultades se pueden

usar los heurismos. A continuación, se lista una variedad de heurismos, de entre los cuales se puede escoger los que mejor se adapten a cada situación:

- Simplificar el problema y resolver casos límites
- Observar que el problema no esté sub o sobre dimensionado
- Relacionar el problema con otros similares cuya solución se conoce. Usar analogías
- Generalizar el problema
- Tratar de sustituir los cálculos analíticos por cálculos numéricos
- Tratar de resolver el problema para relaciones o proporciones
- Analizar lo hecho y definir si realmente se trata de un problema
- Cambiar la representación del problema
- Hacer preguntas acerca del problema
- Concentrarse en las partes resolubles del problema
- Cuando se trabaja en grupos ser un buen oyente y mantener la armonía
- Usar el procedimiento MMI (más- menos-interés) cuando se presentan las soluciones
- Utilizar una estrategia de escaneo mixta
- Alternar el trabajo hacia adelante y hacia atrás
- Tomar un descanso y reiniciar el proceso con mayor energía
- Preguntarse sobre las acepciones ocultas o aquellas que no se han tomado en cuenta
- Aplicar una estrategia de control. Usar el código del periodista: ¿Qué?; por qué?; cómo? ¿Cuándo?
- Reenfocar el problema en lo fundamental
- Estimar (adivinar) la solución y comprobar la respuesta
- Solicitar un poco de ayuda

Adams (1978) usa como estrategia seis categorías de bloques: 1) Perceptual: dificultades en la percepción del problema; 2) Cultural: tendencia cultural versus pensamiento convergente versus pensamiento lateral creativo divergente; 3) Ambiental; 4) Emocional; 5) Intelectual: falta de conocimiento; y 6) Expresivo.

5.2.7. Enseñanza del Método Solución de Problemas

Hay muchas investigaciones orientadas al modo de cómo mejorar la habilidad de los estudiantes para la solución de problemas. Algunos investigadores recomiendan la adopción de cursos separados sobre la materia. Sin embargo, dado que se requiere conocimiento específico sobre el problema por resolver es más conveniente incluir el tema en los programas de los cursos existentes. En los niveles bajos de los estudios de ingeniería la solución de problemas requiere de habilidades relacionadas con manipulaciones algebraicas. Luego es un requisito fundamental un dominio de esa asignatura. Pero las técnicas de solución de problemas deben enseñarse a lo largo de toda la carrera universitaria, incluyendo heurismos y trucos claves. Lo ideal es utilizar la misma estrategia en todas las clases de ciencias e ingeniería y en los libros de texto. Cuando se resuelve un problema, ya sea en clase o en las notas de clase, debe ilustrarse la estrategia. Luego instruir al estudiante para que utilice la misma estrategia en los trabajos encargados, en los proyectos y en las pruebas presenciales. Los ejemplos ilustrativos constituyen importantes instrumentos de aprendizaje.

De acuerdo con la técnica de aprender haciendo, los estudiantes necesitan resolver problemas, más complejos que simples rutinas, para saber cómo hacerlo. Con los principiantes se debe usar una estructura más regular que se inicie con los trabajos encargados y continúe con las pruebas presenciales, motivándoles para que elaboren sus propias notas laterales y diagramas de flujo. Antes de trabajar con cantidades numéricas debe usarse soluciones algebraicas simbólicas, cuidando de escribir todo el procedimiento de los cálculos. Es recomendable utilizar una combinación de análisis, síntesis y

evaluación de problemas. Los problemas encargados deben ser de mayor grado de dificultad que las pruebas presenciales. Los problemas de tipo abierto requieren de una síntesis. Hay que tener en cuenta que con frecuencia, los estudiantes que son buenos en la solución de problemas no lo son en la solución de rutinas (principio de Peter).

Cubrir separadamente todas las fases de la estrategia seleccionada. Revisar si hay errores cuando se busca precisión; en dado caso, haga repetir el proceso. Trate de presentar algunos problemas ambiguos en las prácticas de interpretación. Exija la estimación de algunas constantes físicas y esté preparado para una variedad de soluciones. Presente casos reales donde no hay una definición clara del problema.

Haga verbalizar el problema en clase utilizando la dinámica de grupos; divida la clase en pares. Designe a uno de los miembros de cada par para que resuelva el problema verbalizando su procedimiento, mientras que el otro registra todo lo que hace su compañero. Si el procedimiento no está claro, el registrador inquirirá sobre las razones del proceder; puede llamar la atención sobre errores algebraicos y numéricos, pero no debe resolver el problema ni conducir a su pareja hacia la solución. Explique el rol que deben jugar los pares y entregue la formulación escrita del problema animándolos que lean en voz alta. Visite a los grupos mientras resuelven el problema. Una vez concluida la solución (correcta o incorrecta), instruya a los pares que discutan lo que han hecho recordándoles que el propósito es aprender a resolver problemas y no la resolución en sí misma.

Para que el procedimiento expuesto sea efectivo debe usarse varias veces durante el semestre. Es aplicable en clases relativamente numerosas. El método mantiene a los participantes activos y simultáneamente les enseña, tanto contenido, como el modo de resolver problemas. Constituye una buena forma de descanso dentro de sesiones excesivas de clases teóricas. El docente también aprende mediante este método de verbalización.

Otra forma de enseñar resolución de problemas, tanto al nivel individual, como en grupos, es mediante el uso de métodos instruccionales, como simulación, estudio de casos, diseño dirigido y discusión, que confronten al estudiante con problemas de ingeniería del mundo real (o por lo menos realistas). Los estudiantes deben ayudar a definir el problema y luego trabajar en el desarrollo de una solución. Presione por la evaluación de la solución y por la búsqueda de otra mejor. Una vez concluido el desarrollo, ayude a describir el proceso de modo que los propios estudiantes descubran el método que han utilizado.

El trabajo en grupos se adapta para la enseñanza de solución de problemas porque reduce enormemente la ansiedad que sienten los estudiantes cuando confrontan individualmente un problema, sobre todo si la solución no está en un solo individuo. Los extrovertidos y sensibles a la exposición se beneficiarán del soporte del grupo. A través de la verbalización se logra una buena retroalimentación. Los grupos constituyen una excelente herramienta para la interpretación del problema y para la exploración mediante una tormenta de ideas. Para el docente es más fácil trabajar con grupos de 3 a 5 estudiantes en vez de tratarlos individualmente, ya que las preguntas se reducen en la misma proporción. Además, el graduado probablemente tenga que trabajar en grupos en su vida profesional y sus prácticas de pregrado le sirven como una experiencia transicional.

Ya sea que se trabaje en grupos o individualmente, la meta no es lo que los estudiantes desean en primera línea (la solución), sino enseñarles para que encuentren una solución y que mejoren sus habilidades en el proceso de solución de problemas. Para ello requieren de un estímulo para que verbalicen los problemas y rehúsen abandonar prematuramente. El docente debe evaluar la base de conocimientos y su estructura jerárquica y centrar su actividad en métodos de resolución de problemas. Así, si los estudiantes llegan a un estancamiento, se puede interrogar sobre los heurísticos usados o que pueden usar. Si la traba se debe al uso de un procedimiento incorrecto, haga ver dónde está el error, pero no muestre el procedimiento correcto, deje que lo descubran por sí mismos. El diseño guiado requiere

que la solución se desarrolle a priori, de tal modo que los estudiantes puedan ser conducidos a lo largo de todas las fases del proceso. Normalmente el docente no dispone de mucho tiempo para describir detalladamente el proceso, pero vale la pena hacer ese esfuerzo en bien de la mejora del nivel general de la clase.

5.2.8. Creatividad

La creatividad es un modo novedoso e inesperado de definir o resolver un problema, en tal forma que induce a la pregunta ¿cómo se le ocurrió eso? La creatividad forma parte del proceso de solución de problemas, aunque muchas soluciones exitosas no muestran creatividad. La creatividad requiere de un pensamiento divergente presente en las fases definición y exploración. Durante el plan la idea creativa debe ser probada en su validez mediante un análisis lógico. Siendo la ingeniería un arte y una ciencia, su bondad depende de un poco de imaginación y de un profundo cuidado analítico (Florman, 1987).

Las habilidades creativas nacen con el individuo, se incrementan en la escuela elemental en los primeros ocho años de edad y luego decrecen gradualmente con la formación de segunda y tercera enseñanza (Hueter, 1990). Así, los ingenieros se encuentran en una situación paradójica; la educación que le brinda la capacidad de análisis para resolver problemas complejos es la misma que le quita parte de su creatividad. Sin embargo, con actitudes positivas y ejercitación adecuada en las clases, los estudiantes pueden incrementar su nivel de creatividad. La labor docente consiste en naturalizar la habilidad creativa latente que se encuentra en cada estudiante y evitar su declinación. Para ello considere los siguientes aspectos:

1. Estimule a los estudiantes a ser creativos. El individuo es más creativo cuando se le pide que lo sea; luego un primer paso consiste en requerir la producción de múltiples soluciones a través de enunciados como desarrolle alguna solución creativa para este problema; proporcione diferentes modos de interpretar la formulación de este problema; dé una lista de 20 o más posibles soluciones al problema, etc. De la extensa lista de soluciones se pueden desarrollar dos o tres solamente. Otro ejemplo, aplicable a cualquier clase, es requerir que el estudiante escriba un trabajo encargado o pruebe con preguntas y respuestas. El nivel de creatividad aumenta cuando la calificación se basa en lo novedoso de las preguntas y respuestas.
2. Enseñe algunos métodos de creatividad. Las técnicas para incrementar la creatividad requieren de conocimiento cruzado en varias disciplinas no tan especializadas. Las áreas más productivas para el pensamiento creativo se encuentran en los bordes entre disciplinas distintas. Hay varias técnicas que se pueden usar en ingeniería:
 - Tormenta de ideas: Es una técnica fácil de usar. Consiste en registrar todas las ideas, aunque se repitan, sin cuestionar su validez; se pueden construir ideas sobre la base de otras dadas por el grupo. Se establece una lista de posibles soluciones; se seleccionan y evalúan las más prominentes.
 - Pensamiento lateral: Se refiere a la reestructuración de patrones, cambio de puntos de vista, circular al rededor, cambio deliberado de las cosas, cambio de la formulación del problema y evitamiento del análisis lógico (pensamiento vertical). A diferencia del análisis lógico, el pensamiento lateral no tiene que seguir una secuencia, ni tiene que ser correcto en todas las etapas, no tiene que usar información relevante y no se limita al problema en el modo cómo ha sido planteado. Debido a que el pensamiento lateral sólo se usa en las fases de definición y exploración, es completamente verificado en las etapas posteriores por el análisis lógico. Por lo tanto, se trata más de una actitud que de un método.

- Invertir el proceso (reversal): consiste en transformar el problema en la solución, revirtiendo el proceso. El ejemplo clásico es el caso del ascensor, cuando la gente se queja de la lentitud. La solución está en desacelerar a la gente colocando espejos, pinturas, u otros objetos que entretengan a los usuarios mientras esperan el servicio.
3. Acepte los resultados de los ejercicios creativos. Un buen modo de incrementar la creatividad es retando a los estudiantes con juegos creativos, con preguntas y ejercicios, aunque no se relacionen con la ingeniería. El docente puede inventar preguntas creativas abiertas, sin necesidad de tener la respuesta. Existen muchos desarrollos heurísticos que ayudan a la creatividad: tener muchas ideas; construir estímulos aleatorios; pensar algo divertido a cerca del problema; pensar en soluciones análogas; establecer una lista de palabras estimuladoras; usar una lista de verificación o palabras claves para conectar las diferentes formas de observar el problema.

La mayoría de los ingenieros se orientan fuertemente a la racionalidad (uso del hemisferio izquierdo del cerebro), pero su nivel de creatividad puede mejorar si aprenden a usar el hemisferio derecho, apagando el izquierdo. Está demostrado que el hemisferio izquierdo procesa principalmente pensamiento analítico verbal, mientras que el derecho procesa básicamente el pensamiento visual y perceptual, incluyendo en el proceso intuición y ráfagas de iluminación para la solución de los problemas. Una forma de obrar es asignando al cerebro actividades que el hemisferio izquierdo se rehúsa a desarrollar; por ejemplo, buscando trazos de ilusiones perceptuales y forzándose conscientemente a ver una parte de la ilusión y luego la otra (un vaso que se transforma en dos caras); o también mirar caras conocidas en una fotografía invertida (cambio en el patrón de reconocimiento); así como dibujar algo sin usar palabras para nombrar las partes. Luego que las ideas se generan deben someterse a la aprobación o desaprobación por parte del hemisferio izquierdo. Se ha descubierto que las ideas más creativas se originan en un estado de cansancio, cuando aparentemente el hemisferio izquierdo se encuentra en un proceso de relajación, dando oportunidad al otro hemisferio de entrar en acción. Por supuesto que la condición básica es que previamente el individuo haya pensado profundamente en el problema.

En la bibliografía se encuentran sugerencias útiles para mejorar la creatividad de la clase (Flowers, 1987): un instructor entusiasta; estudiantes voluntariosos; buenos problemas; y apropiada retroalimentación. Los instructores que voluntariamente incluyen creatividad en sus clases son entusiastas; la mayoría de los estudiantes poseen la voluntad de intentar algo nuevo y diferente; la selección de un buen problema puede ser un problema. El docente necesitará conocer los problemas que requieren creatividad, aunque no debe tener la solución. Si se obtiene éxito en el tiempo especificado el grupo resultará altamente motivado y la retroalimentación consiste en celebrar dicho éxito.

5.2.9. Innovación

La palabra innovación se deriva del verbo latino innovare, que significa renovar. En esencia, este término ha conservado su significado hasta hoy. A su vez, significa mejorar o reemplazar algo, por ejemplo, un proceso, un producto o un servicio; por tanto, se utiliza tanto en la elaboración de productos como en la prestación de servicios. En ingeniero se desempeña en ambos campos.

La innovación es muy importante por las opciones que se abren en la elaboración de productos y la prestación de servicios. Las empresas tienen varias opciones para aumentar su competitividad. Por ejemplo, pueden luchar por el liderazgo en precios o desarrollar una estrategia de diferenciación. En ambos casos, la innovación es fundamental.

Las organizaciones deben asegurar su competitividad a largo plazo mediante el desarrollo de procesos innovadores y altamente eficientes; es importante la optimización de procesos y la mejora continua en términos de costos.

Se necesitan contar con la innovación para desarrollar características distintivas únicas frente a los competidores. Muchas industrias emergentes inician sus actividades desarrollando un producto o servicio innovador. Pero el proceso de innovación tiene que ser continuo y es crucial para todas las empresas. La principal diferencia está en el enfoque de la estrategia de innovación, que varía considerablemente de una empresa a otra.

Esto hace que el término sea uno de los motores más importantes para el éxito a largo plazo de las organizaciones. En consecuencia, los métodos de colaboración y trabajo en equipo se utilizan cada vez más en numerosas empresas, para promover las innovaciones digitales y superar los retos del cambio digital. Es importante recalcar que la innovación requiere un mayor grado de creatividad, además de modernidad.

En lo que respecta a la ingeniería, se ha llegado a la Generación 4.0 (Ingeniero 4.0) que no es más que la última etapa alcanzada en el proceso de innovación tecnológica o inteligencia artificial (Ver la sección 12.3 y el Capítulo 19). Aquí sólo vamos a plantear algunos aspectos que el estudiante debe considerar en el proceso de innovación; es decir, tomar en cuenta de ¿cómo debe ser la mentalidad de una persona que desea innovar?: La innovación requiere más creatividad y más disposición a asumir riesgos que la implementación de proyectos típicos. Para realizar con éxito proyectos de innovación, se necesita una mentalidad diferente, que tenga en cuenta lo siguiente:

- Romper las reglas y deshacerse de los enfoques y métodos tradicionales. Con los enfoques tradicionales y los métodos convencionales, a menudo no se llega a ninguna parte en el campo de la innovación. Desafía el statu quo constantemente y explora nuevos caminos fuera de los comunes.
- Recolectar ideas nuevas: Los proyectos de innovación necesitan constantemente nuevas ideas; ya sea para superar obstáculos y cambiar conceptos como para optimizar estrategias.
- Creer en lo imposible: Imagina cómo se verán tus procesos si los innovas o cambias de paradigma. Es necesario que creas que podrás superar todos los obstáculos en el camino hacia la realización.

Tipos de innovación

Hay varios tipos de innovación:

- Innovación incremental: Este es uno de los tipos de innovación más habituales que se puede observar. Utiliza tecnologías existentes dentro de un mercado ya establecido. El objetivo es mejorar una oferta agregando nuevas funciones, cambios en el diseño, etc. El mejor ejemplo de innovación incremental se puede ver en el mercado de teléfonos inteligentes, donde la mayor innovación es solo actualizar el hardware, mejorar el diseño o agregar algunas funciones, cámaras y sensores adicionales.
- Innovación disruptiva: La innovación disruptiva se asocia principalmente con la aplicación de nuevas tecnologías, procesos o modelos comerciales disruptivos a las industrias existentes.
- Innovación arquitectónica: La innovación arquitectónica es algo que se ve frecuentemente con gigantes tecnológicos como Amazon, Google y muchos más en este momento. Lo que hacen es tomar su experiencia de dominio, tecnología y

habilidades y aplicarlas a un mercado diferente. De esta manera, pueden abrir nuevos mercados y ampliar su base de clientes.

- Innovación radical: Esta suele ser la forma más inusual en la que la innovación es trabajada. En términos específicos, implica la creación de tecnologías, servicios y modelos comerciales que abren mercados completamente nuevos. El mejor ejemplo para este tipo de procesos fue la invención del avión. Esta nueva tecnología radical abrió una nueva forma de viajar, así como creó una industria y un mercado completamente nuevo.

La innovación es necesaria para toda empresa, sea nueva o no. Esta es un área crítica clave para la supervivencia de muchas industrias, ya que permite la creación de procesos nuevos que puedan diferenciar notablemente a tu organización dentro del mercado empresarial.

Referencias

Adams, J. L. (1978): Conceptual Blockbusting, Norton, N.Y

Bloom B.S et al. (1956): Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Objectives. Handbook I. Cognitive Domain. Mc Kay.

Florman, S.G. (1987): The Civilized Engineer. St Martin's Press. N. Y.

Flowers, W.C. (1987): On Engineering Students' creativity and Accademics. Proceedings ASEE. Annual Conference, ASEE, Washington D.C.

Mayer, R. E. (1992): Thinking, Problem Solving Cognition. W.H. Freeman, N.Y.

Plants H.L. (1989): Teaching Models for Teaching Problem Solving. Proceeding ASEE. Annual Conference ASEE, Wahisgton DC.

Scarl, D (1990): How to Solve Problems for Success in Freshman Physics, Engineering, and Beyond. 2n Ed. Desoris Press, Glen Cove, N.Y.

Hueter, J.M. (1990): Innovation and Creativity: A critical Linkage. Proceedings ASEE, Annual Conference ASSE. Washington D.C.

6. PROCESO DE DISEÑO

6.1. Introducción

El diseño de ingeniería es una de las actividades más fascinantes y desafiantes para el ingeniero; sin embargo, muchos ingenieros tienen su propia manera de definir el diseño. El término ingeniero se deriva de la palabra latina antigua denominada *in generare*, que quiere decir crear. Si desde el inicio de la historia de ingeniería, los ingenieros eran considerados como individuos que crean, entonces el diseño de ingeniería es un proceso creativo mediante el cual se provee una solución a una necesidad percibida o problema. Esta visión es adoptada porque cuando pensamos en diseño lo asociamos con un producto. El producto hoy podría no ser no simplemente un dispositivo. Por ejemplo, software es un producto donde se aplica el proceso de diseño. Con el fin de examinar el proceso de diseño, es esencial encontrar una definición para el diseño. Probablemente la mejor definición del diseño de ingeniería sea la suministrada por ABET (Accreditation Board of Engineering and Technology, Comité de Acreditación de Ingeniería y Tecnología) de EE.UU.), en los siguientes términos: El diseño de ingeniería es el proceso de invención de un sistema, componente o proceso para cubrir necesidades deseadas. Esto un proceso de toma de decisiones (con frecuencia iterativo) en el cual se aplican las ciencias básicas, la matemática y la ingeniería para convertir recursos óptimamente para lograr un objetivo. Entre los elementos fundamentales del proceso de diseño están el establecimiento de objetivos y criterios, síntesis, análisis, construcción, prueba y evaluación.

La definición de diseño dado anteriormente significa que el proceso de diseño podría ser visto como un mapa de la ruta que guía al diseñador desde el problema hasta la solución. Varios modelos se han desarrollado para describir los procesos de diseño. Estos modelos pueden clasificarse en dos grandes categorías: descriptivo y prescriptivo. El modelo descriptivo enfoca el proceso de diseño como actividades secuenciales que ocurren durante un proceso de diseño dado. El modelo prescriptivo es un paradigma de actividades que deberían seguirse en el proceso de diseño. La diferencia entre los dos modelos está en el conjunto de ideas que ellos tratan de desarrollar en el diseñador. El modelo descriptivo busca enfocar el diseño en la solución del problema. En cambio, el modelo prescriptivo busca enfocarse en la comprensión de la naturaleza del problema y su solución a través de un procedimiento sistemático. Para captar las características de los dos modelos, el proceso de diseño puede ser visualizado como un proceso de cinco pasos:

- Reconocimiento de una necesidad
- Análisis del problema
- Diseño conceptual
- Diseño personalizado
- Diseño detallado

En la Figura 5.1 se muestran los cinco pasos de diseño y las actividades asociadas. En lo que resta del capítulo se van a describir los detalles de estos pasos.

6.2. Reconocimiento de una Necesidad

El reconocimiento de una necesidad es la primera fase del proceso de diseño y se origina en muchas fuentes. Probablemente la mayor fuente de necesidades sean las oficinas gubernamentales, las cuales podrían estar deseando una actualización de sus procesos y equipos. Las necesidades pueden ser tan simples, como una silla de ruedas autopropulsada, o tan complejas como un sistema de defensa

contra misiles. Generalmente las necesidades son reconocidas por alguien distinto al ingeniero. Es posible que, en una gran corporación, la necesidad sea detectada por el departamento de mercadeo luego de una exhaustiva investigación del mercado. El asunto es que no siempre es el ingeniero quien origina el problema; sin embargo, es él quien tiene que proveer la solución. A continuación, se da un ejemplo de la declaración de una necesidad: diseño de un escritorio para un estudiante que sea funcional, confortable y económico.

El tratamiento de una necesidad establecida requiere de algunas especificaciones, las cuales podrían incluir requerimientos físicos y funcionales y restricciones económicas. Ya que no se puede empezar el proceso de diseño sin el establecimiento del problema, es importante que el problema sea adecuadamente definido.

6.3. Análisis del Problema

Muchos individuos que se apresuran en encontrar una solución a un problema descubren frecuentemente que han estado resolviendo el problema equivocado. Un paso fundamental para resolver cualquier problema es entender de qué se trata, lo cual se logra mediante un análisis minucioso del problema. En diseño, el análisis del problema tiene un triple propósito: 1) clarificar la declaración del problema; 2) definir las funciones que deben lograrse con el diseño; y 3) establecer o clarificar las limitaciones o especificaciones impuestas sobre el diseño, ya sea por el cliente o por otras fuentes. En la Figura 6.1 se ilustra el proceso de diseño.

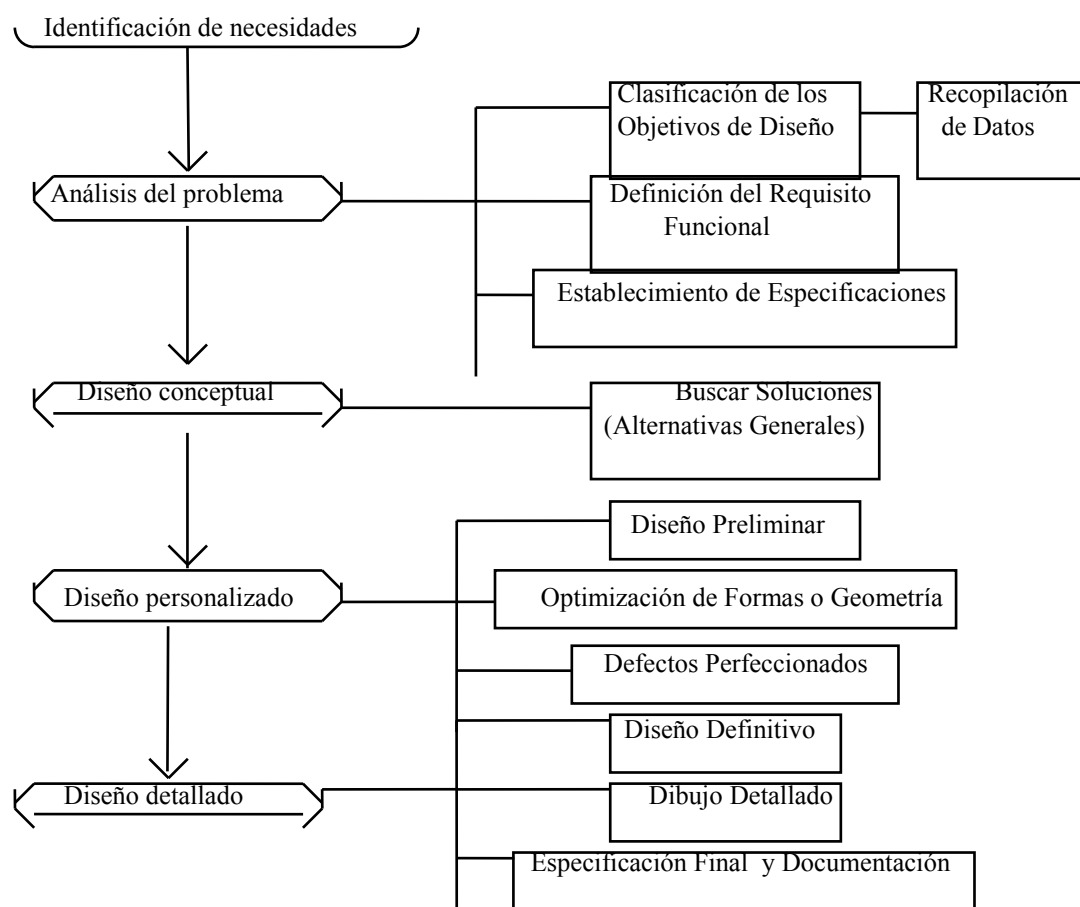


Figura 6.1. El Proceso de Diseño

En general, las necesidades se definen en términos imprecisos. Como ejemplo de la expresión de una necesidad consideremos la aseveración “tengo hambre”, la cual es una indicación de una necesidad, que le podemos asignar varios significados: tráigame algo de comida; vamos a comer; lléveme a comer, etc. Si la persona que hace la aseveración está en medio de una larga reunión de trabajo, la expresión podría indicar que la reunión debe concluir. Si la persona que hace la aseveración intenta que usted la invite a comer y usted lo que hace es ordenar una pizza, habrá usted cubierto la necesidad. Está claro que para que el diseñador satisfaga plenamente la necesidad, los objetivos del diseño deben estar bien clarificados. Esto se logra a través de la definición del problema.

La definición del problema debería incluir tanta información como sea posible en relación con la necesidad establecida; por lo menos debe contemplarse: formulación básica del problema, requerimientos preliminares, requerimientos funcionales, y especificaciones de desempeño. La formulación debería ser suficientemente general como para no inhibir la creatividad ya que el propósito de esta primera fase no se orienta al método de solución. Luego, debe tomarse tiempo suficiente para extraer de la formulación de la necesidad los objetivos del diseño.

6.3.1. Requerimientos de Diseño

Los requerimientos de diseño deben ser vistos como objetivos del diseño. La necesidad básica expresada en un problema debe ser traducida en un objetivo de diseño, el cual, una vez satisfecho, satisfacen también la necesidad formulada. Los objetivos deben ser muy claros para que no exista confusión o desacuerdo entre el diseñador y el cliente cuyas necesidades se van a satisfacer. Al inicio, el objetivo del diseño puede ser vago, pero al final en la definición del problema, esas ambigüedades deben desaparecer. La clarificación del objetivo de diseño implica interrogantes. Es recomendable utilizar el código del periodista; es decir, pregunta ¿Qué?, ¿Por qué? y ¿Cómo? Se puede iniciar preguntando ¿qué significa el planteamiento hecho? Si hay términos que no se entienden, se deben consultar los diccionarios técnicos pertinentes. Se puede proseguir con la pregunta ¿por qué se requieren los objetivos y cómo se pueden lograr? En el proceso de definición de los objetivos, es esencial interrogar al cliente sobre dichos objetivos, para evitar sorpresas futuras. El cliente y el diseñador deben estar de acuerdo en el objetivo general. En cualquier caso, el resultado del uso del código del periodista debería ser un listado de objetivos de diseño.

Para ayudar al diseñador a cumplir fielmente los objetivos de diseño se recomienda aplicar el denominado método del árbol de objetivos, el cual consta de tres pasos básicos: 1) Listar los objetivos resultantes de la aplicación del código del periodista; 2) Ordenar los objetivos en forma decreciente de su nivel de jerarquía; y 3) Dibujar un árbol de objetivos mostrando las interconexiones que existe entre ellos. Al final de esta sección se presenta un ejemplo ilustrativo de esta metodología.

6.3.2. Requerimientos Funcionales

Luego de clarificar los objetivos, el diseñador debe desarrollar los requerimientos funcionales del diseño, es decir, entender las funciones deseadas en los objetivos. Esta actividad se relaciona estrechamente con la definición de objetivos y no tiene que ver con el modo de llegar a la meta, sino con lo que debe llevarse a cabo para lograrla. Como ilustración consideremos el argumento “no puedo ver apropiadamente las palabras cuando estoy leyendo”. Podemos asumir ese argumento como una declaración de necesidad en la cual el objetivo sería “ver”. Un requerimiento funcional podría ser establecido como “mejorar la visión”. Hay por lo menos dos soluciones: hacerse una cirugía o comprarse anteojos. Si se establece que el requerimiento funcional es utilizar lentes, lo que realmente se está proveyendo es una solución en vez de la función deseada; y la segunda alternativa ha sido excluida. En este caso, se está pensando en “cómo mejorar la visión” en vez de “qué función es requerida por el objetivo”.

Una forma de asegurar si se ha establecido realmente el requerimiento funcional consiste en considerar la pregunta: “¿dada una entrada (input), qué acción (verbo) puede asociarse con dicha entrada para producir el resultado deseado?” (ver Figura 6.2). En el ejemplo anterior, la entrada sería “visión pobre” y la acción, “mejorar” y el resultado “visión mejorada” como un requerimiento funcional. El cómo lograr el requerimiento tiene que ser considerado a este nivel como una caja negra que contiene todas las funciones necesarias para convertir la entrada dada en la salida deseada.

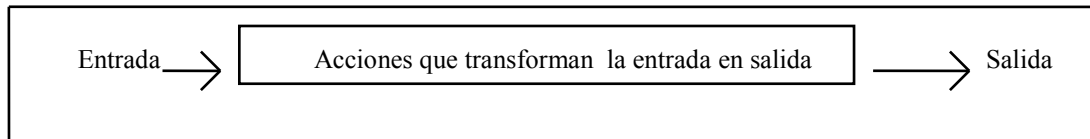


Figura 6.2 un modelo de requerimiento funcional

6.3.3. Especificaciones de Desempeño

Existen limitaciones básicas que deben ser consideradas durante el proceso de diseño, las cuales son esenciales para el éxito del diseño de un producto. Las limitaciones pueden referirse al costo, requerimientos de desempeño, u otros factores sobre los que el diseñador no tiene control, como regulaciones legales o códigos. Ese conjunto de limitaciones constituye las especificaciones de desempeño del producto, las cuales deben desarrollarse cuidadosamente porque sirven para varios propósitos: se utilizan durante el proceso de diseño para evaluar las soluciones propuestas, así como para definir la solución del problema. En consecuencia, una falla en las especificaciones puede ocasionar serios problemas al diseñador en aquellas instancias en las que no tiene holgura para obtener una solución satisfactoria.

En el desarrollo de las especificaciones de desempeño deben considerarse muchos factores: 1) naturaleza de las posibles soluciones, lo que puede incluir posibles alternativas y características del producto; 2) atributos o lista de condiciones deseadas del producto a ser satisfechas, establecidas de tal modo de no excluir solución alguna; 3) una declaración concreta de lo que el producto puede hacer.

Ejemplo 6.1.

Vamos a aplicar la definición del problema al caso del diseño del escritorio para un estudiante

Establecer los objetivos de diseño

Los objetivos del diseño se establecen a través de las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es el propósito del escritorio? ¿Estudiar, espacio para los trabajos en la computadora?
2. ¿Es para un salón de clases o una residencia?
3. ¿Es también para ser usado por un minusválido?
4. ¿Cuál es el significado de “conveniente”?
 - ¿Fácil de mover? y ¿cómo?
 - ¿Suficientemente espacioso para colocar un computador?
 - ¿Debería ser equipado con una luz de lectura?
5. ¿Qué significa “confortable”?
 - ¿Ajustable? y ¿por qué?
 - ¿Significa que debe estar equipado con AA?
6. ¿Qué significa económico?

Las respuestas a este conjunto de interrogantes pueden resultar en un árbol de objetivos similar al que se muestra en la Figura 6.3. Hay que hacer notar que el árbol de objetivos mostrado no único, varía con la visión y experiencia del diseñador. Finalmente, el problema puede ser establecido como sigue: Diseñar un escritorio de estudio con suficiente espacio para una computadora y sus periféricos; que sea portátil y pueda deslizarse fácilmente sobre el piso; que no sea inflamable; que tenga espacio para una lámpara de lectura; y que resulte económico (precio solidario.)

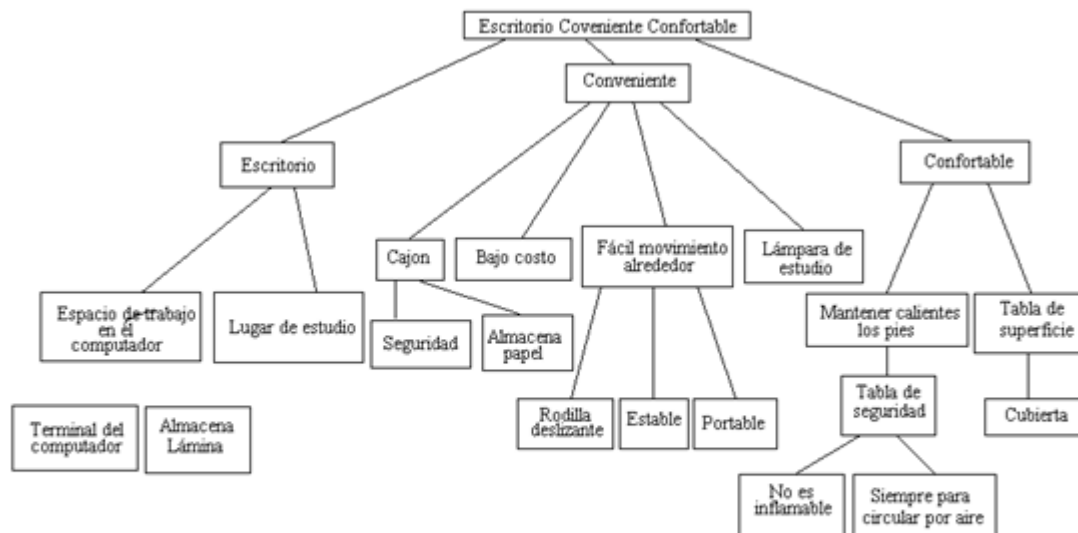


Figura 6.3 Árbol de Objetivos para el Diseño del Escritorio

Determinar los requerimientos funcionales

En esta fase hay que analizar los objetivos de diseño para entender qué tipo de requerimientos funcionales deben ser satisfechos. A continuación, se listan las funciones requeridas:

1. Provee un espacio para estudiar y ubicar una computadora y sus periféricos.
2. Soporta una lámpara de estudio.
3. Se desliza fácilmente sobre la superficie del piso
4. No es inflamable.
5. Posee un sistema de aire acondicionado
6. Proveer espacio para guardar material de escritorio.

El quinto requerimiento podría considerarse opcional, dependiendo del costo límite impuesto; en todo caso es una decisión a tomar conjuntamente con el cliente.

Establecer la especificación de desempeño

Para establecer las especificaciones de desempeño es necesario considerar, tanto los objetivos deseados mostrados en el árbol de objetivos, como los requerimientos funcionales. En la Tabla 6.1 se listan los factores a considerar en este proceso. Observe que la naturaleza del diseño dicta las especificaciones. Es muy útil especificar los requerimientos que deben ser estrictamente satisfechos y aquellos deseables.

Tabla 6.1.- Especificaciones de funcionamiento del escritorio de estudio

Ítem	Requerido	Deseable
1.- Requerimiento geométrico		
Área del escritorio: 0.75 m ²	x	
Altura: 760 mm	x	
2.- Peso: ≤ 120 Kg	x	
3.- Costo < 200 \$	x	
4.- Superficie superior		
Acabado liso	x	
5.- Material: madera		
6.- Características generales:		
Tres gabeteros		x
Cajones		x
Aire Acondicionado		x

6.4. Diseño Conceptual

La fase conceptual del diseño se enfoca principalmente a la generación de ideas y soluciones que permitan lograr los requisitos establecidos del problema. Es importante notar que un concepto puede ser una noción o un pensamiento. Por lo tanto, el diseño conceptual se refiere a la expresión de una idea o ideas, de manera verbal o gráfica que representen la totalidad del diseño. En general, hay dos actividades principales en esta fase: generación de ideas o soluciones, y su evaluación.

6.4.1. Generación de Soluciones

La generación de ideas o soluciones es una de las actividades más importantes del diseño, en la cual la creatividad juega un papel muy importante. Sin embargo, sucede con frecuencia que diseñadores inexpertos tienden al desarrollo de productos totalmente nuevos, cuando la solución más beneficiosa puede estar en la modificación de los existentes. En este proceso no deben dejarse de lado las soluciones obvias en bien de ideas nuevas esotéricas. Se recomienda generar tantas soluciones como sea posible, mejorando así las probabilidades de lograr la solución deseada. El diseñador debe evitarse la tentación de seleccionar la primera idea que se le ocurre; es mejor usar suficiente tiempo para determinar si los productos o ideas que se van encontrando ya existen en alguna otra parte; no deseamos reinventar la rueda. Es más, si ya existe un diseño similar, es más fácil estudiar los problemas del diseño existente que un diseño totalmente nuevo. Luego, la generación de ideas debe empezar después de una minuciosa investigación. Existen muchos procedimientos para mejorar el proceso de generación de soluciones. A continuación, vamos a describir dos: tormenta de ideas y análisis morfológico.

La tormenta de ideas es un método de generación de soluciones que involucra a un grupo de individuos. Se basa en la creencia general de que las soluciones generadas por un grupo son mejores que las generadas por un individuo. Aún más, se cree que compartir una idea estimula a la generación de otras. Sin embargo, si el método se aplica al azar, no conduce a solución alguna; pero puede ser efectivo si se lleva a cabo apropiadamente:

- Es necesario la presencia de un líder del grupo que sea táctico, diplomático, que sea un buen moderador, mantenga la focalización del problema y el registro de las reuniones e ideas generadas. El líder debe también estimular el pensamiento de otros miembros del grupo a través de preguntas provocativas.
- El grupo debería estar constituido por personas de diferente nivel de formación y experiencia.
- Cada miembro debería llevar a cabo investigaciones independientes sobre el problema antes de las reuniones del grupo.
- Es muy importante que las sesiones del grupo no duren más de media hora y que el ambiente sea relajante para que cada miembro emita libremente.
- Debido a la diversidad del grupo las sugerencias de los miembros no técnicos pueden estimular el pensamiento de los miembros más especializados.
- Hay que hacer énfasis en el hecho de que en fase tormenta de ideas, no se evalúan las ideas; la evaluación corresponde a una etapa posterior.
- Finalmente hay que enfatizar que el grupo requiere mantener disciplina para seguir concentrado en el problema y evitar que las reuniones sean inútiles y una pérdida innecesaria de tiempo.

El segundo método para generar alternativas de solución es el análisis morfológico. Este procedimiento ayuda a ampliar el dominio de la búsqueda de nuevas soluciones; hace énfasis en la determinación de la forma del producto a ser diseñado. Para ayudar a organizar el análisis utiliza planos y diagramas en los cuales se listan las diferentes alternativas de solución, cuya combinación pueden resultar en una la solución aceptable. De acuerdo con Cross (1998), el método de análisis morfológico se desarrolla en cuatro etapas:

- Listar las funciones y características esenciales del producto.
- Indicar la forma de cumplir con las funciones o características enumeradas.
- Con la información anterior se elabora un plano que contenga todas las posibles soluciones.
- Utilizando el plano se desarrolla el conjunto de todas las soluciones factibles.

Hay que hacer notar que las características y funciones esenciales del producto pueden presentarse en forma escrita o en diagramas gráficos. En la Tabla 6.2 se ilustra una carta morfológica para el diseño del escritorio del ejemplo anterior. En la Figura 6.4 se presenta como alternativa el plano morfológico en forma de diagramas. Utilizando estas herramientas el diseñador puede seleccionar la combinación necesaria para satisfacer el requerimiento de diseño.

Tabla 6.2. Mapa morfológico para el diseño del escritorio del ejemplo anterior

Función o Característica	Método A	Método B
Espacio de estudio	Espacio plano	Retrátil
Computador/Impresora	Superficie plana	Construir un espacio
Lámpara de estudio	Integrada	Soporte especial
Facilitar movimiento	Rodable	Cuatro patas básicas
Pantalla de luz	Incluida	Pantalla de lámpara
Temperatura	AA	Piso, alfombra

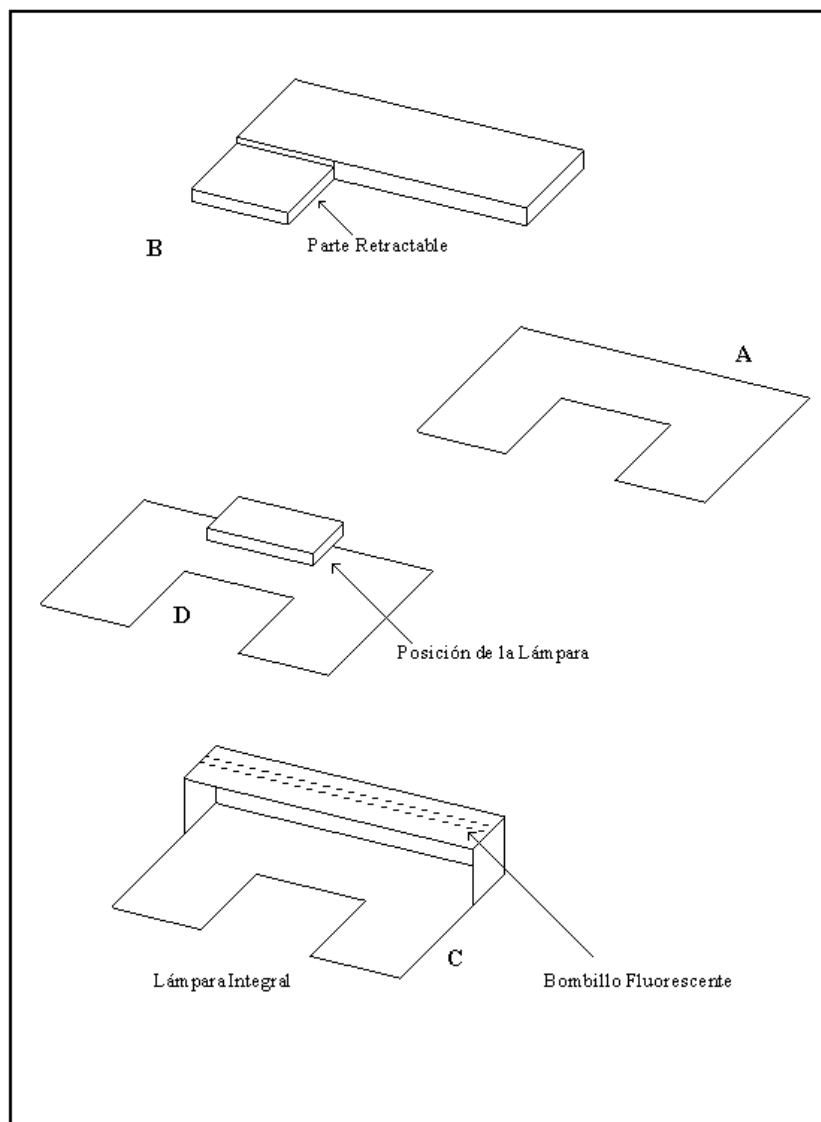


Figura 6.4 Carta Morfológica para la Cima del Escritorio

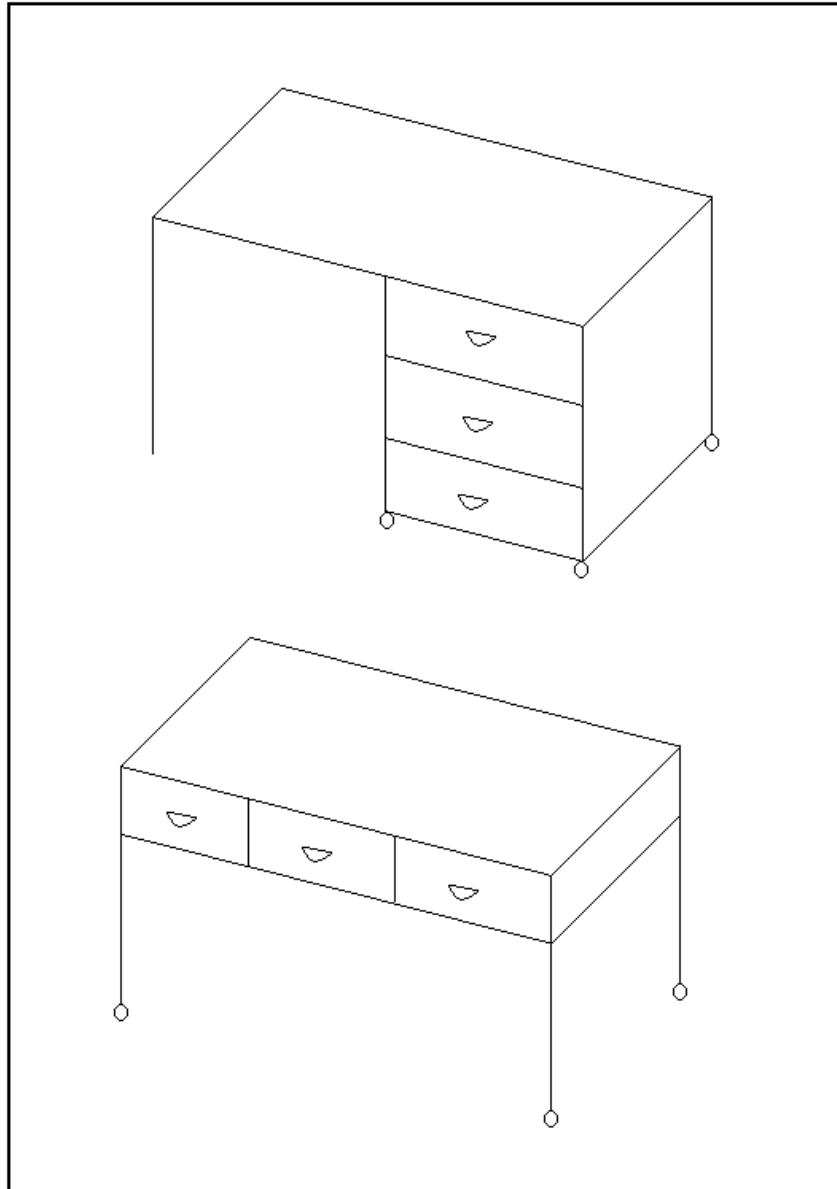


Figura 6.5. Mapa morfológico de la parte inferior del escritorio

Diseño Preliminar o Personalizado

Luego de concluir la fase de diseño conceptual, el diseñador debe elaborar el diseño preliminar, es decir, personificar el diseño. Hay quienes consideran al diseño preliminar como un subconjunto del diseño conceptual. Prescindiendo de los puntos de vista, la personificación del diseño es una etapa esencial del proceso mediante la cual se determinan la forma y ubicación óptimas de los componentes del producto. Aquí se evalúan las alternativas generadas en el diseño conceptual. Igualmente se puede llevar a cabo una mejora del diseño conceptual seleccionado.

Para evaluar los conceptos, es esencial realizar diagramas de las soluciones propuestas. El primer paso consiste en enumerar los objetivos de diseño extraídos del árbol de objetivos. Puede ser útil

sopesar los objetivos, aunque este procedimiento tiende a ser subjetivo debido a que es difícil evaluar la relativa importancia de cada objetivo dentro del contexto general de diseño del producto. Se deben descartar las ideas que no conducen a los objetivos. Ocasionalmente se encuentran atributos muy deseables pero que no cumplen con los requerimientos del diseño. Si ese fuera el caso, los objetivos deben modificarse o la idea debe combinarse con otra solución para hacerla aceptable. Algunos diseñadores usan una matriz para ayudar a organizar la evaluación del proceso. La idea básica consiste en asignar valores numéricos a los objetivos y así, cada alternativa generada tendrá un número que muestra el cumplimiento del objetivo. Se comparan los números y se selecciona el concepto que posee el mayor número de puntos. Sin importar el modo de cómo se sigue este proceso, lo importante es que la evaluación se realice de una forma tal que permita evaluar a todas las alternativas de diseño con los mismos criterios. Es posible considerar criterios adicionales, tal como costos de manufactura, facilidad de ensamblaje de las partes, apariencia, o tiempo de entrega.

Durante la evaluación, puede ser necesario llevar a cabo un análisis de las fuerzas que actúan sobre el producto. Se debe considerar la fortaleza de los componentes del producto. Existen paquetes informáticos para el análisis de fortalezas, los cuales deberían usarse cuando sea aplicable

Otra actividad importante durante el diseño preliminar es la fase de mejoramiento; una vez seleccionada una idea, debe evaluarse los medios para mejorar el diseño. El mejoramiento es

necesario para reducir los costos de manufactura y por lo tanto el costo de adquisición del producto. El mejoramiento del producto se puede efectuar a través de un proceso de optimización. Se conciben las funciones esenciales del producto y se trata de mejorarlas de un modo más económico. Podría reducirse la geometría hasta un valor mínimo aceptable que aún satisfaga la función deseada. También podría pensarse en una reducción del peso, minimización del desgaste, o un incremento en la confiabilidad del producto. En todo caso, las mejoras deben introducirse antes de la fase de diseño detallado.

6.5. Diseño Detallado

La fase de diseño detallado concierne principalmente al diseño de los componentes que conforman el sistema total a ser diseñado. En esta fase se presenta la disposición final del sistema con todos sus subsistemas. Se dan las dimensiones finales de varios componentes y las especificaciones de los materiales para la manufactura o construcción.

En resumen, durante esta fase se elaboran todos los planos y los documentos de producción. También se lleva a cabo una revisión final del diseño con la finalidad de detectar cualquier error que podría ser contraproducente. El diseñador debe asegurar que se cumplen todos los requerimientos funcionales y que no se haya violado ninguna de las restricciones. También se comprueban otras consideraciones, como la estética.

Hay que tener en cuenta que en esta etapa podría ser necesario establecer especificaciones detalladas de todos los componentes para evitar que el diseñador se aparte del objetivo general. Hay que tener mucho cuidado de que todos los componentes encajen unos en los otros de tal modo que se mantenga la funcionalidad del producto. De hecho, en esta fase podría ser necesario combinar partes para reducir los costos de ensamblaje. Igualmente podría ser necesario combinar funciones. En esta fase de diseño final se debe suministrar toda la información requerida para producir el producto. El diseño debería ser examinado y reexaminado para producir la información completa, tal como tipo de acabado, tolerancia, y toda la información requerida para manufacturar el producto.

Referencias

Cross, N. (1989): "Engineering design methods" John Wiley, New York.

Pugh, S (1990): "Integrated methods for successful product" Addison-Wesley, Reading Massachusetts.

Walton, J. (1990): "Engineering design: From art to practice. West Publishing, St. Paul, MN.

7. SISTEMAS MECÁNICOS

7.1. Introducción

En el capítulo anterior, se observó que la evaluación del diseño involucra entre muchas otras actividades, el análisis de las fuerzas que actúan sobre los componentes de un sistema o producto. El sistema o producto puede variar desde un simple dispositivo o mecanismo hasta una estructura muy compleja, un cohete y naves espaciales. Es importante entender el concepto de sistema mecánico en el sentido que se utiliza en este capítulo. Un sistema mecánico es un cuerpo o grupo de cuerpos que pueden aislarse de otros cuerpos que componen el sistema. Puede ser un cuerpo único o un agregado de cuerpos conectados entre sí.

En este capítulo se presenta una descripción del modo cómo se lleva a cabo el análisis de fuerzas. Además, se discuten las razones para determinar las fuerzas que actúan sobre un componente o sobre un sistema introduciendo el concepto de tensión. La tensión se relaciona con el objetivo final del análisis de fuerzas, el cual consiste en seleccionar apropiadamente los materiales y las dimensiones para el sistema o producto.

Un diseñador puede lograr el objetivo indicado sólo si entiende la rama de la ingeniería llamada mecánica. La mecánica trata del estudio del estado de reposo o movimiento de los cuerpos bajo la acción de fuerzas. El campo de la mecánica es muy amplio. En esta introducción solamente se tratará lo relacionado con la mecánica de los denominados cuerpos rígidos, porque es la base para el análisis de muchos tipos de mecanismos estructurales y mecánicos que se encuentran en ingeniería.

Un cuerpo rígido es aquel que no se deforma bajo la acción de un sistema de fuerzas. En realidad, los cuerpos sólidos no son rígidos, pero como la deformación experimentada por ellos es tan pequeña, se consideran como rígidos bajo ciertas condiciones. Las áreas de interés en la mecánica de cuerpos rígidos incluyen estática, dinámica y mecánica de los materiales. La estática trata principalmente del cálculo de las fuerzas externas que actúan sobre los cuerpos en reposo y movimiento con una velocidad constante. Dinámica trata del movimiento acelerado de cuerpos debido a fuerzas no balanceadas. La mecánica de materiales trabaja con las tensiones internas y torsiones de cuerpos como resultado de fuerzas externas. Este capítulo introduce al estudiante en las áreas de estática y mecánica de materiales.

7.2. Vectores y Escalares

Las magnitudes físicas que se encuentran en la mecánica generalmente se expresan en forma matemática utilizando escalares y vectores. Un escalar es una cantidad física que sólo tiene magnitud más no dirección; incluye cantidades como longitudes, volúmenes, masa, velocidad y tiempo. Un vector, por otro lado, es una cantidad física que tiene que ser expresada mediante su magnitud y dirección. Entre los ejemplos de vectores se incluye fuerzas, momentos, velocidad, desplazamiento y aceleración. En lo que sigue de este capítulo un vector será representado por un tipo de letra en negrita, como **A**.

7.3. Propiedades y Operaciones con Vectores

Dos vectores A y B son iguales si las magnitudes de A y B son iguales (es decir, $A = B$) y ambos actúan a lo largo de la misma dirección paralela. Los tres vectores mostrados en la Figura 7.1 son iguales, aun cuando tienen distintos puntos de partida.

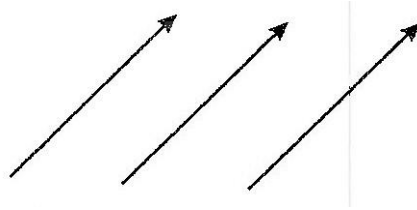


Figura 7.1. Ilustración de Vectores

Los vectores obedecen a la ley del paralelogramo de la adición, la cual esta establece que dos vectores A1 y A2 pueden ser remplazados por su equivalente A, el cual es la diagonal del paralelogramo formado por A1 y A2 como los dos lados. (Ver Figura 7.2). La resultante A es independiente del orden de la suma, lo que se conoce como la ley conmutativa de la adición, es decir:

$$A_1 + A_2 = A_2 + A_1 \quad (7.1)$$

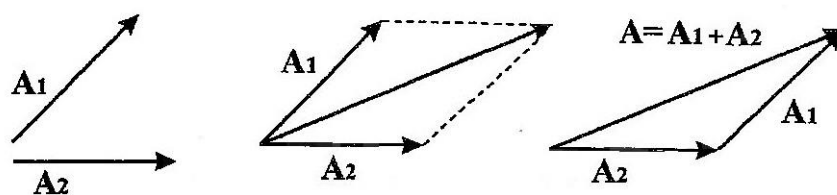


Figura 7.2. Suma de dos Vectores

La ley asociativa de la adición (Ver Figura 7.3) también se aplica a los vectores. Esto significa que si se suman tres o más vectores el resultado es independiente de la forma cómo se agrupan los vectores individualmente. Esto es:

$$(A + B) + C = A + (B + C) \quad (7.2)$$

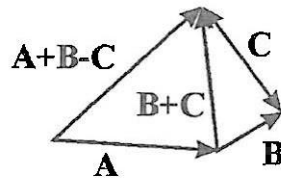


Figura 7.3. Ley Asociativa de los Vectores

El negativo de un vector es el vector que cuando es sumado al vector original el resultado es cero. El negativo de A_1 es el vector $-A_1$, donde $A_1 + (-A_1)$ es igual a cero. La resta de vectores es entonces la suma del negativo de un vector; por lo tanto, la operación $A_2 - A_1$ será (Ver Figura 7.4):

$$A_2 - A_1 = A_2 + (-A_1) \quad (7.3)$$

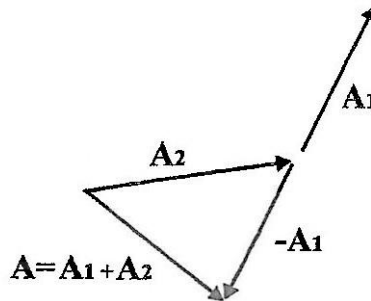


Figura 7.4. Resta de dos Vectores

Si un vector A se multiplica por un escalar k , el producto kA es un vector que tiene la magnitud kA y la misma dirección de A .

Ejemplo 7.1

Un ciclista viaja 10 m a lo largo de la ruta 1 (ver Figura 7.5) y después viaja 15m a lo largo de la ruta 2. ¿Cuál es el desplazamiento total del ciclista?

Solución

Hagamos que el vector A representa el primer desplazamiento y el B , el segundo. Luego el desplazamiento total C viene a ser :

$$C = A + B$$

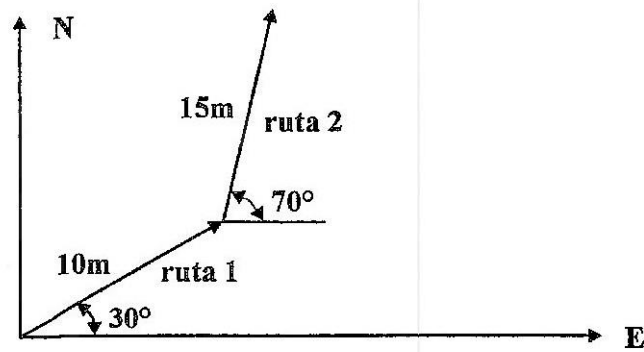


Figura 7.5. Ruta del Ciclista en el ejemplo 7.1

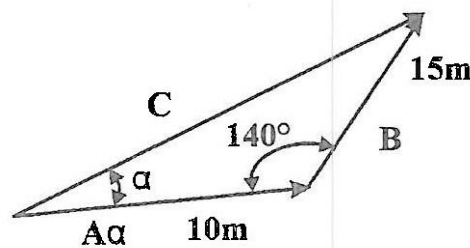


Figura 7.6. Representación de los Desplazamientos del ejemplo 7.1

La magnitud y dirección de C pueden obtenerse gráficamente, pero el resultado es más exacto usando la ley del coseno. De la Figura 7.6:

$$C^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos(140^\circ)$$

$$C^2 = 100 + 225 - 2 \times 10 \times 15 \times \cos 140^\circ$$

$$C = 23.55\text{m.}$$

La dirección puede ser obtenida usando la ley del seno:

$$(\text{Sen } \alpha) / 15 = (\text{Sen } 140) / 23.55$$

$$\text{Luego, } \alpha = \sin^{-1} (0.4094) = 24.17^\circ.$$

El desplazamiento tiene una magnitud de 23.55 m y un ángulo de inclinación de 54.17° con respecto a la horizontal en la dirección contraria a las agujas del reloj.

7.4. Componentes de Vectores

La adición de vectores ya sea por el método gráfico o el uso de la ley del seno y el coseno, como se ilustró mediante el ejemplo 7.1, no es siempre eficiente, especialmente cuando se involucran tres o más vectores. Un método más exacto utiliza un enfoque involucra la adición de los componentes de vectores. Para entender mejor este concepto, consideremos el vector A mostrado en la Figura 7.7. La proyección de A en los ejes de coordenadas x e y, denotada como por A_x y A_y se conoce como los componentes del vector A porque la adición de dichos componentes arroja como resultado el vector A original; es decir:

$$\mathbf{A} = A_x + A_y \quad (7.4)$$

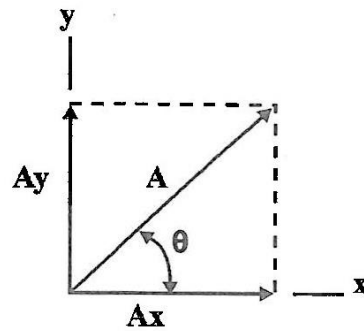


Figura 7.7. Representación de las componentes del Vector A

Estas componentes se conocen también como las componentes rectangulares y por la definición seno y coseno se relacionan con A como sigue:

$$A_x = A \cos \theta$$

$$A_y = A \sin \theta \quad (7.5)$$

De la Figura 7.7 se puede mostrar que

$$A^2 = A_x^2 + A_y^2 \quad (7.6)$$

y

$$\theta = \tan^{-1} (A_y/A_x) \quad (7.7)$$

Para poder expresar cualquier vector en términos de sus componentes referidos al sistema de coordenadas rectangulares estándares, se utiliza el concepto de vector unitario. Un vector unitario es una cantidad adimensional de magnitud igual a la unidad (1). Para darle al vector unitario direcciones a lo largo de los ejes x, y, z, se usan los símbolos i, j, k, respectivamente. Estas cantidades se conocen como vectores unitarios, debido a que su magnitud es igual a la unidad. Usando esta notación, la Ecuación (7.4) se escribe simplemente como:

$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} \quad (7.8)$$

La Ecuación (7.8) puede extenderse al caso tridimensional (ver Figura 7.8), como sigue:

$$\mathbf{A} = A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k} \quad (7.9)$$

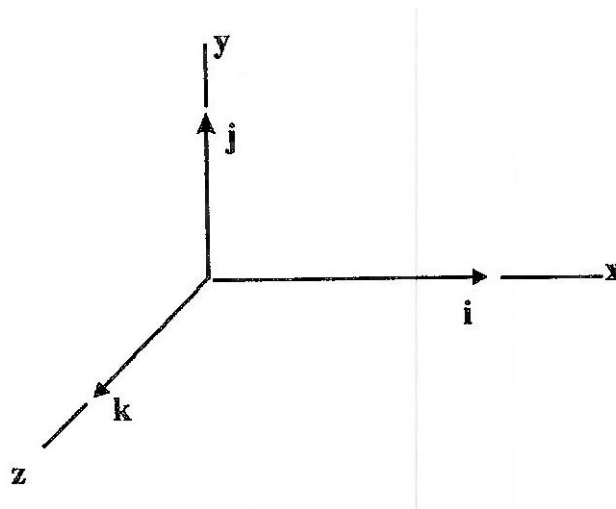


Figura 7.8. Representación de los Vectores Unitarios

Observe que el signo de un vector unitario depende de la dirección que muestre el vector. Si la dirección va en negativa del sistema de coordenadas, el vector unitario es negativo; de lo contrario es un vector unitario positivo. Usando las ecuaciones (7.8) o (7.9), se puede encontrar fácilmente la suma de vectores.

Consideremos dos vectores A y B sobre el plano xy. El vector A está dado por la Ecuación (7.8) y el vector B está dado por

$$B = B_x i + B_y j \quad (7.10)$$

La suma de los dos vectores $R = A + B$ se obtiene sumando las componentes en x e y:

$$R = (A_x + B_x)i + (A_y + B_y)j \quad (7.11)$$

En consecuencia, los componentes del vector R pueden expresarse como:

$$R_x = A_x + B_x$$

$$R_y = A_y + B_y \quad (7.12)$$

Donde la magnitud de R es (ver Figura 7.9):

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2 \quad (7.13)$$

y el ángulo θ se calcula como sigue:

$$\theta = \tan^{-1}(R_x / R_y) \quad (7.14)$$

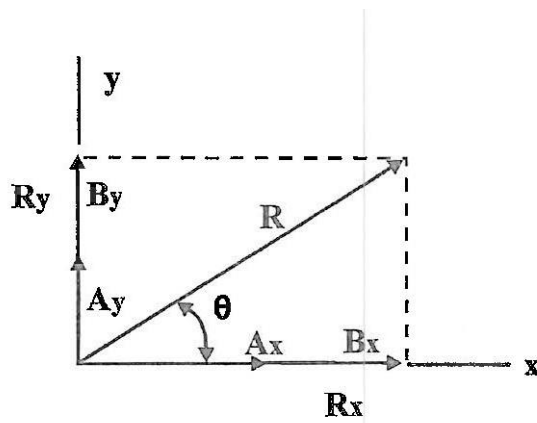


Figura 7.9. Suma de dos vectores

Ejemplo 7.2:

Repetir el Ejemplo 7.1 utilizando el método de los componentes del vector

Solución:

En referencia a la Figura 7.5 y las Ecuaciones (7.5) y (7.8):

$$A = (10 \cos 30) i + (10 \sin 30) j$$

$$B = (15 \cos 70) i + (15 \sin 70) j$$

Mediante la Ecuación (7.12):

$$C_x = 8.660 + 5.130 = 13.790$$

$$C_y = 5.000 + 14.095 = 19.095$$

$$C = (13.790^2 + 19.095^2)^{1/2} = 23.55$$

Y de la Ecuación (7.14):

$$\theta = \tan^{-1}(19.095 / 13.790) = 54.160$$

Obsérvese que se han obtenido los mismos resultados. Sin embargo, el ángulo se ha obtenido de un modo más directo.

7.5. Fuerzas

El concepto de fuerzas es importante cuando se trata de los sistemas mecánicos debido a que ellos están sujetos a la acción de tracción y compresión. A estas acciones se denomina fuerza. Alternativamente, una fuerza es la acción de un cuerpo sobre otro. Consideremos el caso cuando alguien le empuja por la espalda; como consecuencia, usted tiende a moverse hacia delante y no hacia los lados. Igualmente, la magnitud de su movimiento dependerá de la intensidad del empujón. De hecho, su movimiento también depende del punto sobre el cual la fuerza o presión del empujón es aplicada. Si la presión se aplica en la parte baja de la espalda la tendencia a moverse será diferente a si la presión es ejercida en la cabeza. Esto muestra que una fuerza puede ser totalmente especificada por su magnitud, dirección y su punto de aplicación. Por lo tanto, una fuerza es un vector y puede ser representado gráficamente como se indica en la Figura 6.10. Observe que la fuerza F tiene una magnitud F y una

dirección. En la Figura 6.10 también se muestra la línea de acción a lo largo de la cual la fuerza puede ser movida sin alterar su efecto sobre el cuerpo. Ya que es un vector, las operaciones vectoriales discutidas en la sección anterior pueden aplicarse a cualquier fuerza.

Las fuerzas que se encuentran en un sistema mecánico pueden ser de contacto o de cuerpo; las primeras resultan del contacto físico real entre dos cuerpos como la fuerza de fricción; las segundas son el resultado de acciones remotas, como la fuerza gravitacional. Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo pueden ser de dos tipos: concentradas o distribuidas (ver Figura 7.11). Las unidades de fuerza son el Newton(N) y la Libra (Lb) en el sistema internacional y en el sistema inglés, respectivamente.

Línea de Acción

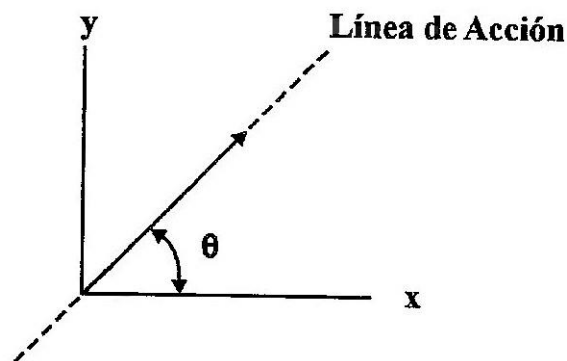


Figura 7.10. Representación gráfica de una Fuerza.



Figura 7.11. Tipos de fuerzas que actúan sobre un Cuerpo: (a.) Concentrada y
(b) Distribuidas.

Para aplicar apropiadamente las operaciones de vectores a la fuerza es de gran ayuda clasificando las fuerzas en categorías: de acuerdo con la línea de acción, punto de aplicación, y plano de acción. Las fuerzas que actúan sobre la misma línea de acción se denominan fuerzas colineales (Figura 7.12 a). Las fuerzas que pasan a través de un mismo punto en el espacio se llaman fuerzas concurrentes (Figura 7.12 b). Si las fuerzas están en el mismo plano se denominan fuerzas coplanares (Figura 7.12 c).

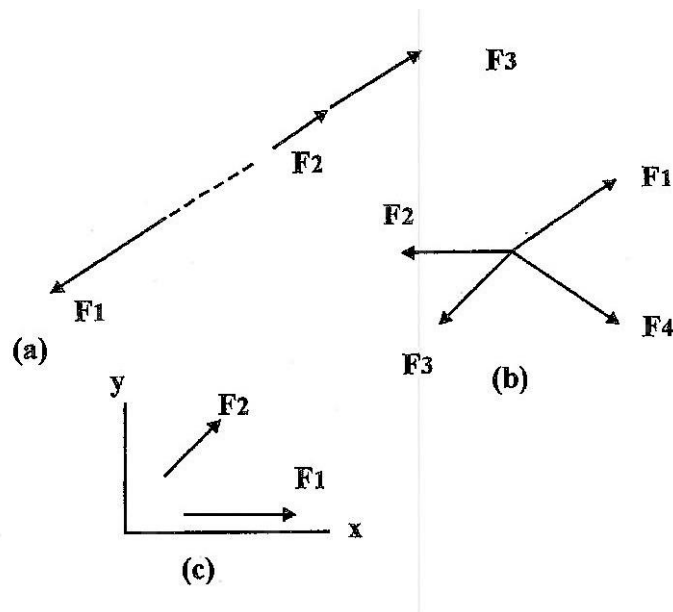


Figura 7.12. Tipos de Sistemas de Fuerzas. (a) Colineales; (b) Concurrentes; (c) Coplanares.

7.6. Fuerzas Resultantes

La suma neta de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es conocida como fuerza resultante. Para obtener la resultante de las fuerzas, se descompone cada fuerza en sus componentes, como se mostró en la sección anterior utilizando la Ecuación (7.8). Expresar una fuerza en términos de sus componentes significa la resolución de fuerzas. La resultante real se obtiene luego mediante la Ecuación (7.11).

Ejemplo 7.3:

Tres puertas se aplican a un cuerpo con una masa de 20.9 kg. como se muestra en la Figura 7.13 a. ¿Cuál es la fuerza resultante sobre dicho cuerpo?

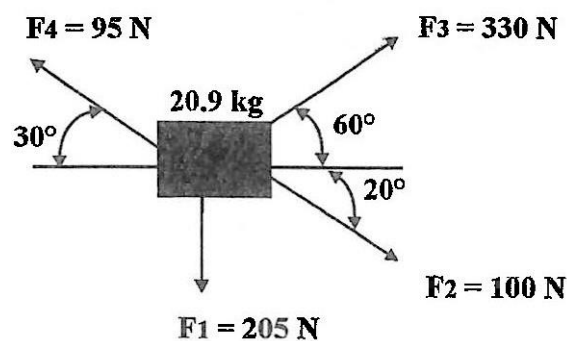


Figura 7.13 a. Fuerzas que actúan sobre el cuerpo del ejemplo 7.3.

Solución:

El problema se resuelve utilizando notación escalar y vectorial. La masa se convierte a peso (o fuerza) usando la ley de Newton:

$$F_1 = m a = (20.9 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2) = 205 \text{ N}$$

Notación escalar

Cada fuerza se descompone en sus componentes rectangulares utilizando la Ecuación (7.5) (ver Figura 7.13 b) y la resultante se determina mediante la Ecuación (7.12). Este proceso se lleva a cabo mejor en forma tabular (ver Tabla 7.1). Obsérvese que las fuerzas en los ejes x, y positivos poseen el signo positivo.

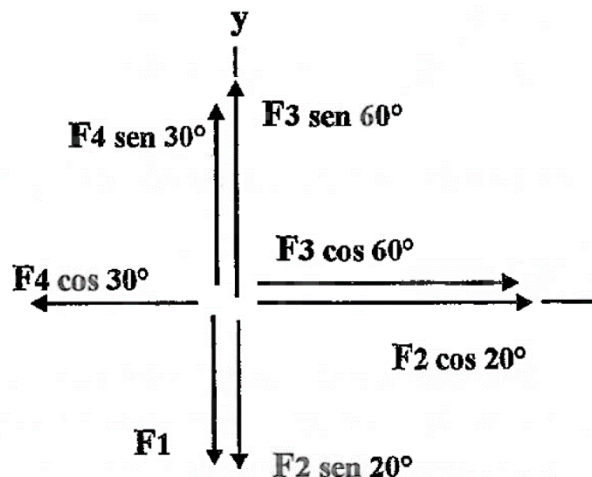


Figura 7.13 b. Resolución de fuerzas del ejemplo 7.3

Tabla 7.1. Solución escalar del ejemplo 7.3

Fuerza (N)	Componente – x (F_x)	Componente – y (F_y)
205	0	205
100	$100 \cos 20$	$- 100 \sin 20$
330	$330 \cos 60$	$330 \sin 60$
95	$- 95 \cos 30$	$95 \sin 30$

$$R_x = \Sigma F_x = 0 + 100 \cos 200 + 330 \cos 600 - 95 \cos 300$$

$$= 0 + 100(0.93969) + 330(0.5) - 95(0.8660)$$

$$= 176.70 \text{ N}$$

$$R_y = \Sigma F_y = -205 - 100 \sin 200 + 330 \sin 600 + 95 \sin 300$$

$$= -205 - 100(0.3420) + 330(0.8660) + 95(0.5)$$

$$= 94.08 \text{ N}$$

$$R = (176.702 + 94.082)^{1/2} = 200.2 \text{ N}$$

Notación vectorial

Cada fuerza se expresa en términos de sus componentes (ver Figura 7.13 b)

$$F_1 = -205 \text{ j}$$

$$F_2 = 93.969 \text{ i} - 34.2 \text{ j}$$

$$F_3 = 165 \text{ i} + 285.780 \text{ j}$$

$$F_4 = -82.27 \text{ i} + 47.50 \text{ j}$$

$$R = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 176.70 \text{ i} + 94.08 \text{ j}$$

La resultante y los ángulos se calculan como en el ejemplo anterior.

7.6.1. Pares y Momentos

Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, éste tiene la tendencia a desplazarse en la dirección de la línea de acción de la fuerza. Esto se conoce como traslación. Pero la fuerza puede también ocasionar una rotación del cuerpo. La medida de la tendencia de la fuerza a causar rotación en el cuerpo alrededor de un punto o de un eje se llama momento. Generalmente si la rotación se efectúa alrededor de un eje se utiliza el término torque. Torque es un momento que tiende a torcer un cuerpo alrededor de su eje longitudinal. En la Figura 6.14 se ilustrados estos dos conceptos. La fuerza F_1 produce una rotación alrededor del eje y , y su momento se denota como $(M_o)_y$. Con referencia al elemento enroscado este momento es un torque. Por otro lado, la fuerza F_2 produce un momento $(M_o)_z$ y en referencia al mango de la llave, es un momento que tiende a rotar el mango en un eje normal al eje longitudinal (eje z).

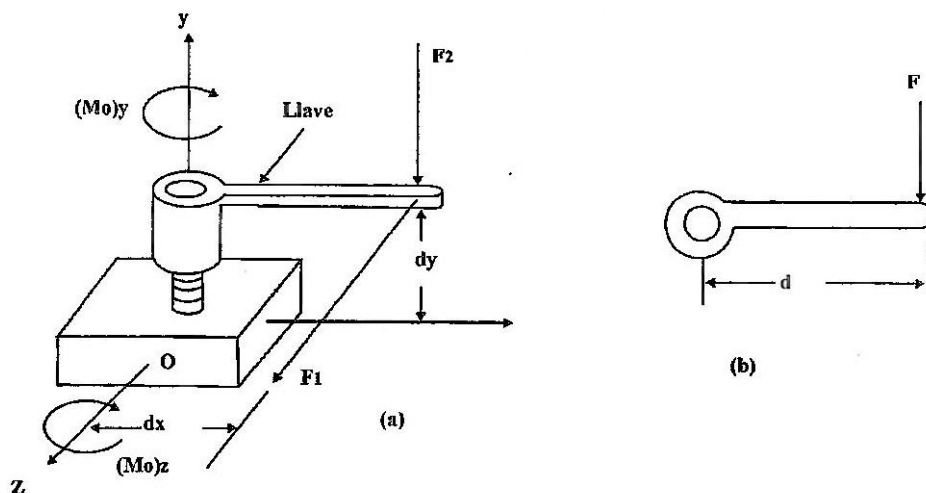


Figura 7.14.(a) Ilustración del concepto de momento y torque; (b) Magnitud de un momento.

La magnitud de un momento, M_o , se determina utilizando la siguiente relación:

$$M_o = F d \quad (7.15)$$

dónde d , conocido como brazo del momento, es la distancia perpendicular desde el eje al punto “O” sobre la línea de acción de la fuerza. El momento se considera positivo si, de acuerdo con la regla de la mano derecha, produce una rotación en sentido contrario a las agujas del reloj (ver Figura 7.15 a); el momento es negativo si la rotación es en el mismo sentido de las agujas del reloj. Las unidades del momento son N.m en el sistema internacional de unidades (S.I.) y Lb.f.t en las unidades inglesas.

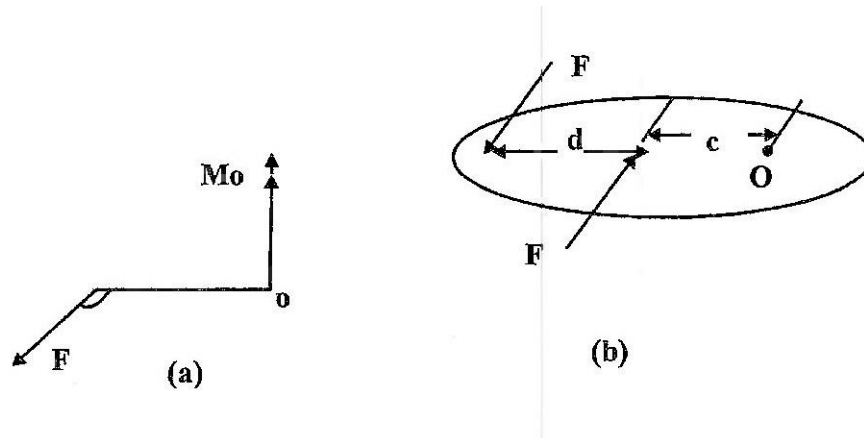


Figura 7.15. (a) Dirección del Momento. (b) Definición de un Par.

El término par se refiere al momento producido por dos fuerzas paralelas de igual magnitud, pero de dirección opuesta (ver figura 7.15 b). El efecto neto de un par es producir rotación en una dirección determinada debido a que la fuerza resultante es igual a cero. Un par no puede producir translación. La magnitud de un par está dada por la siguiente expresión:

$$M = F d \quad (7.16)$$

dónde d es la distancia perpendicular entre las dos fuerzas. La ecuación anterior se puede verificar haciendo referencia a la Figura (7.15 b) y tomando el momento respecto al punto O. Aplicando la regla de la mano derecha se demuestra que un par es siempre perpendicular al plano que contiene las fuerzas que constituyen el par.

Ejemplo 7.4:

Determinar el momento alrededor del punto “A” de la viga cargada como se muestra en la Figura 7.16.

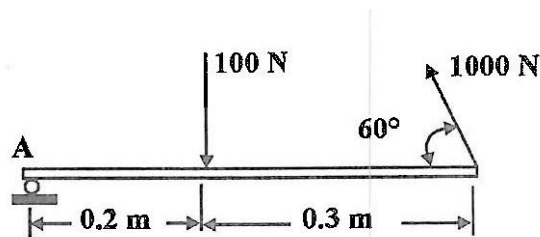


Figura 7.16. Diagrama de la viga cargada del ejemplo 7.4.

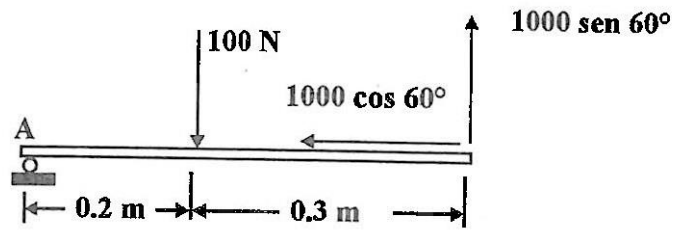


Figura 7.17. Sistema de fuerzas y sus componentes.

Solución:

La fuerza de magnitud 1000 N se reemplaza por sus componentes rectangulares como se muestra en la Figura 7.17. Usando la convención de los signos se establece que

$$M_A = -(100)(0.2) + (1000)(\sin(60^\circ))(0.5)$$

$$M_A = +423.0 \text{ N.m}$$

Observe que el componente horizontal no tiene momento ya que la línea de acción pasa por A y por consiguiente el brazo del momento es cero.

7.7. Diagramas de Cuerpo Libre

Cuando se aplica una fuerza a un cuerpo, éste reacciona a la fuerza aplicada. Para determinar apropiadamente la fuerza de reacción es importante aislar el cuerpo de los demás cuerpos e indicar en un diagrama de cuerpo libre (DCL) todas las fuerzas, tanto las actuantes, como las de reacción sobre el cuerpo aislado. Debe estar claro desde el inicio que cuando se analiza un sistema mecánico, es necesario construir un diagrama de cuerpo libre.

La construcción de un diagrama de cuerpo libre requiere que se entiendan los tipos de movimiento (rotación o translación) que se desean prevenir mediante un soporte. Por ejemplo, si alguien se monta en unos patines, él espera estar libre de deslizarse o moverse sobre la superficie en la que está patinando. Como resultado, no debería ofrecerse ninguna reacción o resistencia en ninguna dirección paralela al plano de patinaje. Sin embargo, si el patinador intenta elevarse del plano de patinaje, encontrará una resistencia debido a que se eleva en contra de la fuerza de gravedad y porque también está tratando de separar el patín de la superficie de contacto. Por eso, hay una reacción en la dirección vertical. En la Figura 7.18 se muestra una representación de la patineta conjuntamente con el diagrama de cuerpo libre.

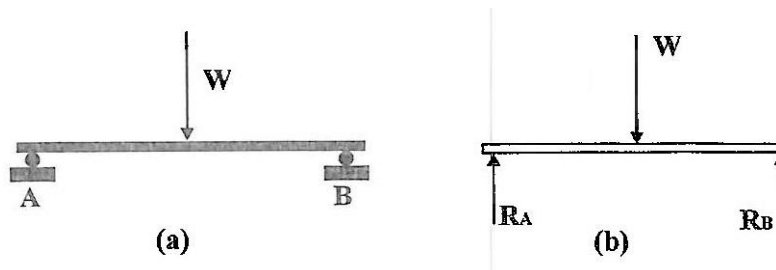


Figura 7.18. (a) Representación de una persona sobre una patineta; (b) Diagrama de cuerpo libre de la persona y la patineta

Ejemplo 7.5:

Construir el diagrama de cuerpo libre para la estructura mostrada en la figura 7.19a

Solución:

Denotando la tensión en el cable como “T”, el diagrama de cuerpo libre es como el que se muestra en la Figura 7.18 b. Note que las direcciones de las reacciones pueden ser arbitraria hasta que el problema se resuelva para determinar si la dirección seleccionada es correcta o no.

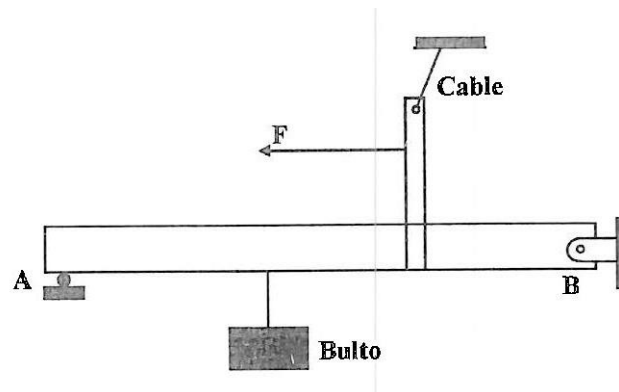


Figura 7.19 a. Estructura para el ejemplo 7.7

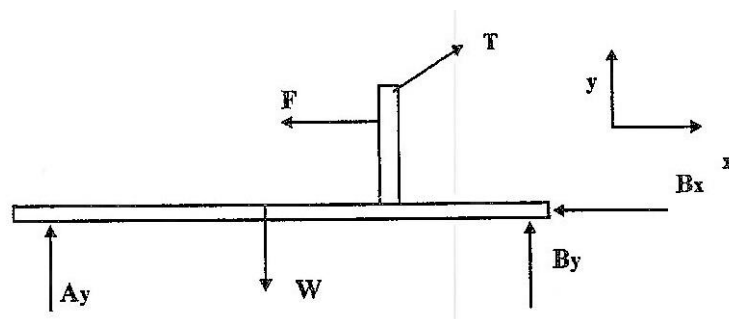


Figura 7.19 b. Diagrama de cuerpo libre para la estructura dada en la Figura 7.19 a.

7.8. Equilibrio

Equilibrio se refiere a la condición en la cual un cuerpo está en reposo o en movimiento con una velocidad constante. De acuerdo con la primera ley de Newton del movimiento un cuerpo esté en reposo, cuando las resultante de las fuerzas a las que está expuesto es igual a cero; es decir, debido a que un cuerpo puede estar sujeto a una traslación (por una fuerza) o rotación (por un momento), la sumatoria de ambas fuerzas y de momento deben ser cero. Estas condiciones se expresan como sigue:

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = \sum M_o = 0 \quad (7.17)$$

La Ecuación (7.17) es una condición necesaria y suficiente para el equilibrio porque también satisfacen la segunda ley de Newton del movimiento. Esta segunda ley de Newton establece que la

aceleración de un objeto es directamente proporcional a resultante de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo. Por lo tanto, si la fuerza resultante sobre un cuerpo es cero, la aceleración también lo es, lo cual implica que el cuerpo se está moviendo a una velocidad constante.

Para obtener resultados consistentes en la aplicación de la ecuación anterior se debe establecer una convención de signos. La convención de signo que se adopta aquí es que, F_x es positiva si actúa hacia la derecha (?); F_y es positiva si actúa hacia arriba (?); y el momento, M_o es positivo si la rotación es en la dirección contraria a las agujas del reloj. La Ecuación (7.17) es la base para el análisis de los cuerpos en reposo.

Ejemplo 7.6:

Una polea eléctrica de sección transversal uniforme se sostiene mediante un cable en la posición que se muestra en la Figura 7.20. Si la polea tiene una masa de 284.7 kg y en la superficie horizontal se ha labrado una hendidura para evitar el deslizamiento de la polea, se pide determinar la tensión sobre el cable. ¿Cuál será la reacción en el punto A?

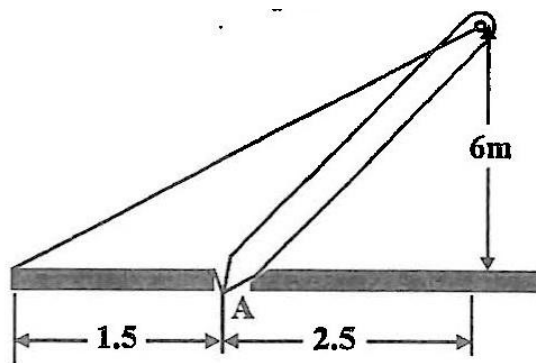


Figura 7.20. Diagrama de la polea del problema 7.6

Solución:

El primer paso consiste en construir un diagrama de cuerpo libre como el que se muestra en la Figura 7.21. La masa se debe convertir a fuerza utilizando la ley de Newton:

$$W = m g = (284.7 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2) = 2793 \text{ N.}$$

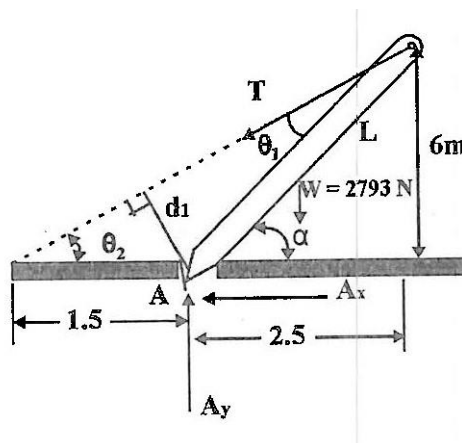


Figura 7.21. Diagrama de cuerpo libre para el problema 7.6

Este peso se ubica en el centro de la polea. Los valores geométricos que se muestran en el diagrama de cuerpo libre se calculan como sigue:

$$\alpha = \tan^{-1}(6/2.5) = 67.380$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}(6/4) = 56.310$$

$$\theta_1 = \alpha - \theta_2 = 11.070$$

$$L = (6^2 + 2.5^2)^{1/2} = 6.5 \text{ m}$$

$$d_1 = L \sin \theta_1 = 6.5 \sin 11.070 = 1.25 \text{ m}$$

Luego se aplica la Ecuación (7.17), como sigue:

$$+\Sigma M_A = T(1.25) - (2793)((2.5/2)) = 0$$

$$T = 2793.00 \text{ N}$$

$$+\Sigma F_x = -T \cos 56.310 - A_x = 0$$

$$A_x = -1549.27 \text{ N, o } A_x = 1549.27 \text{ N ?}$$

Observe que el signo negativo significa que la dirección seleccionada para la reacción debe ser revisado.

$$+\Sigma F_y = T \sin \theta_2 - W + A_y = 0$$

$$= (2793.00)(\sin 56.310) - 2793 + A_y = 0$$

$$A_y = 5116.92 \text{ N ?}$$

La magnitud de la reacción se calcula como sigue:

$$A = (A_x^2 + A_y^2)^{1/2} = (1549.27^2 + 5116.92^2)^{1/2} = 5346.32 \text{ N}$$

El ángulo que forma A con el eje horizontal se calcula usando la Ecuación (7.14):

$$\theta = \tan^{-1}(5116.92/1549.27) = 73.160$$

Ejemplo 7.7:

Determinar la magnitud de la reacción en el soporte de la viga mostrada en la Figura 7.22a. La viga tiene una masa de 15 kg/m.

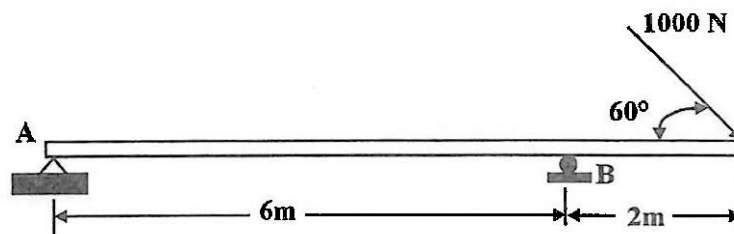


Figura 7.22 a. Diagrama de la viga del ejemplo 7.7

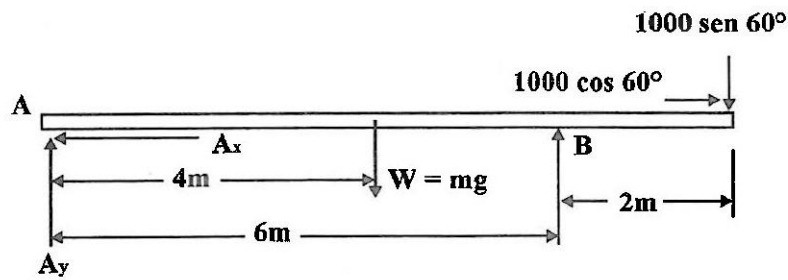


Figura 7.22 b. Diagrama de cuerpo libre de la viga del ejemplo 7.7

Solución:

El primer paso consiste nuevamente en elaborar el diagrama de cuerpo libre para la viga, como se muestra en la Figura 7.22b. Con una masa de 15 kg/m, el peso W de la viga es:

$$W = (15 \text{ kg/m})(8 \text{ m})(9.81 \text{ m/seg}^2) = 1\,177.2 \text{ N}.$$

Para determinar la reacción en el soporte B, se aplican las condiciones de equilibrio, como sigue:

$$\Sigma M_A = -1\,177.2(4) + (B)(6) - (1000 \sin 60^\circ)(8) = 0$$

$$6B = 11\,637 =$$

$$B = 1\,939.5 \text{ N}?$$

$$+ ? \Sigma F_x = -A_x + 1000 \cos 60^\circ = 0$$

$$A_x = 500 \text{ N}$$

$$+ ? \Sigma F_y = A_y - 1\,177.2 + 1\,939.5 - 1000 \sin 60^\circ = 0$$

$$A_y = 103.73 \text{ N o } 103.73 \text{ N}?$$

La magnitud de la reacción en A es:

$$(500^2 + 103.73^2)^{1/2} = 510.65 \text{ N}$$

Estos ejemplos indican que para solucionar un problema estático hay que cumplir tres pasos esenciales:

- t Construcción del diagrama de cuerpo libre
- t Determinación de los valores geométricos
- t Aplicación de las condiciones de equilibrio

7.9. Cerchas y Armaduras

Una cercha es un armazón estructural hecho de miembros delgados unidos en sus extremos por soldaduras, pasadores o cerrojos de tal manera que forman una serie de triángulos. Ejemplos típicos de armaduras son los marcos de puentes y soportes de techo (ver figura 7.17). Aquí vamos a limitar el análisis a cerchas planas; es decir, aquellas cuyos miembros se ubican en el mismo plano.

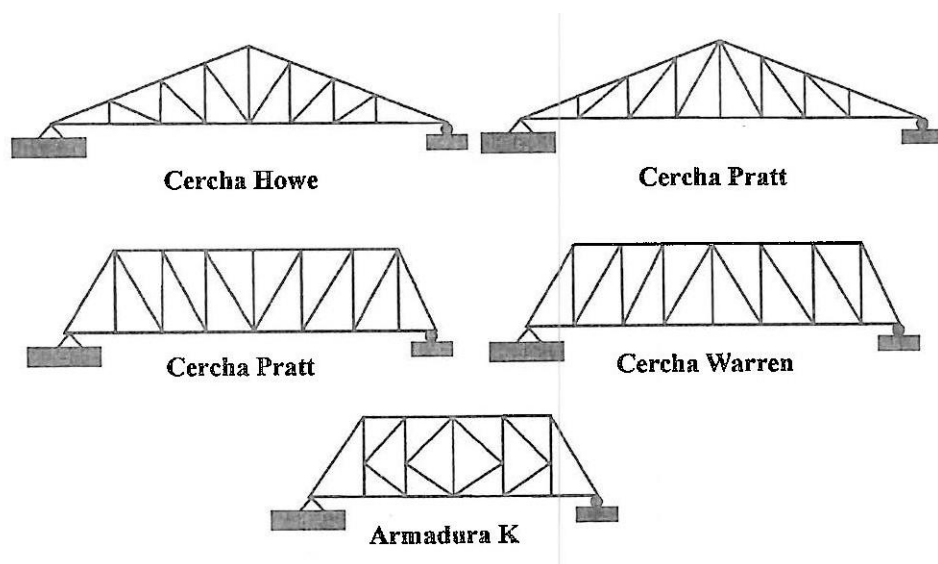


Figura 7.23. Ilustración gráfica de cerchas

El diseño de una cercha consiste simplemente en seleccionar la forma estructural apropiada, el material y el tamaño que pueden resistir las condiciones de carga determinadas. Esto a su vez requiere la determinación de las fuerzas en cada miembro de la estructura, haciendo ciertas acepciones: primero se asume que todas las cargas y reacciones se aplican en las juntas; segundo, los miembros se unen por pernos lisos; tercero, todos los miembros son rectos y cada miembro tiene dos fuerzas. Esto último significa que dos fuerzas iguales y opuestas actúan en ambos extremos y son colineales.

Existen básicamente dos métodos para analizar cerchas: método de las juntas y métodos de las secciones. La discusión que sigue sólo se limita al caso del método de las juntas. Este método se basa en el hecho de que las fuerzas en los miembros de una junta son concurrentes y por consecuencia no hay rotación; lo cual deja abierta la posibilidad de translación. Para cumplir la condición de equilibrio, se debe satisfacer la Ecuación (7.17); específicamente, $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$, ya que $\Sigma M_o = 0$ se satisface automáticamente.

El método de las juntas comienza con la construcción del diagrama de cuerpo libre en una junta con por lo menos una fuerza conocida. Las juntas se identifican por medio de una letra, y las fuerzas en cada miembro, por las letras de los dos extremos del miembro. Por ejemplo, si la junta se designa como A y un miembro tiene un extremo en la junta A y otro en la junta C, la fuerza sobre ese miembro se designa como FAC. Después de determinar la fuerza en cada miembro es conveniente indicar si el miembro está sometido a compresión (C) o tensión (T) (ver sección 7.9 para el significado de la compresión y la tensión).

Ejemplo 7.4:

Determinar la fuerza en cada miembro de una cercha cargada como se muestra en la Figura 7.24(a).

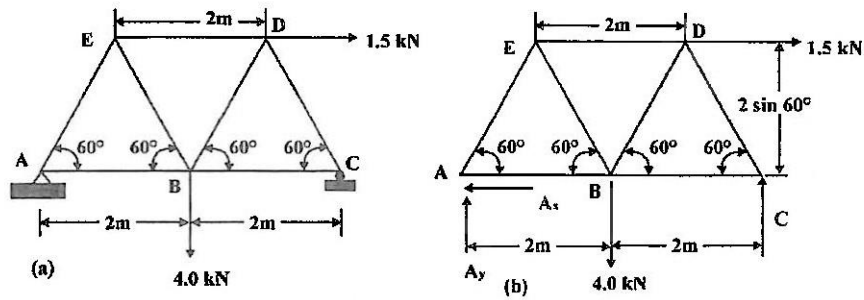


Figura 7.24. (a) Cercha del problema 7.8. (b) Diagrama de cuerpo libre en la cercha del problema 7.8.

Solución:

El primer paso consiste en determinar las reacciones en los soportes. El diagrama de cuerpo libre dado en la Figura 7.24b conduce a lo siguiente:

$$+\Sigma M_A = -(4)(2) + \odot(4) - (1.5)(2 \sin 60^\circ) = 0$$

$$4 C = 10.6; \text{ luego, } C = 2.7 \text{ kN ?}$$

$$+ ? \Sigma F_x = -A_x + 1.5 = 0; \text{ luego, } A_x = 1.5 \text{ kN?}$$

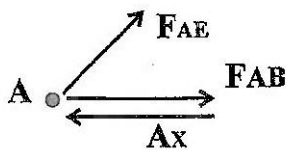
$$+ ? \Sigma F_y = A_y - 4 + 2.7 = 0; \text{ luego, } A_y = 1.3 \text{ kN?}$$

Una vez determinadas las reacciones, el análisis puede proceder ya sea desde la junta A o de la C. Si un miembro está bajo tensión, se denota por “(T)”, y si está bajo compresión, se indica como “(C)”.

Junta A:

$$+ ? \Sigma F_y = A_y - F_{AE} \sin 60^\circ = 0; \text{ luego, } F_{AE} = 1.5 \text{ kN (C)}$$

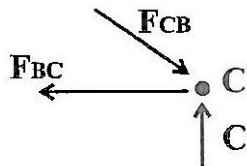
$$+ ? \Sigma F_x = -A_x - 1.5 \cos 60^\circ + F_{AB} = 0; \text{ luego, } F_{AB} = 2.25 \text{ kN (T)}$$



Junta C:

$$+ ? \Sigma F_y = C - F_{CD} \sin 60^\circ = 0; \text{ luego, } F_{CD} = 3.1 \text{ kN (C)}$$

$$+ ? \Sigma F_x = -F_{BC} + F_{CD} \cos 60^\circ = 0; \text{ luego, } F_{BC} = 1.6 \text{ kN (T)}$$

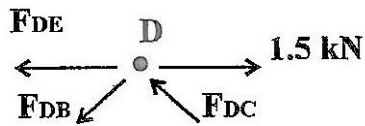


Junta D:

$$+ ? \Sigma F_y = -F_{DB} \sin 60^\circ + F_{DC} \sin 60^\circ = 0; \text{ luego, } F_{DB} = 3.1 \text{ kN (T)}$$

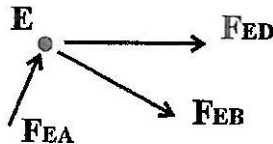
Note que $F_{DC} = F_{CD}$

$$+\sum F_x = -F_{DE} - F_{DB} \cos 60^\circ - F_{DC} \cos 60^\circ + 1.5 = 0; \text{ luego, } F_{DE} = 0.6 \text{ kN (C)}$$



Junta E:

$$+\sum F_y = F_{EA} \sin 60^\circ - F_{EB} \sin 60^\circ = 0; \text{ luego, } F_{EB} = 1.5 \text{ kN (T)}$$



7.10. Esfuerzo y Deformación

En las secciones anteriores, se han considerado las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo; pero no se ha indicado nada sobre las fuerzas internas en el cuerpo como resultado de las fuerzas externas. Además, los cuerpos fueron considerados como rígidos, acepción que no siempre es cierta debido a que las fuerzas contribuyen a deformar o cambiar su forma del cuerpo. Para poder evidenciar los factores ocultos involucrados en la estática, consideremos el escenario simple de una persona que está siendo halada por ambos brazos por dos jugadores de fútbol americano con una fuerza de 300 lb cada uno. Si ambos jugadores halan en direcciones opuestas las condiciones de equilibrio aseguran que la fuerza neta en el individuo es cero. ¿Podría uno imaginar lo que siente este individuo en sus costillas? La estática nos explica que nada está ocurriendo realmente en el cuerpo de la persona, aun cuando es claro que está sometida a un gran dolor. Este simple escenario indica que el equilibrio no toma en cuenta las fuerzas internas que actúan sobre un cuerpo.

Consideremos una barra prismática (con sección transversal constante) sometida a dos fuerzas iguales y opuestas de magnitud F actuando como se muestra en la Figura 7.25. Estas dos fuerzas tienden a alargar la barra, por lo que se denominan fuerzas de tracción. Por otro lado, las fuerzas mostradas en la figura 7.26 tienden a acortar la barra, por lo que se denominan fuerzas de compresión.

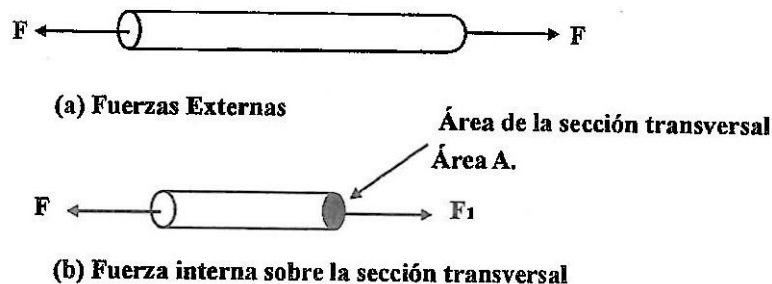


Figura 7.25. Barra prismática sometida a tracción

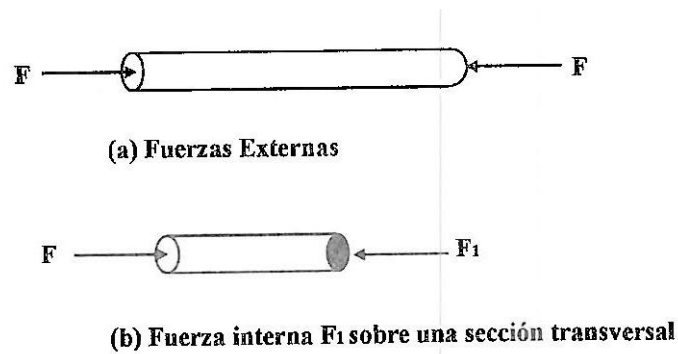


Figura 7.26. Barra prismática sometida a compresión

Si se corta la barra por un plano perpendicular al eje horizontal, es obvio que para mantener el equilibrio la fuerza F_1 debe actuar sobre la sección transversal (ver figuras 7.25b y 7.26b). Esta fuerza se conoce como fuerza interna que contrarresta a las fuerzas externas. En el diseño es necesario que los materiales se seleccionen para resistir las fuerzas externas aplicadas. Debido a que cuerpos hechos del mismo material pueden tener diferentes áreas y estar sujetas a diferentes fuerzas, es esencial tener un medio estándar para comparar la habilidad del material para resistir la carga externa aplicada. Esto se logra asumiendo que cada unidad de la sección transversal del cuerpo recibe la misma carga. Esta fuerza por unidad de área se conoce como esfuerzo, el mismo que se calcula mediante la siguiente relación:

$$\sigma = F/A \quad (7.18)$$

Dónde σ es el esfuerzo; F es la fuerza aplicada ; y A es el área de la sección transversal dónde actúan las fuerzas.

Las unidades de esfuerzo en el Sistema Internacional de unidades es el Pascal (Pa) y Libras por pulgadas cuadradas (Psi) en el Sistema Inglés.

De la discusión anterior se deduce que, si hay fuerzas de tracción y de compresión, también debería haber esfuerzo de tensión y esfuerzo de compresión. Ambos tipos de esfuerzos son comúnmente conocidos como esfuerzo normal porque actúan en un plano perpendicular (normal) a la dirección de la línea de acción de la fuerza aplicada (ver Figura 7.27).

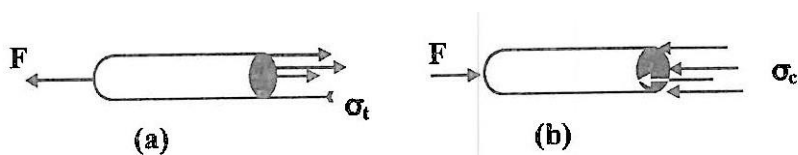


Figura 7.27. Esfuerzo normal.: (a) esfuerzo tensor σ_t ; (b) esfuerzo de compresión σ_c

Si la línea de acción de la fuerza aplicada es paralela al plano de la superficie sobre el cual actúa, el esfuerzo resultante es conocido como esfuerzo cortante. Esto se debe a que este esfuerzo tiende a deslizar o cortar planos adyacentes con respecto a cada uno de los otros. El concepto de esfuerzo cortante se puede entender mejor considerando dos platos planos pegados y sometidos a dos fuerzas iguales opuestas como las que se muestran en la Figura 7.28. El esfuerzo cortante se calcula como sigue:

$$\tau = F/A \quad (7.19)$$

Donde: τ : Esfuerzo cortante medio

F: Fuerza aplicada.

A: Área cortada.

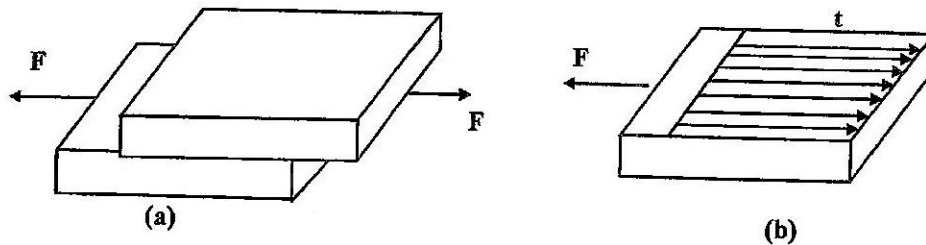


Figura 7.28. (a) superficies pegadas; (b) esfuerzo cortante

Como se ha mencionado antes, una fuerza externa aplicada sobre un cuerpo, lo tiende a deformar. Esta deformación es denotada como δ . La relación entre la longitud final y la longitud original del cuerpo se denomina coeficiente de deformación y se denota con el símbolo ϵ , dado por:

$$\epsilon = \delta/l \quad (7.20)$$

Dónde: ϵ : coeficiente de deformación.

δ : deformación o alargamiento.

l: Longitud original.

El coeficiente de deformación es una cantidad adimensional, sin embargo, generalmente se expresa en mm/mm o m/m en el S.I. o inch/inch en el sistema inglés. Existe una relación definida entre la deformación y el esfuerzo en un cuerpo rígido. Esta relación es expresada mediante la ley de Hook, como sigue:

$$\sigma = \epsilon E \quad (7.21)$$

Donde: σ : Esfuerzo.

ϵ : Coeficiente de deformación.

E: Módulo de elasticidad.

Debido a que el coeficiente de deformación es adimensional, las unidades del módulo de elasticidad son las mismas que las del esfuerzo.

Ejemplo 7.5:

Una fuerza de 2000 N hala una barra de 25 mm de diámetro. ¿Cuál es el esfuerzo de tracción sobre la barra?

Solución:

De la ecuación ($\sigma = F/A$)

$$A = \pi d^2/4 = \pi (0.025)^2/4 = 4.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\sigma = 2000 \text{ N} / 4.9 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 4.08 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\text{Esfuerzo de tracción} = 4.08 \text{ Mpa}$$

Ejemplo 7.10:

Dos platos están conectados por medio de dos tornillos de ½ pulgadas de diámetro. Si se aplica una carga de tensión de 2.400 lbs, determinar el esfuerzo cortante medio sobre los tornillos.

Solución:

En la Figura 7.29 se presenta el diagrama de conexión de los platos. Asumiendo que la carga soportada por los dos tornillos es igual, cada una soportará 1.200 lbs.

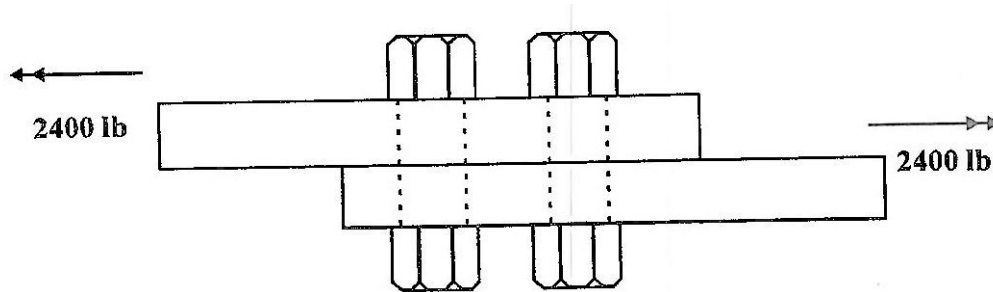


Figura 7.29. Diagrama de conexión para el ejemplo 7.10.

Utilizando la Ecuación (6.19), se tiene:

$$A = \pi (0.5)^2/4 = 0.196 \text{ inch}^2$$

$$\tau = 1200 \text{ lbs} / 0.196 \text{ inch}^2 = 6122.4 \text{ psi}$$

El esfuerzo cortante sobre cada tornillo es 6122.4 psi.

7.11. Diseño de Esfuerzos

Como se ha discutido antes, el diseño ingenieril es una actividad que involucra la toma de decisiones. Alguna de estas decisiones puede incluir ciertas acepciones sobre las propiedades del material que se utiliza en el diseño. Debido a la incertidumbre conectada con el esfuerzo que realmente hace que un miembro de la estructura falle, los sistemas mecánicos en particular se diseñan a esfuerzos muy por debajo del esfuerzo de falla estimado. Además, debido a que la mayoría de los modelos matemáticos usados en el diseño ingenieril contienen algunas acepciones simplificadoras, se debe tomar especial cuidado con esas suposiciones. Para resguardar un elemento contra la falla, el esfuerzo que causa la falla del material se reduce mediante el denominado factor de seguridad.

Una vez aplicado el factor de seguridad el esfuerzo resultante se denomina esfuerzo de diseño o esfuerzo admisible. El esfuerzo admisible es el máximo esfuerzo límite que se permite en el diseño de una situación. Es el esfuerzo límite que un material puede resistir en servicio. Luego, el esfuerzo

admisible está relacionado con el esfuerzo que causa la falla por el factor de seguridad como se muestra:

$$F.S. = \text{Esfuerzo de falla/esfuerzo admisible} \quad (7.22)$$

En el siguiente ejemplo se ilustra el concepto de esfuerzo de diseño.

Ejemplo 7.11:

Se desea diseñar un miembro estructural en tensión para que resista una carga de 50 kN. La longitud del miembro es de 2 m y no debería deformarse más de 5 mm. El material es aluminio con un esfuerzo de falla de 300 MPa. Determinar el diámetro del miembro. Asumir $E = 69 \text{ GPa}$ y un factor de seguridad aceptable de 1.5.

Solución:

Dado: $F = 50 \text{ kN}$, $l = 2 \text{ m}$, $F.S. = 1.5$, $\delta = 0.005$

Representación gráfica

F ? ? F

Se asume un miembro de sección transversal homogénea

Relaciones:

$A = \pi d^2/4$; $\sigma = F/A$ (Ecuación 7.19); $\delta = \epsilon l$ (Ecuación 6.20); $\sigma = \epsilon E$ (ecuación 7.21);
 $F.S. = \text{Esfuerzo de falla/esfuerzo admisible}$ (Ecuación 7.22).

Cálculos:

a) Diseño contra esfuerzo:

$$\text{esfuerzo permisible} = 300/1.5 = 200 \text{ Mpa}$$

$$A = 50\,000/200 \times 10^6 = 2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = \{(4)(2.5 \times 10^{-4})/(\pi)\}^{1/2} = 0.018 \text{ m}$$

b) Comprobación contra excesiva deformación:

$$\delta = \epsilon l = \sigma l/E = F l/AE = (50\,000)(2)/(2.5 \times 10^{-4})(69 \times 10^9) = 0.0058 \text{ m}$$

Debido a que 0.0058 es mayor que 0.005, hay que rediseñar utilizando la deformación:

$$A = F l/\delta E = (50\,000)(2)/(0.005)(69 \times 10^9) = 2.9 \times 10^{-4}$$

$$d = 0.019 \text{ m}$$

El diámetro que se busca es entonces 19 mm.

Referencias

Hibbler, R. C. (1995): "Engineering Mechanics-Statics". Seventh Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey

Merian J. L., and L. G. Kraige (1992): “Engineering Mechanics” Third Edition, John Wiley & Sons, New York.

Serway, R.A. (1990): “Physics: For Scientist & Engineers”. Third Edition. Saunders College Publishing, Philadelphia.

Spiegel L. and G. E. Limbruner (1991): “ Applied Statics and Strength of Materials”. Merrill, and inprint of Macmillan Publishing Company, New York.

8. SISTEMAS ELÉCTRICOS

8.1. Introducción

La electricidad es una de las formas de energía más útiles y ha contribuido al mejoramiento del nivel de vida en muchas partes del mundo. El uso común más conocido es bajo la forma de iluminación; sin embargo, es muy difícil concebir un dispositivo moderno que no contenga un componente eléctrico. Muchas maquinas consisten de sistemas eléctricos y mecánicos; por lo tanto, los ingenieros deben poseer un conocimiento básico sobre el análisis de circuitos eléctricos. Además, la interrelación entre las distintas actividades de ingeniería hace necesario que el ingeniero deba entender los fundamentos del análisis de circuitos. Por ejemplo, un ingeniero mecánico podría trabajar con un equipo de diseño interesado en el diseño de dispositivos electrónicos o sistemas de comunicación. Debido a que el diseño de dispositivos electrónicos, generación de energía y varios sistemas de comunicación depende del conocimiento básico sobre teoría básica de circuitos, todos los ingenieros deberían conocer los fundamentos de esta teoría.

El objetivo de este Capítulo es el de introducir al estudiante en los conceptos y definiciones básicas de la teoría de circuitos. La modelación matemática de circuitos eléctricos se introduce usando la ley de Ohm y la ley de Kirchhoff.

8.2. Corriente Eléctrica

El concepto de corriente eléctrica es fácilmente entendible cuando se considera que la materia está formada de átomos. Un átomo contiene protones y neutrones en el núcleo o corazón central. Fuera del núcleo se encuentran partículas de masa muy pequeña conocidas como electrones, las cuales se mueven en órbita alrededor del núcleo. Un protón posee carga eléctrica positiva y un electrón una carga eléctrica negativa; mientras que el neutrón no posee carga eléctrica.

Normalmente un átomo se encuentra en estado eléctricamente neutro debido a que la carga negativa de los electrones está balanceada por la carga positiva de los protones. Los electrones rotan constantemente a medida que los átomos chocan unos con los otros. Este movimiento continuo de electrones origina lo que se conoce como corriente eléctrica. Si el movimiento de electrones se confina en una dirección, el resultado es una corriente directa (c.d). Por el contrario, si los electrones periódicamente invierten la dirección del movimiento, el resultado es una corriente alterna (c.a). La corriente directa se utiliza en aplicaciones tales como la linterna eléctrica; mientras la corriente alterna se usa en artefactos eléctricos de los hogares.

La corriente se define formalmente como la tasa de cambio de la carga con respecto al tiempo y se expresa por la siguiente expresión:

$$i = dq / dt \quad (8.1)$$

Donde: i = corriente

q = carga

t = tiempo

La unidad básica de corriente es el amperio y está y se denota con la letra mayúscula A. Las cargas pueden moverse en forma organizada en lugar de su moción aleatoria usual mediante la

aplicación de una fuerza externa conocida como fuerza electromotriz (FEM). Debido a que en el movimiento de la carga se involucra una fuerza, necesariamente se realiza un trabajo. El trabajo necesario para mover una unidad de carga desde un terminal de un elemento a otro, se denomina voltaje, o diferencia de potencial. La unidad de la diferencia de potencial en el sistema internacional de unidades es el Joule por Coulomb, el cual se conoce formalmente como voltio (V); por lo tanto, un voltio es el equivalente de un Joule por Coulomb

8.3. Circuitos Eléctricos

Un circuito eléctrico es una colección de elementos eléctricos que están conectados de alguna manera específica. Un elemento de circuito consiste de dos terminales como muestra la Figura 8.1.



Figura 8.1. Elemento típico con voltage y corriente

Un elemento de circuito puede ser activo o pasivo. Un elemento pasivo es aquel en el cual la energía total que recibe del resto del circuito es siempre positiva. Si un elemento no es pasivo, entonces es activo. Ejemplo de elementos pasivos son las resistencias, inductores y capacitadores. Los elementos activos incluyen baterías, generadores o cualquier otro dispositivo eléctrico que requiere de un suministro de energía. Dos de los elementos activos muy importantes son la fuente de voltaje independiente y la fuente de corriente independiente.

Una fuente de voltaje independiente es un elemento de dos terminales, tal como un generador o una batería, que mantiene un voltaje especificado entre estos terminales. El voltaje es independiente de la corriente a lo largo del elemento. En la Figura 8.2 se muestra el símbolo que representar una fuente de voltaje con V voltios a través de sus terminales. Una fuente de corriente independiente viene a ser un elemento de dos terminales a través del cual fluye una corriente específica y se simboliza como se muestra en la Figura 8.3. La corriente es independiente del voltaje a través del elemento.

Normalmente las fuentes independientes entregan energía a un circuito externo en lugar de absorberla. La energía entregada por una fuente independiente puede calcularse como sigue:

$$P = VI \quad (8.2)$$

donde: P = Energía; V = Voltaje a través de la sección; I = Corriente directa fuera del terminal positivo.

La teoría de circuitos se enfoca principalmente en el análisis y síntesis de circuitos. El análisis trata de la determinación de una salida cuando se conocen la entrada de corriente o voltaje de una fuente independiente y el circuito. La síntesis de circuitos se refiere a la determinación del circuito cuando se conocen la entrada y la salida.

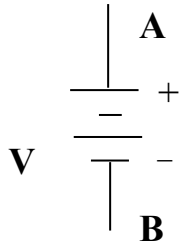


Figura 8.2. Representación de una fuente de voltaje constante

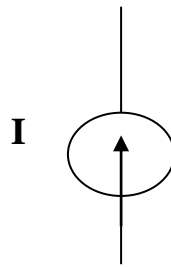


Figura 8.3. Representación de una fuente de energía independiente

Ejemplo 8.1:

Determinar la carga suministrada por una fuente como la que se muestra en la Figura 8.4.

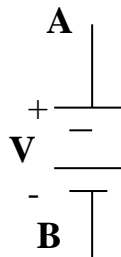


Figura 8.4. Fuentes de voltaje para el ejemplo 8.1

Solución:

$$P = VI$$

a) $P = (10)(6) = 60 \text{ Watts}$

b) $P = -(12)(3) = -36 \text{ Watts.}$

8.4. Resistencia y Ley de OHM

Una corriente que fluye a lo largo de un conductor de electricidad encuentra una resistencia al flujo de electrones. Cualquier dispositivo que solamente ofrece una resistencia al flujo de corriente se conoce como un Resistor. Un resistor es el elemento de circuito más simple y más comúnmente usado y su representación simbólica se muestra en la Figura 8.5.

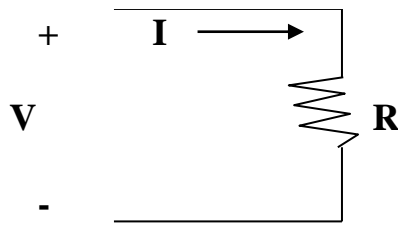


Figura 8.5. Representación de un resistor en un circuito

Existe una relación definida entre la corriente que fluye a través de un conductor y el voltaje a través de la sección del resistor. Esta relación fue demostrada por el físico alemán Ohm (1787-1854, y se conoce como la ley de Ohm, la cual establece que:

"El voltaje a través de un resistor es directamente proporcional al flujo de corriente a lo largo del resistor"

La relación entre el voltaje y la corriente se denomina resistencia.

$$R = V/I \quad (8.3)$$

donde R es la resistencia en Ohm, representada por la letra griega omega (Ω). La ecuación (8.3) es, por lo tanto, una expresión de la ley de Ohm. Es importante observar que si el voltaje se invierte (ver Figura 8.6), entonces la ley de Ohm lleva signo negativo. Por ejemplo en la Figura (8.6) la ley de Ohm es simplemente escrita como $V = -Ri$, ya que la corriente que al terminal positivo es $-i$.

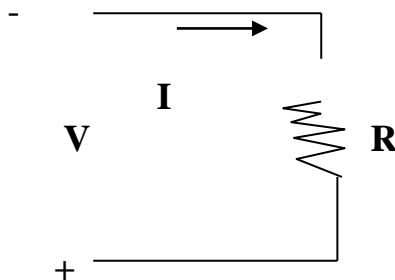


Figura 8.6. Diagrama de un resistor con voltaje invertido

Ejemplo 8.2:

Un voltaje terminal de 100 V se aplica a un resistor de 5-k Ω . Determinar la corriente terminal del resistor.

Solución:

De la Ecuación (8.3) tenemos que $i = V/R = 100/5\,000 = 0.02\text{ A}$

$I = 20\text{ mA}$.

Existen dos situaciones que deberían ser observadas en la Ecuación (8.3). Si la resistencia es igual a cero ohm, entonces el voltaje es cero; y el elemento al cual aplica esta situación se denomina circuito cerrado. Si, por el contrario, el resistor tiene una resistencia infinita, la corriente que fluye a lo largo del circuito se hace cero; en este caso, el elemento involucrado se denomina circuito abierto.

8.5. Ley de Kirchhoff

Para el análisis de cualquier circuito se requiere aplicar la ley de Ohm y dos leyes adicionales formuladas por el físico alemán Gustaav Kirchhoff. Estas leyes se conocen como ley de corriente y ley de voltaje. Ellas se aplican a un nodo; es decir, punto de conexión de dos o más elementos de circuito.

La aplicación de las leyes de Kirchhoff requiere de un conocimiento apropiado de lo que constituye un nodo. En la Figura 8.7 se ilustra lo que es un nodo.

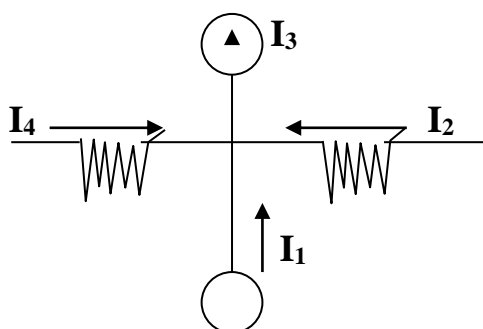


Figura 8.7. Ilustración de un nodo típico en un circuito eléctrico

Consideremos el circuito mostrado en la Figura 8.8. ¿Cuántos nodos se pueden identificar? Si la respuesta fuera de cuatro o más nodos entonces sería incorrecto. La respuesta correcta es tres nodos. (ver Figura 8.8b). La confusión está en los puntos etiquetados como A, B, C y D. Note que los puntos A y B se consideran eléctricamente como un solo punto idéntico, debido a que están conectados por un circuito corto (conductor perfecto), y por eso tienen el mismo voltaje.

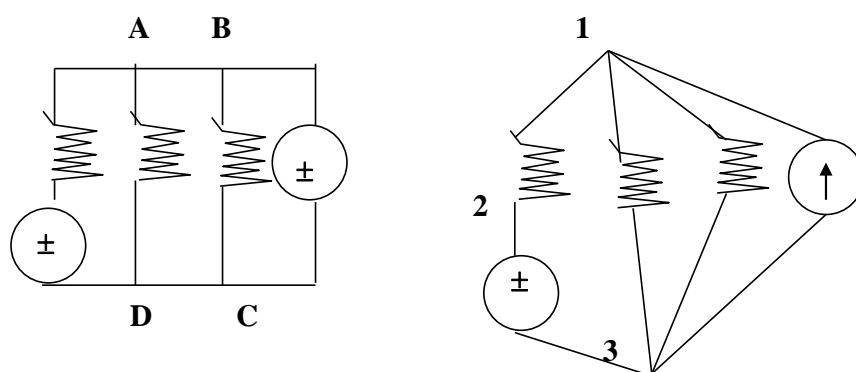


Figura 8.8. a) Circuito original; b) circuito equivalente

Una situación similar ocurre con los puntos C y D. Con estas consideraciones, el circuito puede reelaborarse para indicar claramente los tres nodos solamente (ver Figura 8.8b). Luego se pueden formular las leyes de Kirchhoff: La ley de corriente de Kirchhoff (LCK) establece que: "La suma algebraica de las corrientes que entran a un nodo es igual a cero". Ley de voltaje de Kirchhoff (LVK) establece que "la suma algebraica del voltaje alrededor de cualquier malla cerrada es cero"

Ejemplo 8.3:

Determinar las corrientes i_1 , i_2 , i_3 en el circuito eléctrico mostrado en la Figura 8.9.

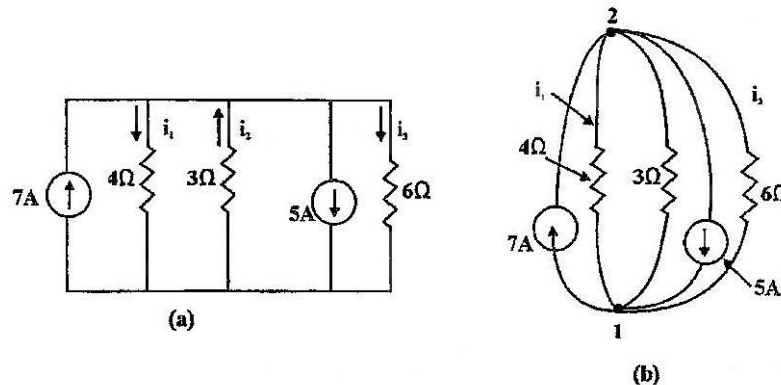


Figura 8.9. a) Circuito eléctrico original; b) Circuito equivalente para el ejemplo 8.3

Solución:

Se dan dos corrientes y tres resistores. Hay que encontrar i_1 , i_2 , i_3 . Se asume que no hay pérdida de energía.

Se utilizan las relaciones $I = V/R$ (Ley de Ohm) y $\sum I_i = 0$ (Ley de circuito de Kirchhoff).

Cálculos: Como se muestra en la Figura 8.9b, hay dos nodos. Denotemos por v el voltaje a través de los nodos:

Nodo 1: Aplicando la ley de circuito de Kirchhoff se tiene: $7 - i_1 + i_2 - 5 - i_3 = 0$ (a)

Si el voltaje es v , la ley de Ohm arroja: $i_1 = v/4$; $i_2 = v/3$; y $i_3 = v/6$

Sustituyendo en (a), resulta: $7 - v/4 + v/3 - 5 - v/6 = 0$

$V/12 = 2$; luego, $v = 24$

Entonces: $i_1 = 24/4 = 6 \text{ A}$; $i_2 = 24/3 = 8 \text{ A}$; $i_3 = 24/6 = 4 \text{ A}$.

Ejemplo 8.4:

Encontrar el voltaje a través del circuito eléctrico mostrado en la Figura 8.10.

Solución:

Aplicando la ecuación de voltaje de Kirchhoff y atravesando el circuito en el sentido de las agujas del reloj se tiene:

$$24 + 4 - 12 - v_{cd} = 0$$

$$v_{cd} = 16 \text{ V}$$

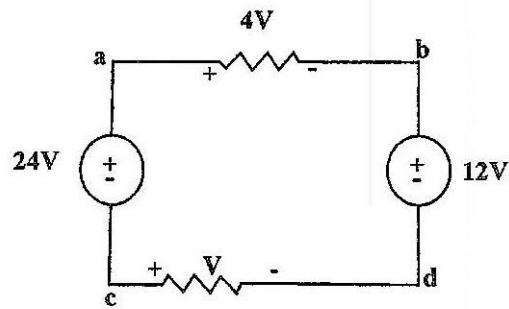


Figura 8.10. Representación del circuito eléctrico del ejemplo 8.4

8.6. Resistencia Equivalente

Los resistores en un circuito se conectan de dos formas generales: en serie o en paralelo.

Resistencia en serie

Se dice que dos resistores se encuentran conectados en serie si tienen un nodo en común sin que cualquier otro elemento esté conectado al nodo. En la Figura 8.11 se muestra una conexión en serie. Note que los elementos conectados en serie tienen la misma corriente fluyendo a lo largo de ellos. La aplicación de la ley de Ohm arroja

$$V_1 = R_1 i$$

$$V_2 = R_2 i \quad (8.4)$$

Igualmente, la ley de voltaje de Kirchhoff arroja:

$$V = v_1 + v_2 = (R_1 + R_2) i \quad (8.5)$$

De la ecuación (8.3) se tiene:

$$I = v / (R_1 + R_2) \quad (8.6)$$

Si el circuito mostrado en la Figura (8.11 a) se concibe con una sola resistencia, R , entre los nodos a y b, como se muestra en la figura (8.11b), entonces:

$$i = V/R \quad (8.7)$$

Comparando las ecuaciones (8.6) y (8.7) es obvio que:

$$R = R_1 + R_2 \quad (8.8)$$

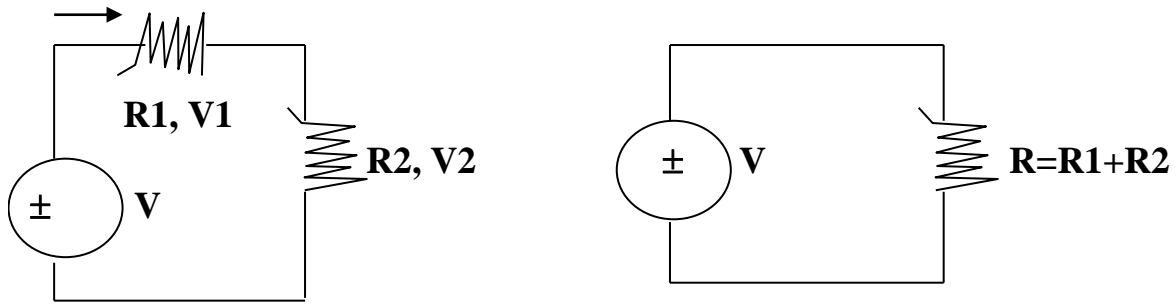


Figura 8.11. a) Circuito eléctrico en serie; b) circuito eléctrico equivalente

En general, si n elementos se conectan en serie, la resistencia equivalente, R_e , esta dada por:

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum R_i \quad (8.9)$$

Combinando las ecuaciones (8.4) y (8.6) se obtiene:

$$\begin{aligned} V_1 &= (R_1 / (R_1 + R_2)) V \\ V_2 &= (R_2 / (R_1 + R_2)) V \end{aligned} \quad (8.10)$$

La ecuación (7.10) indica cómo el voltaje es dividido por el resistor. A un par de resistores en serie se denomina divisor de voltaje, un resultado de la ecuación (8.10)}

Resistencia en paralelo

Se dice que los resistores o elementos de circuito están conectados en paralelo si la conexión se lleva a cabo en el mismo par de nodos, sin importar que otros elementos se conecten a estos dos nodos. Esto implica que los elementos en paralelo tienen un voltaje común (ver Figura 8.12).

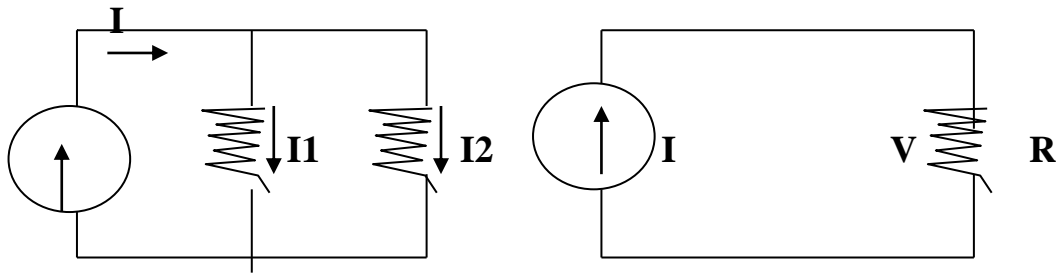


Figura 8.12. a) Resistores en paralelo; b) Circuito equivalente

Aplicando la ley de Ohm a la Figura (8.12 a) y la L.C.K se tiene que:

$$i = i_1 + i_2 = V/R_1 + V/R_2$$

Luego:

$$i/V = 1/R_1 + 1/R \quad (8.11)$$

Considerando la resistencia equivalente mostrada en la Figura (8.12b), por la ley de Ohm se tiene:

$$i/V = 1/R \quad (8.12)$$

Al comparar las ecuaciones (8.11) y (8.12) es evidente que:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 \quad (8.13)$$

La ecuación (8.13) puede ser expresada como:

$$R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \quad (8.14)$$

Para n resistores en paralelo la ecuación (8.13) se generaliza como:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots 1/R_n \quad (8.15)$$

Combinando las ecuaciones (8.12) y (8.14) resultando:

$$V = (R_1 R_2 / (R_1 + R_2)) i \quad (8.16)$$

Debido a que el mismo voltaje es aplicado a los dos resistores R_1 y R_2 , se puede mostrar que:

$$\begin{aligned} i_1 &= (R_2 / (R_1 + R_2)) i \\ i_2 &= (R_1 / (R_1 + R_2)) i \end{aligned} \quad (8.17)$$

La ecuación (8.17) indica cómo la corriente es dividida en un circuito con dos resistores en paralelo. Debido a esto, un par de resistores en paralelo se denomina circuito divisor.

Ejemplo 7.5:

Determinar la corriente i y los voltajes v_1 y v_2 para el circuito dado en la Figura 8.13.

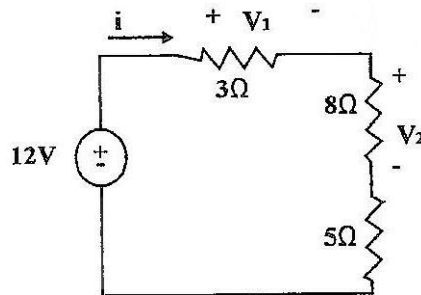


Figura 8.13. Representación del circuito del ejemplo 8.5

Solución:

Resistencia equivalente $R = 3 + 8 + 5 = 16 \Omega$

$i = v/R = 12/16 = 0.75 \text{ A}$ (Ley de Ohm)

$v_1 = (0.75)(3) = 2.25 \text{ V}$

$$v_2 = (0.75)(8) = 6 \text{ V}$$

Ejemplo 8.6:

Dado el circuito que se muestra en la Figura 8.14, determinar la corriente i , los voltajes v_1 y v_2 .

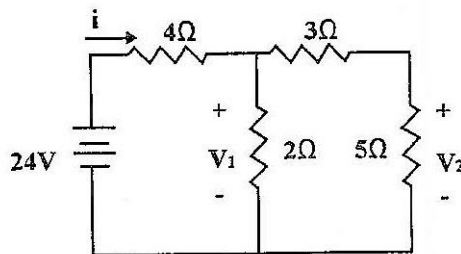


Figura 8.14. Representación del circuito del ejemplo 8.6

Solución:

Los resistores $3\text{-}\Omega$ y $5\text{-}\Omega$ se encuentran en serie y pueden combinarse en un resistor equivalente R_1 (ver Figura 8.15 a); luego, $R_1 = 3 + 5 = 8 \text{ }\Omega$.

El resistor $2\text{-}\Omega$ está en paralelo con R_1 y puede ser reemplazado por un resistor equivalente R_2 (ver Figura 8.15b).

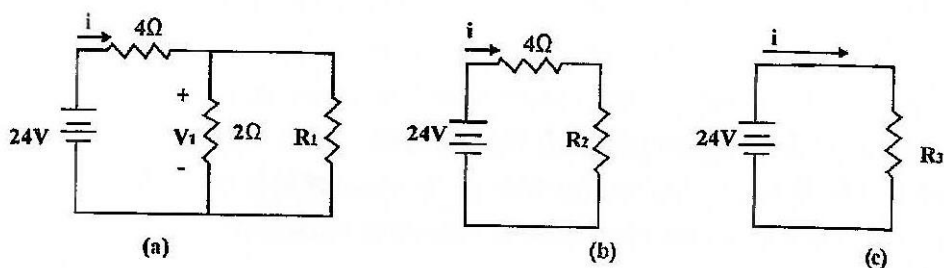


Figura 8.15. Resistores combinados

De la Ecuación (8.14) se tiene:

$$R_2 = (2 \times 8)/(2 + 8) = 1.6 \text{ }\Omega$$

Ahora, R_2 y $4\text{-}\Omega$ pueden combinarse en una resistencia equivalente R_3 (ver Figura 8.15c); es decir:

$$R_3 = 4 + 1.6 = 5.6 \text{ }\Omega$$

De la ley de Ohm

$$i = 24/5.6 = 4.3 \text{ A}$$

El voltaje a través del resistor $4\text{-}\Omega$, v_3 , es:

$$v_3 = (4 \times 4.3) = 17.2 \text{ V}$$

Aplicando la LVK al primer loop del circuito en la Figura 8.14, se obtiene:

$$v_1 + v_2 = 24; v_1 = 24 - 17.2 = 6.8 \text{ V}$$

De la Ecuación (7.10):

$$v_2 = (5/(3 + 5))6.8 = 4.3 \text{ V}$$

8.7. Instrumentos de Medición Eléctrica

El concepto de división de corriente y voltaje se usa en el diseño de instrumentos simples de medición de dos terminales. Los instrumentos más conocidos son el amperímetro, voltímetro y ohmnímetro.

Amperímetro. Un amperímetro es un dispositivo para medir la corriente. Un amperímetro ideal tiene una resistencia cero de modo que no altera la corriente que está siendo medida. En la práctica el amperímetro no tiene resistencia cero y por lo tanto la precisión de la medición no es del 100 %. La corriente en un circuito puede ser medida con un amperímetro conectado en serie con el resistor y la batería.

El amperímetro mejor conocido es medidor D' Arsonval (ver Figura 8.16), el consta de una bobina suspendida alrededor de un núcleo magnético de hierro colocado entre un imán estacionario permanente. La bobina está conectada a dos resortes que proveen una conexión eléctrica. Un indicador de aguja se pega a la bobina para medir el ángulo de rotación. El ángulo de deflexión es directamente proporcional a la corriente en la bobina móvil y puede estimarse mediante la siguiente relación:

$$\gamma = K T_s$$

Donde γ es el ángulo de deflexión de la bobina; K es la complacencia rotacional del resorte; y T_s

Es el torque del resorte.

Voltímetro. Un voltímetro es un dispositivo que se usa para la medición de voltaje a través de dos terminales. Un voltímetro ideal debería tener una corriente terminal igual a cero; es decir, su resistencia es infinita. El medidor básico D'Arsonval puede ser utilizado con un voltímetro c.d. al colocar una resistencia (R_s) en serie con el dispositivo como se muestra en la Figura 8.17.

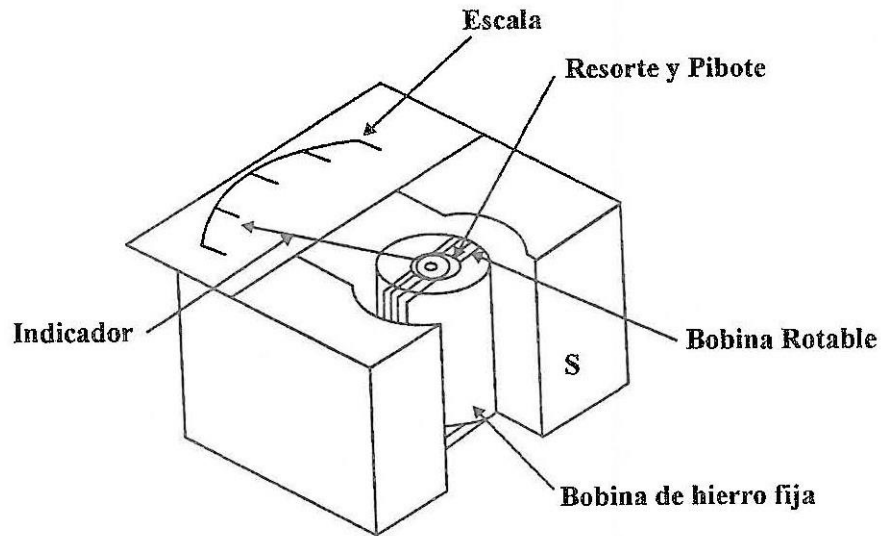


Figura 8.16. Ilustración esquemática del medidor D'Arsonval

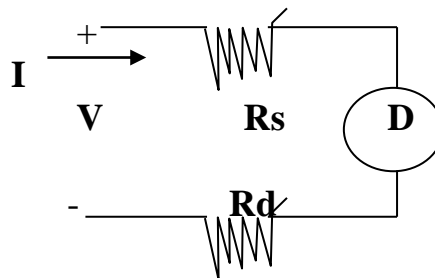


Figura 8.17. Representación gráfica de un voltímetro de circuito

Ohmímetro. Un ohmímetro es un dispositivo que sirve para determinar una resistencia desconocida en un circuito. El mecanismo de D'Arsonval puede ser utilizado para determinar una resistencia desconocida (R_s) y una fuente de voltaje c.d. (V_s). La resistencia desconocida se conecta a los terminales del ohmímetro y su valor puede ser determinado (ver Figura 8.18). De la figura (8.18) y aplicando la KVL:

$$V_s = (R + R_s + R_D) I$$

Resultando en:

$$R = V_s / i - (R_s + R_D) \quad (8.19)$$

Lo que se ha descrito arriba es un ohmímetro ideal. El ohmímetro real es mucho más complejo, pero los principios son los mismos.

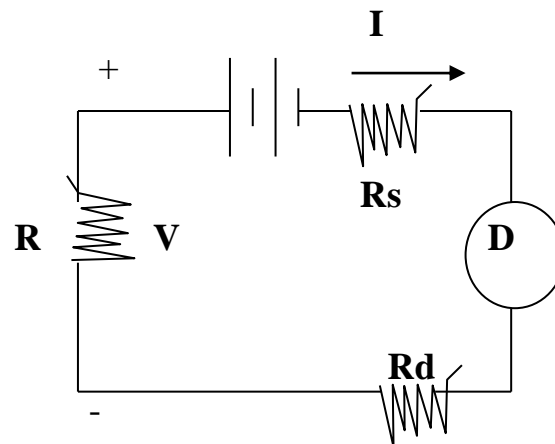


Figura 8.18. Representación esquemática de un circuito ohmímetro

Un medidor con un mecanismo sencillo de D'Arsonval que se usa para medir rangos múltiples de corriente y voltaje se denomina multimedidor.

El término VOM se aplica a un multimedidor que es una combinación de voltímetro, ohmímetro y miliamperímetro.

Referencias

- Chapman, S. (1985): "Electrical Machinery Fundamentals" MacGraw-Hill Book Company, New York.
- Bobrow, L. S. (1985): "Fundamentals of Electrical Engineering" Holt, Rinehart and Winston, Inc, New York
- Johnson, D. E. , J. Hilburn, and J. R. Johnson (1990): " Basic Electric Circuit Analysis. Fourth Edition, Prentice Hall, Englewood, New Jersey.

9. SISTEMAS DE ENERGÍA

9.1. Introducción

Mucho de los dispositivos que incrementan nuestra calidad de vida usan energía de una u otra forma. Los automóviles usan energía derivada de los combustibles. Algunos sistemas mecánicos tales como aires acondicionados y refrigeradores utilizan energía en forma de electricidad. En efecto, la energía existe en muchas formas diferentes. El ingeniero necesita entender los principios relacionados con la utilización de la energía con el fin de diseñar sistemas eficientes de energía o por lo menos contribuir a conservarla.

Pero uno se pregunta ¿qué es la energía? La energía es definida de varias formas. No existe una definición aceptada universalmente; esto se debe en parte al hecho de que no puede ser vista, sólo se observan sus efectos. La energía en su más simple definición es la capacidad de hacer trabajo. La energía existe en diferentes formas, incluyendo la energía mecánica, eléctrica, química, térmica y nuclear. La energía puede ser transformada de una forma a otra. Por ejemplo, en un automóvil la energía química de una batería se convierte en energía eléctrica, la cual a su vez se transforma en energía mecánica que resulta en el movimiento del automóvil.

Los ingenieros que están capacitados para manejar problemas relacionados con distintos tipos de energía son aquellos que poseen el conocimiento básico de la llamada ciencia de la energía térmica, la cual incluye la termodinámica, dinámica de fluidos y transferencias de calor. La termodinámica trata del estudio de la transformación de energía y la relación entre las distintas propiedades de los cuerpos que son afectadas por dicha transformación. La dinámica de fluidos se relaciona con el transporte de energía y la resistencia al movimiento relacionado con el flujo de fluidos. La transferencia de calor trata de la transferencia de energía como un resultado de la diferencia de temperatura.

En este capítulo se presentan algunos conceptos básicos involucrados en la utilización de la energía. Tales conceptos incluyen la conservación de la masa y la conservación de la energía.

9.2. Conservación de la Masa

El análisis termodinámico involucra flujo de masa a través de un sistema dado. Una ley fundamental que se aplica al flujo de masa es la ley de conservación de la masa, la cual establece que la masa de un sistema es siempre constante. Esto significa que la tasa de cambio de masa con respecto al tiempo es cero, conduciendo a la acepción de que el flujo másico de entrada al sistema (\dot{m}_{in}) es igual al flujo másico que sale del sistema (\dot{m}_{out}):

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \quad (9.1)$$

La tasa del flujo de masa se define en términos de área, densidad y velocidad; es decir:

$$\dot{M} = \rho A v \quad (9.2.)$$

donde: \dot{m} = tasa de flujo másico; ρ = densidad del fluido; A = área normal a la dirección del flujo; y v = velocidad.

Ejemplo 9.1:

Una línea de tubería de diámetro interior de 250 mm transporta un fluido a una tasa de 0.16 m³/s. Debido a un reductor en la línea, el diámetro a la salida es de 125 mm. Determinar la velocidad del fluido antes y después de la reducción.

Solución:

En la Figura 9.1 se representa gráficamente el problema.

Aplicando las ecuaciones (9.1) y (9.2) se obtiene:

$$(\rho Av)_1 = (\rho Av)_2$$

Asumiendo que la densidad es constante, tenemos:

$$(Av)_1 = (Av)_2 = Q$$

La magnitud Av se conoce como la tasa de flujo, Q .

$$v_1 = Q/A_1 = (0.16 \text{ m}^3/\text{s})/((\pi)(0.250/2 \text{ m})^2) = 3.3 \text{ m/s}$$

$$v_2 = Q/A_2 = (0.16 \text{ m}^3/\text{s})/((\pi)(0.0625/2 \text{ m})^2) = 13 \text{ m/s}$$

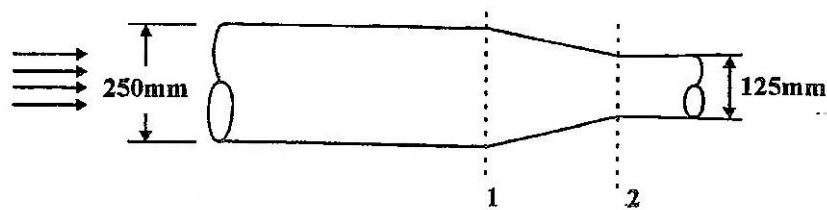


Figura 9.1. Representación gráfica del ejemplo 9.1

9.3. Las Distintas Formas de Energía

La energía existe en forma transferida o en forma almacenada. La energía almacenada puede ser potencial, cinética y energía interna. Estas formas de energía pueden ser transferidas desde y hacia un sistema de dos modos: calor y trabajo. Se denomina calor cuando la transferencia de la energía se debe a una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno. Se denomina trabajo si la transferencia se debe al impulso de una fuerza distinta a la temperatura. A continuación, se discuten los conceptos de trabajo, calor y energía.

Trabajo

El trabajo se define como la energía en transición debido al impulso de una fuerza cualquiera distinta a la diferencia de temperatura. Esta definición implica que trabajo existe en diferentes formas, tal como eléctrica o mecánica. La forma de trabajo más simple es el trabajo mecánico; y se define como el producto de la fuerza (F) y el desplazamiento(s), cuando la fuerza actúa en la dirección del desplazamiento; es decir:

$$W = F s \quad (9.3.)$$

Dónde: W = trabajo; F = fuerza; y s = desplazamiento

La Ecuación (9.3) implica que mientras no ocurra desplazamiento no se produce trabajo útil. Es importante reconocer este hecho debido a que el término trabajo se utiliza en la sociedad en forma diferente. Por ejemplo, la energía interna que consume un individuo en un gimnasio como resultado de aplicar una fuerza hacia un muro de ladrillos o una pared que no se mueve no genera trabajo, porque no hay desplazamiento.

La unidad de trabajo en el Sistema Internacional (SI) es N m (J) y pié-libra en el sistema inglés.

Calor

Calor es energía en transición debido a una diferencia de temperatura solamente. Esta definición implica que un cuerpo o sistema no contienen calor. Existe una relación definida entre calor y trabajo, la misma que se presentará más adelante, cuando introduzcamos el concepto de la primera Ley de la Termodinámica. El calor se representa mediante el símbolo Q. Las unidades de calor son el Joule (J) en el sistema internacional de unidades y el Btu (British thermal units) en el Sistema Inglés.

El calor es transferido de tres formas: conducción, convección y radiación. La transferencia de energía a través de un cuerpo como resultado de una diferencia de temperatura dentro del cuerpo se conoce como conducción. La energía transferida como resultado del flujo de un fluido es conocida como convección. Hay que observar que en estos casos aún existe una diferencia de temperatura. Un plato caliente se enfría de esta forma ya que el aire es el medio de transporte de calor transferido. La transferencia de energía que no requiere de un medio como un fluido o un sólido se conoce como radiación.

Energías Almacenadas

La energía de un cuerpo debido a su posición se conoce como energía potencial (EP) y está dada por la siguiente expresión:

$$PE = mgh \quad (9.4)$$

Dónde:

PE = energía potencial

m = masa del cuerpo

g = aceleración de la gravedad

h = altura del cuerpo con respecto a una referencia dada.

La ecuación (9.4) se debe entender en términos del trabajo realizado en contra de la gravedad al elevar el cuerpo a la posición dada. El producto “mg” es un peso; es decir una fuerza y “h” es el desplazamiento. Este trabajo transferido se almacena en otra forma de energía denominada energía potencia.

Como se ha indicado antes, otra forma de almacenamiento de energía es la energía cinética; se refiere a la energía que posee un cuerpo en virtud de su velocidad; se expresa como:

$$EC = \frac{1}{2} mv^2 \quad (9.5.)$$

Donde: EC = energía cinética; m = masa del cuerpo; y v = velocidad del cuerpo

Un cuerpo consiste de moléculas, cada una de las cuales posee energía potencial y energía cinética en virtud de su posición y el continuo movimiento de las moléculas. La medida de la energía potencial y cinética de las moléculas de un cuerpo o un sistema se conoce como energía interna; la cual usualmente se representa por el símbolo U. La energía interna no puede ser medida directamente, sino sólo el cambio de energía, mediante la siguiente relación:

$$\Delta U = mc\Delta T \quad (9.6.)$$

Donde: ΔU = cambio de energía interna.

m = masa del cuerpo

c = calor específico (ver Tabla 9.1)

ΔT = cambio de temperatura del cuerpo o sistema

Tabla 9.1. Calor específico para algunas sustancias

Sustancia	KJ/kg K	Btu/lbm R
Aire	0.7176	0.1714
Aluminio	0.9630	0.2300
Ladrillo	0.9210	0.2200
Concreto	0.6530	0.1040
Gasolina	2.0930	0.5000
Acero	0.4190	0.1000
Agua (líquida)	4.1860	1.0000
Agua (vapor)	1.4033	0.3352

Ejemplo 9.2:

Un tronco de madera ha sido arrastrado una distancia de 50 m por dos fuerzas de 3 kN y 2 kN aplicadas en un ángulo de 30° y 20° respectivamente (ver Figura 9.2): Determinar el trabajo que se ha realizado.

Solución:

De la Ecuación (9.3): $W = F s$

La fuerza a ser aplicada es la sumatoria de los componentes horizontales de las fuerzas debido a que el movimiento es en la dirección horizontal. Luego:

$$F = 3\,000 \cos 30^\circ + 2\,000 \cos 20^\circ = 4\,477.5 \text{ N}$$

$$W = (4\,477.5 \text{ N})(50 \text{ m}) = 223\,875.0 \text{ N m} = 223\,875.0 \text{ J} = 0.224 \text{ MJ}$$

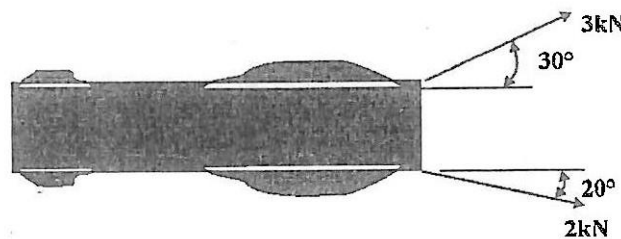


Figura 9.2. Fuerzas aplicadas al tronco de madera del problema 9.2

Ejemplo 9.3:

Si el tronco de Madera del problema 8.2 poseyera una masa de 1 500 kg y el arrastre se hubiera llevado a cabo en un lugar ubicado a 1 600 metros sobre el nivel del mar, determinar el tipo de energía que posee el tronco y su magnitud.

Solución:

Es claro que se trata de energía potencial. Por lo tanto, de la Ecuación (9.4) se tiene:

$$PE = mgh = (1\,500\text{ kg})(9.81\text{ m/s}^2)(1\,600\text{ m}) = 2.35(107)(\text{kg.m/s}^2)\text{ m} = 2.35(107)\text{ N m} = 23.5\text{ MJ}$$

Problema 9.4:

Un tanque que contiene 120 kg de agua a 20°C se calienta hasta una temperatura de 92°C. Determinar el cambio en energía interna del agua.

Solución:

De la Ecuación (9.6): $\Delta U = mc\Delta T$

Hay que convertir la temperatura a temperatura absoluta agregando 273. De la Tabla 9.1, se tiene que $c = 4\,186\text{ J/kg K}$

$$\Delta T = 365\text{ K} - 293\text{ K} = 72\text{ K}$$

$$\Delta U = (120\text{ kg})(4186\text{ J/kg K})(72) = 36.2(106)\text{ J} = 36.2\text{ MJ}$$

9.4. Leyes de la Termodinámica

La termodinámica es una ciencia que trata sobre el estudio de las transformaciones de la energía.

9.4.1. Primera Ley de la Termodinámica

La ley de conservación de energía establece que "la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma". La implicación de esta ley es que la energía puede ser transformada de una forma a otra sin pérdida. No obstante, trabajos experimentales han demostrado que esta equivalencia no es una conversión uno a uno, más bien existe una relación definida en la cantidad cuantitativa de energía transformada. La primera ley de termodinámica se usa para generalizar la ley de conservación de energía; esta última establece que "la suma algebraica de toda la energía que atraviesa la frontera de un sistema debe ser igual al cambio de energía del sistema".

Anteriormente hemos indicado que sólo dos formas de energía, calor y trabajo, son transferidas a través de los límites del sistema; luego la primera Ley se expresa como:

$$\Delta U = Q - W \quad (9.7)$$

dónde:

ΔU = cambios de energía interna del sistema

Q = calor transferido

W = trabajo realizado

Existen variaciones para la ecuación (9.7), no obstante, cuando se aplica la primera ley, como en la ecuación (9.7), se adopta una convención de signos para Q y W . Se considera que Q es positivo cuando el calor entra al sistema; y W es positiva si el sistema desarrolla trabajo. La ecuación

(9.7) puede simplificarse más dependiendo del tipo de proceso termodinámico. Existen cuatro procesos termodinámicos comúnmente conocidos: Adiabático, Isotérmico, Isovolumétrico e Isobárico. Un proceso Adiabático es aquel en el cual no existe transferencia de calor; es decir, $Q = 0$ en la ecuación (9.7). Un proceso Isotérmico es aquel que ocurre a una temperatura constante. Si el proceso ocurre a un volumen constante, entonces se denomina proceso Isovolumétrico. Cuando el proceso ocurre bajo una presión constante, se dice que el proceso es Isobárico.

Para aplicar la ecuación (9.7) se requiere entender lo que es un sistema termodinámico, el cual se define como cualquier región seleccionada del espacio limitada por uno o más superficies geométricas arbitrarias. La superficie limitada puede ser real o imaginaria y puede cambiar de forma o tamaño. La región del espacio que queda fuera de los límites es conocida como entorno o medio ambiente (ver Figura 9.3).

Ejemplo 9.5:

Un tanque contiene 120 kg de agua a una temperatura de 20°C. El tanque transfiere 2.5 MJ de calor como resultado de recibir 8.4 MJ de energía. Determinar la temperatura final del agua.

Solución:

Se toman los 120 kg de agua como el sistema termodinámico (ver Figura 9.4). De la Ecuación (9.7) se tiene: $\Delta U = Q - W$

La energía recibida viene a ser el trabajo realizado sobre el sistema; por lo tanto:

$$W = -8.4 \text{ MJ}$$

$$\Delta U = mc(T_2 - T_1)$$

El valor de c se extrae de la Tabla 9.1, con lo cual se obtiene:

$$(120 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg K})(T_2 - 293) = (-2.5 - (-8.4)) \text{ MJ} = 0.63 \times 10^6((T_2 - 293) = 5.9 \text{ MJ}$$

$$T_2 = 302.4 \text{ K} = 302.4 - 273 = 29.4^\circ \text{C}.$$

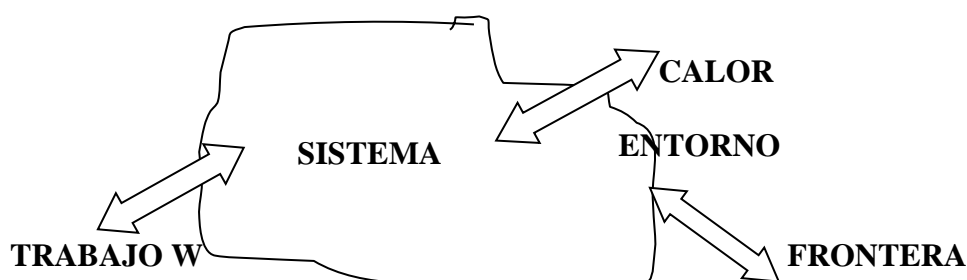


Figura 9.3. Ilustración de un sistema termodinámico

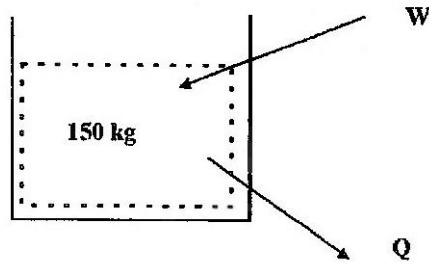


Figura 9.4. Representación esquemática del sistema termodinámico para el problema 8.5

9.4.2. Segunda Ley de la Termodinámica

La primera ley de la termodinámica trata sobre la conservación de la energía durante las distintas transformaciones; permite la libre conversión de energía de una forma a otra, siempre y cuando la cantidad total se conserve; no provee restricciones a la dirección del proceso; además, existen ciertos fenómenos que no pueden ser explicados adecuadamente mediante esta ley; por ejemplo, una taza de café caliente se enfriará a temperatura ambiente, pero no se calentará en forma natural. Para determinar la dirección de cambio de los procesos y también para proveer medios de medida para la calidad de energía, es que se dispone de la segunda. La segunda ley de la termodinámica se postula de varias formas, pero las postulaciones más populares son las de Clausius y Kelvin-Planck.

El postulado de Clausius establece: "es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo y no produzca otro efecto que la transferencia de calor de un cuerpo más frío hacia otro más caliente."

El postulado de Kelvin-Planck establece: "Es imposible construir un dispositivo que opere en un ciclo y no produzca otro efecto que la producción de trabajo e intercambio de calor con un reservorio".

Estos dos postulados están establecidos en términos negativos y tratan sobre la construcción de dispositivos o máquinas. El primero lo que realmente indica es que es imposible construir una máquina automática (que funcione por sí misma), que pueda transferir calor de un cuerpo más frío a otro más caliente sin ayuda de otro aparato externo. El segundo significa que no se puede concebir ningún tipo de máquina que pueda continuamente transformar en trabajo todo el calor que se le suministra. La implicación es que alguna porción de calor, denominado energía disponible, puede ser transformada en trabajo; la porción restante se denomina energía no disponible.

La segunda ley de la termodinámica tiene varias aplicaciones en la práctica de ingeniería, siendo una de las más comunes la denominada máquina de calor, la cual es un dispositivo que opera continuamente y produce trabajo mientras va recibiendo calor de una fuente a alta temperatura y desecha calor hacia un sumidero de baja temperatura. Las estaciones de generación de energía eléctrica aplican la máquina de calor utilizando el agua como fluido de trabajo (ver Figura 9.5). El calor es suministrado al agua en las calderas, las cuales a su vez transforman el agua líquida en vapor.

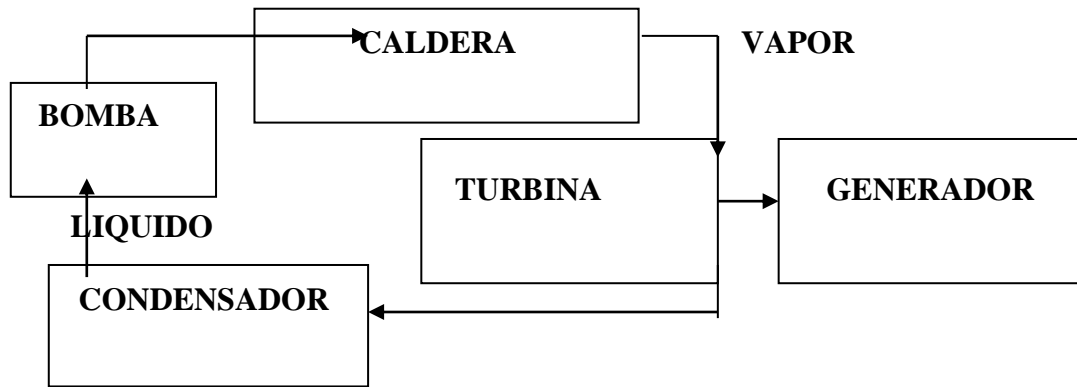


Figura 9.5. Diagrama esquemático de una central de generación de energía eléctrica

El vapor nuevamente se transforma en agua líquida en el condensador mediante la transferencia de calor hacia una fuente a baja temperatura. La turbina produce un trabajo muy útil, el cual se usa para generar electricidad.

Otra aplicación importante de la segunda ley es en la medición de la cantidad de calor que se convierte en trabajo; lo cual se lleva a cabo mediante la siguiente relación:

$$\eta = W/Q_H = (Q_H - Q_L)/Q_H \quad (9.8)$$

Donde: η = eficiencia térmica

W = trabajo

Q_H = calor desde una fuente de alta temperatura.

Q_L = calor hacia una fuente a baja temperatura.

Debido a que la segunda ley hace imposible crear un dispositivo que tenga un 100 % de eficiencia térmica, la máquina ideal de calor es aquella que logra la más alta eficiencia; ésta es la que se denomina motor Carnot, cuyo valor se calcula como sigue:

$$\text{Eficiencia Carnot} = 1 - T_L/T_H \quad (9.9)$$

Los subíndices L y H se refieren a temperaturas baja (L) y alta (H).

Ejemplo 9.6:

Un motor Carnot recibe 3.6 MJ/min de calor a una temperatura de 727°C y produce 42 kW de energía. Determinar la temperatura del sumidero.

Solución:

El calor recibido se transforma en energía (watts), según la siguiente relación:

$$(3.6 \times 10^6) \text{ (J/min} \times \text{min/60s)} = 60 \text{ kW}$$

De la Ecuación (9.8) la eficiencia Carnot es:

$$\eta = W/Q_H = 42/60 = 0.7$$

Ahora bien, utilizando la Ecuación (9.9) tenemos:

$$0.7 = 1 - T_L/T_H = 1 - T_L/(727 + 273) = 1 - T_L/1000$$

$$T_L = 300 \text{ K} = 170^\circ \text{C}$$

Referencias

Jana, W. S. (1987): "Introduction to Fluid Mechanics". Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California.

Schmidt F. W., R. E. Henderson, and C. H. Wolgemuth (1993): "Introduction to Thermal Science: Thermodynamics, Fluid Dynamics, Heat Transfer". Second Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York.

Wylen, G. V., R. Sonntag, and C. Borgnakke (1994): "Fundamentals of Classical Thermodynamics". Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc, New York

10. SISTEMAS QUÍMICOS Y SUS APLICACIONES EN INGENIERÍA

10.1. Introducción

La materia puede tener transformaciones de carácter físico, como la deformación de sólidos, la evaporación de líquidos, la condensación de gases o el traslado de lugar (transporte). La energía puede generarse, transportarse y usarse. El manejo de ambas: materia y energía son familiares en el quehacer de los ingenieros.

Hay sin embargo otras transformaciones que alteran su estructura nuclear. Tales transformaciones son el objeto de los sistemas químicos. El desarrollo de la industria química mundial se muestra por la existencia de más de 157 mil productos químicos existentes.

Este capítulo tiene como objetivo el de introducir al estudiante en los conceptos y definiciones básicas de los sistemas químicos y sobre todo destacar algunas aplicaciones en ingeniería.

10.2. Fundamentos de Sistemas Químicos

Los conceptos fundamentales de sistemas químicos son esenciales para comprender cómo los componentes químicos interactúan y se aplican en diversos campos de la ingeniería. Aquí tienes algunos conceptos clave: átomos, moléculas que constituyen cualquier material; los modos como se unen los átomos: iónico, covalente o metálico; y las reacciones químicas entre las sustancias.

Los átomos son las unidades más pequeñas de un elemento que retiene las propiedades químicas de ese elemento y las moléculas son la formación de la unión de dos o más átomos, los cuales pueden ser elementos iguales o diferentes.

Los átomos están constituidos por partículas elementales: protones, neutrones y electrones. Los primeros tienen propiedades magnéticas positivas, los electrones, negativas y los neutrones ninguna. El elemento más simple es el hidrógeno que tiene un protón y un electrón, el carbono tiene 6 protones, 6 neutrones y 6 electrones y el oxígeno tiene 8 protones, 8 neutrones y 8 electrones. Todos los átomos tienen igual número de protones que electrones por lo que son neutros. A ese número se le define como número atómico y se le representa por la letra Z y es una característica única que identifica al elemento.

Los protones y neutrones conforman el centro de átomo y los electrones giran a su alrededor a un diámetro 10 mil veces mayor que el diámetro del núcleo. El peso del átomo recae en el núcleo y el tamaño en la órbita de electrones, pues el electrón pesa casi 2 mil veces menos que un protón o neutrón. La masa del átomo es prácticamente la suma de las masas de los protones y electrones, A la suma del número de protones y neutrones se le denomina número másico A .

Para identificar un elemento se utiliza una letra mayúscula de su nombre, excepcionalmente dos letras y para informar de su estructura nuclear se le coloca dos números delante de la letra: el número atómico y el másico. Por ejemplo, el carbono se identifica como ${}^{12}_6\text{C}$.

La masa del protón es de 1.6724×10^{-23} g, la del neutrón 1.6747×10^{-23} g y la del electrón

9.1091×10^{-31} g. Por ser valores tan pequeños se ha tomado como base arbitraria al isótopo del carbono ${}^{12}_6\text{C}$ con el valor de 12,00000, de esta manera la masa del protón o neutrón es cercana a la

unidad. Esa escala de pesos atómicos es la que aparece en la tabla periódica que se encuentra en el anexo. El átomo de hidrógeno pesa 1,00797, el oxígeno 15,9994 y el uranio 238,03.

Normalmente se utiliza estos pesos atómicos expresados en gramos. Se define el átomo-gramo como la cantidad de un elemento cuya masa es el átomo gramo. Y el mol como la cantidad de un compuesto cuya masa es el peso molecular-gramos.

Los átomos de cualquier elemento pueden tener diferentes números de neutrones, a tales átomos se les denomina isótopos de ese elemento. Por ejemplo, el hidrógeno tiene un isótopo, el deuterio que tiene adicionalmente un neutrón.

Los átomos pueden ganar o perder electrones, en tal caso no serán neutros y se les llamará iones. Si son positivos: cationes y si son negativos: aniones. El número de electrones que haya ganado o perdido le confiere una carga al ión. El hidrógeno y el sodio tienen una carga de +1, el hierro y el calcio tienen una de +2, el aluminio y también el hierro tiene +3, el carbono -4, el nitrógeno y el fósforo -3, el oxígeno y el azufre -2 y el flúor y el cloro -1.

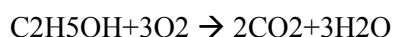
Los átomos se unen de manera iónica: transfiriendo electrones entre átomos; de manera covalente: compartiendo electrones entre átomos y de modo metálico: con los electrones libres que se mueven dentro de una red de átomos metálicos.

Un compuesto es una sustancia formada por ciertos elementos en proporciones definidas. La sustancia está constituida por elementos que se mantienen unidos por fuerzas internas denominadas enlaces químicos. La molécula del agua tiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno y se representa por H₂O. Los átomos pueden unirse en forma estable como las moléculas, pero con carga, estos se denominan iones. El oxígeno y el azufre pueden unirse manteniendo una carga doble negativa, el ion sulfato: (SO₄)⁻². Y el nitrógeno con el hidrógeno pueden formar el ion amonio: (NH₃)⁺¹.

La mayoría de las moléculas tienen un enlace estable constituido porque sus átomos comparten pares electrones, a tal enlace se les denomina covalente en lugar de enlace iónico.

Los compuestos o las moléculas pueden mezclarse y cada componente conserva sus propiedades. Sin embargo, si se varían las condiciones de temperatura o presión pueden reaccionar entre sí y generar otra sustancia. Por ejemplo, si se mezcla hierro y azufre a temperatura y presión normal, cada componente mantiene sus propiedades y se pueden separar; pero si se calienta a 1000 °C ambos se unen y forman sulfuro ferroso: FeS con propiedades distintas al azufre y al hierro. Ha ocurrido una reacción química. La ecuación química es la representación de la reacción química y expresa las proporciones en que deben unirse los reactantes para generar el o los productos.

El alcohol etílico (C₂H₅OH) cuando se quema se une con el oxígeno del aire y la ecuación química es:



El signo más significa reacciona con y la flecha, produce. La ecuación expresa: una molécula de alcohol etílico reacciona con tres moléculas de oxígeno y produce 2 moléculas de dióxido de carbono y 3 moléculas de agua.

Hay diferentes tipos de reacciones que existen: directas (A+B →C), descomposición (AB →A+B), desplazamiento (AB+C →CB+A), doble descomposición AB+CD →AD+CB).

10.3. Estados de la Materia

Los materiales son palpables por sus propiedades de tamaño, color, olor, textura. Pueden presentarse en tres estados o fases: sólido, líquido y gaseoso. El estado sólido retiene su forma y

volumen, el líquido retiene el volumen, pero no la forma, la cual se adapta al recipiente, y el gaseoso que no retiene ni su forma ni su volumen. La actividad química es más activa en gases y líquidos que en sólidos. Dependerá su estado en el nivel de temperatura en el cual se encuentre. Para cada sustancia hay una temperatura para cambiar de fase y una cantidad de calor necesario hacerlo.

El hidrógeno se funde a $-259,1^{\circ}\text{C}$ y requiere entregar una cantidad de calor de 28 cal/mol, el agua se funde a 0°C y requiere entregar 1436,0 cal/mol y el dióxido de silicio (arena) $1710,0^{\circ}\text{C}$ y requiere 3400 cal/mol. El agua hierve a 100°C y requiere 9720 cal/mol.

10.4. Disoluciones

Las disoluciones son mezclas homogéneas de dos o más sustancias con propiedades características. Pueden darse en las tres fases. Las sólidas son las más raras, pero las aleaciones metálicas y las soldaduras son ejemplos de ellas. Al componente en mayor cantidad se le llama disolvente y al menor soluto. Para medir las proporciones de ambos se utilizan varios parámetros de medición a determinada temperatura y presión medición: % en peso. % en volumen, masa soluto por volumen de solución, partes por millón y molaridad (moles por volumen). En sólidos se expresa en % en peso, en líquidos, masa soluto por volumen y molaridad y en gases parte por millón.

Los gases tienen leyes especiales y son muy importantes en química. La ley de Avogadro afirma que un mol de cualquier sustancia ocupa siempre el mismo volumen, a 0°C y una atmósfera de presión el volumen es de 22,414 l.

La presión, la temperatura, el volumen (y por consiguiente el número de moles están relacionados por la ecuación de gases ideales:

$$pV=nRT=mRT/M$$

siendo p la presión (en atmósferas), V el volumen (en litros), m la masa del gas (en gramos). T la temperatura absoluta ($^{\circ}\text{C}+27316$), M el peso molecular (en gramos) y R una constante que vale en esas unidades: 0,08205 litros-atmósfera/grados-mol.

10.5. Termodinámica Química

En el capítulo 8 sobre análisis de sistemas de energía fueron introducidos conceptos termodinámicos. La termodinámica química se ocupa de la aplicación de las leyes termodinámicas en los procesos químicos. Permite establecer un criterio para determinar que una reacción química puede producirse espontáneamente y permite calcular el rendimiento máximo de productos que genera una reacción química.

El trabajo asociado con la expansión o compresión de gases, si se realiza a presión constante será $w=p\Delta V$. En el caso que se efectúe el proceso a temperatura constante, al aplicar la ley de gases ideales se obtiene $w= nRT \ln(V_2/V_1)$, siendo los volúmenes correspondientes al pasar del estado 1 al estado 2.

La cantidad de calor transferida a una sustancia es $Q=mC \Delta T$, siendo m la masa, C el calor específico y ΔT el diferencial de temperatura entre los dos estados. El calor específico depende si es a presión constante o si es a volumen constante. Por ejemplo el C_p para el hierro es 6,1, el aluminio 4,94, el agua 18,0 y el oxígeno 6,991

Las unidades son cal/grad mol.

Como se indicó en el capítulo 10 la primera ley de la termodinámica $\Delta E = Q - W$. Como ΔE es una función de estado no depende del camino recorrido y se le denomina energía interna. Lo sorprendente es que ni Q ni W son funciones de estado.

Otra función termodinámica importante es la entalpía, sobre todo en los procesos isobáricos. Se define: $H = E + pV$ y por tanto $\Delta H = \Delta E + \Delta(pV)$.

Muchos procesos químicos se realizan a presión atmosférica, es decir a presión constante. En ese caso, puede demostrarse que $\Delta H = Q$. (El estudiante podrá hacerlo como ejercicio).

En una reacción química el calor generado o absorbido podrá calcularse mediante la diferencia de entalpías de los productos y los reactantes.

En una reacción general: $aA + bB \rightarrow cC + dD$

El calor de reacción será: $Q = \Delta H = cH_C + dH_D - aH_A - bH_B$

Todas las entalpías de las sustancias se establecen mediante convenio para algunos productos estables y en base a ello se han calculado las demás y se les denomina calores de formación. El H_2 y el O_2 son cero, el agua $-68,3$ y el NO $21,6$.

El segundo principio termodinámico permite saber si una reacción es espontánea. El término entropía, como una medida del desorden o expansión molecular de las sustancias, un sólido, mas compacto tendría una entropía menor que un líquido y mucho menor que un gas. Se define como $\Delta S = Q_{rev} / T$ a temperatura constante.

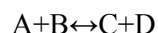
Los procesos que ocurren espontáneamente en la naturaleza son irreversibles. En tal caso el valor de $\Delta S > Q_{real} / T$ (a T constante).

El tercer principio termodinámico establece que a la temperatura de las sustancias cristalinas a $0^\circ K$ son iguales y se les puede asignar el valor de cero. Mediante esta ley se pueden calcular las entropías para elementos y compuestos. La entropía en cal/grado-mol a $25^\circ C$ es para el H_2 $31,21$, para el hierro $43,11$ y para el CO $49,003$.

La segunda ley puede resumirse en la expresión $\Delta S \geq Q/T$ aplicable a los procesos reversibles y los irreversibles. La mayoría de las reacciones se realizan también a presión constante: entonces $\Delta S \geq \Delta H/T$ de donde se puede deducir que $\Delta H - T\Delta S \leq 0$, recordando que T y p son constantes. A la relación $H - TS$ se la conoce como otra función termodinámica denominada energía libre de Gibbs, G . Por lo tanto cuando el valor de $\Delta G = \Delta H - T\Delta S \leq 0$ la reacción se verifica espontáneamente. Si es igual a cero, los componentes y productos están en equilibrio.

10.6. Equilibrio Químico

En las ecuaciones químicas hemos supuesto que los reactantes de la derecha se transforman en los de la izquierda. Hay muchas reacciones que se verifican en sentido inverso, es decir que los productos reaccionan y se transforman en los reactantes. Estas reacciones se denominan reversibles y se representan con otra flecha inversa:



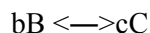
A medida que pasa el tiempo, se forma mayor cantidad de C y D y esto ocurre disminuyendo la velocidad de reacción. En cambio, la velocidad de la reacción inversa crece, cuando ambas velocidades se igualan, se alcanzará el equilibrio. Experimentalmente se comprueba porque a partir de ese momento las concentraciones de los reactantes y los productos no varían. El rendimiento puede variar de una reacción simple de descomposición de un reactante A en dos productos C y D .

La relación entre las concentraciones en equilibrio está relacionada por la expresión siguiente:

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

La K se denomina constante de equilibrio y varía con la temperatura.

En el aparte anterior vimos que si $\Delta G = 0$ la reacción está en equilibrio. En una reacción



entonces $\Delta G = 0 = c\Delta G_{f,C} - b\Delta G_{f,B}$ y ambos miembros de la derecha serán iguales.

La energía libre de un sólido o un líquido no varía con los cambios de presión, por ello se tabulan las energías libres a presión atmosférica. Para gases la expresión para obtener la energía libre a cualquier temperatura y presión es:

$$\Delta G_{f,i} = \Delta G^{\circ}_{f,i} + RT \ln p_i$$

10.7. Principio de le Chatelier

Este principio se aplica a un sistema que se encuentra en equilibrio cuando se modifica alguna variable. Es como la resistencia al cambio. Se expresa “cuando un sistema está en equilibrio y se modifica una variable que lo define, el equilibrio se desplazará de tal forma que se elimine la modificación. Fue anunciado basado en la experiencia, pero puede demostrarse termodinámicamente. En los sistemas químicos las variables determinantes son la concentración, el volumen, la temperatura y la presión. Si la concentración de algún reactante se aumenta, el sistema tiende a disminuirlo, consumiéndose más. Si la presión se aumenta, el sistema tiende a disminuir el número de moles presentes y si varía la temperatura variará la constante de equilibrio. Por ejemplo, en la fabricación de amoníaco ocurre esta reacción:



Es endotérmica y hay una reducción del número de moles de izquierda a derecha. Al aumentar la presión tenderá a producirse mayor amoníaco. La constante de equilibrio variará con la temperatura según la relación siguiente:

$$\ln (K_2 / K_1) = (\Delta H / R) [(1/T_1) - (1/T_2)]$$

10.8. Cinética Química

La termodinámica nos explica si una reacción es espontánea o no, pero no indica cuanto tarda en efectuarse. La cinética se ocupa de las velocidades de las reacciones. Puede medirse al unir los reactantes, cuanto reactivo queda o cuanto producto se genera en función del tiempo. Las unidades se expresan en mol/l-s es decir en moles por litro por segundo. La velocidad es proporcional a la concentración de los reactantes. En la reacción $A+B \rightarrow C$ la velocidad será $v = k[A][B]$. Si la reacción es reversible, esta tendrá también su velocidad de reacción: $v' = k'[C]$ y en el equilibrio $v = v'$ por lo que $k/k' = K$ donde K es la constante de equilibrio. La velocidad de reacción varía con la concentración, la temperatura y con la presencia de algunas sustancias denominadas catalizadores.

La ecuación de Arrhenius $k = A e^{[-E^*/RT]}$ establece la variación con la temperatura.

Los catalizadores son sustancias que alteran la velocidad de reacción. La mayoría acelera la reacción. Hay algunos catalizadores que son proteínas y se denominan enzimas y tienen una gran importancia en los productos bioquímicos. El uso de catalizadores en procesos químicos ha permitido

acelerar reacciones y mejorar la eficiencia, reduciendo los costos de producción y aumentando los rendimientos.

Ejemplos de catalizadores usados en la industria: NO en la oxidación del SO₂, el ZnO en la oxidación del CO.

10.9. Aplicación de los Procesos Químicos en Ingeniería

La mayor aplicación de los procesos químicos está en la producción a escala industrial de los productos químicos y que constituye una de las ramas de la ingeniería: la ingeniería química. Es aplicable a otras ramas de la ingeniería. A continuación, destacaremos varios ejemplos de su uso en las ingenierías.

Estos conceptos forman la base para comprender la química y su aplicación en ingeniería. Su comprensión es crucial para abordar problemas en campos como la ingeniería química, la ingeniería civil, la ingeniería eléctrica y muchas otras disciplinas.

En la producción industrial, varios conceptos fundamentales de sistemas químicos han sido trascendentales, contribuyendo significativamente al desarrollo y optimización de procesos. Algunos de los conceptos más destacados incluyen:

1. **Reacciones Químicas y Síntesis:** La capacidad de comprender y controlar las reacciones químicas ha sido esencial para la síntesis de productos químicos y materiales utilizados en la producción industrial.
2. **Catalizadores:** El uso de catalizadores en procesos químicos ha permitido acelerar reacciones y mejorar la eficiencia, reduciendo los costos de producción y aumentando los rendimientos.
3. **Equilibrio Químico:** La comprensión del equilibrio químico es crucial para optimizar condiciones de producción, maximizando la formación de productos deseados y minimizando subproductos.
4. **Termodinámica Aplicada:** Principios termodinámicos, como la entalpía y la energía libre de Gibbs, son fundamentales para diseñar y controlar procesos industriales, asegurando eficiencia energética y rentabilidad.
5. **Ingeniería de Procesos:** La aplicación de conceptos de ingeniería de procesos químicos, como el diseño de reactores y la optimización de procesos, ha llevado a mejoras significativas en la producción industrial.
6. **Control de Calidad:** El análisis químico y las tecnologías de control de calidad son esenciales para garantizar que los productos cumplan con los estándares requeridos, asegurando la consistencia y la calidad del producto final.
7. **Electroquímica Industrial:** Procesos electroquímicos, como la electrólisis y la galvanización, han sido fundamentales en la producción de productos químicos, metales y recubrimientos utilizados en diversas industrias.
8. **Innovaciones en Materiales:** El desarrollo de nuevos materiales y la modificación de propiedades mediante procesos químicos han sido cruciales para la fabricación de productos más eficientes y duraderos.
9. **Sostenibilidad y química verde:** Enfoques sostenibles y principios de química verde han influido en la producción industrial al promover procesos más limpios, menos tóxicos y más eficientes desde el punto de vista energético.

Estos conceptos han sido clave en la evolución de la producción industrial, mejorando la eficiencia, reduciendo costos y permitiendo el desarrollo de una amplia gama de productos esenciales

en la vida cotidiana. La continua aplicación e innovación en estos conceptos sigue siendo vital para abordar los desafíos contemporáneos de la producción industrial.

10.10. Aplicaciones en Ingeniería Química

La mayor aplicación de los sistemas químicos está en el Diseño Procesos Químicos: - A continuación se mencionan varios ejemplos del uso en la síntesis y optimización de la producción para mejorar la eficiencia, la selectividad y la sostenibilidad.

1. **Catalizadores:** En la síntesis de productos químicos, se utilizan catalizadores para acelerar reacciones químicas específicas. Por ejemplo, en la producción de amoníaco, se emplean catalizadores de hierro o platino.
2. **Reactores Químicos:** En la optimización de procesos, la elección del tipo de reactor químico puede influir en la velocidad de reacción y la selectividad del producto. Los reactores de lecho fijo, lecho fluidizado o reactores de membrana son ejemplos que pueden optimizarse para ciertos procesos. La optimización de procesos de extracción líquido-líquido o de destilación puede implicar el uso de solventes específicos, agentes de separación o técnicas avanzadas como la cromatografía.
3. **Reactivos y Co-reactivos:** La elección de reactivos y co-reactivos puede ser clave en la síntesis orgánica. Por ejemplo, en la síntesis de fármacos, se pueden utilizar reactivos específicos para obtener el isómero deseado.
4. **Sistemas de Control de Procesos:** El uso de sistemas de control de procesos químicos basados en la retroalimentación y la automatización puede optimizar la producción, ajustando las condiciones en tiempo real para maximizar la eficiencia y minimizar los subproductos.
5. **Diseño de Experimentos (DOE):** La aplicación de técnicas de DOE puede ayudar a optimizar la síntesis de productos químicos mediante la variación sistemática de factores como la temperatura, la presión y las concentraciones para identificar las condiciones óptimas.
6. **Modelado y Simulación:** Ejemplo: El modelado matemático y la simulación computacional permiten evaluar virtualmente diferentes escenarios de procesos químicos, ayudando a optimizar la cinética, la selección de equipos y las condiciones operativas.
7. **Tecnologías de Membranas:** El uso de membranas en procesos como la microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa puede optimizar la separación y purificación de productos químicos, ahorrando energía y recursos.
8. **Química Verde:** En la síntesis química sostenible, se buscan reacciones que minimicen la generación de subproductos y residuos. La optimización se centra en desarrollar rutas sintéticas más limpias y eficientes.
9. **Electroquímica:** La electroquímica se utiliza en la síntesis de muchos compuestos, especialmente en la producción de productos químicos finos y farmacéuticos. Los electrodos y las condiciones electroquímicas se ajustan para mejorar la selectividad y el rendimiento.

Estos ejemplos ilustran cómo los sistemas químicos se aplican en diferentes etapas de la síntesis y optimización de procesos químicos para lograr objetivos específicos, como eficiencia, selectividad, sostenibilidad y reducción de costos.

El control y monitoreo de procesos industriales a menudo involucran el uso de diversos sistemas químicos, instrumentación y técnicas analíticas para garantizar la eficiencia, la seguridad y la calidad de la producción. Aquí hay algunos ejemplos de sistemas químicos aplicados en este contexto:

1. **Sensores y Analizadores Químicos:** Sensores de pH y analizadores químicos en línea se utilizan para monitorear y controlar el pH de las soluciones en procesos químicos. Esto es crucial para mantener las condiciones óptimas de reacción.
2. **Espectroscopía en Tiempo Real:** Técnicas como la espectroscopía infrarroja en tiempo real se utilizan para monitorear la composición química de las mezclas en línea, lo que permite ajustes inmediatos en los procesos.
3. **Cromatografía en Línea:** Sistemas de cromatografía en línea, como la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) o la cromatografía de gases (GC), son empleados para el monitoreo continuo de la pureza y la identificación de compuestos en tiempo real.
4. **Sensores de Gases:** En entornos industriales, se utilizan sensores de gases para monitorear la presencia de compuestos peligrosos o para asegurar la calidad del aire en espacios de trabajo.
5. **Sensores de Temperatura:** Sensores de temperatura son esenciales en la monitorización de procesos que involucran reacciones químicas sensibles a la temperatura, asegurando condiciones óptimas.
6. **Control Automático de pH:** Sistemas de control automático ajustan la adición de reactivos al sistema para mantener el pH dentro de los límites deseados, evitando reacciones indeseadas.
7. **Sistemas de Dosificación Automática:** Equipos de dosificación automática se utilizan para agregar reactivos específicos en las cantidades precisas, asegurando la consistencia en la composición de la mezcla.
8. **Monitoreo de Niveles de Tanques:** Sensores de nivel y sistemas de monitoreo se emplean para controlar los niveles de líquidos en tanques, evitando desbordamientos y asegurando un suministro constante de materiales.
9. **Sistemas de Monitoreo de Emisiones:** Instrumentos de monitoreo continuo de emisiones se utilizan para medir y controlar las emisiones gaseosas, asegurando el cumplimiento de normativas ambientales.
10. **Analizadores de Conductividad Eléctrica:** En procesos que involucran soluciones acuosas, los analizadores de conductividad eléctrica se utilizan para monitorear la concentración de iones, lo que puede ser indicativo de la calidad y la composición de la solución.

Estos ejemplos muestran cómo los sistemas químicos y de monitoreo son esenciales para controlar procesos industriales, garantizando la calidad del producto, la seguridad y la eficiencia operativa. La integración de tecnologías modernas permite un monitoreo en tiempo real y ajustes precisos para optimizar los procesos químicos industriales.

10.11. Automatización y Sistemas de Control en la Ingeniería Química

La automatización y los sistemas de control desempeñan un papel crucial en la ingeniería química, permitiendo la operación eficiente, segura y precisa de procesos químicos y plantas industriales. Aquí tienes algunos ejemplos de cómo se aplican en este campo:

1. **Control de Temperatura:** Sistemas de control automático ajustan la entrada de calor o refrigeración para mantener la temperatura deseada en reactores químicos, columnas de destilación u otros equipos sensibles a la temperatura.
2. **Control de Presión:** Se utilizan válvulas de control y sistemas de retroalimentación para mantener la presión dentro de rangos seguros y óptimos en equipos como reactores y tanques.

3. **Control de Nivel:** Sistemas de control automático regulan la entrada y salida de líquidos en tanques para mantener un nivel constante, evitando desbordamientos o niveles bajos que podrían afectar la eficiencia del proceso.
4. **Automatización de Reactores:** Los sistemas de control avanzados pueden gestionar automáticamente la adición de reactivos, ajustar la temperatura y controlar el tiempo de reacción en reactores químicos.
5. **Control de Flujo:** Válvulas de control y medidores de flujo automático se utilizan para regular y ajustar el flujo de líquidos y gases a través de tuberías y procesos.
6. **Control de pH:** Sistemas automatizados dosifican ácidos o bases para ajustar y mantener el pH en el rango deseado en procesos químicos y sistemas de tratamiento de agua.
7. **Sistemas de Control Distribuido (DCS):** En plantas químicas grandes, se implementan sistemas DCS que integran y coordinan la operación de múltiples unidades y procesos, permitiendo una supervisión centralizada y un control eficiente.
8. **Automatización en Destilación:** Los sistemas de control en columnas de destilación ajustan automáticamente las condiciones de temperatura y presión para separar componentes de una mezcla de manera eficiente.
9. **Control de Bombas y Compresores:** Sistemas de control automático ajustan la velocidad y la potencia de bombas y compresores para mantener un flujo constante y eficiente en procesos de transporte de fluidos.
10. **Integración con Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real:** La automatización puede integrarse con sistemas de monitoreo en tiempo real, como sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), para proporcionar una visión completa del estado del proceso.
11. **Automatización en Biorreactores:** En la producción de productos biotecnológicos, la automatización controla variables críticas como la agitación, la aireación y la alimentación de nutrientes en biorreactores.

Estos ejemplos ilustran cómo la automatización y los sistemas de control en ingeniería química permiten la operación eficiente y segura de procesos complejos, mejorando la calidad del producto y reduciendo los riesgos operativos.

10.12. Aplicaciones en Ingeniería Civil

Materiales de Construcción: Uso de sistemas químicos en la fabricación de cemento, concreto y otros materiales de construcción. Ejemplos de aditivos químicos que mejoran las propiedades de los materiales.

La fabricación de cemento es un proceso altamente dependiente de sistemas químicos para varias etapas del proceso. Aquí se describen algunas de las aplicaciones clave de los sistemas químicos en la fabricación de cemento:

1. **Extracción y Trituración de Materias Primas:** Voladura de Rocas: En las canteras, se utilizan explosivos que contienen sistemas químicos específicos para fragmentar grandes bloques de roca, facilitando su extracción. Trituración y Molienda Inicial: Durante la preparación de materias primas como la caliza y la arcilla, se pueden emplear aditivos para mejorar la eficiencia de la trituración y molienda.
2. **Preparación de la Mezcla Cruda:** Control de Composición: Aditivos químicos pueden agregarse para ajustar la composición química de la mezcla cruda, asegurando una proporción adecuada de componentes para la producción de clínker.

3. **Clinkerización: Formación de Clínker:** El proceso de clinkerización en el horno rotatorio implica someter la mezcla cruda a altas temperaturas. Sistemas químicos, como coque de petróleo o aditivos de flotación, pueden utilizarse para controlar la temperatura y la calidad del clínker resultante.
4. **Molienda del Clinker: Aditivos de Molienda:** Durante la fase de molienda, se emplean aditivos químicos para mejorar la eficiencia del proceso y controlar las propiedades finales del cemento, como la resistencia y la finura.
5. **Adición de Yeso: Regulación del Tiempo de Fragüe:** Se añade yeso (sulfato de calcio) para controlar el tiempo de fragüe del cemento. Este proceso también puede involucrar aditivos químicos para optimizar la reacción.
6. **Embalaje y Almacenamiento: Aditivos Anticompactación:** Aditivos químicos pueden añadirse para prevenir la compactación del cemento durante el almacenamiento y transporte, mejorando la fluidez del producto.
7. **Control Ambiental: Reducción de Emisiones:** Dado que la fabricación de cemento puede generar emisiones de gases contaminantes, se emplean sistemas químicos en tecnologías de control de emisiones para cumplir con regulaciones ambientales.
8. **Innovaciones Sostenibles: Desarrollo de Cementos Específicos:** La investigación y desarrollo de nuevos tipos de cemento, como cementos de bajo carbono o cementos geopoliméricos, implican el uso de sistemas químicos innovadores.

En resumen, los sistemas químicos son esenciales en la fabricación de cemento, ya que influyen en la eficiencia del proceso, las propiedades del producto final y la capacidad de cumplir con estándares ambientales. Además, el uso de tecnologías químicas contribuye a la innovación y al desarrollo sostenible en la industria del cemento.

hay una variedad de aditivos químicos que se utilizan para mejorar las propiedades de diversos materiales en la industria de la construcción y otros campos. A continuación se proporcionan ejemplos de aditivos y sus aplicaciones:

1. **En la Fabricación de Cemento: Aditivos de Molienda:** Mejoran la eficiencia del proceso de molienda del clínker, aumentando la finura del cemento sin comprometer la resistencia. Ejemplos incluyen el glicol de propileno y el glicol de etileno. **Retardadores de Fragüe:** Retrasan el tiempo de fragüe del cemento, lo que es útil en condiciones climáticas adversas o cuando se necesitan tiempos de trabajo más largos. El ácido cítrico es un ejemplo común.
2. **En la Fabricación de Hormigón: Superplastificantes:** Mejoran la trabajabilidad del hormigón al reducir la cantidad de agua necesaria sin comprometer la consistencia. Ejemplos incluyen policarboxilatos y naftalenosulfonatos. **Aceleradores de Fragüe:** Aceleran el tiempo de fragüe del hormigón, lo que es beneficioso en climas fríos o cuando se necesita un endurecimiento rápido. El cloruro de calcio es un ejemplo.
3. **En la Fabricación de Asfalto: Modificadores de Asfalto:** Mejoran la durabilidad y las propiedades mecánicas del asfalto. Polímeros como el estireno-butadieno (SBR) y el polietileno se utilizan como modificadores.
4. **En Pinturas y Revestimientos: Espesantes:** Mejoran la consistencia y la textura de las pinturas y recubrimientos. Los espesantes como la carboximetilcelulosa (CMC) se utilizan para controlar la viscosidad. **Estabilizadores UV:** Protegen los materiales contra la degradación causada por la radiación ultravioleta. **Benzotriazoles** y **benzofenonas** son ejemplos comunes.
5. **En Polímeros y Plásticos: Antioxidantes:** Previenen la degradación de los polímeros debido a la exposición a condiciones ambientales adversas. El butilhidroxianisol (BHA) y el butilhidroxitolueno (BHT) son antioxidantes comunes. **Plastificantes:**

Mejoran la flexibilidad y maleabilidad de los polímeros. Ftalatos y ésteres de ácido cítrico son ejemplos de plastificantes.

6. En la Industria del Papel: Agentes de Retención: Mejoran la retención de fibras durante la fabricación del papel. Polímeros catiónicos, como poliaminas y polielectrolitos, se utilizan como agentes de retención.
7. En la Construcción de Carreteras: Estabilizadores del Suelo: Mejoran las propiedades del suelo para aumentar su capacidad de carga y resistencia. El cemento y los productos químicos como el cloruro de calcio se utilizan para la estabilización del suelo.

Estos son solo algunos ejemplos, y la variedad de aditivos químicos disponibles es amplia. Cada aditivo está diseñado para abordar necesidades específicas y mejorar propiedades particulares de los materiales en función de las aplicaciones deseadas.

10.13. Tratamiento de aguas blancas

La potabilización del agua implica la aplicación de diversos sistemas químicos para garantizar que el agua destinada al consumo humano cumpla con los estándares de calidad y sea segura para beber. A continuación, se presentan algunos de los sistemas químicos comúnmente utilizados en el proceso de potabilización del agua:

1. Coagulación y Floculación: Sulfato de Aluminio: Se utiliza como coagulante para aglutinar partículas sólidas presentes en el agua y formar floculaciones más grandes. Cloruro Férrico: Otro coagulante que puede utilizarse en lugar del sulfato de aluminio para el mismo propósito.
2. Desinfección: Cloro: El cloro es un desinfectante ampliamente utilizado que se agrega al agua para eliminar bacterias, virus y otros microorganismos patógenos. Dióxido de Cloro: Se utiliza también como desinfectante efectivo y tiene la ventaja de formar menos subproductos de desinfección que el cloro. Ozono: Es un desinfectante potente que se utiliza para descomponer compuestos orgánicos y microorganismos, mejorando la calidad del agua.
3. Ajuste de pH: Ácido Sulfúrico o Ácido Clorhídrico: Se utilizan para ajustar el pH del agua a un rango óptimo, lo que ayuda en la eficacia de otros procesos de tratamiento.
4. Adsorción: Carbón Activado: Se utiliza para eliminar compuestos orgánicos, color, olor y sabor del agua mediante adsorción.
5. Precipitación y Remoción de Sólidos: Hidróxido de Calcio (Cal): Se utiliza para precipitar y eliminar iones de metales pesados, como el plomo y el cobre, del agua. Fosfato Férrico: Ayuda en la precipitación y remoción de fosfatos del agua.
6. Remoción de Compuestos Orgánicos: Ozono: Además de su función como desinfectante, el ozono también puede utilizarse para oxidar y descomponer compuestos orgánicos en el agua.
7. Fluoración: Fluoruro de Sodio o Ácido Fluorosilícico: Se añade al agua para prevenir la caries dental cuando los niveles de fluoruro son bajos.
8. Desodorización: Permanganato de Potasio: Se utiliza para eliminar olores desagradables y compuestos orgánicos volátiles del agua.

Estos sistemas químicos se aplican de manera secuencial o simultánea, dependiendo de las características del agua cruda y de los estándares de calidad establecidos. La potabilización del agua es un proceso complejo que requiere un cuidadoso monitoreo y ajuste para garantizar la seguridad y la salud pública.

10.14. Tratamiento de aguas negras

El tratamiento de aguas servidas o aguas residuales implica la aplicación de diversos sistemas químicos para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua antes de ser devuelta al medio ambiente o reutilizada. Aquí se presentan algunos de los sistemas químicos comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas servidas:

1. Coagulación y Floculación: Sulfato de Aluminio: Se utiliza como coagulante para aglutinar partículas finas y coloides presentes en el agua residual, formando floculaciones más grandes que facilitan su eliminación. Cloruro Férrico: Otro coagulante alternativo que puede emplearse para la coagulación de partículas.
2. Sedimentación: Polímeros Catiónicos: Se utilizan como agentes floculantes para mejorar la sedimentación de los sólidos suspendidos en el agua, facilitando su separación en los tanques de sedimentación.
3. Tratamiento Biológico: Bacterias Aerobias y Anaerobias: En los sistemas de lodos activados y lechos bacterianos, se utilizan microorganismos para descomponer materia orgánica y nutrientes presentes en el agua residual. Oxidación Avanzada: Se pueden utilizar sustancias como el peróxido de hidrógeno o el ozono para mejorar la descomposición de contaminantes recalcitrantes en el tratamiento biológico.
4. Desinfección: Cloro: Aunque también se utiliza en el tratamiento de aguas potables, el cloro puede aplicarse en el tratamiento de aguas servidas para desinfectar el agua antes de su liberación. Radiación Ultravioleta (UV): Se utiliza para desinfectar el agua sin agregar productos químicos, siendo efectivo contra bacterias, virus y otros microorganismos patógenos.
5. Neutralización de pH: Hidróxido de Sodio (NaOH) o Ácido Sulfúrico (H₂SO₄): Se emplean para ajustar y neutralizar el pH del agua residual, evitando efectos negativos en los procesos biológicos y químicos posteriores.
6. Adsorción y Filtración: Carbón Activado: Utilizado para adsorber compuestos orgánicos presentes en el agua residual y mejorar la calidad del agua. Filtros de Arena: Ayudan a retener partículas suspendidas y sólidos en el agua, mejorando su claridad.
7. Eliminación de Nutrientes: Nitrificación y Desnitrificación: Procesos biológicos y químicos que eliminan nitrógeno amoniacal y nitratos del agua residual.
8. Tratamiento de Metales Pesados: Sulfuro de Sodio: Se utiliza para precipitar y eliminar metales pesados del agua residual.

Es importante destacar que la elección de los sistemas químicos dependerá de las características específicas del agua residual y de los requisitos ambientales y de calidad del agua establecidos por las autoridades locales. Los procesos de tratamiento suelen combinar varias etapas para lograr una eliminación efectiva de contaminantes.

10.15. Prevención de la corrosión

Los inhibidores de corrosión son sustancias químicas diseñadas para prevenir o reducir la corrosión de metales. Su aplicación es crucial en diversos sectores industriales donde los equipos y estructuras están expuestos a condiciones corrosivas. A continuación, se describe cómo funcionan y se utilizan los inhibidores en la prevención de la corrosión:

1. Mecanismos de Acción: Los inhibidores de corrosión actúan interfiriendo en los procesos electroquímicos que conducen a la corrosión. Hay dos tipos principales de inhibidores de corrosión: los inhibidores anódicos y los inhibidores catódicos.

2. Inhibidores Anódicos: Estos inhibidores se adsorben en la superficie del metal y forman una capa protectora que evita la oxidación del metal. Al bloquear la reacción anódica, impiden la formación de iones metálicos que contribuyen al proceso corrosivo.
3. Inhibidores Catódicos: Estos inhibidores, por otro lado, se concentran en el sitio donde ocurre la reacción catódica. Al reducir la velocidad de reducción de oxígeno o de otros agentes oxidantes, impiden la formación de iones metálicos y, por lo tanto, reducen la corrosión.

Aplicaciones Prácticas: Los inhibidores de corrosión se utilizan en una variedad de entornos industriales y aplicaciones, incluyendo:

1. Industria Petrolera: En sistemas de producción de petróleo y gas, se utilizan inhibidores de corrosión para proteger tuberías y equipos contra la corrosión causada por la presencia de agua y gases corrosivos.
2. Industria Química: En instalaciones químicas, donde la exposición a productos químicos corrosivos es común, los inhibidores de corrosión se aplican para proteger equipos y estructuras metálicas.
3. Sistemas de Refrigeración: En sistemas de refrigeración, los inhibidores de corrosión protegen los componentes metálicos, como intercambiadores de calor y tuberías, contra la corrosión causada por el agua de enfriamiento.
4. Sistemas de Agua Potable: En las redes de suministro de agua, se utilizan inhibidores de corrosión para proteger las tuberías y componentes metálicos contra la corrosión inducida por el agua.
5. Industria de la Construcción: En la construcción, los inhibidores de corrosión pueden incorporarse en recubrimientos protectores aplicados sobre estructuras de acero, como puentes y edificios.
6. Automoción: En la industria automotriz, los inhibidores de corrosión se utilizan para proteger partes metálicas del chasis y otros componentes expuestos a condiciones ambientales adversas.

Consideraciones Importantes:

- La elección del inhibidor de corrosión dependerá del tipo de metal, las condiciones ambientales y la aplicación específica.
- La cantidad adecuada de inhibidor debe ser determinada para garantizar una protección efectiva sin causar efectos secundarios no deseados.
- Los inhibidores de corrosión suelen aplicarse como aditivos en fluidos (agua, aceites, etc.) o como recubrimientos protectores.

En resumen, los inhibidores de corrosión desempeñan un papel esencial en la prolongación de la vida útil y la integridad de los componentes metálicos en una variedad de entornos industriales y aplicaciones.

10.16. Nanomateriales

La aplicación de nanomateriales en la construcción ha ido ganando importancia en los últimos años debido a las propiedades únicas y mejoradas que ofrecen a los materiales de construcción tradicionales. Al incorporar nanomateriales en diferentes componentes y procesos de construcción, se pueden lograr mejoras significativas en términos de resistencia, durabilidad, funcionalidad y sostenibilidad. Aquí hay algunas aplicaciones destacadas:

1. Nanopartículas en Cemento: Se han utilizado nanopartículas, como sílice coloidal y nanotubos de carbono, para mejorar las propiedades del cemento. Estos aditivos pueden aumentar la resistencia, reducir la porosidad y mejorar la durabilidad del concreto.
2. Nanoarcillas en Polímeros: La adición de nanoarcillas a polímeros utilizados en la construcción, como polímeros de matriz de resina, puede mejorar las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales compuestos resultantes.
3. Nanotubos de Carbono y Nanofibras en Materiales Compuestos: Los nanotubos de carbono y las nanofibras de carbono se han utilizado para fortalecer materiales compuestos en aplicaciones de construcción, como la fabricación de materiales compuestos de fibra de carbono.
4. Nanopartículas de Óxido de Hierro en Hormigón: La adición de nanopartículas de óxido de hierro al hormigón puede mejorar sus propiedades mecánicas y contribuir a su capacidad para absorber y retener energía solar, convirtiéndolo en un material fototérmico.
5. Recubrimientos Nanotecnológicos: Los recubrimientos basados en nanotecnología se utilizan para mejorar la resistencia a la intemperie, la autolimpieza y la resistencia al agua de las superficies de edificios.
6. Aislamiento Térmico Nanotecnológico: Materiales aislantes térmicos que incorporan nanomateriales, como aerogeles y nanopartículas, pueden proporcionar propiedades de aislamiento térmico mejoradas en comparación con los materiales tradicionales.
7. Nanotecnología en Paneles Solares: Se investiga el uso de nanomateriales en la fabricación de células solares y paneles solares para mejorar la eficiencia y reducir el costo de la energía solar en aplicaciones de construcción.
8. Nanopartículas Antimicrobianas en Revestimientos: Se están desarrollando recubrimientos que contienen nanopartículas antimicrobianas para inhibir el crecimiento de microorganismos y mejorar la resistencia a la corrosión en estructuras exteriores.
9. Nanotecnología en Materiales de Cambio de Fase (PCM): Los materiales de cambio de fase basados en nanotecnología se utilizan para mejorar la eficiencia energética en la construcción al proporcionar propiedades de almacenamiento y liberación de calor mejoradas.
10. Nanofibras en Refuerzo de Materiales Compuestos: Se emplean nanofibras en la fabricación de materiales compuestos para reforzar la estructura y mejorar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la construcción.

La nanotecnología en la construcción ofrece un potencial significativo para desarrollar materiales más fuertes, livianos, duraderos y sostenibles. Sin embargo, es importante abordar cuidadosamente los desafíos relacionados con la seguridad y la regulación para garantizar la aplicación segura y responsable de los nanomateriales en entornos de construcción.

10.17. Sostenibilidad y ambiente

Los sistemas químicos desempeñan un papel crucial en la sostenibilidad ambiental al ser utilizados en una variedad de aplicaciones que buscan reducir el impacto ambiental, minimizar residuos y mejorar la eficiencia en el uso de recursos. Aquí hay algunas aplicaciones clave de los sistemas químicos en el contexto de la sostenibilidad ambiental:

1. Tratamiento de Aguas Residuales: Sistemas químicos como coagulantes, floculantes y desinfectantes se utilizan en el tratamiento de aguas residuales para eliminar contaminantes y patógenos antes de su liberación en cuerpos de agua, contribuyendo a la protección del medio ambiente acuático.

2. Desarrollo de Biocombustibles y Bioproductos: Los sistemas químicos juegan un papel clave en la producción de biocombustibles y bioproductos a partir de fuentes renovables, ayudando a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y minimizando las emisiones de gases de efecto invernadero.
3. Química Verde: La química verde busca desarrollar procesos químicos que sean más sostenibles y ambientalmente amigables, minimizando el uso de sustancias tóxicas, la generación de residuos y la utilización de recursos no renovables.
4. Reciclaje Químico: Los sistemas químicos desempeñan un papel importante en las tecnologías de reciclaje químico, permitiendo la descomposición y reutilización de materiales plásticos, textiles y otros productos, reduciendo así la cantidad de residuos en vertederos.
5. Diseño de Materiales Sostenibles: La ingeniería química y de materiales se utiliza para diseñar materiales más ligeros, duraderos y reciclables, contribuyendo a la reducción de la huella ambiental de productos y estructuras.
6. Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS): Sistemas químicos están involucrados en tecnologías de captura de carbono que buscan reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de las fuentes de combustibles fósiles y otras industrias intensivas en carbono.
7. Agricultura Sostenible: La aplicación de sistemas químicos en la agricultura incluye la gestión de fertilizantes, pesticidas y herbicidas para minimizar el impacto ambiental y promover prácticas agrícolas más sostenibles.
8. Desarrollo de Baterías y Almacenamiento de Energía: La investigación en sistemas químicos es esencial para el desarrollo de baterías más eficientes y sostenibles, lo que contribuye a la expansión de la energía renovable y la electrificación de la movilidad.
9. Tratamiento de Aire y Control de Emisiones: Sistemas químicos se utilizan en tecnologías de control de emisiones para reducir la liberación de contaminantes atmosféricos y mejorar la calidad del aire, lo que es crucial para abordar problemas como la contaminación del aire.
10. Fabricación de Materiales Nanotecnológicos: La nanotecnología, que a menudo implica procesos químicos, se utiliza para desarrollar materiales con propiedades mejoradas, contribuyendo a la creación de productos más eficientes y sostenibles.

Estas aplicaciones demuestran cómo la ingeniería química y los sistemas químicos están en el centro de los esfuerzos para abordar los desafíos ambientales y avanzar hacia prácticas más sostenibles en diversos sectores industriales.

Referencias

"Ingeniería de Procesos Químicos" de Ernest J. Henley y J.D. Seader. Un recurso integral que cubre la ingeniería de procesos químicos, desde la síntesis de productos hasta el diseño de reactores y la optimización de procesos.

"Química: La Ciencia Central" de Theodore L. Brown, H. Eugene LeMay Jr., Bruce E. Bursten, y Catherine J. Murphy. Otra opción para un libro de química general, que destaca la aplicación práctica de los conceptos químicos en diversos campos.

"Introduction to Industrial Chemistry" de C.A. Heaton. Este libro se centra en la aplicación de principios químicos en la industria, abordando procesos y productos industriales.

"Green Chemistry: Theory and Practice" de Paul T. Anastas y John C. Warner. Ofrece una perspectiva sobre la química verde, destacando enfoques sostenibles y prácticas responsables en la producción química.

Estos libros abarcan diferentes aspectos de los sistemas químicos, desde los principios teóricos hasta su aplicación práctica en la industria.

A continuación, se presenta una selección de libros que se centran en la aplicación de sistemas químicos en el contexto de la ingeniería. Estos textos abarcan temas como la ingeniería química, procesos industriales, control de procesos y aplicaciones prácticas en diversas áreas.

"Chemical Engineering: A New Perspective" de Michael D. Towler y R. K. Sinnott.

Este libro proporciona una introducción amplia y accesible a la ingeniería química y sus aplicaciones en la industria.

"Process Systems Engineering: Volume 1 - Principles" de David W. Himmelblau y James B. Riggs.

Parte de una serie que aborda la ingeniería de sistemas y procesos, centrándose en principios fundamentales.

"Chemical Engineering Design" de Gavin P. Towler y R. K. Sinnott.

Este libro se centra en el diseño de procesos químicos y equipos, aplicando principios de ingeniería química. Examina las tendencias y desarrollos actuales en el campo de la ingeniería química.

Estos libros abordan la aplicación práctica de sistemas químicos en la ingeniería, desde el diseño de procesos hasta la seguridad y el control.

11. SISTEMAS BIOLÓGICOS

11.1. Introducción

El término sistema biológico se origina de las palabras griegas bios (vida) y system (sistema), lo que refleja su naturaleza como una disposición sistémica de entidades vivientes. Como sinónimos se suele usar, sistema vivo, sistema orgánico y sistema ecológico; y como variante, biosistema y ecosistema.

De acuerdo con esa definición, un sistema biológico, entonces, se refiere a una red de entidades que funcionan como una unidad, juntas como un todo unificado. Es la organización jerárquica de la vida, abarcando ecosistemas, órganos, tejidos y células. Estos componentes biológicos de un todo altamente organizado interactúan para mantener los procesos vitales. El sistema del cuerpo humano es un ejemplo de sistema biológico en el que los órganos trabajan juntos para realizar una tarea particular.

Los sistemas biológicos poseen las siguientes características generales fundamentales:

- Están organizados
- Están interconectados
- Son para la estabilidad

Debido a que los sistemas biológicos están estructurados en una organización colectiva que interactúa como una unidad, sus componentes están integrados de tal manera que no pueden reducirse simplemente a individuos aislados. Tomemos, por ejemplo, el cerebro, que está formado por una gran cantidad de neuronas que trabajan en conexiones intrincadas. Si bien es una unidad básica, una neurona aislada no podría dilucidar completamente las propiedades, comportamientos y cualidades del cerebro. Incluso si se resumen las actividades de las neuronas individuales. Las neuronas podrían realizar una función cerebral con mucha eficiencia si trabajaran juntas, especialmente porque su actividad tendría que estar estrictamente regulada y mantenida mediante la homeostasis.

Como ejemplos, a continuación, se muestran los siguientes sistemas biológicos en capas jerárquicas:

- Los ecosistemas ilustran la interconexión de la vida y el intercambio de energía y materia dentro de la naturaleza.
- Un ecosistema es un sistema biológico compuesto de factores bióticos (seres vivos) y factores abióticos (ambiente físico) que funcionan juntos como una unidad.
- El cuerpo (o sistema corporal) es la unidad biológica del cuerpo de un organismo. En formas superiores de organismos como los vertebrados (incluidos los humanos), los sistemas corporales incluyen los sub-tegmentario, linfático, muscular, nervioso, reproductivo, respiratorio, esquelético, endocrino, inmunológico y urinario (que individualmente constituyen sistemas del cuerpo humano).
- En los organismos multicelulares, las células se organizan en tejidos y órganos.
- En organismos unicelulares, como bacterias y eucariotas microscópicos, un sistema biológico pertenece a los complejos macromoleculares y orgánulos dentro de las células de procariotas y eucariotas, respectivamente. Las células de los organismos unicelulares pueden considerarse simples en relación con la intrincada estructura de múltiples células de formas superiores de organismos. Sin embargo, una única célula

es, no obstante, una estructura compleja en sí misma, que lleva a cabo de manera suficiente y eficiente procesos vitales para su crecimiento y supervivencia.

En la ingeniería la Biología se concibe como la ciencia que estudia la vida desde diferentes puntos de vista: La estudia desde un enfoque ecológico, sistemático, evolutivo, molecular y genético, mediante los cuales puede establecer diferencias y relaciones entre los distintos tipos de formas de vida. Estudia las características de los seres vivos, como el tamaño, la forma, las células que lo componen, cómo obtienen energía, para qué sirven sus estructuras; también estudia los organismos como parte de una comunidad, cómo se relacionan con el ambiente que los rodea y cómo les afecta.

Desde el punto de vista de la ingeniería, se considera que la biología de sistemas es un campo de la biología que utiliza modelos matemáticos y análisis de datos para desentrañar las complejidades de los sistemas biológicos. En esencia, la biología de sistemas busca comprender cómo interactúan entre sí varios componentes dentro de un sistema biológico, como genes, proteínas y células. Una de sus poderosas herramientas es el modelado matemático, que permite a los científicos simular y predecir el comportamiento de los sistemas biológicos en una condición determinada. Por ejemplo, la elaboración de perfiles moleculares integrales de células cancerosas ha sido posible gracias a técnicas de biología de sistemas, como la genómica, la proteómica y la metabolómica. En los sistemas ecológicos, como ríos y lagos, las intrincadas interacciones entre los microorganismos y su entorno se estudian mediante análisis de redes, particularmente mediante el estudio del ciclo de nutrientes, las vías de degradación de los contaminantes y el papel de las especies clave en la estabilidad de los ecosistemas.

Los organismos vivos que pertenecen a varias especies, los cuales interaccionan entre sí y se organizan en un determinado ambiente se denominan sistemas ecológicos o ecosistemas. Tenemos entonces, por un lado, los factores bióticos (animales, plantas, hongos, protistas, bacterias, etc.), a cuya agrupación denominaremos biocenosis y, por otro lado, tenemos los factores abióticos (factores físicos y químicos del lugar donde habitan, como el clima o el tipo de suelo) que constituye el llamado biotopo. Es interesante destacar aquí que la disciplina que se encarga del estudio de los ecosistemas se denomina ecología de sistemas, aunque más que una disciplina es un campo interdisciplinario. La ecología de sistemas tiene una orientación holística, es decir, estudia los ecosistemas como un todo y no solo las partes que los conforman.

Es interesante destacar aquí que la disciplina que se encarga del estudio de los ecosistemas se denomina ecología de sistemas, aunque más que una disciplina es un campo interdisciplinario. La ecología de sistemas tiene una orientación holística, es decir, estudia los ecosistemas como un todo y no solo las partes que los conforman.

Una descripción de todos los aspectos que comprende la biología está fuera del alcance del contenido asignado a un libro de introducción a la ingeniería. Por eso, este capítulo se va a extender a los tres temas siguientes que son de interés para los estudiantes de ingeniería:

- Ecosistemas y ambientes naturales de interés para las ingenierías vinculadas a los recursos naturales renovables.
- Sistemas biológicos y sistemas agrarios de interés para las ingenierías ambientales y del agro
- Simulación matemática de sistemas biológicos.

11.2. Ecosistemas y Ambientes Naturales

La era de los grandes descubrimientos geográficos ya quedó en la historia; sólo quedan pocos rincones del globo terráqueo que no hayan sido visitados por el hombre. Con la ayuda de las imágenes satelitales, la orografía terrestre ha quedado bien delimitada; con la globalización de las comunicaciones

y de la economía, prácticamente toda la superficie del planeta se ha hecho accesible de un modo instantáneo.

Aunque conocemos el mapa básico del globo, hay muchos aspectos sobre los ecosistemas naturales aún por descubrir. Los científicos han registrado alrededor de 1,4 millones de especies de organismos vivos, entre las cuales hay 750 mil insectos, 250 mil plantas, 75 mil hongos y 44 mil vertebrados. Estas cifras constituyen sólo una parte pequeña del cuadro entero, ya que el total de especies se estima en unos 10 millones; menos del 20 % son de agua dulce, 5% de hongos y 1% organismos del mar.

Si bien el conocimiento que se posee sobre las especies es limitado, se sabe que se están extinguiendo a una tasa demasiado rápida. Entre las especies extinguidas figuran el pájaro Dodo de las islas Mauricio (Océano Indico) que desapareció en el siglo XVIII y las palomas mensajeras que dejaron de volar por los cielos de América del Norte en el siglo XIX. Éstos son sólo ejemplos ilustrativos de lo que está sucediendo, ya que en realidad se estima que se extinguen entre 50 y 100 especies por día, con lo cual, pueden desaparecer, del total, de la Tierra en los próximos 30 años de un 20 a 25 %.

La pérdida de los ecosistemas naturales es tan significativa como la de las especies. De los biomas mayores del mundo, pocas áreas climáticas permanecen en estado de comunidad clímax (estado virgen) debido al impacto de la actividad humana. Se estima que en 1700 un 60 % de la superficie de la Tierra estaba cubierta por bosques, incluyendo los bosques de zonas tropicales y templadas. A principios del siglo XX ese porcentaje había descendido al 45% y al final del milenio sólo un 30 % de la superficie terrestre se encuentra forestada por comunidades clímax.

Después de siglos de exploración geográfica y descubrimientos, los vuelos espaciales de la década del 60 del siglo pasado y el alunizaje de 1969 permitieron obtener desde el espacio una primera visión completa del planeta tierra, y concebirla como un pequeño mundo autosuficiente. Con excepción de la luz solar y los ocasionales impactos de meteoritos, la Tierra efectivamente se auto sostiene, y todas las formas de vida que habitan sobre ella tienen que sobrevivir utilizando los recursos subterráneos, superficiales y de la atmósfera que la envuelve. Esta es una característica muy peculiar de la Tierra comparada con otros planetas.

Los primeros signos de vida sobre el planeta aparecieron hace unos tres mil millones de años. La evolución y supervivencia de las especies, desde entonces, ha sido el resultado de procesos naturales y energéticos (energía solar) que actúan sobre los elementos de la tierra. Las especies vivientes interactúan entre ellas y con el medio ambiente, originando cambios en su carácter y distribución a lo largo del tiempo. En todas partes, el planeta soporta una red compleja de procesos naturales y modos de vida que proveen el medio ambiente en el cual se desenvuelve el hombre. Debido a la complejidad y sofisticación de esa red, científicos y filósofos han sustentado la idea de que el planeta es un ente singular viviente que controla y mantiene en balance todas las formas de vida, pero no de forma consciente, inteligente o divina, sino más bien a través de procesos que trabajan en los ambientes que se van creando. Esta visión de Planeta, desarrollada por James Lovelock, se conoce como Hipótesis Gaia, cuyo nombre se debe a la diosa griega Gaea (Diosa Tierra, madre y esposa de Urano), la cual enfatiza que el hombre es simplemente parte del sistema terrestre, y como tal, está sujeto a reglas y leyes operacionales, y podrá sobrevivir por largo tiempo, sólo si lo hace en armonía con los otros elementos del sistema natural.

Los hábitats tropicales albergan una proporción significativa de la biodiversidad del mundo; sin embargo, están cambiando a un ritmo sin precedentes debido al cambio en el uso de la tierra. En América Latina, la conversión de la cobertura del suelo y el manejo de pastos y tierras de cultivo dependen en gran medida del uso del fuego. El origen y las causas de los incendios son numerosos, y su vinculación directa o indirecta con la actividad humana en la región es evidente. América del Sur se ve cada vez más afectada por los incendios y, desde 2001, se ha documentado anualmente la actividad relacionada

con los incendios. Los incendios tienen muchos y variables efectos sobre los ecosistemas naturales, pero se ha avanzado poco en su comprensión. La ecología de los incendios tropicales en las tres naciones andinas del norte de Sudamérica, destacando las mejoras en los patrones espaciales y temporales de los incendios, las consecuencias en los ecosistemas y la dinámica posterior al incendio. En una porción significativa de los ecosistemas de esta región, existen vacíos sustanciales de conocimiento con respecto a la ecología del fuego (Armenteras et al., 2020).

En este capítulo, se van a describir algunos de los procesos claves, los ambientes que producen, y el impacto de las acciones del hombre sobre dichos ambientes.

11.3. Ecología, Hábitats y Ecosistemas

La Ecología es la ciencia que estudia los seres vivos y su hábitat. El científico alemán Haeckel en 1869 fue el primero en utilizar el término; pero recién después de 1930 empezó a considerarse como un campo de estudio de la ciencia. La Ecología no sólo hace énfasis en las plantas y animales que viven en un medio ambiente particular, sino en la forma cómo ellos afectan y son afectados por dicho ambiente.

La naturaleza contiene agua, aire, suelo y otros componentes ambientales que permiten el crecimiento de la vida. Estos elementos ambientales afectan a los organismos vivos. Los componentes de un ecosistema consisten en especies, el medio ambiente en el que viven y sus interacciones establecidas. Hay dos tipos de componentes en los ecosistemas: los organismos vivos y el entorno físico. Las plantas, los animales y las bacterias son ejemplos de seres vivos. El entorno físico consiste en elementos no vivos como la luz, el aire, el agua, el suelo y el clima. Estos factores influyen y rodean a los seres vivos. Las vicuñas, por ejemplo, residen en la puna, donde comen plantas como el ichu; beben agua de las lagunas y duermen en grupos para evitar el frío (Córdova, 2016).

El medio en el cual viven las plantas y especies animales se denomina Hábitat, y está constituido por formas o componentes vivientes y no vivientes que interactúan entre sí (Guevara-Pérez E., 2023). Así, por ejemplo, el hábitat de un pez de agua fresca comprende el lago en el cual vive, el agua, los minerales, los gases en el agua tales como oxígeno, las rocas y minerales del lecho y de las orillas del lago, otros elementos vivientes en el lago, como algas diatomeas, otros peces, insectos y pájaros que viven de los peces. Para entender el proceso de interacción entre los componentes de un hábitat los científicos han introducido el concepto de Ecosistema el cual comprende el conjunto de plantas, animales y componentes inertes que se encuentran en una localidad particular, conjuntamente con los procesos que operan en el medio ambiente. En el caso del pez, el ecosistema del lago comprendería entonces el hábitat del pez, todos los procesos que se llevan a cabo en el lago, tales como respiración, reproducción, flujo de agua de entrada y salida, precipitación y temperatura, y la alimentación de peces con insectos o hierba. Los ecosistemas pueden ser de cualquier tamaño, desde un pequeño charco o estanque, hasta uno de gran escala como el Mar Mediterráneo, o la selva tropical de Brasil. La Figura 11.1 ilustra la idea de un ecosistema, usando un lago como ejemplo. Al medio ambiente se le puede considerar como un sistema (ecosistema) con entradas, procesos internos y salidas. En el caso del lago, las entradas son lluvia, caudales de entrada, minerales acarreados, luz solar, oxígeno y dióxido de carbono del aire sobre el lago. Las salidas del sistema incluyen el caudal de descarga y minerales contenidos, evaporación del agua de la superficie del lago, y la remoción de sustancias para la alimentación de animales y pájaros. La dinámica del lago incluye los siguientes procesos:

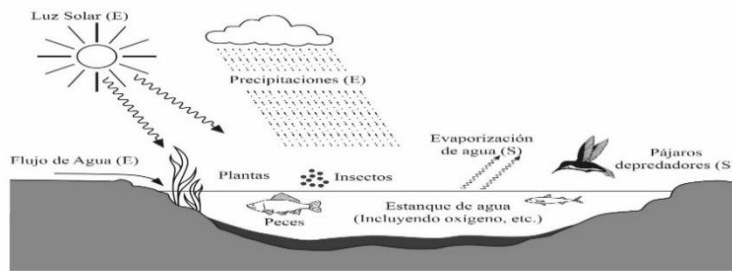


Figura 11.1. Ecosistema de un Lago

1. **Fotosíntesis:** Es el proceso por el cual las plantas verdes toman el dióxido de carbono de la atmósfera y el agua y los combinan con la luz solar para producir nueva materia verde. De esta forma las plantas incrementan su biomasa.
2. **Respiración:** Es el proceso por el cual las plantas y animales descomponen los azúcares, usando oxígeno, para producir la energía requerida para los procesos vivientes y para el crecimiento. El dióxido de carbono resultante se elimina al aire circundante.
3. **Depredación:** Es el proceso por medio del cual los animales se alimentan de las plantas y de otros animales menores para obtener de ellos la energía que necesitan para vivir.
4. **Reproducción:** Es el proceso de creación de generaciones futuras de las especies ya sea en forma sexual o asexual.
5. **Producción de desechos:** los desperdicios materiales son generados por los procesos de fotosíntesis y de respiración y pueden ser sólidos (heces), líquidos o gases como dióxido de carbono o metano.
6. **Agotamiento de materia orgánica:** Es el proceso de descomposición de la materia por las bacterias, hongos y otros seres vivientes.
7. **Movimiento:** Dentro de un ecosistema hay auto movimiento de elementos animales vivientes, pero también se desplazan los componentes de los procesos de entrada y salida, tales como el flujo del agua en un lago, el transporte de materiales y minerales disueltos en el agua, y la evaporación.

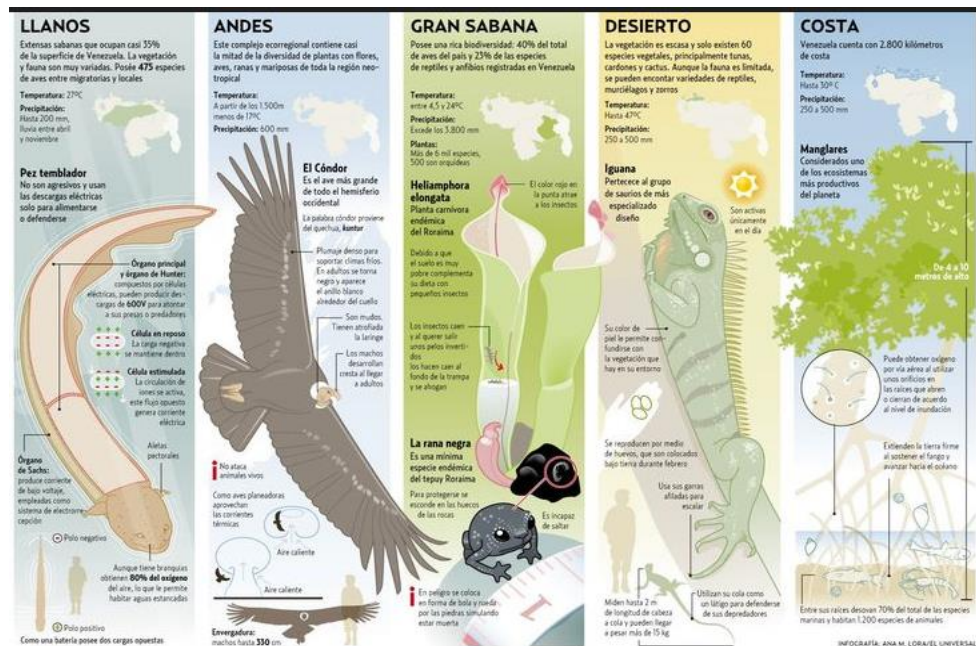
Todos estos procesos solos o integrados pueden ser modelados matemáticamente y simulado el comportamiento de cada proceso o de su conjunto conformen cambien parámetros de entrada de proceso. La comprensión, estructuración, deducción de relaciones, establecimiento de funciones matemáticas, integración de los componentes del sistema calibración de los resultados constituyen uno de los principales aportes de la ingeniería a los sistemas biológico. En el subcapítulo sobre modelado de sistemas biológicos se presentan ejemplos ilustrativos de esta actividad de la ingeniería.

América es el continente que cuenta con más países ricos en biodiversidad: Brasil, Colombia, Ecuador, México, Perú, Venezuela y Estados Unidos. Por su parte, en Asia, los países con mayor biodiversidad son China, Indonesia, India, Filipinas y Malasia. En África, Madagascar, República Democrática del Congo y Sudáfrica. Y, por último, Oceanía cuenta con Australia y Papúa Nueva Guinea. Estos países, albergan en conjunto más del 70% de la biodiversidad del planeta y su territorio supone el 10% de la superficie global.

Brasil es el país con mayor biodiversidad de flora y fauna del planeta. Cuenta con el mayor número de especies conocidas de mamíferos y de peces de agua dulce, y con más de 50.000 especies de árboles y arbustos, tiene el primer lugar en biodiversidad vegetal. Aun así, la pérdida de sus bosques tropicales (por la agricultura y tala descontrolada) sigue aumentando.

Venezuela es un país megadiverso, ubicado entre los primeros países del mundo con mayor variedad de vida y considerado como el sexto país en América Latina y el décimo a nivel mundial. Según OTCA (2021) (Proyecto Bioamazonia y Venezuela relanzan el Sistema Venezolano de Información sobre Diversidad Biológica), Venezuela tiene una riqueza natural calculada en unas 386 especies de mamíferos, 1.463 especies de aves, 377 especies de reptiles, 340 especies de anfibios, 1860 especies de peces y 15.636 especies de plantas, en un territorio multicultural y poli étnico. La Figura 11.2 ilustra la biodiversidad de Venezuela por regiones.

Figura 11.2. Biodiversidad de Venezuela por regiones. Fuente: Infografía Ana M. Lora. El Universal



En el Perú existen más de 20 375 especies de flora, 523 especies de mamíferos, 1 847 especies de aves, 446 especies de reptiles y 1 070 especies de peces marinos; asimismo, cuenta con 84 de las 117 zonas de vida del planeta (ONERN, 1976) y más de 73 millones de hectáreas de bosques. Gracias al legado cultural, se han domesticado 5 especies de vida silvestre y 182 especies de plantas (Brack, 2003), como se muestra en la Figura 11.3. Además, La variedad cultural también es un componente de la biodiversidad, ya que los humanos son parte de los ecosistemas, generando culturas vivas que utilizan sus recursos y servicios de forma selectiva a través de la domesticación y la diversificación (MINAM-CONADIB, 2014).

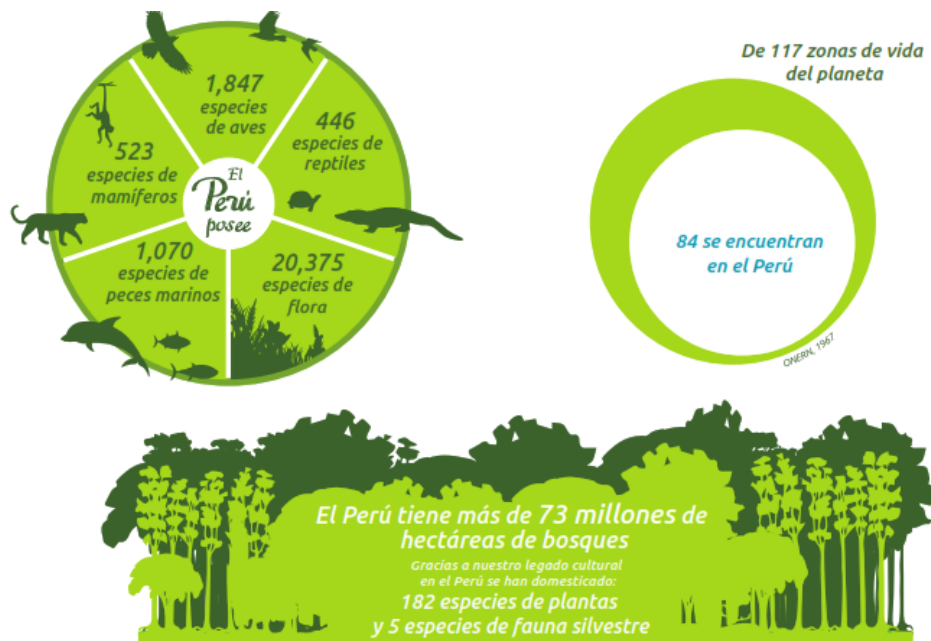


Figura 11.3. Ecosistemas, flora y fauna de Perú

11.4. Alimenticias, Transferencia de Energía y Productividad

Estudiar el comportamiento de la vida de los seres vivos es fundamental para comprender el modo de cómo obtienen sus alimentos y cómo se transfieren los nutrientes y la energía de un organismo a otro, ya que la vida en la Tierra sólo es posible gracias al suministro continuo de energía que se establece en un ecosistema. Estas interacciones se reflejan en lo que se conoce como cadena trófica (del griego *throphe*: alimento), también conocida como cadena alimentaria de los animales, que incluye numerosos seres que van desde microorganismos hasta fauna terrestre o acuática, así como diversos tipos de vegetación. Todas las especies que componen la biodiversidad de la Tierra requieren energía – alimento para existir, lo cual lo obtienen del entorno que les rodea o de la digestión de otro organismo (OVACEN, 2022).

Las plantas dentro de un ecosistema se desarrollan por medio de la fotosíntesis y la respiración; las especies animales sobreviven alimentándose ya sea de las plantas (herbívoros), o de otros animales (carnívoros), o de ambos (omnívoros). En la Figura 11.4 se muestra una simple cadena alimentaria en una pradera: las raíces y hojas de las plantas son comidas por conejos, éstos a su vez son cazados por el zorro.

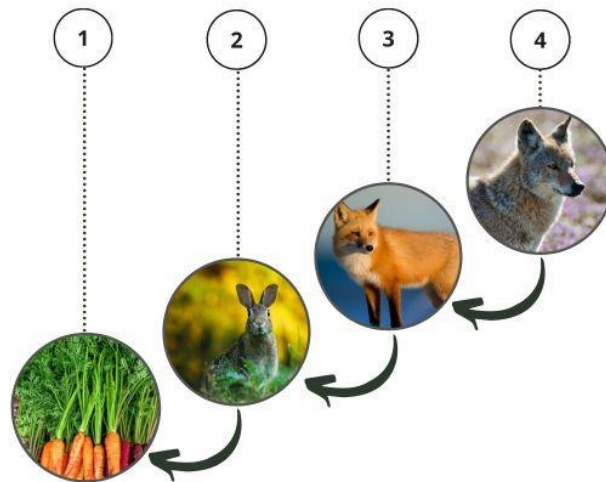


Figura 11.4. Representación de una Cadena Alimentaria simple en una Pradera. Fuente: <https://www.significados.com/cadena-alimenticia/>

En la práctica, las relaciones de alimentación en un ecosistema son mucho más complejas, formando más bien una red alimenticia, debido a que la mayoría se alimenta de más de un tipo de animal y de planta, como el caso de los omnívoros. En la Figura 11.5 se muestra una red alimentaria en un ecosistema de bosque cualquiera.

La cadena alimentaria es la ruta que sigue la energía solar después de ser atrapada por la materia verde, de donde pasa a los herbívoros y luego a los carnívoros y finalmente a los carnívoros superiores, que son animales que pueden comerse a otros carnívoros y se ubican en el tope de la cadena. En cada nivel de la cadena, una parte de la energía original es utilizada por los procesos básicos (movimiento, reproducción, alimentación), y la otra parte simplemente se pierde como desechos. Por tanto, en cada nivel trófico hay menor energía disponible para soportar procesos vivos; por ejemplo, sólo el 1% de la luz solar que incide sobre la superficie de un lago es absorbido por el proceso de la fotosíntesis y sólo el 0.4% de esa energía llega al elemento que se encuentra en el tope de la cadena alimenticia. En cada nivel trófico habrá menor producción de biomasa, aunque ésta vaya a ser distribuida entre un gran número de pequeñas criaturas o entre un pequeño número de grandes criaturas. Este patrón se puede visualizar a través del diagrama de la Pirámide Ecológica ejemplificada en Figura 11.6 y Figura 11.7.

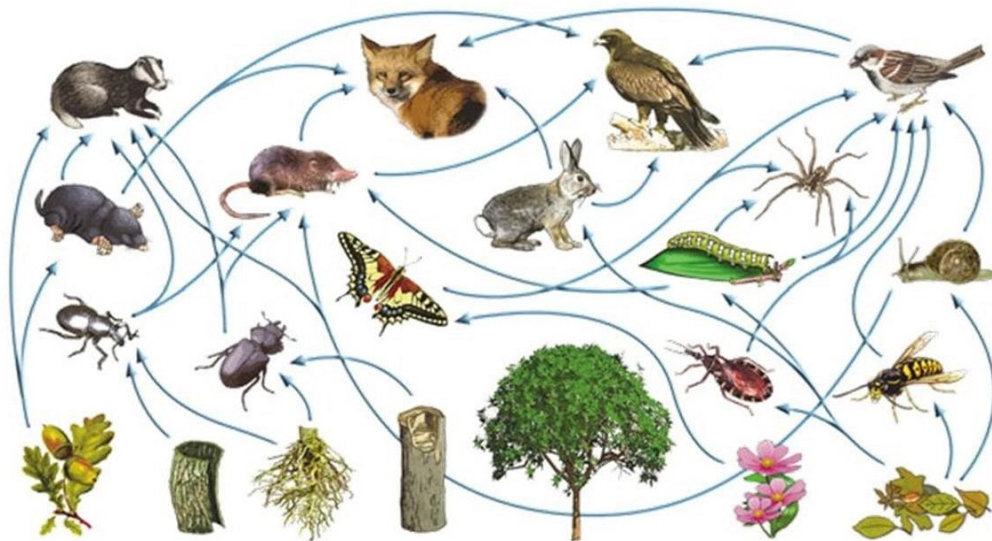


Figura 11.5. Un Bosque como ejemplo de Red Alimentaria (las flechas indican comido por). Fuente: <https://www.renovablesverdes.com/red-trofica/>

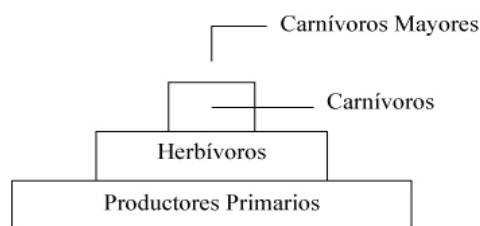


Figura 11.6. Pirámide Ecológica de cantidad de especies para un estanque

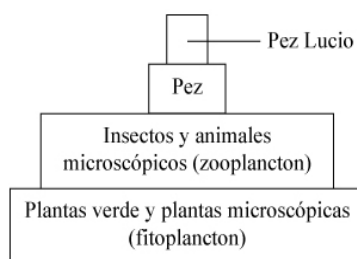


Figura 11.7. Pirámide Ecológica de Biomasa para un Estanque

11.5. Ecosistemas Cambiantes

La capacidad de soporte en número de elementos y volumen de materia viviente de un ecosistema varía de un sitio a otro. Los ecosistemas de regiones calientes disponen de gran cantidad de energía de entrada, y suelos (roca madre) o flujos de agua ricos en nutrientes, proveyendo de este modo un gran potencial para un rápido crecimiento de materia verde. En estos ambientes el nivel de productividad es alto. La Productividad Primaria Neta (NPP) es la cantidad de energía que un ecosistema puede acumular como biomasa (vegetal) por metro cuadrado de superficie cada año, la cual usualmente se mide en g/m²/año (gramos por metro cuadrado por año).

Los ecosistemas naturales más productivos son las selvas tropicales con un NPP medio de 2.200 g/m²/año; le siguen los humedales con NPP de 2.000 g/m²/año; un bosque decíduo (caducifolio) en Europa Occidental o Norte América tiene un NPP de unos 1.200 g/m²/año; los desiertos tropicales áridos llegan a un NPP de sólo 90 g/m²/año. Los ecosistemas con alta productividad son muy importantes porque proveen el mayor crecimiento de nueva vegetación en el mundo cada año, y porque pueden soportar un gran número especies y una gran densidad de plantas y animales.

La diversidad biológica del Perú, por ejemplo, es crucial para la economía y tiene importantes beneficios por lo que no utilizarla de manera sostenible promueve la pobreza, especialmente en las regiones rurales. Los bosques, los ecosistemas y los recursos marinos son aspectos importantes en el país. De los tres millones de hectáreas de queñuales y quishuare andinos (ver nota al final del capítulo) sólo quedan 500 mil. Los bosques secos de los valles costeros también han ido desapareciendo y las selvas tropicales están amenazadas. A nivel nacional se talan 150 mil hectáreas de bosque y se queman el equivalente a unos US\$ 2.000 millones de madera, pero solo se exportan unos US\$60 millones. Casi 10 millones de hectáreas de la selva amazónica han sido devastadas y más del 60% de las tierras coloniales están abandonadas (Brack, 2010). A lo largo del tiempo, los sistemas agrícolas de los Andes peruanos se han construido y mantenido utilizando enfoques de gestión adaptados a la región que ayudan a preservar la agrobiodiversidad al mismo tiempo que mantienen a las comunidades locales. Muchos de estos ecosistemas y los servicios que brindan están en peligro debido a una variedad de

problemas económicos y ambientales, a pesar de su larga existencia. Se ha investigado el potencial y las tensiones en múltiples niveles de gobernanza (individual, comunitario y global), habiéndose encontrado que la reducción de la diversidad de cultivos se debe a las presiones comerciales de mercados distantes. Igualmente ejerce influencia el cambio climático, que se manifiesta como un aumento de las temperaturas, fluctuaciones drásticas de los patrones de lluvia y aumento del derretimiento de los glaciares (Lennox & Gowdy, 2014).

Venezuela dispone del Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela (LRETV) (Rodríguez, Rojas y Giraldo (eds.), 2010), que es una obra pionera a nivel mundial que evalúa el estado de conservación de 20 formaciones vegetales del país. Se basa en la metodología de la Lista Roja de la UICN, adaptándola a la escala de los ecosistemas. El LRETV utiliza cinco categorías de amenaza:

- No Amenazado (NT): Ecosistemas con baja probabilidad de extinción en el futuro cercano.
- Casi Amenazado (CA): Ecosistemas que podrían llegar a estar amenazados en el futuro si no se toman medidas de conservación.
- Vulnerable (VU): Ecosistemas con un alto riesgo de extinción en el futuro.
- En Peligro (EN): Ecosistemas con un riesgo muy alto de extinción en el futuro.
- En Peligro Crítico (CR): Ecosistemas con un riesgo extremadamente alto de extinción en el futuro.
- De las 20 formaciones vegetales evaluadas, 10 se encuentran amenazadas:
- Bosque Nublado Premontano (EN): Amenazado por la deforestación, la expansión agrícola y la construcción de infraestructuras.
- Páramo (EN): Amenazado por el cambio climático, las quemas y la ganadería extensiva.
- Bosque Húmedo Tropical (VU): Amenazado por la deforestación para la extracción de madera, la ganadería y la agricultura.
- Bosque Seco Tropical (VU): Amenazado por la deforestación para la agricultura, la ganadería y la producción de carbón vegetal.
- Manglar (VU): Amenazado por la deforestación para la acuicultura, la construcción de infraestructuras y la contaminación.
- Sabana (VU): Amenazada por la expansión de la frontera agrícola, la ganadería y los incendios.
- Tepuy (VU): Amenazado por la minería ilegal, la extracción de agua y el turismo no regulado.
- Bosque de Galería (CA): Amenazado por la deforestación para la agricultura, la ganadería y la construcción de infraestructuras.
- Matorral Xerófilo (CA): Amenazado por la expansión de la frontera agrícola, la ganadería y la desertificación.
- Arrecifes Coralinos (CA): Amenazados por la contaminación, la sobrepesca y el cambio climático.

En el contexto discutido, la conservación ambiental requiere de una detallada comprensión de los procesos que operan en un ecosistema para entender los efectos que sobre ellos ejercen las actividades humanas y el modo de cómo se deben manejar para el futuro. En adición a los procesos ordinarios descritos, hay que tener en cuenta que los ecosistemas cambian con el tiempo, ya sea debido al desarrollo de procesos naturales o por interferencia externa, como la intervención humana. A continuación, vamos a discutir brevemente algunos de estos cambios:

11.5.1. Competición y relación depredador-presa

Si examinamos cualquier ecosistema estable encontraremos que cada elemento del ecosistema tiene un único rol y patrón de vida, y una clara relación con los otros elementos del sistema. Ese rol es conocido como Nicho Ecológico. En el ejemplo de la Figura 3.6, el pez lucio al que hemos hecho referencia cumple el rol de nicho ecológico de carnívoro tope. El número de peces que el ecosistema lago puede soportar dependerá del número de otras especies vivientes dentro de él. Un verano caliente podría causar un incremento en la biomasa, aumentando los nutrientes en todo el lago, y por consiguiente el número de peces sobrevivientes. Si se reduce el número de peces menores, a causa de un invierno, ocurriría competencia por la alimentación y sólo sobrevivirá el más fuerte. Hay, por lo tanto, en cualquier ecosistema una relación muy estrecha entre el número de depredadores y el número de presas.

Esta idea de equilibrio es muy importante para la gerencia en un ecosistema, debido a que la acción humana puede remover o adicionar especies y de esta manera causar cambios significativos en el ecosistema. La remoción de especies ya sea directamente como fuente de alimentación, o indirectamente por los efectos de la contaminación, reduciría la disponibilidad de presas para los carnívoros topes. La adición de nuevas especies al ecosistema causará competencia entre éstas y las que ocupan el nicho ecológico. A largo plazo, sólo una de ellas sobrevivirá.

Los cambios a pequeña escala en una parte del ecosistema producen efectos en otra parte del mismo debido a los mecanismos de retroalimentación. Por ejemplo, en un año lluvioso caliente, los árboles del bosque producen muchos frutos que permiten la alimentación de pájaros e insectos, incrementándose así los miembros de la comunidad ecológica. Sin embargo, el incremento en el número de animales durante el verano creará competencia en el invierno siguiente, ocurriendo una auto regulación del sistema. Estos procesos que se desencadenan y fenecen por sí mismos sin generar cambios permanentes a largo plazo, se conocen como de retroalimentación negativa. Por el contrario, los procesos que originan efectos permanentes son de retroalimentación positiva. Como ejemplo de este último caso podemos citar la introducción de una nueva especie que se apodera de un nicho ecológico existente o llena uno vacante, tal como lo que sucedió con la introducción de la ardilla gris (*Sciurus griseus*) en Inglaterra y Gales, la cual por competencia reemplazó a la nativa roja (*Sciurus vulgaris*). Otro ejemplo se da con la introducción de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) en ríos amazónicos que desplaza a las especies nativas.

El modelado matemático de estas relaciones puede abordarse mediante el uso de la Ley del Mínimo de Liebig, desarrollada inicialmente para el cálculo de la aplicación de fertilizantes ya que establece que el crecimiento no es controlado por el monto total de los recursos disponibles, sino por el recurso más escaso. De esto se deduce que hasta el elemento más insignificante para la vida es en realidad imprescindible para ésta.

La ley del Mínimo de Liebig establece que el crecimiento de una población está limitado por el recurso que se encuentra en menor cantidad en relación con las necesidades de la población. En otras palabras, el crecimiento de una población se ve restringido por el factor más escaso o limitante.

Así, si $P(t)$ es la población en el tiempo t_0 , y R el recurso limitante para el crecimiento de la población. entonces la población en un tiempo t_n puede estimarse mediante la siguiente ecuación

$$\frac{dP}{dt} = rP - \left(1 - \frac{PAG}{k}\right) \left(\frac{R}{r+k}\right)$$

dP/dt : es el cambio de población en el tiempo t

P : es la población inicial

PAG es la población en el tiempo

r: es la tasa intrínseca de crecimiento de la población.

R: es la cantidad del recurso limitante disponible.

K: es un parámetro que indica qué tan rápido la población responde a la disponibilidad.

Este modelo asume que la tasa de crecimiento de la población está limitada por la disponibilidad del recurso R. A medida que R disminuye, la tasa de crecimiento de la población también disminuye. Además, la capacidad de carga K establece un límite superior para el tamaño de la población, donde el crecimiento se detiene cuando la población alcanza este valor.

Es importante tener en cuenta que este modelo es simplificado y puede necesitar ajustes dependiendo de las condiciones específicas del sistema en cuestión. Además, la elección y la estimación de los parámetros del modelo requieren datos empíricos y conocimiento detallado del sistema.

Un ejemplo de aplicación de este tipo de modelo fue desarrollado en Perú para estimar la estabilidad de la población de anchoveta. De acuerdo con los autores del trabajo (Pino Romero y Fernández Salazar, 2022) se construyó un modelo matemático que representa la dinámica que existe entre el fitoplancton (F), el zooplancton (Z) y la anchoveta (A). Esta cadena alimenticia se presenta en el área marítima peruana donde se encuentra un ecosistema de tres eslabones, además que la cadena alimenticia es un eje principal en el equilibrio ecológico dentro del mar.

11.5.2. Sucesión Ecológica y Climax

Uno de los procesos naturales importantes en los ecosistemas viene a ser el de sucesión ecológica. La sucesión primaria ocurre cuando se forma un nuevo ambiente (talvez una isla volcánica que emerge de un océano, o de tierras secas creadas por la disminución del nivel del mar). A lo largo del tiempo estos nuevos ambientes son colonizados por especies en diferentes etapas de desarrollo, y finalmente toman el carácter de un ecosistema. Cuando el nuevo ecosistema se ha establecido totalmente y adquiere características permanentes de clima, suelo, y vegetación, recibe el nombre de Comunidad Clímax. En estas condiciones, los cambios que ocurren son poco significativos en los procesos que se llevan a cabo, por lo que se dice que el ecosistema se encuentra en un estado de Equilibrio Dinámico. Sin embargo, cualquier cambio permanente de algún elemento del ecosistema provocará cambios permanentes en el ecosistema total.

Si no hubiera intervención humana, grandes áreas del planeta estarían cubiertas por comunidades climax, y estos ecosistemas resultarían como consecuencia del clima. Estos ecosistemas incluyen las selvas tropicales, que cubren grandes áreas tropicales; los bosques de coníferas (taiga) en Canadá, Escandinava y Rusia; y la tundra en algunas de las áreas más frías de la tierra.

La sucesión secundaria ocurre cuando la comunidad climax es forzada a cambiar debido a la variación de las condiciones del ambiente. Algunos cambios pueden ser naturales, tales como variaciones en el clima; otros ocurren por el impacto natural del fuego, o de las tormentas; y otros pueden deberse a la intervención del hombre o a su modo de cómo gerencia el ambiente.

11.5.3. Intervención humana en las sucesiones

Actualmente sólo pocas áreas del planeta son comunidades climax naturales; la mayoría de los ecosistemas ya han sido intervenidos por el hombre. Los paisajes de una granja, parques, reservas, etc., parecen naturales, pero en realidad son artificialmente creados por el hombre. Estos ecosistemas resultantes de la gerencia del ambiente que no son comunidades climax naturales se conocen como Comunidades Plagioclimax. La intervención del hombre sobre el ambiente hace que disminuyan las comunidades climax naturales. Si cesara la intervención del hombre, eventualmente el ecosistema se desarrollaría a través de una sucesión para convertirse en natural.

A pesar de que estos ecosistemas son el producto de la manipulación del hombre, muchos ecologistas consideran que deben ser protegidos porque sustentan a una gran diversidad biológica. Sin embargo, surgen interrogantes de índole moral entre los conservacionistas, ya que tales ambientes, si bien son valorados por la gente, de muchas maneras no son más “naturales” que un escenario urbano, y por lo tanto, habrá que preguntarse si tales paisajes merecen el mismo tratamiento proteccionista que los ecosistemas naturales, sabiendo que los recursos para conservación y protección ambiental son limitados.

11.6. Beneficio de los Ecosistemas

El conocimiento de los procesos naturales que existen en un ecosistema permite manejarlos de tal manera que ellos provean recursos sin causar daños que atenten contra el sistema a largo plazo. En principio es posible calcular para cada especie en cualquier ecosistema el denominado Rendimiento Sostenible Máximo (RSM); es decir, el número o la cantidad de especies que pueden ser removidas cada año del ecosistema para el consumo sin dañar su sostenibilidad a largo plazo.

Si se remueven algunos elementos de una especie cada año para algún propósito (por ejemplo, un ciervo de un bosque para alimentación), se incrementan los suministros de recursos disponibles para los especímenes restantes, haciéndolos más saludables; y habrá más especies jóvenes que sobrevivan. Con el tiempo, esto conllevará a que el número de especies se incrementará hasta lograr el balance dinámico. Cualquier cantidad en exceso al equilibrio se podría extraer cada año sin perjudicar al sistema. La máxima cantidad que se puede extraer de esa manera viene a ser el RSM. Este modelo confronta dos problemas: primero que existen muy pocos ejemplos sobre conocimiento de especies como para obtener valores confiables de RSM; y segundo, que el RSM es dependiente de un cuidadoso manejo de la caza o recolección de las especies, muy difícil de lograr, aún bajo condiciones controladas. Adicionalmente, existe el problema de que cuando la explotación de la especie excede el rendimiento sostenible, la especie se hace más rara y se somete a la explotación ilegal, llegando a la extinción. Por lo tanto, debe aplicarse el principio de precaución hasta que la ciencia haya perfeccionado los procedimientos para calcular el RSM.

11.7. Principales Ecosistemas del Mundo

Para concluir con esta sección vamos a describir las características de los principales ecosistemas o biomas del mundo y las presiones conservacionistas a las que están sometidos. En la Figura 11.8 se presenta una ilustración de los principales ecosistemas sobre la superficie terrestre.

11.7.1. Bosques

Los bosques son la cobertura natural de una gran parte de la superficie de la Tierra. En 1700, el 60 % de la superficie terrestre estaba cubierta de bosques. Hoy ese porcentaje sólo llega al 30%, y es por ello, que la pérdida de los recursos forestales del mundo es uno de los mayores desafíos conservacionistas. Como parte del ecosistema global, los bosques juegan un importante papel en el ciclo del carbono, oxígeno y nitrógeno, y constituyen parte importante del sistema climático global. Son también el hogar de una gran variedad de especies vegetales y animales de la Tierra, y mantienen, por tanto, la diversidad ecológica del planeta. Por otra parte, los bosques son una fuente económica: proveen leña, materiales para la construcción, productos alimenticios y de exportación, tales como la madera; son vitales en el bienestar social y económico de muchos países, tanto desarrollados como en vías de desarrollo del mundo. La mayoría de la madera de consumo es utilizada por los países del Norte en forma de papel y madera para la construcción; por tanto, las presiones para conservar los recursos

forestales tienen que ser balanceadas con las demandas económicas y esto ha originado la discusión de muchos aspectos sobre conservación y desarrollo.



Figura 11.8. Principales biomas o ecosistemas del mundo.

Fuente: <https://www.diferenciador.com/tipos-de-bioma/>

Los Bosques Montañosos de los Andes Tropicales juegan un papel significativo en la adaptación y mitigación del cambio climático y ofrecen servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades que los ocupan, en particular los relacionados con el agua, el control climático regional y el secuestro y almacenamiento de carbono. Sin embargo, la participación ciudadana en los procesos de toma de decisiones y el diseño de políticas de manejo forestal sostenible en el país ha sido mínima; tal vez, debido en parte a su actual expansión restringida y dispersa, que refleja procesos anteriores de fragmentación.

Según el régimen climático, los bosques andinos se clasifican en secos (bosques andinos xéricos), estacionalmente húmedos (bosques andinos pluvioestacionales), o húmedos (bosques andinos húmedos o bosques andinos pluviales). Los patrones de distribución de están determinados por los gradientes ambientales existentes de altitud, temperatura mínima y precipitación total (Cuesta et al.

2009). El conocimiento sobre estos bosques es de suma importancia porque están vinculados a atributos de biodiversidad (altos niveles de endemismo y riqueza), provisión de bienes y servicios ecosistémicos clave (regulación del agua) y un alto nivel de amenaza de la deforestación y la degradación (Garca y Parra, 2011, Tejedor et al., 2014).

Alrededor del 30% de los hogares de Madre de Dios, incluidas algunas tribus indígenas que utilizan el recurso bajo explotación, dependen de la castaña, árboles que cubren los 2,5 millones de hectáreas del territorio y proveen el sustento económico familiar. A pesar de las amenazas de la deforestación y la minería artesanal, el bosque seguirá proporcionando castañas mientras la gente siga controlando la deforestación. El ecosistema amazónico es un escenario predominante en esta estrecha franja de tierra que separa Bolivia y Brasil, y ofrece numerosas oportunidades de desarrollo además de la comercialización de la castaña, el manejo sostenible de la madera, el ecoturismo, la agroforestería y la investigación. Sin embargo, una de las regiones con mayor extensión de bosque primario en la Amazonía peruana ya ha sido deforestada, con más de 250 mil hectáreas perdidas (Brack, 2010).

Es necesario un cambio conceptual para la preservación de los bosques. Además de los árboles, los bosques contienen una amplia variedad de otros organismos y materiales; van mucho más allá porque mantienen la calidad del agua, absorben el dióxido de carbono del aire para almacenarlo y brindan placer estético tanto a los residentes como a los turistas. Los árboles no solo dan frutos, sino también madera, material genético y beneficios medicinales; evitan la erosión del suelo, disminuyen la energía de la lluvia que cae y controlan el clima. Sin embargo, existe un límite para el nivel de explotación y depende de los usuarios descubrir cómo hacer un buen uso de él (Brack, 2010).

El término “bosque” describe diferentes ecosistemas; no es posible encontrar dos áreas de bosques que sean idénticas. Por eso, los botánicos han desarrollado muchos sistemas de clasificación. En términos simples los bosques se pueden dividir en tres grupos:

1. Bosques tropicales de hoja ancha
2. Bosques templados caducifolios o deciduos
3. Bosques de coníferas

El manejo de los bosques es de interés para los ingenieros forestales y los ingenieros de conservación de recursos naturales renovables, en cuanto encargados de los procesos de toma de decisiones y el diseño de políticas de manejo forestal sostenible en cada país.

Estas han experimentado cambios a lo largo del tiempo, influenciada por diversos factores como la evolución de la legislación ambiental, las necesidades económicas y la comprensión científica del manejo forestal sostenible.

Previo a los años sesenta, la explotación forestal en Venezuela ocurría sin regulación formal y como consecuencia tuvo lugar una deforestación significativa para la expansión agrícola y ganadera, a la vez que se prestaba escasa atención a la reforestación y la sostenibilidad.

En 1966 se aprobó la Ley Forestal de Suelos y Aguas (1966), que fue la primera ley que estableció un marco legal para el manejo forestal. La creación del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), tuvo lugar en 1977. Esta institución impuso un estricto control a la implementación de planes de manejo forestal y reforestación. Lo que supuso a los ingenieros forestales la estimación de tasas de extracción basadas en replantación, supervivencia, velocidad de crecimiento de los arbolitos, todo lo cual requiere formulación y cálculos matemáticos basados en determinaciones experimentales.

Durante la década de 1970 y 1980, ocurrió un auge de la industria maderera, impulsando la explotación forestal. Zonas no intervenidas al sur del Orinoco comenzaron a ser explotadas por lo que se procedió a decretar numerosas figuras de protección y conservación, una de carácter de no

intervención estricta y otras de intervención sujeta a normas muy estrictas y precisas. También en esos años se comenzó el desarrollo de la agroforestería al de los estados Monagas y Anzoátegui. Fue un periodo de seguimiento y evaluación de los bosques plantados y opiniones controvertidas por su posible degradación ambiental y pérdida de biodiversidad, los resultados mostraron que el cambio en ecosistema era admisible, al respecto Gómez, Paolini y Hernández, 2008 citan los estudios expost efectuados y los resultados de sus investigaciones sobre carbono en el suelo. Se hicieron recomendaciones que contribuían a mejorar el sistema inicial de plantaciones (Díaz, Febres y Pineda, s.f.). La política de manejo forestal en Venezuela muestra una evolución hacia un enfoque más sostenible, pero aún enfrenta desafíos importantes, como la conciencia de manejo sostenible a ser internalizada por diversos actores, la baja inversión en el sector y la aplicación efectiva de la ley.

Los Bosques Montañosos de los Andes Tropicales juegan un papel significativo en la adaptación y mitigación del cambio climático y ofrecen servicios ecosistémicos esenciales para las comunidades que los ocupan, en particular los relacionados con el agua, el control climático regional y el secuestro y almacenamiento de carbono.

Según el régimen climático, los bosques andinos se clasifican en secos (bosques andinos xéricos), estacionalmente húmedos (bosques andinos pluvioestacionales), o húmedos (bosques andinos húmedos o bosques andinos pluviales). Los patrones de distribución de están determinados por los gradientes ambientales existentes de altitud, temperatura mínima y precipitación total (Cuesta et al. 2009). El conocimiento sobre estos bosques es de suma importancia porque están vinculados a atributos de biodiversidad (altos niveles de endemismo y riqueza), provisión de bienes y servicios ecosistémicos clave (regulación del agua) y un alto nivel de amenaza de la deforestación y la degradación (Garca y Parra, 2011, Tejedor et al., 2014).

Bosques tropicales de hoja ancha

Este grupo incluye los subtipos de bosque tropical lluvioso, bosque tropical caducifolio y bosque monzónico; se encuentra localizado entre los 5° de latitud Norte y Sur del ecuador. Es de rápido crecimiento, vegetación densa y siempre verde, como resultado de las altas temperaturas (25-35°C) y el elevado volumen de lluvias durante la mayor parte del año (1.500-3.500 mm/año). Con más de 30 especies de árboles y 30 especies de animales por hectárea, este tipo de bosque es rico en biodiversidad. Usualmente se pueden identificar tres niveles o estratos en los bosques tropicales: la capa terrestre que es oscura, con poca cubierta, excepto por materiales en descomposición, hojas, ramas y árboles caídos; la capa media con árboles que proveen el hábitat para la mayoría de las especies animales; y la capa superior, copa o canopa directamente expuesta a la luz solar, y es el hogar de una gran variedad de especies de pájaros e insectos.

Los principales problemas ambientales de estos bosques están asociados con la deforestación, tanto para actividades agropecuarias, como para la explotación de madera. Esto tiene un impactado significativo sobre el clima local y posiblemente global, así como sobre la disminución de la biodiversidad. Los problemas de erosión y pérdida de fertilidad del suelo son también el resultado de la deforestación.

La importancia de los bosques amazónicos la ilustra el hecho que alrededor del 30% de los hogares de Madre de Dios, incluidas algunas tribus indígenas que utilizan el recurso bajo explotación, dependen de la castaña amazónica (*Bertholletia excelsa*), árboles que cubren los 2,5 millones de hectáreas del territorio y proveen el sustento económico familiar. A pesar de las amenazas de la deforestación y la minería artesanal, el bosque seguirá proporcionando castañas mientras la gente siga controlando la deforestación.

El ecosistema amazónico peruano es un escenario predominante en esa estrecha franja de tierra que separa de Bolivia y Brasil, y ofrece numerosas oportunidades de desarrollo además de la comercialización de la castaña, el manejo sostenible de la madera, el ecoturismo, la agroforestería y la investigación. Sin embargo, una de las regiones con mayor extensión de bosque primario en la Amazonía peruana ya ha sido deforestada, con más de 250 mil hectáreas perdidas (Brack, 2010).

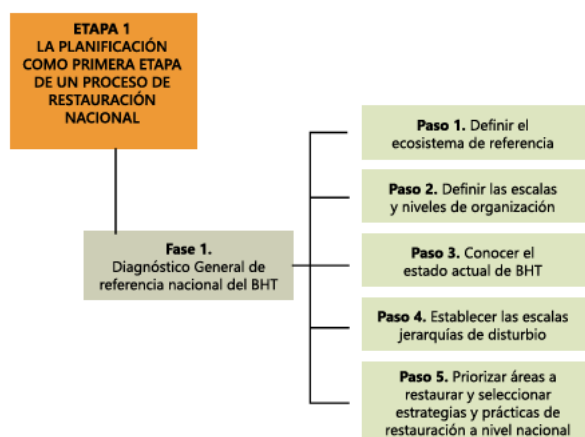
Es necesario un cambio conceptual para la preservación de los bosques. Además de los árboles, los bosques contienen una amplia variedad de otros organismos y materiales; van mucho más allá porque mantienen la calidad del agua, absorben el dióxido de carbono del aire para almacenarlo y brindan placer estético tanto a los residentes como a los turistas. Los árboles no solo dan frutos, sino también madera, material genético y beneficios medicinales; evitan la erosión del suelo, disminuyen la energía de la lluvia que cae y controlan el clima. Sin embargo, existe un límite para el nivel de explotación y depende de los usuarios descubrir cómo hacer un buen uso de él (Brack, 2010).

Venezuela en consideración a estos beneficios de los bosques se ha preocupado por su restauración, el Manual Técnico Restauración de Bosques Húmedos de Venezuela (ONU- FAO & MINEC, 2022) establece tres etapas secuenciales para implementar el proceso de restauración:

- Planificación del proceso.
- Diseño de las prácticas.
- Implementación y monitoreo

Las Figuras 11.9 y 11.10 muestran las actividades a acometer en cada una de esas etapas.

Figura 11.9: Ruta metodológica para la planificación nacional y local de los proyectos de



restauración del bosque húmedo tropical. Etapa 1. Fuente: Manual Técnico Restauración de Bosques Húmedos Tropicales (ONU-FAO & MINEC, 2020)

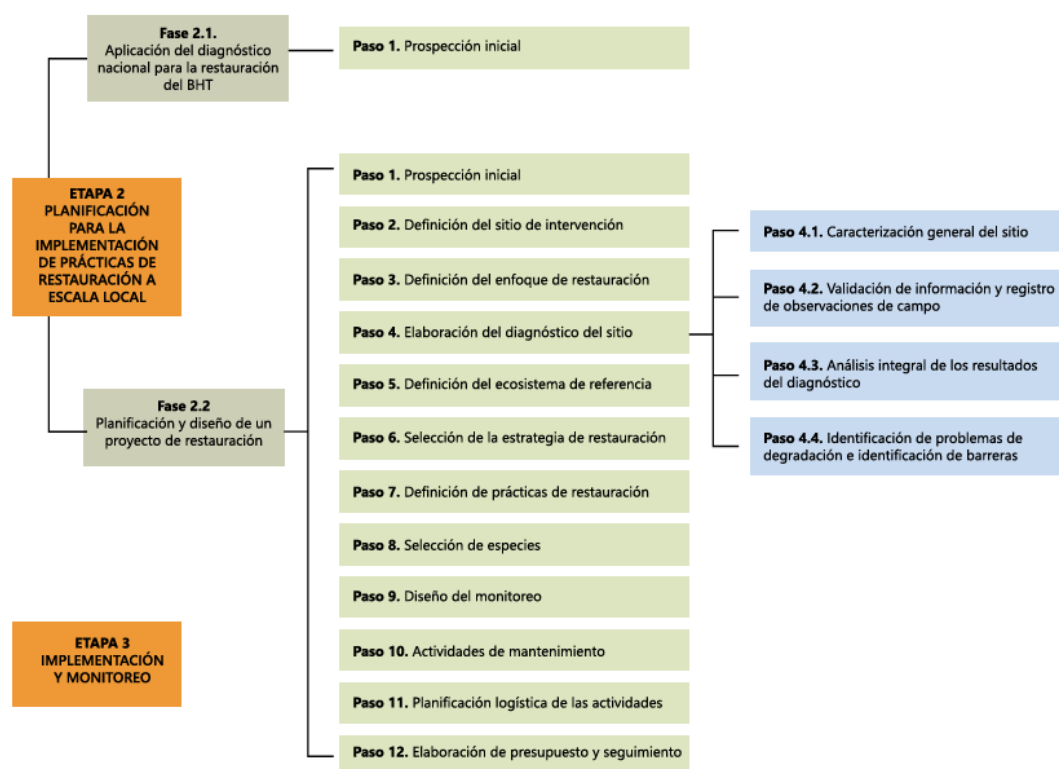


Figura 11.10: Ruta metodológica para la planificación nacional y local de los proyectos de restauración del bosque húmedo tropical. Etapas 2 y 3. Fuente: Manual Técnico Restauración de Bosques Húmedos Tropicales (ONU-FAO & MINEC, 2020)

El manual de restauración de bosques tropicales del Royal Botanic Gardens (Elliot; Blakesley y Hardwick, 2013) indica las mismas etapas que el Manual Técnico de Restauración de Bosques Húmedos Tropicales de Venezuela, pero abunda en mayores detalles de las acciones en etapa de diseño, lo cual facilita las labores de los ingenieros responsables de planos y especificaciones de ejecución. Además, agrega una etapa de investigación que corre paralela a la planificación y diseño y que es fundamental para asegurar la adaptación plantas y prácticas a las condiciones locales.

Bosques templados caducifolios o deciduos

Estos bosques se caracterizan por su crecimiento estacional y por la caída de las hojas de los árboles durante la estación desfavorable, normalmente en el otoño. Se ubican en latitudes entre 30° y 55° a ambos lados del ecuador, donde el volumen de lluvias es suficiente para permitir el crecimiento de árboles (750-1.500 mm/año). Incluye los bosques mediterráneos y los bosques mixtos caducifolios típicos de Europa y Norte América. Las temperaturas de 10-25°C y un desarrollo estacional de 4-10 meses en el año, hacen que su velocidad de crecimiento y su productividad sean menores que las del bosque tropical húmedo. Normalmente contienen entre 5-10 especies de plantas y animales por hectárea; las especies de árboles comunes incluyen: haya, olmo, roble, arce (maple), aspen, abedul y el nogal americano. Las plantas intermedias a nivel terrestre y los arbustos florecen en la estación de crecimiento cuando aún no se desarrolla la copa del bosque.

Estos ecosistemas también confrontan problemas de deforestación y sólo hay pocas áreas que han quedado intactas después de siglos de explotación. Algunos grupos de conservacionista y

ambientalistas en muchos países europeos han objetado la sustitución de la vegetación por especies-únicas de plantaciones coníferas, debido a que cambian la naturaleza, la apariencia y diversidad de los bosques originados.

Bosques Templados Coníferos

Este tipo de bosque, conocido también como bosque boreal o taiga, se encuentra a latitudes elevadas (55-80°) y también a altas altitudes en montañas cercanas al ecuador, donde se producen condiciones climáticas similares a las encontradas en altas latitudes. Extensas áreas en Escandinava, Rusia y Canadá están cubiertas de bosques coníferos de este tipo. Este bosque sobrevive a más bajas temperaturas (-15 a +15°C) y con menores precipitaciones (250-1.000 mm/año) que las requeridas por el bosque caducifolio, y principalmente comprenden especies coníferas siempre verdes tales como abetos y pinos *evergreen*. La productividad y la tasa de crecimiento son bajas en la corta estación de crecimiento, y contienen relativamente pocas especies de plantas y animales (2-5 por hectárea).

Los principales problemas ambientales, en los bosques templados coníferos se relacionan con los daños causados por la contaminación industrial y la necesidad de asegurar un reemplazo de la madera extraída.

Bosques de manglar

Los manglares son un tipo de bosque que crece en las áreas marino costeras. Se encuentran en las costas tropicales y subtropicales de todo el mundo, incluidos los litorales de Venezuela.

Los manglares en Venezuela se distribuyen de forma discontinua en bahías, ciénagas, lagunas, desembocaduras de ríos y quebradas permanentes o temporales. La Figura 11.11, muestra la distribución de los bosques de manglares en Venezuela.



Figura 11.11. Distribución de los bosques de manglar en Venezuela. Fuente: Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela

Se encuentran principalmente en el delta del Orinoco, el Golfo de Paria, las costa de Barlovento, algunas dependencias federales, las costas noroccidentales del estado Carabobo y las nororientales del estado Falcon, la costa oriental del lago de Maracaibo y la costa noroccidental del golfo de Venezuela. Se pueden agrupar en manglares de la fachada Caribe y manglares de la fachada Atlántica, Según explica el Manual Restauración del bosque de manglar en la República Bolivariana de Venezuela (ONU-FAO & MINEC, 2022) los manglares de una y otra agrupación tienen características diferentes.

Los bosques de manglares de Venezuela albergan una gran diversidad de flora y fauna. Las especies de mangle más comunes en Venezuela son el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), el mangle negro (*Avicennia germinans*) y el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). Entre las especies animales que habitan los manglares venezolanos se encuentran aves, reptiles, anfibios, peces, crustáceos y moluscos. Los manglares son un ecosistema importante que proporciona una serie de beneficios ambientales. Sin embargo, los bosques de manglares de Venezuela están amenazados por una serie de actividades humanas, como la deforestación, la contaminación y el desarrollo costero. La restauración de los manglares. El manual ONU – FAO & MINEC citado expone las acciones técnicas que deben ejecutarse con miras a restaurar un manglar.

11.7.2. Praderas o Pastizales

Constituyen ecosistemas distribuidos en las sabanas de los trópicos y en las praderas o estepas de las zonas templadas. Cerca del 20 % de la superficie de la tierra debería estar naturalmente cubierta por pasto, pero el área real es ahora mucho mayor, debido a que una gran extensión de selvas y bosques ha sido deforestada para crear potreros de pastos. Los pastos son de gran importancia en la historia de la especie humana; los fósiles humanos sugieren que el “hombre primitivo” fue un morador pastoril; la mayoría de los más importantes granos del mundo (arroz, trigo y maíz) son simples variedades de pastos desarrollados y seleccionados como cultivos alimenticios.

Pastizales Tropicales

Los pastizales tropicales se ubican entre los bosques tropicales densos del ecuador y los desiertos cálidos de los trópicos, entre latitudes de 5° y 20° al norte y al sur del ecuador. En África se designan usualmente como sabanas; en Sur América se denominan llanos (Venezuela), pampas (Argentina) y campos (Brasil). Las áreas de pastos están bordeadas por desiertos o bosques; cerca de los bosques tropicales la vegetación es densa, especialmente en los valles de los ríos, mientras que cerca de los desiertos, la densidad del pasto es mucho menor. Los pastos tropicales se encuentran en áreas con temperaturas altas (25-30°C todo el año) pero las lluvias no son suficientes para soportar árboles y bosques, usualmente, existen estaciones marcadas de humedad y sequía con precipitaciones anuales de 250-1.000 mm. Los pastos florecen en los períodos húmedos, pero también sobreviven períodos de sequía.

Los pastizales tropicales soportan una gran variedad de animales, cada uno de los cuales ocupa un nicho ecológico único en una porción del ecosistema pastizal. En África, la cebra y el ñu son herbívoros de pastizales abiertos, mientras que los elefantes y las jirafas se alimentan de arbustos y árboles de sabana. Los carnívoros de los pastizales tropicales de África incluyen el león, el leopardo y la chita. Los problemas ambientales más importantes de los pastizales tropicales se relacionan con la expansión de las fronteras agrícolas para cubrir requerimientos demandados por la explosión demográfica de los trópicos. La pérdida del hábitat en los pastizales y la consiguiente reducción del número y variedad de especies vegetales y animales, ocasiona conflictos entre los agricultores y la vida silvestre. Las presiones para conservar el “Gran Teatro” de las sabanas ha conducido al establecimiento de muchas reservas naturales, las cuales soportan una importante industria turística en países tales como Kenia y Tanzania. La protección de las especies amenazadas como el elefante y el rinoceronte,

frecuentemente perseguidos en forma ilegal por su valioso marfil y cuernos respectivamente, constituye un reto de la conservación en muchos países. Sin embargo, las reservas naturales pueden por sí mismas causar problemas ambientales debido al incremento del número de especies protegidas, y al impacto de un turismo creciente en pequeñas áreas codiciadas de esparcimiento. La protección del elefante en el Parque Nacional Luangwa al Sur en Zambia, por ejemplo, ha sido tan exitosa que actualmente el safari de elefantes se ha convertido en un evento anual.

En Venezuela los pastizales del Alto Apure con severas restricciones de capacidad de carga requerían de grandes extensiones de territorio para sustentar un rebaño capaz de producir ganancias razonables a los ganaderos. El estudio del sistema hidrológico – hidráulico de las recurrentes inundaciones en esas zonas permitió pasar al estudio del sistema pastizal – lluvia- humedad del suelo e inducir una transformación de dominancia de pastos no palatables a palatables y nutritivos; el siguiente paso consistió en verificar la capacidad de carga bovina por el nuevo sistema de pastizal. El nuevo sistema permitió pasar de una capacidad de carga mayor de 10 hectáreas por unidad animal a un requerimiento una hectárea por unidad animal. El proceso descrito se llevó a cabo siguiendo un modelo de investigación denominado laboratorios naturales (Otero y Lugo, s.f.) lo que permitió el proceso de incorporación de los resultados experimentales al campo. En paralelo se desarrollaron los modelos matemáticos de simulación hidrológica y el desarrollo de técnicas geomorfológicas avanzadas que permitieran integrar las posiciones topográficas de banco, bajío y estero en unidades complementadas con diques de baja altura y unidades de aliviadero capaces de controlar la altura de agua en los potreros y el contenido de humedad del suelo capaz de mantener la dominancia de la pasto natural denominado lambedora (*Leersia exandra*) como base de la alimentación del ganado.

Pastizales templados

Los pastizales templados se encuentran en latitudes medias (40-60° al norte y al sur del ecuador), usualmente en el centro de los continentes a alguna distancia del nivel del mar. Las bajas temperaturas de invierno (0 a -10°C) evitan el crecimiento del árbol caducifolio, y las lluvias en esas latitudes son insuficientes para soportar otro tipo de vegetación que no sea pasto. Algunos ejemplos de pastizales templados clásicos son: las llanuras y praderas de Norte América, las estepas de Asia Central y las pampas de Argentina.

Al igual que los pastizales tropicales, los templados han sido usados para la agricultura, particularmente para ganadería y siembra de granos. Esto ha reducido sustancialmente las áreas de pasto natural, y cuando el manejo es inadecuado, origina problemas de erosión del suelo a gran escala. Los hatos agropecuarios causan problemas similares, sobre todo si hay sobre pastoreo que destruye la cobertura vegetal. En las Grandes Llanuras de los Estados Unidos, el pobre manejo de la tierra y el incremento de la mecanización en los años 1930 dieron como resultado una severa erosión del suelo, hecho que se hizo famoso con el nombre de Bola de Polvo (Dust Bowl) y que ha servido incluso como fundamento para obras literarias como la famosa novela Las Uvas de la Ira (The Grapes of Wrath) de John Steinbeck.

11.7.3. Ecosistemas mediterráneos

La cuenca del Mediterráneo está situada entre el desierto de Sahara en África Norte y los bosques caducifolios de Europa Occidental. Alrededor de las costas del Mar Mediterráneo se encuentra la región sur de España y Francia, Italia, Grecia e Israel, con ecosistemas característicos que reflejan el clima caluroso, con veranos secos e inviernos moderados y más húmedos. La vegetación natural de la región Mediterránea es baja: pastos, árboles pequeños y arbustos que pueden sobrevivir el intenso calor del verano. Son comunes árboles de olivo, cítricos (naranja y limón) y alcornoque en áreas ligeramente más húmedas, vegetación conocida como maquis. Muchas de las plantas son fuertemente aromáticas,

tales como la lavándula y el tomillo. Donde los suelos son más secos y las rocas calcáreas hay deficiencia de agua superficial, el monte es más delgado, con pocos (o sin) árboles y afloraciones rocosas; este patrón de vegetación se conoce como garrigue. Los ecosistemas mediterráneos se encuentran también en otras partes del mundo donde existen condiciones climáticas similares, tales como California (donde la vegetación maquis se conoce como chaparral), Sur-África y región sur-occidental de Australia.

Los problemas ambientales más importante en el área del Mediterráneo se deben a la presión del turismo. La mayoría de los destinos turísticos más importantes del mundo son las áreas climáticas del Mediterráneo. En particular, el riesgo de incendios accidentales por la gente, la alta demanda de agua potable y la disposición de los desperdicios en áreas áridas pueden crear importantes problemas ambientales.

11.7.4. Los desiertos

La visión general que el público tiene de un desierto es el de un área cálida tropical con imágenes de camellos, arena y un oasis. Los desiertos, sin embargo, son simplemente áreas de muy pocas lluvias, y es importante distinguir entre los desiertos cálidos y los desiertos fríos.

Desiertos cálidos

Los desiertos cálidos se encuentran en el área alrededor de los trópicos de Cáncer y Capricornio. Sus nombres son muy familiares, desierto del Sahara y Kalahari de África, el desierto Arábigo, los desiertos del sur-occidente de los Estados Unidos, el desierto Atacama de Chile, el desierto de Sechura en Perú, el Gran Desierto Australiano. Las altas temperaturas a lo largo de todo el año, con una máxima por encima de los 50°C y muy poca lluvia, se traducen en una vegetación escasa. Solamente las plantas que toleran la sequía, tales como la acacia y ciertos árboles en África y el cactus en América, pueden sobrevivir y florecer y la reproducción de la planta ocurre solamente en los cortos períodos cuando el agua está disponible después de la lluvia. La fauna también, es reducida, y está adaptada a la vida del desierto, bien por su poca demanda de agua (por ejemplo, los camellos) o porque son activos solamente durante la noche (animales nocturnos tales como el zorro). En los desiertos cálidos los problemas de conservación surgen como resultado de la extracción de los recursos minerales o de la demanda de agua. La demanda de agua origina la construcción de embalses y el bombeo de fuentes subterráneas. En Egipto, por ejemplo, la construcción de los embalses Nasser y Aswan anegó parte del valle del Nilo, causando pérdidas a las granjas y la destrucción de muchos sitios arqueológicos en el área de embalse y enormes problemas ecológicos aguas debajo de las represas (incremento de las enfermedades hídricas). Justamente los desplazados del valle del Nilo a consecuencia de la construcción de la represa Aswan dieron origen a la terminología ambiental de Refugiados del Desarrollo o Refugiados Ecológicos.

La extracción de minerales, tales como el hierro y el cobre degrada y marca el paisaje; crea riesgos de contaminación por la descarga de desechos. La extracción de petróleo es una importante actividad económica en las áreas desérticas Norte de África y el Golfo Pérsico, pero los escapes durante la extracción o los derrames durante el transporte crean significativos riesgos de contaminación. Al final de la Guerra del Golfo Pérsico en 1990, el incendio de pozos petroleros de Kuwait por los iraquíes causó considerable contaminación del suelo y del aire.

Desiertos Fríos

Los desiertos fríos están en aquellas partes del mundo donde las temperaturas son bajas en invierno o la tierra está tan lejos del mar, tal que las lluvias son muy escasas. Extensas áreas de Asia Central, tal como el Desierto Gobi en Mongolia y China Occidental son desiertos fríos, pero también se puede incluir en esta categoría la mayor parte de la Antártica. La vegetación es escasa o nula, y pocos animales pueden sobrevivir en estas condiciones ambientales exigentes. Como en los desiertos cálidos, la mayor parte de las amenazas ambientales provienen de la explotación de minerales y de otros recursos naturales.

11.7.5. Tundra

La tundra se encuentra entre los bosques coníferos de altas latitudes y las regiones polares cubiertas de hielo. Los ecosistemas de las tundras comprenden musgos, líquenes, hierbas, con ocasionales árboles enanos tales como el sauce y el abedul, los cuales pueden sobrevivir las temperaturas extremadamente bajas del invierno y se pueden reproducir durante los cortos veranos. Los animales de la tundra, tales como el caribú, el reno, el zorro ártico y el oso polar, deben tolerar las mismas condiciones. Los rebaños de reno y caribú, por ejemplo, migran a lo largo del año en busca de alimento y condiciones climáticas más favorables. Las principales amenazas ambientales que confronta la tundra se deben a la explotación mineral, ya que la población humana es baja. La extracción de petróleo en la Ladera Norte de Alaska ha incrementado los riesgos de contaminación ambiental, tanto por los derrames de petróleo, como por la creación de nuevos asentamientos con sus respectivos problemas de disposición de los desperdicios.

11.7.6. Ecosistemas marinos

Los esos sistemas o biomas descritos anteriormente son todos ecosistemas terrestres. A pesar de que dos terceras parte de la superficie de la Tierra está cubierta por los mares, muy poco se conoce sobre los ecosistemas marinos; sin embargo, se sabe que son de naturaleza extremadamente variada. Las aguas costeras de la desembocadura de los ríos y humedales de mangle, por ejemplo, tienen un muy alto nivel de productividad debido a los nutrientes que llegan desde tierra firme, lo cual permite el desarrollo de ecosistemas muy diversos y ricos. Sin embargo, su cercanía con la tierra hace que sean vulnerables a la contaminación y a los daños causados por las actividades humanas. Los ecosistemas de las placas continentales y océanos profundos están mucho más alejados del impacto humano, pero aparentemente son menos ricos y productivos. En el Capítulo 8 se ampliará más la naturaleza de los ecosistemas marinos y se estudiarán los principales aspectos de conservación que enfrentan.

11.8. Sistemas Biológicos y Sistemas Agrarios

Ya se ha mencionado que un sistema biológico es aquel que posee al menos un componente vivo. Esquemáticamente los rasgos distintivos de los sistemas biológicos, en comparación a los sistemas mecánicos o físicos, son la capacidad de controlar su propia actividad según las circunstancias, la capacidad de reproducirse y la capacidad de cambiar. Si el componente vivo es de interés agrario, entonces se trata de un sistema agrario o agrosistema. En tanto son sistemas, a cualquiera de ellos se les aplica todos los conceptos vertidos respecto a los sistemas en general. A su vez, los sistemas agrarios son simplemente casos particulares de sistemas biológicos. La particularidad resulta de la utilidad que el humano asigna a algún tipo de organismo que lo compone.

A los sistemas biológicos y agrarios los podemos analizar a diferentes niveles de organización. En primera instancia nos referiremos a las principales características de los sistemas biológicos a nivel de individuos, poblaciones y comunidades-ecosistemas. Luego presentaremos los sistemas agrarios a

nivel de los agroecosistemas y sus dos subsistemas agrarios típicos (cultivos y ganado), el predio (establecimiento o empresa) y la zona como el territorio en que se expresa el paisaje rural.

El individuo y el organismo

El individuo es un conjunto de partes (sistema de órganos) que responden unitariamente a estímulos del ambiente externo. Es el sistema biológico más “evidente”, son objetos concretos, unidades espaciales discretas con límites tangibles. El individuo presenta integridad genética. Los genes en todas sus partes son los mismos.

Existen numerosos ejemplos en que los atributos anteriores citados -integridad genética y discrecionalidad espacial- no se corresponden a la realidad. Por ejemplo, las plantas con reproducción vegetativa (ej. la gramilla, el álamo plateado) mantienen una fuerte interconexión entre el progenitor y sus retoños. Sin embargo, estos últimos pueden ser separados de la planta madre y seguir viviendo. Este comportamiento también se constata en animales (ej. colonia de corales). La separación en estos casos entre lo que se considera un individuo y una población resulta sin duda ambigua.

Por otra parte, en lo que respecta a la integridad genética, hay evidencias de que las células superiores (eucariotas) son colecciones de otros organismos más primitivos (procariotas). Las mitocondrias de todos los organismos, y los cloroplastos, en las células vegetales, poseen su propio material genético, diferente al del núcleo de la célula que los alberga. Esto obliga a reflexionar sobre la característica clave de los organismos pluricelulares, su integridad genética.

Sin embargo, a pesar de estos cuestionamientos, el individuo u organismo no deja de ser una categoría en la organización de la vida conveniente y útil.

El conjunto de las características que un individuo manifiesta se denomina fenotipo. Éste resulta de la interacción establecida entre un genotipo (el programa heredado o conjunto de genes) y el ambiente externo en que se desarrolla. En función de la flexibilidad o plasticidad del “programa”, los recursos vitales disponibles y las condiciones ambientales reinantes en cada circunstancia, un mismo genotipo podrá expresarse en más de un fenotipo.

Entre los atributos emergentes a este nivel podemos citar el desarrollo (ontogénesis) y las características etológicas (comportamiento).

La población

Una población puede definirse como un conjunto de individuos u organismos interactuantes de la misma especie que comparten un territorio y pueden intercambiar material genético entre ellos.

Este conjunto de organismos funciona en la naturaleza, junto a las poblaciones de otras especies, como componentes de una comunidad biótica o biocenosis. Ésta se considera la parte viva de un ecosistema.

Entre los atributos emergentes a nivel de población se encuentran, por ejemplo:

- los parámetros de crecimiento, tales como la tasa de natalidad, la tasa de mortalidad, la curva de sobrevivencia, etc.;
- la densidad (número de individuos por unidad de superficie); el patrón de distribución espacial al azar o aleatoria; agrupada, agregada o contagiosa; regular o uniforme (esta característica depende de la escala de observación).
- la estructura de edades;
- la proporción de sexos;

- la evolución genética.

La comunidad biótica y el ecosistema

Una comunidad biótica o biocenosis se define como el conjunto de poblaciones de diferentes especies interactuantes que comparten un territorio. Es considerada la parte viva de un ecosistema.

En la práctica ecológica, suelen distinguirse diversas comunidades en función del tipo de organismo: por ejemplo, comunidades vegetales, comunidades de arañas en un cultivo, comunidades microbianas en el suelo, etc.

Cuando el conjunto de poblaciones de diferentes especies vegetales, animales y microorganismos interactúa con el medio físico (abiótico: clima y suelos) dando lugar a un flujo de energía y materia, entonces a dicha unidad la denominamos ecosistema. Tansley, en 1935, creó el término, y así se refiere al mismo: "... es el sistema global (en sentido físico) incluyendo no sólo el complejo de organismos, sino también el complejo total de factores que conforman lo que llamamos ambiente...los factores de hábitat en sentido amplio..... los sistemas así formados, del punto de vista del ecólogo, son las unidades básicas de la naturaleza en la faz de la Tierra..... estos ecosistemas, así deberíamos llamarlos, son del más variado tipo y tamaño... forman una categoría de la multiplicidad de sistemas físicos del universo, desde el universo como un todo hasta el átomo..."

Las propiedades que emergen a este nivel de organización son, por ejemplo:

- la diversidad biológica específica;
- la productividad neta del ecosistema;
- la tasa de reciclaje de nutrientes;
- la sucesión ecológica.

El agroecosistema

El desarrollo de la actividad agraria condujo en grado diverso a la transformación de los ecosistemas terrestres naturales. Cualquier territorio se puede considerar un ecosistema, y si las actividades del agro son predominantes, se puede designar como un agroecosistema o ecosistema de producción.

Lo que caracteriza un agroecosistema es la existencia de poblaciones vegetales o animales de interés para el ser humano (especies de utilidad agraria), un objetivo o finalidad (la producción de bienes y servicios), el control que gestor realiza de toda su estructura, y en particular de las entradas al sistema.

La biota original del ecosistema es sustituida por las especies cultivadas y el ganado, o conviven con ella. Los cambios en el ecosistema natural derivados de la actividad agraria pueden favorecer también el arribo y desarrollo de especies provenientes de otros ecosistemas. Cuando las especies espontáneas interfieren con los objetivos de producción, las mismas dan lugar a los subsistemas plagas, enfermedades y malezas de los agroecosistema.

Los agroecosistemas son diseñados y regulados por los humanos para canalizar el máximo de energía solar y otras formas de energía, hacia la obtención de alimentos y otros productos.

Entre las propiedades emergentes de la interacción de todos los componentes del agroecosistema y su manejo, podemos citar:

- el rendimiento obtenido (kg/ha del producto cosechado, kg de carne/ha obtenido);

- la eficiencia productiva, referida a la radiación solar incidente, el nivel de aplicación de insumos (ej. kg de fertilizantes), al volumen de agua aportada por el riego, u otros factores;
- el mantenimiento de la capacidad productiva del suelo;
- la variabilidad de la producción a lo largo del tiempo.

Como se aprecia en la Figura 11.12, en estas propiedades intervienen las variables radiación solar, energía humana, animal, fósil, precipitaciones, fertilizantes, biocidas, otras semillas de cultivo y otros subsistemas (cultivos, suelo, plagas, factor atmosférico, enfermedades, malezas, cosecha y otras salidas).

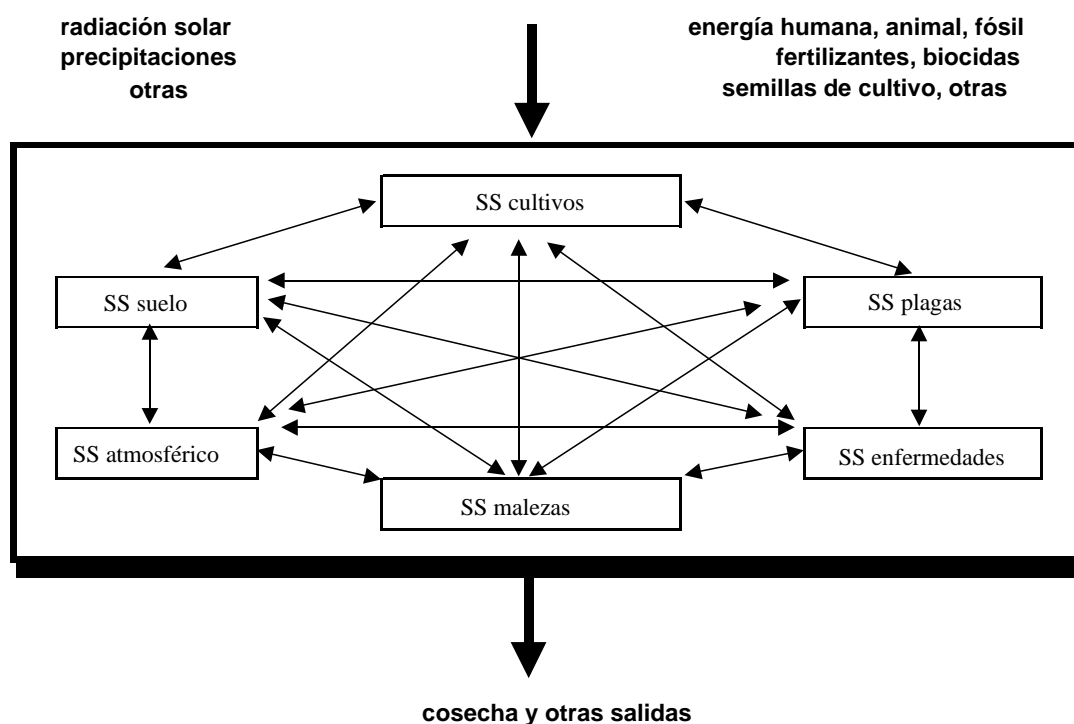


Figura 11.12. Interrelaciones de los agroecosistemas y sus características.

El sistema cultivos y el sistema ganado

Estos sistemas tienen el papel preponderante en los agroecosistemas, siendo la razón de su existencia y diferenciación de los restantes ecosistemas terrestres (no se está considerando sistemas intensivos con animales estabulados o enjaulados). Las plantas y animales que tienen utilidad agraria son sus componentes. Si pertenecen a una misma especie, entonces los sistemas cultivos y ganado son equivalentes a los sistemas de poblaciones, que son uno de los niveles de organización de la vida. En estos casos, cada planta y animal se corresponde claramente al sistema individuo u organismo.

Sin embargo, los subsistemas cultivo y ganado pueden tener una estructura más compleja. En un momento dado pueden estar coexistiendo dos o más especies, o, por otro lado, diferentes especies pueden estar relacionadas en un terreno dado a lo largo del tiempo y formar parte, por lo tanto, de un

mismo sistema. En estos casos no existe la correspondencia directa entre los sistemas de referencia y el concepto de población.

El punto anterior nos lleva a plantear el tema de los límites espaciales y temporales de estos sistemas; es decir, ¿hasta dónde consideramos un conjunto de plantas o de animales parte de los respectivos sistemas?, o ¿cuándo los distinguimos como sistemas diferentes?

Generalmente, los límites temporales de los sistemas se fijan con relación a:

- los ciclos biológicos de los organismos (por ej. desde la siembra hasta la cosecha de un cultivo anual; desde el nacimiento de un ternero hasta su destete; etc.);
- la unidad temporal manejada por el agricultor (por ej. el período de la rotación agrícola-ganadera planificada; período entre cosecha y cosecha en el caso de cultivos perennes de producción anual, como los frutales; el año calendario).

El sistema ganado, en tanto sus componentes son móviles, no presenta límites espaciales; aunque si cada uno de los animales, componentes del sistema, (por ej. Su piel), pero esto no ocurre para el conjunto de ellos. Por otra parte, el agroecosistema pastoril del cual participa el ganado, tiene los límites espaciales marcados por el componente vegetal del cual se alimentan, es decir, el subsistema forraje (pastura natural, pradera sembrada, etc.).

Entre los aspectos estructurales del sistema ganado se encuentran, por ejemplo, los siguientes:

- la especie presente (ej. sólo lanares, sólo vacunos, o ambos - sistema mixto);
- las razas y categorías para las diferentes especies;
- la calidad genética de los animales
- la cantidad de cada una de las especies, razas o categorías por unidad de superficie o por cantidad de alimento disponible;
- la forma del pastoreo: ¿se realiza en forma conjunta, o un tipo de animal pastorea después del otro? (ej. pastoreo de lanares luego de los vacunos).

Respecto al sistema cultivos, los límites espaciales están definidos por las relaciones de competencia o relaciones de otro tipo (ej. protección contra el viento), ya sea entre las plantas pertenecientes a un mismo cultivo o entre las diferentes especies que comparten un área. Aquellos conjuntos de plantas que presenten algún tipo de relación, integran el mismo sistema.

A los efectos de analizar los aspectos estructurales del sistema cultivos, también se deben considerar los aspectos cualitativos, aquellos cuantitativos, y los arreglos espacio-temporales de sus componentes.

Los sistemas pueden estar compuestos por una sola especie (monocultivo o monocultura) o contar con dos o más especies coexistentes (policultivo, cultivos asociados o cultivos mixtos (intercropping o multiple cropping en inglés). En este último caso, las especies asociadas pueden ser herbáceas, leñosas o una mezcla de ambas. Es importante considerar asimismo la calidad del material sembrado o plantado, en términos genéticos, sanitarios, etc.

Cuando uno de los componentes es forestal, los sistemas se conocen como sistemas agroforestales. En particular, cuando el cultivo forestal está acompañado de un cultivo forrajero pastoreado o pasturas naturales pastoreadas, el sistema mixto resultante (árboles-forraje-ganado) se conoce como sistema silvopastoril. Es importante considerar asimismo la calidad del material sembrado o plantado, en términos genéticos, sanitarios, etc.

Desde el punto de vista cuantitativo importa conocer la densidad de plantas, ya se trate de un monocultivo o para cualquiera de los cultivos componentes de un policultivo. La variable se expresa generalmente como plantas por unidad de superficie.

En términos de los arreglos espaciales, existen tres distribuciones uniformes básicas para las plantas cultivadas: la cuadrada, la rectangular, la equidistante (o en tresbolillo, formando un triángulo equilátero). Las siembras al voleo dan como resultado distribuciones irregulares de tipo agregado (agrupado o en manchones) y al azar (aleatorio).

Cuando describimos un policultivo, la relación espacial entre las especies componentes del sistema es un aspecto adicional. Esquemáticamente tenemos las siguientes alternativas de arreglos:

- en borde. Es el caso de una cortina rompeviento de árboles forestales, o de cañas, que protege un cultivo frutal o herbáceo.
- en líneas. Puede observarse, por ejemplo, en cultivos hortícolas orgánicos, donde se siembran a campo hileras alternadas de maíz y zapallo; o en invernáculos donde pueden alternarse filas de tomate, morrón, berenjena.
- en franjas. Una o más hileras de un cultivo se alternan con dos o más hileras de una segunda especie. Es un diseño espacial viable para sistemas agroforestales, donde el componente arbóreo se planta en dos o tres filas a espaciamientos normales, dejando una amplia entrefila que es ocupada por un segundo cultivo herbáceo. También hay ejemplos referidos a maíz-soja y cultivos hortícolas. Siendo cultivos de similar ciclo, se da una alternancia de los cultivos realizados en cada franja. Aquella franja cultivada un año con maíz, lo será el siguiente con soja, y viceversa. El ancho de la franja coincide o es un múltiplo del ancho de trabajo de sembradoras y/o cosechadoras.
- intercalado. En este arreglo espacial, las especies (o variedades de una especie) aparecen regularmente asociadas dentro de una fila. Un ejemplo típico es la asociación de variedades de manzanas roja y verde, o de variedades de ciruelos, que requieren de una polinización cruzada. También se observa en cultivos hortícolas orgánicos, donde en un mismo cantero se intercalan plantas de cultivo de hoja y de raíz.
- al voleo. Por ejemplo, en una pradera multiespecífica, las plantas de las diferentes especies de gramíneas y de leguminosas se distribuyen sin un patrón regular.

El análisis de los arreglos temporales del sistema cultivos lleva a considerar dos situaciones: a) interacciones directas entre los cultivos pertenecientes al sistema; b) interacciones indirectas. El primer caso se refiere a situaciones en las que dos o más especies comparten por cierto tiempo el espacio. Pueden dar lugar a relaciones de competencia, pero especialmente la asociación resulta ventajosa por motivos diversos (aporte de nutrientes, ahorro de costos operativos, etc.). En la Figura 11.13 se representan tres casos diferentes:

- I. La siembra de los cultivos a y b se realiza conjuntamente, luego el cultivo a es cosechado, quedando el cultivo b. Ej. la siembra consociada de trigo con praderas.
- II. El cultivo b es perenne, y durante su existencia se implanta en diversos momentos un cultivo a de duración comparativamente corta. Ej. la siembra de leguminosas o gramíneas como abono verde que luego es enterrado (o eliminado por otros medios) en las entrefilas de un monte frutal o de una viña.
- III. En este caso, las tres especies se siembran y aprovechan en el mismo tiempo. Ej. Una pradera mixta sembrada que es pastoreada.

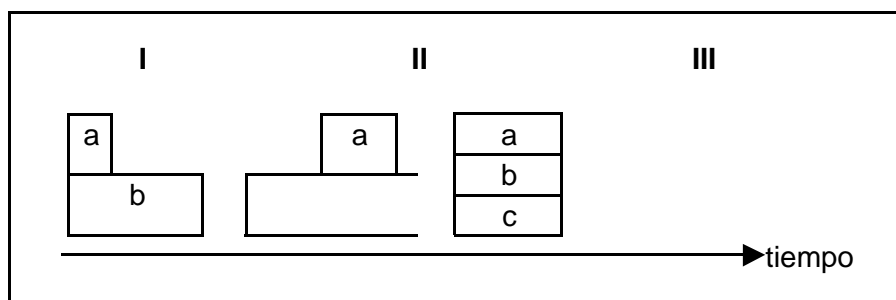


Figura 11.13. Arreglos temporales de las especies a, b y c con interacción directa.

El segundo caso, no se establece contacto directo entre las especies que integran el sistema. Se pueden desarrollar relaciones positivas o negativas entre los cultivos consecutivos. En la figura 11.14 se representan tres casos diferentes:

- I. Estamos frente a una homocesión cultural. Se realiza año tras año el mismo cultivo en la parcela o agroecosistema. Como consecuencia, se puede llegar al agotamiento del suelo, la acumulación de inóculos de enfermedades, etc.
- II. En este caso existe una alternancia o secuencia de diversos cultivos. Algunos de ellos pueden ser mejoradores de las condiciones del cultivo que se realice a posteriori (ej. Un cultivo tipo abono verde que es incorporado al suelo) o un cultivo fertilizado, cuya fertilización residual es aprovechada por el siguiente cultivo. También puede ocurrir que el cultivo realizado perjudique al siguiente a través de fenómenos alelopáticos (fenómeno de interacción negativa entre plantas superiores por la acción de metabolitos liberados directamente por ellas o compuestos tóxicos resultantes de la degradación de sus restos, caso del sorgo).
- III. En este caso está prevista una secuencia de cultivos en forma ordenada. Se representa una rotación agrícola ganadera, donde el cultivo d es una pradera que permanece por más tiempo instalada, con un efecto mejorador del suelo y de la sanidad de los otros cultivos incluidos en la rotación.

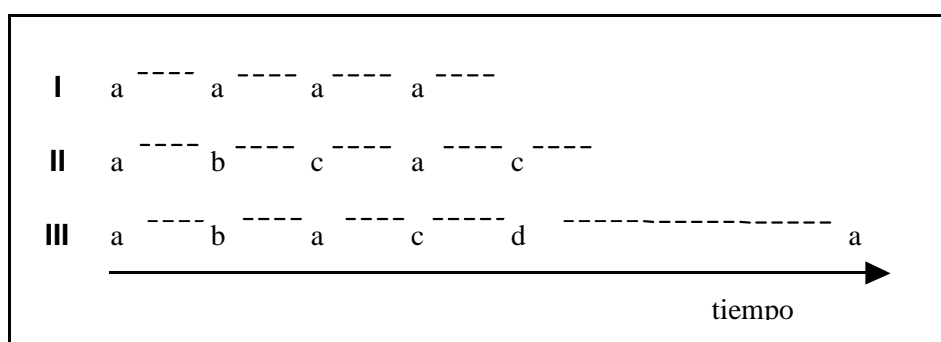


Figura 11.14 Arreglos temporales de los cultivos a, b, c y d con interacción indirecta.

Entre los atributos emergentes del sistema ganado, podemos citar:

- la relación lanar: vacuno;
- la dotación o carga animal en el potrero (equivalente al concepto de densidad poblacional);
- el porcentaje de preñez.

Algunas propiedades emergentes del sistema cultivos son, por ejemplo:

- la densidad y la distribución espacial de las plantas cultivadas;

- la proporción de años de descanso del suelo en una rotación;
- la razón de tierra equivalente (land equivalent ratio, LER, en inglés) o rendimiento relativo total, de un sistema de policultivos, expresado como sigue:

$LER = \sum (P_i / M_i)$ siendo, P_i el rendimiento del cultivo i en condiciones de policultivo, y M_i su rendimiento en condiciones de monocultivo. Un valor de LER mayor que uno indica ventaja relativa del policultivo de las i especies frente a los respectivos monocultivos.

El sistema predio

A este nivel se incorporan a los componentes físico-biológicos de los diferentes agroecosistemas, aquellos de tipo socioeconómico y tecnológico de la unidad de producción.

Podemos reconocer las siguientes propiedades emergentes del predio:

- los objetivos del sistema (por ej. el autoabastecimiento, la participación de un mercado diferenciado de productos agrarios, la maximización u optimización de los beneficios económicos);
- el grado de diversificación productiva (por ej. la cantidad de rubros trabajado, las superficies relativas que ocupan dichos rubros);
- la proporción del predio ocupado por las denominadas “áreas improductivas”;
- la organización del trabajo, en función de los recursos humanos disponibles en el predio y las intervenciones que se deben realizar en los agroecosistemas componentes, a los efectos de obtener un producto;
- el grado de reciclaje de los subproductos o desechos agrarios de las producciones comerciales obtenidas.

La zona y el paisaje rural o agrario

Los componentes del sistema paisaje rural o agrario percibido en una zona, lo constituyen los ecosistemas naturales remanentes o relictuales, los ecosistemas agrarios de los predios, los ecosistemas urbanos y otros elementos (por ej. la infraestructura vial).

Algunas propiedades emergentes a nivel de la zona o del paisaje son:

- la densidad poblacional;
- el tipo de agroecosistema dominante y la diversidad de agroecosistemas;
- el porcentaje de las áreas silvestres y su conectividad (interconexión);
- el porcentaje de predios asesorados profesionalmente;
- el nivel medio de instrucción o educación de la población zonal;
- la densidad vial.

11.9. Modelación matemática de sistemas biológicos

En la modelación matemática de sistemas biológicos se usa ampliamente el método deductivo para comprender y predecir el comportamiento de organismos vivos y sus interacciones con el entorno. Este enfoque se basa en la lógica deductiva, donde se establecen hipótesis o principios generales que se aplican para deducir consecuencias específicas.

En el contexto de la biología, se formulan hipótesis sobre cómo funcionan los sistemas biológicos y luego se utiliza el método deductivo para generar predicciones sobre el comportamiento

de esos sistemas en diferentes condiciones. Estas predicciones se pueden probar mediante experimentos diseñados específicamente para validar o refutar las hipótesis iniciales. También usados para la tarea conocida como calibrar el modelo lo que implica ajustar sus parámetros para optimizar su capacidad predictiva con base a un conjunto de datos específico obtenido de observaciones de la realidad.

La modelación de sistemas biológicos implica la construcción de modelos matemáticos o computacionales que representan su estructura y la dinámica. Estos modelos se basan en principios biológicos fundamentales y se utilizan para simular el comportamiento de los sistemas en diferentes escenarios.

La aplicación del método deductivo en la modelación de sistemas biológicos permite generar nuevas ideas y teorías sobre cómo funcionan los organismos vivos y cómo se relacionan entre sí y con su entorno. Al probar estas ideas con datos experimentales, se puede avanzar en la comprensión de la biología y se pueden hacer predicciones sobre el comportamiento futuro de los sistemas modelados.

Es necesario comprender como se puede simplificar el comportamiento de un organismo biológico, de sus partes constituyentes internas o de sus relaciones complejas con otros organismos biológicos y abióticos, Lizaso (2023) lo aborda explicando que es un sistema y posteriormente que es un modelo.

Un sistema es conjunto de elementos ordenados de acuerdo con un objetivo que puede ser natural o artificial. Se compone de elementos, que son las partes constitutivas, que se relacionan de acuerdo con un conjunto de vínculos cada uno de los cuales se rige por una función. El propósito del sistema determina el patrón de organización de sus elementos.

Un modelo es una representación deliberadamente simplificada de un sistema. Como representación: muestra los principales componentes y sus relaciones, como deliberadamente simplificada: reconoce la excesiva complejidad del sistema; por lo que dependiendo del propósito del modelo se representan solo algunos componentes y relaciones importantes

11.9.1. Modelos funcionales en sistemas biológicos

Un modelo funcional es una representación abstracta de un sistema o fenómeno que describe las relaciones entre las variables de entrada y salida, centrándose en cómo el sistema transforma las entradas en salidas. Estos modelos se centran en la función o comportamiento del sistema en lugar de en su estructura detallada.

A través de modelos funcionales, se pueden realizar predicciones sobre cómo diferentes condiciones ambientales o cambios en los factores de entrada afectarían el crecimiento y desarrollo de un árbol. Por ejemplo, se podría predecir cómo una mayor exposición a la luz solar aumentaría la tasa de fotosíntesis y, por lo tanto, el crecimiento del árbol, o cómo la escasez de agua afectaría la producción de frutos. La Figura 11.15 muestra la estructura de un modelo funcional.

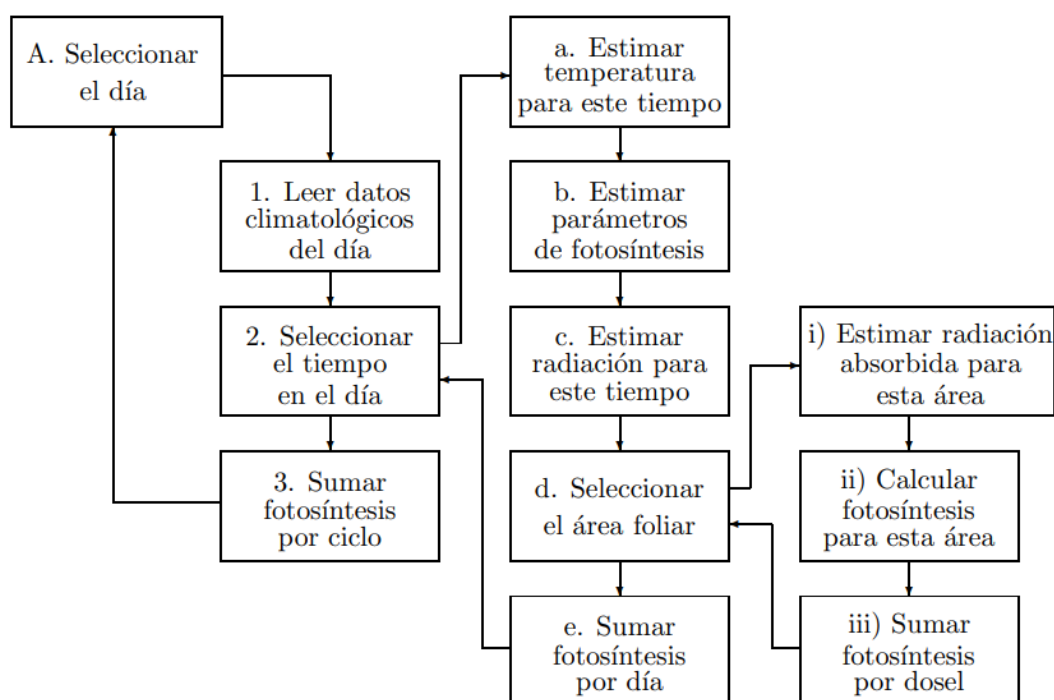


Figura 11.15. Estructura de modelo para estimar fotosíntesis para simulación de crecimiento de cultivos. Fuente: Jansen, D.M. (1995).

11.9.2. Modelos mecanicistas

Un modelo mecanicista es una representación matemática o conceptual que se basa en los principios fundamentales de cómo funciona un sistema, con el objetivo de comprender y predecir su comportamiento. Estos modelos se construyen sobre la base de conocimientos detallados sobre los mecanismos subyacentes que gobiernan el sistema en cuestión, lo que permite una comprensión más profunda de las relaciones causales y la capacidad de realizar predicciones en una variedad de condiciones.

Un ejemplo de un modelo mecanicista en ganadería podría ser un modelo que simula el proceso de digestión y metabolismo en el tracto gastrointestinal de un rumiante, como una vaca. Este tipo de modelo se construiría sobre la base de los conocimientos detallados sobre la anatomía y fisiología del tracto digestivo de los rumiantes, así como sobre los principios bioquímicos y físicos que rigen los procesos de digestión, absorción de nutrientes y metabolismo energético. La Figura 11.16 representa los elementos que permitirían configurar un modelo mecanicista del balance térmico en un bovino.

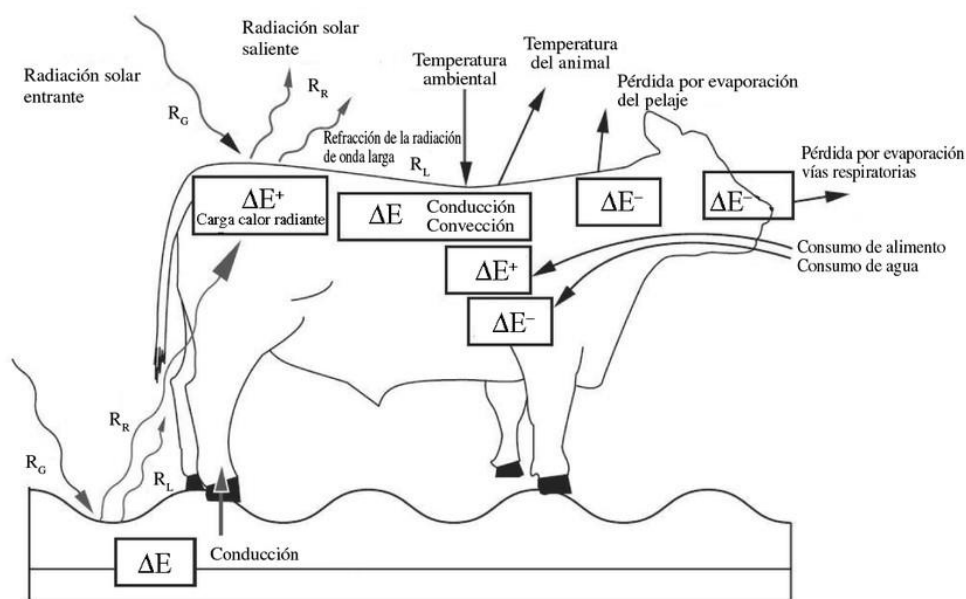


Figura 11.16. Balance térmico en el ganado bovino de carne (adaptado de Meat & Livestock Australia, 2002).
Fuente: Arias, Mader y Escobar (2008).

En resumen, un modelo mecanicista en ganadería se basaría en los principios biológicos y fisiológicos que rigen el proceso de metabolismo en los rumiantes, permitiendo a los productores ganaderos entender mejor cómo interactúan diferentes factores nutricionales y de manejo para influir en el rendimiento y la salud de los animales.

Los modelos mecanicistas también pueden aplicarse a un sistema con mayores iteraciones como sería el caso de una finca ganadera. En este caso el modelo podría centrarse en simular el ciclo de producción de carne o leche, teniendo en cuenta una serie de variables que afectan el rendimiento y la salud de los animales. Aquí hay un ejemplo simplificado de un modelo mecanístico para una finca ganadera:

Variables de entrada:

- Composición de la dieta (porcentaje de forraje, concentrados, suplementos).
- Calidad y cantidad de pasto disponible.
- Condiciones climáticas (temperatura, humedad, precipitación).
- Inventario inicial de ganado (número de cabezas, edad, peso).
- Prácticas de manejo (frecuencia de alimentación, programación de vacunación, control de parásitos).

Procesos modelados:

- Digestión y metabolismo: Simulación de la ingesta de alimentos, descomposición de nutrientes en el tracto digestivo, absorción de nutrientes en el intestino, metabolismo energético.
- Crecimiento animal: Modelado del crecimiento de los animales en función de la ingesta de alimentos y las condiciones ambientales.
- Reproducción: Predicción de la tasa de reproducción y la producción de crías.
- Salud animal: Evaluación de la incidencia de enfermedades y lesiones en función del manejo y las condiciones ambientales.

Procesos modelados:

- Digestión y metabolismo: Simulación de la ingesta de alimentos, descomposición de nutrientes en el tracto digestivo, absorción de nutrientes en el intestino, metabolismo energético.
- Crecimiento animal: Modelado del crecimiento de los animales en función de la ingesta de alimentos y las condiciones ambientales.
- Reproducción: Predicción de la tasa de reproducción y la producción de crías.
- Salud animal: Evaluación de la incidencia de enfermedades y lesiones en función del manejo y las condiciones ambientales.

Utilizando este modelo, los ganaderos pueden simular diferentes escenarios y estrategias de manejo para optimizar la producción y el rendimiento de su finca ganadera. Por ejemplo, podrían evaluar cómo cambios en la composición de la dieta o en las prácticas de manejo afectan el crecimiento y la salud de los animales, así como la rentabilidad global de la operación ganadera.

Este modelo mecanicista proporciona una herramienta poderosa para la toma de decisiones informadas en la gestión de fincas ganaderas, permitiendo a los productores anticipar los efectos de diferentes variables y diseñar estrategias que maximicen la eficiencia y la sostenibilidad de su negocio.

11.9.3. Modelos Estadísticos

Un modelo estadístico es una representación matemática de la relación entre una o más variables, basada en datos observados y análisis estadístico. Estos modelos se utilizan para describir, explicar y predecir fenómenos mediante el análisis de la variabilidad y las relaciones entre las variables.

Un el caso de un zoocriadero de capibaras o chigüires, por ejemplo, se podría considerar un modelo de regresión lineal múltiple donde la variable dependiente es el peso de los capibaras y las variables independientes son la cantidad de alimento suministrado, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la presencia de enfermedades. A partir de los datos recopilados en el zoocriadero, este modelo se ajustaría utilizando técnicas estadísticas para determinar qué variables tienen una influencia significativa en el crecimiento y la salud de los capibaras.

NOTAS

1. El ecosistema de los queñuales en el Perú

Los queñuales (*Polylepis spp.*) son un género de árboles y arbustos pertenecientes a la familia de las rosáceas. Son endémicos de los Andes tropicales, donde se encuentran entre los 3.500 y 5.200 metros sobre el nivel del mar.

El ecosistema de los queñuales se caracteriza por:

Clima: Frío y húmedo, con temperaturas que oscilan entre los 0 y 10 °C.

Precipitaciones anuales que superan los 1.000 mm.

Alta frecuencia de heladas.

Suelo: Suelos pedregosos y arenosos, con buen drenaje. De pH ácido a neutro. Ricos en materia orgánica.

Flora: Los queñuales son la especie dominante en este ecosistema, formando bosques densos o matorrales abiertos.

Otras especies presentes son: Árboles: aliso, chachacomo, quinal. Arbustos: chilca, retama, huamanpinta. Hierbas: ichu, kikuyo, paja brava. Epífitas: Bromelias, orquídeas, líquenes.

Fauna: El ecosistema de los queñuales es un refugio para una gran variedad de animales, como: Mamíferos: venados, zorros, vizcachas, conejos. Aves: cóndores, águilas, halcones, perdices. Reptiles: lagartijas, serpientes. Anfibios: ranas, sapos.

Importancia: El ecosistema de los queñuales juega un papel fundamental en la regulación del clima y la protección del suelo. Es un proveedor de agua dulce para las comunidades locales.

Alberga una gran biodiversidad de flora y fauna. Tiene un importante valor cultural para las comunidades indígenas.

2. El ecosistema del quishuar se caracteriza por:

Clima: Frío y templado, con una temperatura media anual de 8°C.

Precipitación anual de 800 a 1.200 mm. Alta humedad ambiental.

Suelo: Suelos arenosos y pedregosos, con buen drenaje. De pH ácido a neutro. Ricos en materia orgánica.

Flora: El quishuar (*Buddleja incana*) es la especie dominante en este ecosistema.

Otras especies presentes son: Árboles: aliso, queñua, chachacomo. Arbustos: chilca, retama, huamanpinta. Hierbas: ichu, kikuyo, paja brava. Epífitas: bromelias, orquídeas, líquenes.

Fauna: El ecosistema del quishuar es un refugio para una gran variedad de animales, como: Mamíferos: Venados, zorros, vizcachas, conejos. Aves: cóndores, águilas, halcones, perdices. Reptiles: lagartijas, serpientes. Anfibios: ranas, sapos.

Importancia: El ecosistema del quishuar juega un papel fundamental en la regulación del clima y la protección del suelo. Es un proveedor de agua dulce para las comunidades locales. Alberga una gran biodiversidad de flora y fauna. Tiene un importante valor cultural para las comunidades indígenas.

Referencias

- Arias, Rodrigo; Mader, Terry L. y Escobar, P.C. (2008). Archivos de Medicina Veterinaria 40: 7-22
- Armenteras, D., González, T. M., Vargas Ríos, O., Meza Elizalde, M. C., Oliveras, I., Armenteras, D., González, T. M., Vargas Ríos, O., Meza Elizalde, M. C., & Oliveras, I. (2020). Incendios en ecosistemas del norte de Suramérica: avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú. *Caldasia*, 42(1), 1–16. <https://doi.org/10.15446/CALDASIA.V42N1.77353>
- Brack, A. (2010). Perú: Economía y Diversidad Biológica. Zona Comunicaciones SAC. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39470>
- Comisión Europea. (2021). Aprendizajes sobre el proceso de consulta a las comunidades indígenas para la elaboración del Reglamento de la Ley Marco sobre Cambio Climático del Perú. Dirección General de Asociaciones. <https://doi.org/10.2841/41742>
- Córdova, T. (2016). Aprendo a identificar y relacionar los ecosistemas y los seres vivos según la cadena alimenticia. Universidad Nacional de Cajamarca. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/2677/T016_16484582_T.pdf?sequence=4
- Crystal, E. (2017). Crystalinks. Obtained from Ecosystems of Peru: crystalinks.com.
- Discover Peru. (2017). Retrieved from “Saving Peru's Ecosystems and Biodiversity: discover-peru.org.
- Díaz, Keissy; Febres, Gonzalo y Pineda, Beatriz (s.f.) Evaluación del impacto del Programa de Desarrollo Forestal del Oriente de Venezuela. II Etapa. Caracas, PROCONSULT C.A.
- Elliot, Stephan; Blakesley, David y Hardwick, Kathe. (2013) Restauración de Bisques Tropicales. Un Manual Práctico. Tr. Claudia Lilith y Maite Conde-Prendes. Kew, Londres, Royal Botanic Gardens.
- Gómez, Yrma, Paolini, Jorge y Hernández, Rosa Mary. (2008). Sustitución de la sabana nativa con plantaciones de *Pinus caribaea* (Pinaceae) en Venezuela: efecto sobre parámetros indicadores de cambios en el carbono del suelo. *Revista de Biología Tropical*, 56 (4): 2041-2053.
- Graf, Esteban. (2004). Sistemas biológicos y sistemas agrarios. Ecología Agraria. Montevideo (Uruguay) Universidad de la República.

Hebert, A., & Osswald, G. (s.f.). Cott Trax2. Obtained from Peru: Major Landscapes and Ecosystems: commons.bcit.ca.

Jansen; Donatus M. (1995). Uso de integración según Gauss para calcular la fotosíntesis en simulación de crecimiento de cultivos. *Revista de Matemáticas* 2 (1):1-15

Lennox, E., & Gowdy, J. (2014). Ecosystem governance in a highland village in Peru: Facing the challenges of globalization and climate change. *Ecosystem Services*, 10, 155–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.08.007>

Ley Forestal de Suelos y Aguas (1966). Caracas, Gaceta Oficial N° 1.004 Extraordinario de fecha 26 de enero de 1966

Lizaso; Jon I. (2023). Modelos de Simulación de Cultivos: Una herramienta para el análisis y planificación de la producción agrícola. Caracas, Grupo Orinoco. (Presentación en Foro Nuevos Paradigmas en la Agricultura. Respuesta desde la universidad)

Navarro Guzmán, M. A., Pezo Sardón, M. A., Riveros Arteaga, G. C., & Frisancho Soto, S. N. (2021). Fragmentación Antropogénica de los ecosistemas de Puna en el extremo sur del Perú. *Estudios Geográficos*, 82(290), e058. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202070.070>

INAM-CONADIB. (2014). La Estrategia Nacional de Diversidad Biológica al 2021 y su Plan de Acción 2014-2018. Lima - Perú: Biblioteca Nacional del Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/estrategia-nacional-diversidad-biologica-2021-plan-accion-2014-2018>

ONU – FAO & MINEC. (2022). Manual Técnico. Restauración de Bosques Tropicales de la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, MINEC.

ONU – FAO & MINEC. (2022). Manual. Restauración del Bosque de Manglar en la República Bolivariana de Venezuela. Caracas, MINEC.

Otero, Nelson y Lujo Marynes (s.f.) Los Módulos de Apure un laboratorio natural. Caracas, UPEL – IPC. (Geografía Física de Venezuela, Unidad Llanos)

OVACEN. (2022). Cadena alimenticia y red trófica; terrestres y acuáticas. ecosistemas: <https://ecosistemas.ovacen.com/>

Pomperú. (1994). Ecological treasures of Peru. Commission for the Promotion of Peru.

Pino Romero, Neisser y Salazar Fernández, Christian Ulises (2022). Modelo matemático de una cadena alimenticia depredador-presa plancton-anchoveta. *Rev. Mat [online]*. 29 (1): 69-103. <http://dx.doi.org/10.15517/rmta.v29i1.43747> .

Rodríguez, Jon Paul, Rojas Suarez, Franklin y Giraldo, Diego (eds.). (2010). Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela. Caracas, PROVITA – LENOVO.

Seeliger, U., & Kjerfve, B. (2001). In U. Seeliger, & B. Kjerfve, Coastal Marine Ecosystems of Latin America (Page 242). Rio Grande: Springer.

World View of Global Warming. (2017). Obtained from Peru's great ecosystems - mountains, rivers, rainforests and the people they support - are under great stress from rapid climate change.: worldviewofglobalwarming.org. (2017). Nature and Culture International. Obtained from Peru: natureandculture.org.

12. HERRAMIENTAS DE INFORMÁTICA Y COMPUTADORAS

12.1. Introducción

Las computadoras, denominados también ordenadores, son los dispositivos más omnipresentes en nuestro tiempo moderno, y debido a su proliferación, existe la tendencia de olvidar lo que realmente son estos equipos. Son herramientas que permiten desarrollar tareas más rápido. Son equipos que sólo llevan a cabo actividades para las cuales son programadas por el usuario y no pueden reemplazar a éste en el diseño original. Los ingenieros aún tienen que aportar las ideas y conceptos, y luego las computadoras los pueden ayudar en la rápida evaluación de las mismas. No hay duda de que algunos de los cálculos complejos hechos hoy en día por los ingenieros no podrían realizarse sin las computadoras. Es imposible imaginar a un ingeniero que desee estar al día en los avances de la tecnología que carezca de algún conocimiento de trabajo de las computadoras.

Frecuentemente se observa que los estudiantes de ingeniería discuten con sus tutores sobre “soluciones” obtenidas usando la computadora. Muchas veces argumentan en el sentido de que “esa es la respuesta que arrojó la computadora”, aunque el profesor argumenta que “eso no tiene sentido”. Entonces los estudiantes se molestan con el profesor. Lo que los estudiantes no saben en este punto es que la computadora no es más que una herramienta que sólo hace lo que se le dice previamente. En efecto, es preferible pensar que una computadora no es más que “un tonto fiel” que sigue a pie de letra las instrucciones que recibe. Por lo tanto, si el estudiante le da una instrucción incorrecta los resultados que entrega la computadora serán erróneos. Esto nos lleva al importante acrónimo “GIGO” que significa “Garbage in, Garbage out”; es decir, si entra basura, sale basura. Lo que estamos tratando de decir es que existe entre los estudiantes de ingeniería la tendencia de confiarse de la computadora como si sus resultados fueran infalibles. Teniendo en cuenta esa advertencia, debemos enfatizar que la computadora es la herramienta más importante que usa el ingeniero en la actualidad; pues sus aplicaciones varían desde el diseño ayudado por computadora hasta el procesador de palabras.

La computadora consta de dos componentes básicos: hardware (terminales, teclado, impresora, etc.) y software (programas, sistema operativo, etc.). La mayoría de los ingenieros se interesan más en el software que los ayuda en sus actividades profesionales rutinarias, especialmente porque trabajan frecuentemente en ambientes de diseños asistidos por computadora (CAD). El propósito de este capítulo es explicar al lector la importancia de un buen diseño de un software y sus herramientas conexas usadas ampliamente por los ingenieros para relevarlos de actividades monótonas y repetitivas. Adicionalmente se da un resumen de los fundamentos necesarios para elaborar un programa de computadora en lenguaje Q-Basic.

12.2. Características de un buen Software

Software se puede definir como un conjunto de instrucciones escritas, procedimientos y reglas que gobiernan las operaciones de una computadora. Los términos software y programa se han convertido virtualmente en intercambiables, hasta la introducción del “chip” de memoria sólo para lectura (Read-Only Memory, ROM). Los programas que se almacenan en chips ROM se conocen como firmware; es decir, programas que no pueden ser modificados. Programas guardados en otros medios, como archivos, se denominan software. Sin embargo, debido a que los programas hechos por

estudiantes se guardan en archivos (files) en vez de chips ROM, los términos software y programa se usan de un modo intercambiable.

Es importante entender lo que constituye un buen software, con el propósito de desarrollar y seleccionar programas de calidad. A continuación se describen las características de un buen software:

Eficiencia

Un programa eficiente es uno que resulte en el uso efectivo del CPU (unidad central de procesamiento) en términos de tiempo y espacio de almacenamiento. El desarrollo de un software eficiente suele ser costoso. En general, la eficiencia del software se relaciona con el tamaño o complejidad del programa. Un programa pequeño, si es bien diseñado, es probablemente mucho más eficiente que un programa grande y complejo.

Simplicidad

Los software bien diseñados debe ser muy fácil de usar. Esto es lo que se denomina “usuario amigable”, o se dice que el usuario puede “interactuar libremente” con el software sin ninguna dificultad. El software debe ser escrito en un lenguaje adecuado y fácil de entender para el usuario. Si no se puede aprender el software fácilmente, probablemente el usuario lo abandone sin importar su capacidad y bondades.

Flexibilidad

La flexibilidad es una medida del grado de dificultad que conlleva modificar un software para adecuarlo a nuevas especificaciones. Si el software es apropiadamente diseñado, las futuras modificaciones o cambios llegan a ser muy fáciles. De aquí el principio: software flexibles requieren poco mantenimiento.

Legibilidad

Es una medida de cuan fácilmente un usuario puede entender la lógica subyacente en el software. La legibilidad de un software requiere de una documentación del proceso de programación del programa. El estilo y la estética juegan un papel importante en la legibilidad del programa; por ejemplo, es de gran ayuda dejar tanto espacio como sea posible entre varias secciones o líneas del programa. El programa no debe contener ambigüedades.

Portabilidad

La portabilidad tiene que ver con la facilidad con lo cual un programa puede ser transferido de un sistema a otro. Esta característica es altamente deseable en el área de CAD; desafortunadamente algunos de los programas de aplicación en CAD son todavía dependientes del tipo de máquina

Confiabilidad

Es la medida de la funcionalidad del software con respecto a la especificación deseada. La confiabilidad es un aspecto muy importante en el diseño de un software, especialmente debido a que

muchos procesos/operaciones dependientes del software se relacionan con la vida humana. Por ejemplo, el software que controla el vuelo de un aeroplano debe ser absolutamente confiable; si llegara a fallar, las consecuencias podrían ser catastróficas.

Recuperabilidad

Un software bien diseñado no debe fallar (falla en la corrida) debido a un error de parte del usuario. Cuando el usuario comete un error en los datos de entrada, el software debe disponer de un medio para advertirle al usuario sobre el error y al mismo tiempo continuar funcionando. Esta característica de un buen software se denomina recuperabilidad.

12.3. Proceso de diseño de Software

Antes de discutir el proceso de diseño, hay que recordar que el software es un conjunto de instrucciones escritas mediante las cuales ordena a un computador a operar un conjunto de datos con el propósito de lograr los resultados deseados. Todo software consiste de tres partes: datos, algoritmo y estructura. El término datos en el sentido que se usa aquí representa un conjunto cuyos miembros o elementos son valores numéricos, nombres, símbolos y códigos. El algoritmo trata del modo como los datos deberían manipularse. La estructura es la organización. El diseño de software es un proceso mediante el cual se determina la mejor manera de instruir al computador para cumplir con la actividad deseada. Abarca cada paso que se toma antes de escribir las instrucciones necesarias en un lenguaje de programación determinado. El diseño del programa puede desarrollarse en varios pasos. Para nuestro propósito, vamos a separarlo en cuatro partes: análisis, diseño del algoritmo, codificación y prueba. A continuación se describe cada paso.

Análisis

Muchas personas escriben programas que contienen una serie de errores y se hacen inmanejables. Una de las razones de esa falla es la falta de análisis, el cual involucra la propia identificación del objetivo. El diseñador debe tomar el tiempo suficiente para entender la tarea a realizar y formular el problema completamente y sin ambigüedades. En la etapa del análisis el diseñador tiene que examinar claramente las especificaciones del software las cuales mayormente tienen que ver con los datos de entrada y salida. Debe prestarse atención a la fuente de datos, a los dispositivos de entrada, sea teclado, disquetes u otros periféricos. También tienen que considerarse los dispositivos de salida, tales como impresoras, monitor o microfilmes, deberían ser considerados. Los dispositivos de entrada/salida afectarán la manera de cómo escribir un programa. Por lo tanto, el análisis es la clave para un programa bien diseñado. Es la etapa inicial para la resolución de problemas que pueden ser encontrados en la fase de codificación. Un buen análisis de las tareas minimiza las dificultades de la codificación. El plan completo para el diseño del software debería documentarse apropiadamente.

En resumen, el análisis debería resultar de un plan del procedimiento de diseño. Este procedimiento debería definir el propósito, datos (entrada/salida), casos de prueba, y resultados esperados de las pruebas (ver Figura 12.1).

Algoritmo de diseño

Como se mencionó previamente, un algoritmo trata de la manipulación de datos; se define como un conjunto de instrucciones no ambiguas, acciones ejecutables, o pasos que deben ser tomados para resolver un problema particular. Por lo tanto, el diseño del algoritmo involucra el desarrollo de esas

instrucciones de un modo lógico, para que la ejecución de dichas instrucciones resulte en la solución del problema. Las instrucciones pueden ser escritas en inglés o en lo que ahora se denomina pseudo-lenguaje o lenguaje de programación modular. Sin embargo, la mejor aproximación al diseño de un algoritmo, especialmente para alguien con poca experiencia en programación es el uso de diagramas de flujo. A continuación, se discuten algunas características de los diagramas de flujo.

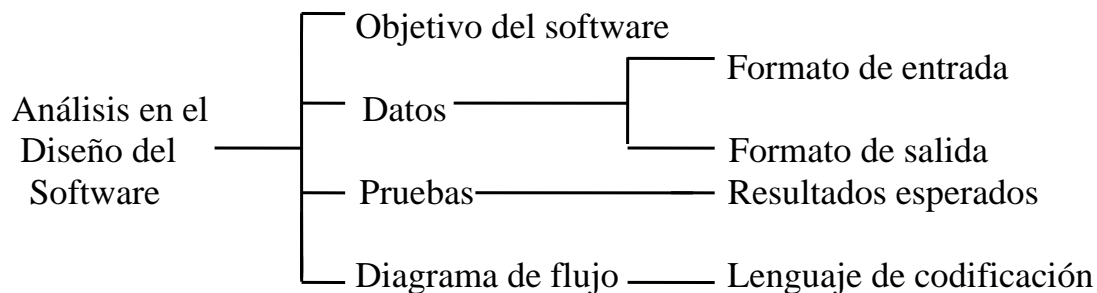


Figura 12.1. Resultado típico de la fase de análisis en el proceso de diseño de software

Diagrama de flujo

Como hemos mencionado antes, la computadora puede ser definida como un “tonto fiel” que hace exactamente lo que se le dice, siguiendo con precisión y secuencialmente las instrucciones dadas por el programador. No tiene forma de decirnos si los pasos de ejecución del programa están fuera de secuencia. El uso de los diagramas de flujo constituye una forma de producir secuencias no ambiguas. Un diagrama de flujo se puede concebir como una representación diagramática de la secuencia de operaciones a ser realizadas por la computadora.

Un diagrama de flujo es extremadamente útil para programar, cualquiera que sea el lenguaje de programación; permite al programador detectar cualquier falla en la lógica del programa mejorando así el proceso de pensamiento lógico durante la fase de diseño del programa. Un buen diagrama de flujo debería ser tal que cualquiera puede usarlo para entender la función de un programa dado. Un diagrama de flujo consiste de símbolos y líneas denominados líneas de flujo. En la Figura 12.2 se muestran los diferentes símbolos que se suelen utilizar en un diagrama de flujo. Ciertas características de algunos de esos símbolos no tienen valor.

Los símbolos de entrada/salida y de proceso tienen normalmente dos líneas de flujo, una entrada y una salida. El símbolo terminal tiene una línea de flujo, ya sea de entrando (si está al final del diagrama) o de salida (si está al principio). El símbolo de decisión tiene una línea de entrada y un máximo de tres líneas de salida (dos comúnmente). En el uso del símbolo de decisión, es imperativo que dos líneas (líneas de salida) constituyan elecciones válidas iguales, ya que esto podría causar alguna confusión en el programa o puede incluso resultar en una solución errónea.

Debido a que un símbolo de proceso tiene únicamente una línea de entrada, algunas veces se hace necesario unir las múltiples líneas que salen del símbolo de decisión en una sola línea. El punto de convergencia de todas las líneas que salen de la caja decisión se conoce como punto de unión o fusión. Hay dos formas de representar la fusión de las líneas de flujo, como se muestra en la Figura 12.3. Bajo ninguna circunstancia dos líneas de flujo deben entrar a un símbolo de operación. Es importante darse cuenta que una vez que se ha pasado el punto de fusión ya no se pueden realizar operaciones aplicables únicamente a una de las líneas de flujo. Además, el punto de fusión facilita una retroalimentación del diagrama de flujo. Es obvio que una vez localizado el punto de fusión en el diagrama de flujo, las operaciones precedentes han tenido que ser alguna forma de operación lógica.

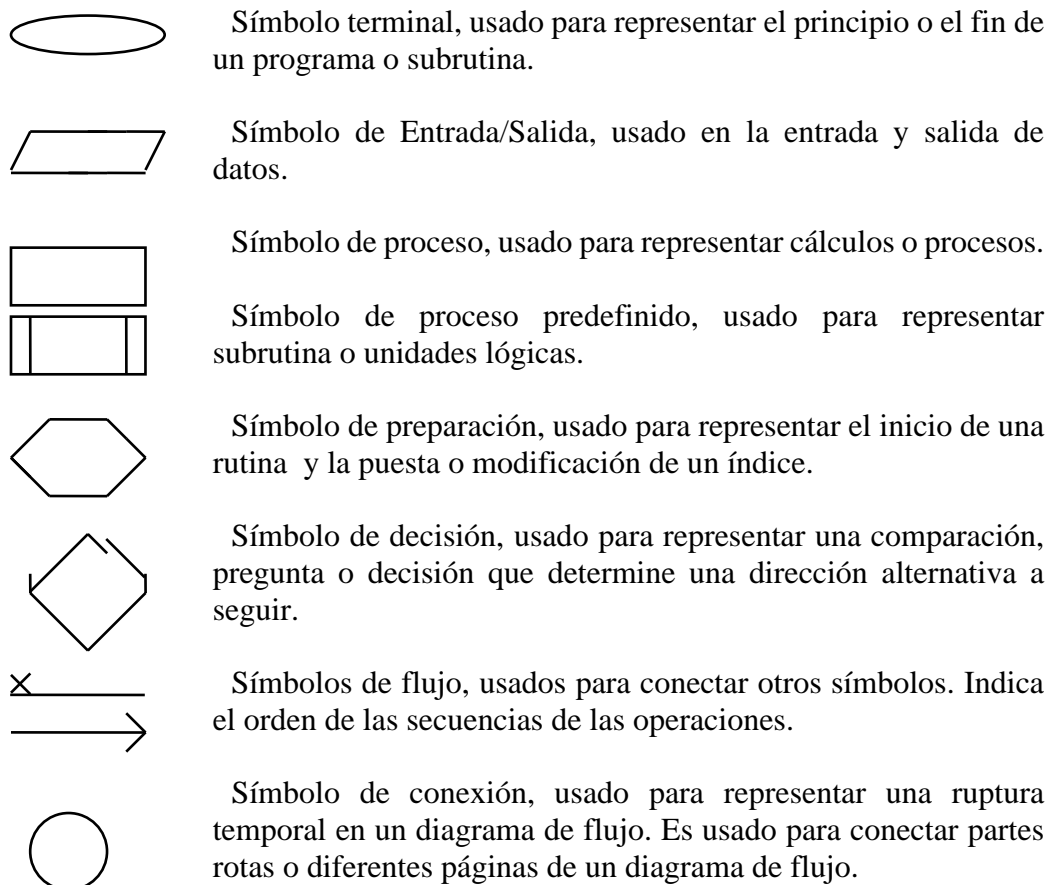


Figura 12.2. Símbolos estándares utilizados en diagramas de flujo

La mejor forma de construir el diagrama de flujo es considerar al programa de computación como un proceso de tres fases fundamentales: entrada, procesamiento y salida. Luego se debe escribir declaraciones cortas de cada fase en relación con la definición del problema. Como una ilustración supongamos que se necesita construir un diagrama de flujo para resolver una ecuación cuadrática:

$$X = (-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2})/2a$$

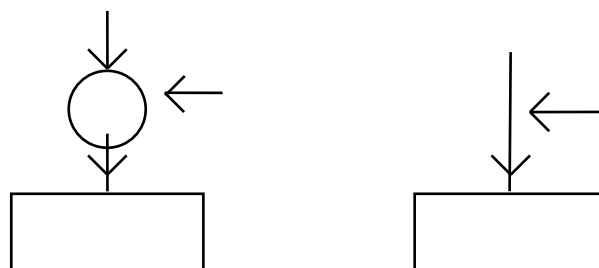


Figura 12.3. Representación de la fusión de las líneas. (a) método 1; (b) método 2.

El procedimiento es como sigue:

- Definición del problema: Preparar un diagrama de flujo para resolver una función cuadrática.
-

- Ecuación matemática necesaria:
- $X = (-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2})/2a$
- Introducir los datos de entrada - a, b y c.
- Procesamiento: Como no se puede tomar la raíz de un número negativo, hay que tomar decisiones adicionales. Se presentan tres alternativas: 1) $b^2 = 4ac$; 2) $b^2 > 4ac$; 3) $b^2 < 4ac$. Los dos casos (1) y (2), pueden combinarse, en cuyo caso la decisión resultará en calcular o no la raíz de la ecuación cuadrática. Es esencial anticipar que es posible para algunos usuarios introducir erróneamente $a = 0$. Si esto llegara a suceder el programa no debe abortar, entonces es necesario un mensaje de error que diga “Esta no es una ecuación cuadrática” o “El valor que ha introducido no es válido para una ecuación cuadrática”.
- Salida: Salida: La salida puede ser imprimir la solución de la ecuación o una declaración indicando que existe una solución imaginaria o que hay un error; y luego terminar el programa. En la Figura 12.4 se muestra el diagrama de flujo para resolver este problema.

En resumen, los diagramas de flujo deben ser usados para indicar el flujo de la información y las relaciones lógicas que existen entre los componentes del software. Además de ayudar al diseñador a asegurar que se cubran todas las especificaciones del software, los diagramas de flujo revelan las inconsistencias que puedan haber en la lógica de la programación.

Codificación

La codificación se refiere a la escritura real del programa. En esta fase se selecciona el lenguaje de computación a ser usado sobre la base del análisis del problema. Siendo la fase de codificación esencial para obtener un programa funcional, se debe tener mucho cuidado en su elaboración. Probablemente uno de los mejores procedimientos para lograr un programa libre de errores es el uso de la programación estructurada.

La programación estructurada es un procedimiento que se concentra en la organización (o estructura) y la lógica involucrada en el diseño (o desarrollo) del software. La programación estructurada consta de dos partes principales:

- Diseño en cascada (de arriba hacia abajo o Programación modular)
- Codificación estructural.

12.3.1. Diseño en cascada (de arriba hacia abajo)

En el desarrollo de grandes paquetes de software intervienen muchas personas, a cada una de las cuales se le asigna el desarrollo de una sección funcional del programa total. Al final se integran las diferentes secciones. Este procedimiento sería muy difícil si no se aplica el método de diseño de arriba hacia abajo, el cual consiste en dividir un programa en pequeñas sub-unidades denominadas módulos organizados en una estructura jerárquica; esto es, el módulo que se va a usar de primero viene en primer lugar y el que se usa de último viene al final. El proceso comienza con el desarrollo de un programa principal denominado programa de control, asumiendo que existe un sub-programa que maneja el complejo de todas las operaciones (cálculos). Una vez desarrollado todo el programa principal, se centra la atención en cada subprograma. La ventaja de este procedimiento es obvia: uno no se distrae con detalles y no pierde la cadena lógica mientras se desarrolla el programa de control. Hay que hacer notar que incluso los subprogramas pueden ser divididos en unidades más pequeñas. Haciendo una apología al cliché divide y gobernarás, el método de diseño en cascada ayuda a desarrollar programas libres de errores; es mucho más fácil resolver pequeños muchos problemas simples que uno solo más complejo.

Programación modular

La programación modular es un método de partición de un programa en unidades pequeñas independientes denominadas módulos. Un módulo es una colección de declaraciones programáticas ejecutables que forman un subprograma cerrado, capaz de ser llamado de cualquier otra parte del programa o ser compilado independientemente. Un módulo también puede significar simplemente un conjunto de comandos que se operan como una entidad, tal como una estructura if- then- else. Un programa bien estructurado depende del diseño de los módulos constituyentes. Hay una serie de factores que deben ser considerados en el diseño de los módulos.

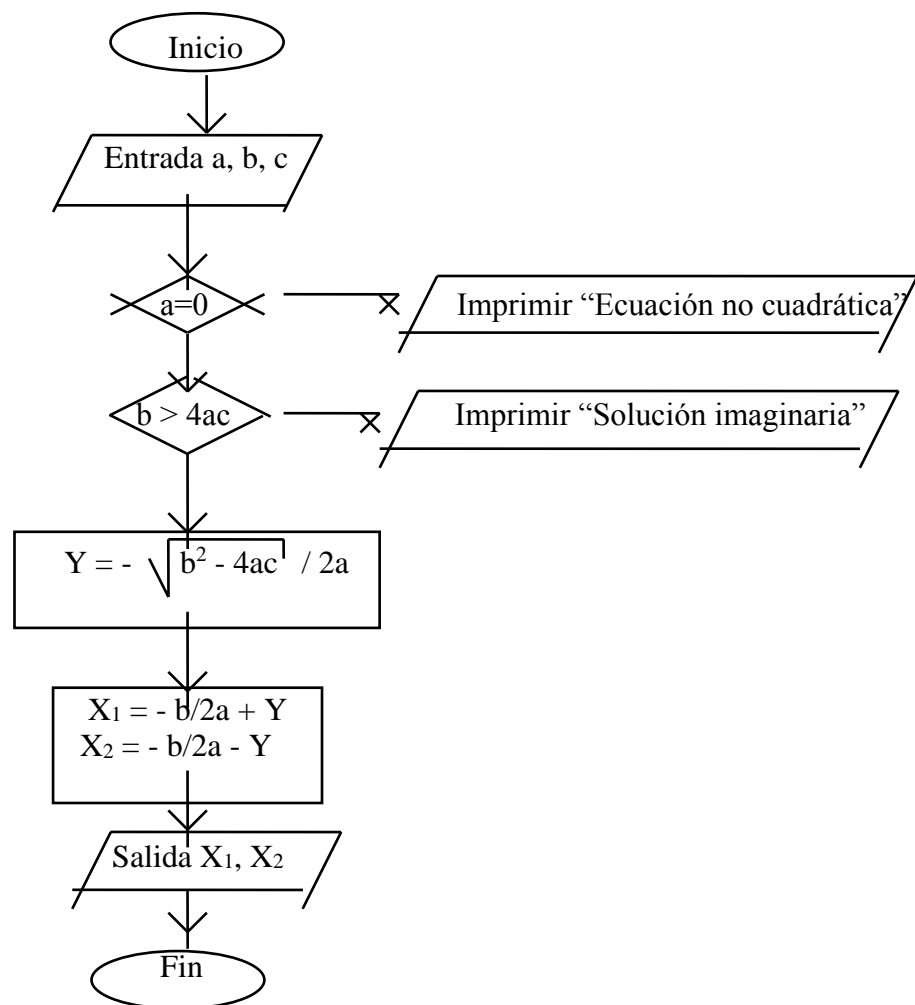


Figura 12.4. Diagrama de flujo para resolver una ecuación cuadrática

Tamaño del módulo. La razón de la partición de un programa es crear una serie de programas de tamaño manejable. Muchos programadores experimentados opinan que el tamaño ideal de un módulo es de unas 60 líneas de codificación; otros, dicen que el tamaño apropiado es de una página.

Independencia del módulo. Es deseable hacer que cada módulo en el programa sea lo más independiente posible. Esto es particularmente útil para eliminar el denominado efecto ripple (ondulación o rizado de las señales); es decir, cuando el cambio en una sección del programa ocasiona un problema en otra parte del programa.

12.3.2. Codificación estructurada

Ya hemos hecho notar la importancia de la codificación en el diseño de un software. Cualquier proceso que resulta en una buena codificación debería ser examinado apropiadamente. Una codificación estructurada es aquella que utiliza en la escritura del programa una técnica altamente estructurada. Los buenos programadores en realidad no escriben programas, más bien los estructuran. La codificación estructurada se basa en el bien conocido Teorema de Estructura, el cual reza:

Un programa apropiado (uno con una línea de entrada simple y una línea de salida particular) puede construirse usando sólo tres estructuras lógicas: Secuencia, If Then Else, y Do While. Si bien, al menos en teoría esto es cierto, desde el punto de vista práctico frecuentemente se incluyen otras estructuras de construcción, como estructuras de selección y repetición que se discuten más adelante.

Prueba

El paso final del proceso de elaboración de un programa ejecutable es la prueba de funcionamiento. La prueba y la depuración van de la mano; la prueba tiene el propósito de verificar que la ejecución del programa se realice de acuerdo con el diseño especificado. El programa debe proveer soluciones correctas bajo todas las condiciones. Si un programa está bien diseñado y apropiadamente codificado, esta fase de prueba debería ser relativamente sencilla. Lo que un programador experimentado es recorrer los algoritmos con algunos valores numéricos de prueba. Esto debería hacerse en realidad antes de que inicie la codificación.

La prueba ayuda a determinar al menos dos clases de errores: errores lógicos y errores de especificación. Los primeros se deben al diseño incorrecto de algoritmos y pueden manifestarse a sí mismos como un lazo infinito (el programa se mantiene corriendo indefinidamente). Los segundos se asociados con especificaciones funcionales y de programación, y se deben a una definición impropia o incompleta en una línea de conceptualización.

Hay varios métodos para probar un programa; aquí vamos a limitar la discusión solamente a dos procedimientos: prueba por fase y prueba incremental. La primera evalúa un grupo de subprogramas (o módulos) en conjunto; involucra codificación y prueba por separado de cada módulo (subprograma), compilando y enlazando todos los módulos; y finalmente corriendo y depurando todos los módulos conjuntamente. La prueba incremental involucra primero la codificación y prueba cada módulo (o subprograma) separadamente y luego incorpora cada uno a un programa de trabajo correcto; se va probando cada nueva unidad que se forma. Debería ser obvio que la prueba incremental es preferible a una prueba de fase, ya que permite detectar con más facilidad cuál módulo es el que causa un error en la unidad principal.

Sin importar el método que se utilice, el programa tiene que ser probado: Esto se lleva a cabo introduciendo datos que arrojan una solución preestablecida. Si no se obtiene la respuesta esperada, es un indicativo de que el programa no es correcto y debe ser modificado. Igualmente el programa debe ser probado para asegurar que en cada caso de la toma de decisiones (If Then Else), cada ruta produce un resultado aceptable. Si algún conjunto específico de datos arroja un error, entonces debería haber un mensaje de advertencia antes de terminar el programa. En otras palabras, el programa no debe fallar por un error en los datos de entrada.

12.4. Lenguajes de Programación

Existen muchos lenguajes de programación disponibles; los más comúnmente utilizados en las aplicaciones de la ingeniería son: BASIC, FORTRAN, ALGOL, COBOL y C. Se conocen como lenguajes de alto nivel, en contraste con los lenguajes de nivel bajo o lenguajes de máquina. Hay muchas variaciones de estos tres tipos principales de lenguajes; así tenemos: Quick, GW y Visual BASIC. Otro nivel de lenguajes de programación es el denominado lenguaje de ensamblaje, el cual es muy complejo y tedioso; sin embargo, permiten programar de una manera compacta y posee una alta velocidad de ejecución.

El acrónimo BASIC proviene de Beginners ALL-Purpose Instruction Code; fue desarrollado en el Dartmouth College (Universidad Dartmouth) al inicio de la década de 1.960. Fue diseñado para ser fácil de aprender y usar por parte de los estudiantes. Desde su introducción se han incorporado muchas modificaciones para convertirlo en un lenguaje de programación muy poderoso que es fácil de usar.

FORTRAN es un acrónimo de Formula Translation. Fue desarrollado a mediados de la década de los 50, especialmente para la comunidad de ingenieros y científicos; es un lenguaje de programación relativamente simple de usar. Muchos programas de aplicación en ingeniería incluidas en las computadoras están escritos en FORTRAN.

ALGOL (Algorithmic Language) es un lenguaje de programación de alto nivel que se utilizaba en la elaboración de algoritmos y cálculos precisos. ALGOL 60 fue creado en 1960 y es considerado como uno de los primeros lenguajes de programación de alto nivel.

COBOL fue creado hace más de 70 años; es un lenguaje de programación bastante común en programas y softwares que utilizan las entidades e instituciones financieras. Su nombre es un acrónimo para Commom Business-Oriented Language, que se traduce como “Lenguaje común orientado a las empresas”.

El lenguaje C fue desarrollado entre 1969 y 1972 en los laboratorios Bell. Originalmente fue escrito para el sistema operativo UNIX (un sistema operativo es un programa que asiste en el uso de los recursos de una computadora). Debido a su velocidad, C es un lenguaje poderoso de programación, ya que se aproxima a la velocidad del lenguaje de ensamblaje, el cual es el más rápido de todos. Además, es un lenguaje compacto; es decir, que el tamaño de un programa escrito en C es más pequeño que los que se escriben en FORTRAN o BASIC. Es probablemente el lenguaje más versátil, pues se usa en diferentes programas, tanto en sistemas operativos, compiladores, y programas CAD.

12.5. Paquetes de aplicaciones de Computadora

Un estudiante de ingeniería tiene que conocer sobre los muchos paquetes de software disponibles en el mercado y aprender el modo de utilizarlos; sin embargo, debe ser consciente de aprender los principios que subyacentes. Anteriormente hemos introducido los criterios para el desarrollo de software. El ingeniero debe estar en capacidad de desarrollar sus propias pequeñas aplicaciones de software. Sin embargo, muchos paquetes se encuentran comercialmente disponibles y sólo es necesario familiarizarse con alguno de ellos. Entre algunos de los mejores programas de ingeniería para proyectos o herramientas de Software usadas por ingenieros tenemos: AutoCAD; Euler MathToolbox; Maxima; Energy2D; SolidWorks; VaryPlot; ANSYS Workbench; GeoFryPlots.

Actualmente existen paquetes informáticos para todas las ramas de la ingeniería y el área de gestión y administración. Se utiliza en todos los sectores, hasta el punto en que las aplicaciones son infinitas e imposibles de enumerar con exhaustividad; se pueden agrupar en el campo de la innovación utilizando la Inteligencia Artificial (ver la sección 12.6).

Los paquetes informáticos administrativos son programas diseñados para realizar que los usuarios puedan realizar diversos trabajos, se diferencian principalmente de los sistemas operativos por las utilidades y por los lenguajes de programación que utilizan. Sirven en la automatización de tareas complicadas como la contabilidad, diseño gráfico, finanzas, etc. Tienen un Interfaz con el que nos sentimos más cómodos trabajando; se crean de manera que las aplicaciones pueden intercambiar ficheros sin dificultad y sin pérdida de información; se pueden generar archivos en una aplicación que será insertado dentro de otra y que puede ser modificado con la aplicación que lo creó; algunas de las herramientas son compartidas por todas las aplicaciones, como procesador de textos, generador de hojas de cálculo, gestor de bases de datos, programa para realizar presentaciones, programa de dibujo, otros. Entre estos tenemos procesadores de palabras, hojas de cálculo, y algún paquete para resolver ecuaciones o solventor (Equation solvers) como MathCad. A continuación se presenta una breve descripción de estos paquetes de software.

Procesador de palabras

La aplicación de software más ampliamente usada son los procesadores de palabras. Son paquetes que facilitan la comunicación de información. Cumplen funciones similares a las de una máquina de escribir. Sin embargo, el texto que se escribe se graba directamente en la computadora facilitando la edición y el cambio de la apariencia y contenido. Los procesadores de palabra se han convertido en paquetes muy sofisticados ya que la mayoría de ellos permiten incluir gráficas y ecuaciones complejas (usando un editor de ecuaciones), así como diccionarios para las correcciones gramaticales y sintácticas. Por supuesto que esas facilidades no ocurren en forma automática, sino que el operador debe dar la instrucción correspondiente. Hay muchas características atractivas en un procesador de palabras, tales como formatear el texto, cambiar el espacio entre líneas, copiar un párrafo de un lugar a otro, cambiar el tipo y tamaño de letra de un párrafo, sombrear, etc. Queda bajo la responsabilidad del usuario la comprensión de las características del procesador que vaya a adquirir.

Hojas de cálculo

Las hojas de cálculo son programas que permiten la entrada de datos, realizan cálculos y preparan cierto tipo de reportes. Son extremadamente útiles en evaluaciones de vías alternas de acciones que involucren computación numérica. En otras palabras cuando existe una situación “what if?” (qué pasa si), la hoja de cálculo es la que más se usa. Hay muchos programas de hojas de cálculo disponibles; por ejemplo, LOTUS 1,2,3, QUATRO PRO y EXCEL.

Una hoja de cálculo típica consiste de una malla rectangular de columnas y filas, como la que se muestra en la Figura 12.5. Las columnas se identifican con letras, en el rango de A a Z, y las filas con números. El área donde entran los datos se denomina hoja de trabajo.

La hoja de cálculo facilita la introducción de fórmula usando una o más celdas. La fórmula típica de entrada se muestra en la Tabla 12.1. La declaración de funciones se usa también para llevar a cabo alguna operación definida. En la Tabla 12.2 se presentan los comandos típicos de funciones; y en la Tabla 12.3 se dan los formatos de esos comandos.

Otro uso de la hojas de cálculo es presentar datos en forma gráfica. Es siempre más importante el uso de gráficas para dar el resultado de un análisis. Las hojas de cálculo tienen la capacidad de presentar diferentes tipos de gráficas, tal como líneas, barras y tortas. De hecho, una vez introducidos los datos, es fácil representarlos gráficamente en cualquiera de las formas indicadas.

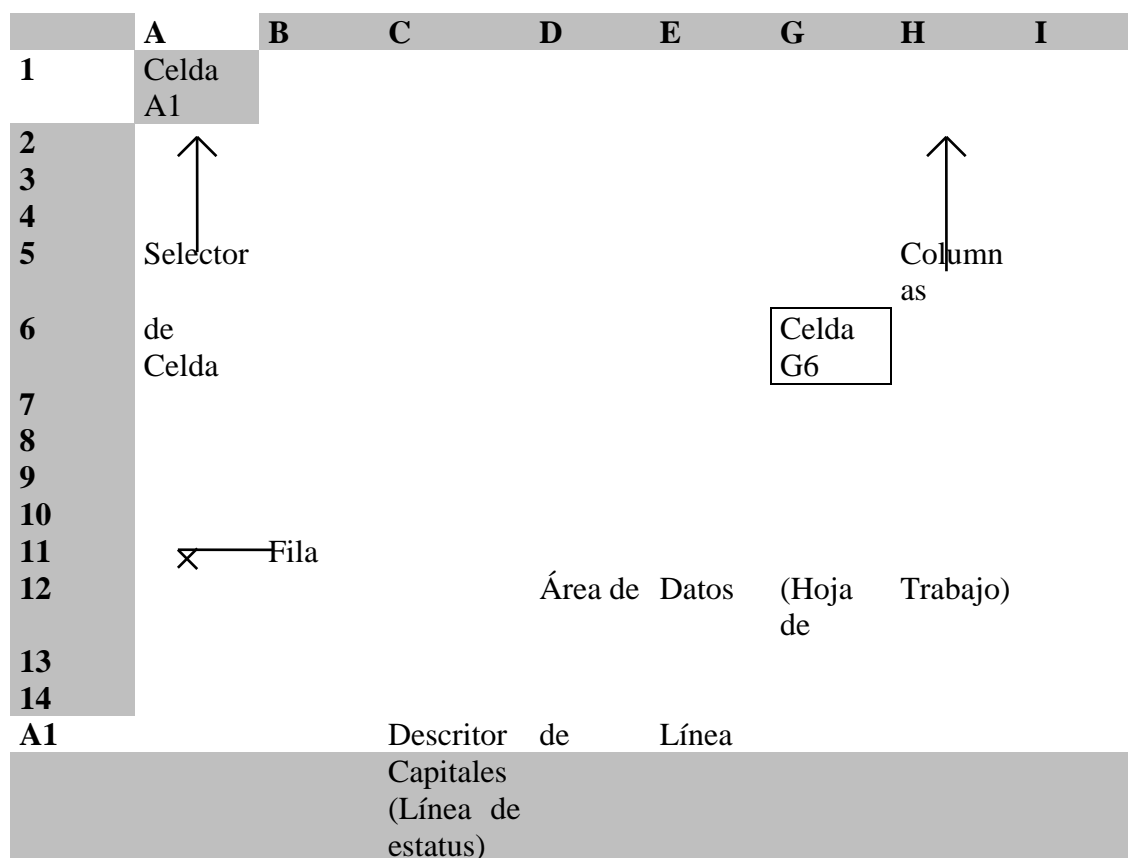


Figura 12.5. Componentes de una Hoja de Cálculo

Tabla 12.1. Fórmulas típicas de entrada en una hoja de cálculo

Fórmula que se introduce	Significado
+A3 + A4 + A8	Sumar los valores de las celdas A3, A4 y A8.
+ E4 + G3 - D5	Sumar el valor de las celdas E4 y G3 y restar el valor de la celda D5
+ H4 / F6	Dividir el valor de la celda H4 entre el valor de la celda F6
+ C5 * P3 - B4	Multiplica el valor de la celda C5 por el valor de la celda P3 y sustraer el valor de la celda B4
+ U15 ^ 2	Elevar al cuadrado el valor de la celda U15

Tabla 12.2. Declaración típica de una función en una hoja de cálculo

Declaración	Función
@AVG	Calcular el promedio de valores en un grupo de celdas
@ASIN (x)	Calcular el arco seno del ángulo x
@MIN	Determinar el mínimo valor de un grupo de celdas

@MAX	Determinar el máximo valor de un grupo de celdas
@SUM	Agregar el valor en un grupo de celdas

Para usar una hoja de cálculo hay que desarrollar un algoritmo para la operación que se desea ejecutar. Es recomendable pensar un poco sobre la manera de cómo se desea ejecutar el problema. Siempre es de utilidad escribir el algoritmo antes de sentarse a utilizar la hoja de cálculo.

Tabla 12.3. Formato para las funciones de la tabla 9.2

Función	Formato	Ejemplo
@AVG	@AVG (lista)	@AVG (B2..G2) @AVG (B2..B9, E3..E9)
@ASIN (x)	@ASIN (x)	@ASIN (0.8) Nótese que el resultado es en radianes no en grados
@MIN	@MIN (Lista)	@MIN (B2..G2,B5..E5)
@MAX	@MAX (Lista)	@MAX(B2..G2,B5..E5)
@SUM	@SUM(Lista)	@SUM(B2..G2,B5..E5)

A continuación vamos a dar un ejemplo de un algoritmo para hoja de cálculo: Consideremos la ecuación que permite determinar la cantidad de giro de una pieza sólida. La ecuación se da a continuación y la magnitud de los valores como se indica:

$$\theta = TL / JG$$

$$J = \pi d^4 / 32$$

Donde:

θ = Angulo de giro

T = torque = 2 200 N m

L = longitud = 400 mm

d = Diámetro de la pieza = 30 mm

G = Módulo de la rigidez = 80 GPa

Luego, el algoritmo puede escribirse como se muestra en la Tabla 12.4.

Tabla 12.4 . Algoritmo para el ejemplo de una hoja de cálculo

Ubicación de la celda	Entrada
A1	Torque
A2	Longitud
A3	Modulo G
A4	Diámetro
A5	Pi
A6	Teta
B1	2200
B2	0.40
B3	80E9
B4	0.030
B5	$= 22 / 7$
C1	$= B5 * B4^{4/32}$
C6	$= B1 * B2 / (C1*B3)$

Intente introducir el problema en la hoja de cálculo de su computador. Note que las dos últimas entradas podrían ser reemplazadas por una entrada tal como B6

B6	$= B1 * B2 / ((B5 * B4^{4/32}) * B3)$
----	---------------------------------------

Solventor (solucionador) de ecuaciones (Equation solvers)

El solventor de ecuaciones es una herramienta de ingeniería que permite resolver diferentes tipos de problemas sin tener que usar los lenguajes de programación convencionales. Entre ellos se pueden mencionar a *TK solver Plus*, *Mathcad* y *Matlab*.

Algunos de estos programas combinan la capacidad de las hojas de cálculo y los lenguajes de programación de un modo tal que se hacen muy fáciles de usar. En el caso de Mathcad, por ejemplo, se introduce la fórmula tal como se encuentre sin tener que estructurarla como lo requiere una hoja de cálculo. Ambos, Mathcad y Matlab permiten graficar en dos y tres dimensiones. También tienen la opción de añadir texto a los documento. En pocas palabras, con estas herramientas se puede hacer prácticamente cualquier cosa que requiera el análisis de todas las ramas de la ingeniería.

12.6. Inteligencia Artificial

Definiciones

La inteligencia artificial (IA) todavía sigue siendo un misterio para mucha gente, pero va a cambiar el mundo, si acaso ya lo está cambiando y en el campo de la ingeniería las aplicaciones son diversas. Por eso, los estudiantes de ingeniería por lo menos tienen que saber sobre la IA la definición, funcionamiento, historia, diferentes categorías, casos prácticos y aplicaciones.

La inteligencia artificial es una tecnología tan amplia y revolucionaria que es difícil encontrar una definición precisa. Puede considerarse una rama del campo de la informática, cuyo objetivo es crear máquinas capaces de realizar tareas que tradicionalmente requerían inteligencia humana. Es una ciencia interdisciplinaria con múltiples enfoques. Hoy en día, el aprendizaje automático (Machine Learning-ML) y el aprendizaje profundo (Deep Learning - DL) son dos técnicas utilizadas en empresas de todos los sectores y se basan en los algoritmos de las redes neuronales.

Si bien el término de IA es novedoso, su concepto como innovación no lo es. Turing (1950) se formuló la interrogante sobre si las máquinas pueden pensar. De hecho, la búsqueda de la respuesta a esa simple pregunta está transformando el mundo a través de la innovación tecnológica. El artículo de Alan Turing “Computing Machinery and Intelligence” y el “Test de Turing” sentaron las bases de la inteligencia artificial, su visión y sus objetivos. De hecho, la IA pretende responder afirmativamente a la pregunta de Alan Turing; su objetivo es replicar o simular la inteligencia humana en las máquinas.

El objetivo de lograr que las máquinas piensen es ambicioso y conlleva muchas otras interrogantes que deben debatirse. Por eso se considera que aún no existe una definición única de inteligencia artificial que satisfaga a todos los sectores.

La descripción de máquinas inteligentes no explica qué es realmente la IA ni qué hace que una máquina sea inteligente. Intentos de aclarar este problema se deben a Stuart Russell y Peter Norvig (2022), quienes unifican sus trabajos sobre el tema de los agentes inteligentes en las máquinas y define a la IA como el estudio de los agentes que reciben percepciones del entorno y realizan acciones. Opinan que, cuatro enfoques distintos han definido históricamente el campo de la inteligencia artificial: 1) el pensamiento humano, 2) el pensamiento racional, 3) la acción humana y, 4) la acción racional. Los dos primeros enfoques se refieren al razonamiento y al procesamiento del pensamiento, mientras que los otros dos se refieren al comportamiento. El libro de Stuart y Norvig se centra principalmente en los agentes racionales capaces de actuar para conseguir el mejor resultado.

El profesor de inteligencia artificial del MIT, Patrick Winston, define la IA como “algoritmos activados por restricciones, expuestos por representaciones que soportan modelos que vinculan el pensamiento, la percepción y la acción” (Winston, 1984). Una definición más moderna describe la IA como “máquinas que responden a simulaciones como los humanos, con capacidad de contemplación, juicio e intención”; son sistemas capaces de tomar decisiones que normalmente requieren un nivel humano de conocimiento. Poseen tres cualidades que constituyen la esencia de la IA: 1) intencionalidad, 2) inteligencia, y 3) adaptabilidad (<https://datascientest.com/es/>).

En el año 2017, durante la experiencia japonesa sobre IA (Japan AI Experience), el CEO (alto ejecutivo) de DataRobot, Jeremy Achin, dio su propia definición moderna y con un toque de humor de la IA: “La inteligencia artificial es un sistema informático capaz de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana... muchos de estos sistemas de IA se basan en el ML, otros en el DL y otros en cosas muy aburridas como las reglas”.

Estas diferentes definiciones parecen ser abstractas y complejas; sin embargo, ayudan a establecer la inteligencia artificial como un componente de la ciencia informática.

12.6.1. Categorías de IA

En general, hay dos categorías principales de inteligencia artificial: la IA del tipo narrow (estrecha), también conocida como weak (débil) que solo puede funcionar en un contexto limitado. Suele centrarse en la realización de una única tarea, la que es capaz de realizar perfectamente. Sin embargo, aunque esa máquina pueda parecer inteligente, es mucho más limitada que la inteligencia humana. No es más que una imitación de esta. Como ejemplos están el motor de búsqueda web de Google, el software de reconocimiento de imágenes, los asistentes virtuales como Siri de Apple o Alexa de Amazon, los vehículos autónomos o el software como Watson de IBM.

La segunda categoría es la inteligencia artificial general, la cual es similar a las que se ven en las películas y libros de ciencia ficción. Es una máquina dotada de una inteligencia artificial general, comparable a la de un ser humano y capaz de resolver cualquier tipo de problema. Es un algoritmo universal, capaz de aprender y actuar en cualquier entorno; sin embargo, en realidad, este tipo de IA aún no existe. Ninguna tecnología está lo suficientemente avanzada hasta la fecha como para competir con el cerebro humano. La creación de la IA general sigue siendo, por el momento, el “Santo Grial” de los investigadores de IA. Es una búsqueda ambiciosa, pero llena de obstáculos. A pesar de los avances técnicos, sigue siendo muy difícil diseñar una máquina con plenas capacidades cognitivas; aunque hay quienes opinan que, en unos 25 años, la IA superará a la humana.

12.6.2. Machine Learning y Deep Learning

El ML (aprendizaje automático) y el DL (aprendizaje profundo) son las dos técnicas principales de IA que se utilizan en la actualidad. La distinción entre IA, ML y DL puede prestarse a confusión. En realidad, la inteligencia artificial puede definirse como una serie de algoritmos y técnicas que pretenden imitar la inteligencia humana. En tal sentido, el ML es una categoría de IA, y el DL es una técnica de ML.

El ML es el proceso de alimentar un ordenador (computadora) con datos. La máquina utiliza técnicas de análisis sobre estos datos para aprender a realizar una tarea. Para conseguirlo, no necesita ninguna programación específica con millones de líneas de código; por eso se denomina aprendizaje automático. El ML puede ser supervisado o no supervisado. El aprendizaje supervisado se basa en series de datos etiquetados, mientras que el aprendizaje no supervisado se basa en series de datos no etiquetados.

El DL es un tipo de ML directamente inspirado en la arquitectura de las neuronas del cerebro humano. Una red neuronal artificial está compuesta por múltiples capas, a través de las cuales se procesan los datos. Esto es lo que permite que la máquina profundice en su aprendizaje, identificando conexiones y alterando los datos introducidos para conseguir los mejores resultados.

12.6.3. Aplicaciones y casos prácticos de la inteligencia artificial

La inteligencia artificial tiene muchos propósitos, como el aprendizaje, el razonamiento y la percepción. Se utiliza en todos los sectores, hasta el punto en que las aplicaciones son infinitas e imposibles de enumerar con exhaustividad. En el ámbito de la salud (bioingeniería), se utiliza para desarrollar tratamientos personalizados, descubrir nuevos fármacos o analizar imágenes médicas como radiografías y resonancias magnéticas. Los asistentes virtuales también pueden ayudar a los pacientes y recordarles que se tomen sus pastillas o que hagan ejercicio para mantenerse en forma.

El sector del comercio minorista está utilizando la IA para ofrecer recomendaciones y publicidad personalizadas a los clientes. También puede utilizarse para optimizar la disposición de los productos o gestionar mejor el inventario.

En las fábricas (ingeniería industrial), la inteligencia artificial analiza los datos de los equipos IoT para predecir la carga y la demanda mediante Deep Learning. También puede anticiparse a posibles fallos de funcionamiento e intervenir en una fase temprana. El término IoT (Internet of Things = Internet de las cosas), se refiere a la red colectiva de dispositivos conectados y a la tecnología que facilita la comunicación entre los dispositivos y la nube, así como entre los propios dispositivos.

Las entidades financieras y bancos (ingeniería económica), por su parte, están utilizando la IA para prevenir y detectar el fraude. La tecnología también puede utilizarse para comprobar si un cliente podrá pagar el crédito que solicita y para automatizar las tareas de gestión de datos.

En la agricultura (ingeniería agrícola y agronómica) se ha generalizado el uso de la IA en la fabricación de drones para las actividades de riego, abonamiento y control de plagas. Tiene un amplio campo de aplicación en geomática.

En la ingeniería militar se están usando los drones con mucho éxito como instrumentos de observación (inteligencia), transporte y ataque.

Estos son solo algunos ejemplos de sectores que utilizan la inteligencia artificial. Como puede verse, la IA y su aplicación tecnológica está llamada a revolucionar todos los sectores de actividad en los próximos años; pero también ocasiona problemas de índole ético y moral que deben evaluarse. Más detalles de estos aspectos se pueden ver en el capítulo 19.

12.6.4. La historia de la inteligencia artificial

Se considera que la historia de la inteligencia artificial comenzó con la publicación del artículo “A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity” de Warren McCulloch y Walter Pitts (1943), quienes presentaron el primer modelo matemático para la creación de una red neuronal.

El primer ordenador de red neuronal, Snarc, fue creado en 1950 por dos estudiantes de Harvard: Marvin Minsky y Dean Edmonds. Ese mismo año, como se ha mencionado arriba, Alan Turing publicó el Test de Turing, que todavía se utiliza hoy para valorar la IA.

En 1952, Arthur Samuel creó un software capaz de aprender a jugar al ajedrez de forma autónoma. El término inteligencia artificial fue utilizado por primera vez en la conferencia “Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence” de John McCarthy en 1956. En ese acto, los investigadores presentaron los objetivos y la visión de la IA. Muchos consideran esta conferencia como el verdadero nacimiento de la inteligencia artificial, tal y como se conoce hoy en día.

En 1959, Arthur Samuel acuñó el término Machine Learning mientras trabajaba en IBM. Por su parte, John McCarthy y Marvin Minsky fundaron el MIT Artificial Intelligence Project. En 1963, John McCarthy también creó el AI Lab en la Universidad de Stanford.

En los siguientes años, se cernieron dudas sobre el campo de la IA. En 1966, el informe estadounidense ALPAC puso de manifiesto la falta de avances en la investigación de la traducción automática destinada a traducir simultáneamente la lengua rusa en el contexto de la Guerra Fría. Muchos proyectos financiados por el gobierno estadounidense fueron cancelados. Del mismo modo, en 1973, el gobierno británico publicó su informe Lighthill en el que destacaba las decepciones de la investigación en IA. Una vez más, los proyectos de investigación fueron reducidos por los recortes presupuestarios. Este periodo de duda duró hasta 1980, y ahora se denomina el primer invierno de la IA. Ese invierno terminó con la creación de R1 (XCON) por parte de Digital Equipment Corporation. Este sistema

comercial experto está diseñado para configurar los pedidos de nuevos sistemas informáticos, y provocó un auténtico auge de las inversiones que se prolongó durante más de una década.

Japón y Estados Unidos hicieron grandes inversiones en la investigación de la IA. Las empresas se gastaron más de mil millones de dólares al año en sistemas expertos y el sector no paraba de crecer. Desgraciadamente, el mercado de las máquinas “Lisp” se desplomó en 1987 al surgir alternativas más baratas. Este fue el segundo invierno de la IA. Las empresas perdieron el interés por los sistemas expertos. Los gobiernos de Estados Unidos y Japón abandonaron sus proyectos de investigación y se gastaron miles de millones de dólares para nada.

Diez años después, en 1997, la historia de la IA estuvo marcada por un acontecimiento importante. La IA Deep Blue de IBM triunfó sobre el campeón mundial de ajedrez Gary Kasparov. Por primera vez, el hombre fue derrotado por la máquina. Diez años después, los avances tecnológicos permitieron el resurgimiento de la inteligencia artificial. En 2008, Google hizo grandes avances en el reconocimiento de voz y lanzó esa función en sus aplicaciones para smartphones.

En 2012, Andrew Ng alimentó una red neuronal con 10 millones de vídeos de YouTube como serie de datos de entrenamiento. Gracias al Deep Learning, esta red neuronal aprendió a reconocer un gato sin que se le enseñara lo que es un gato. Este fue el inicio de una nueva era para Deep Learning.

En 2016 se produjo otra victoria de la IA sobre el ser humano, con el triunfo del sistema AlphaGo de Google DeepMind sobre Lee Sedol, el campeón de Go. La inteligencia artificial también conquistó el campo de los videojuegos, especialmente con DeepMind AlphaStar en Starcraft u OpenAI Five en Dota 2.

Actualmente, empresas de todos los sectores utilizan el Deep Learning y el Machine Learning para infinidad de aplicaciones. La IA no deja de avanzar y sorprender con su rendimiento. El sueño de la inteligencia artificial general se acerca cada vez más a la realidad.

12.7. Los peligros de la inteligencia artificial

La inteligencia artificial ofrece muchas promesas para la humanidad, pero también podría representar una amenaza más peligrosa que la bomba nuclear. Con su capacidad de aprender y evolucionar de forma autónoma, la IA podría superar algún día la inteligencia humana. Entonces podría decidir volverse contra sus creadores.

Este oscuro presagio puede parecer sacado directamente de una película de ciencia ficción, pero es una posibilidad muy real. Destacados expertos como Stephen Hawking, Elon Musk o Bill Gates ya han dado la voz de alarma sobre la inteligencia artificial. Según ellos, la IA representa un riesgo inminente e inevitable en los próximos años. Por eso piden a los gobiernos que regulen este campo para que se desarrolle de forma ética y segura. Más de un centenar de expertos ha pedido también a Naciones Unidas que prohíba los robots asesinos y otras armas militares autónomas.

Otros expertos creen que el futuro de la inteligencia artificial depende únicamente de cómo decidan utilizarla los humanos. Incluso una IA aparentemente inofensiva podría manipularse y utilizarse de forma malintencionada. Ya podemos verlo con el incremento de los DeepFakes: vídeos falsos creados mediante Deep Learning para mostrar a una persona en una situación comprometida.

Para concluir esta sección vamos a incluir el resumen de artículo de Rafael Reyes Madriz “Los drones: presente y futuro en la ingeniería” publicado por la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela en su Boletín 61 de diciembre de 2023, como una ampliación de la aplicación de la IA en la ingeniería:

“Vivimos la Cuarta Revolución Industrial. Su consolidación se debe al empleo de las denominadas “Tecnologías Exponenciales”, definidas como aquellas que, en poco tiempo, su precio y complejidad van disminuyendo de forma relevante pero su capacidad y número de aplicaciones aumenta de forma exponencial. Podemos mencionar entre ellas: la biotecnología la robótica; la inteligencia artificial; la realidad virtual y los vehículos autónomos. Los drones, o vehículos aéreos no tripulados, conforman parte de ésta última debido a la alta tecnología desarrollada para su operación. Los drones son aeronaves pequeñas, pueden controlarse fácilmente desde un teléfono inteligente o trazar su ruta mediante GPS, pueden portar cámaras o sensores. En la ingeniería, se han constituido, como herramienta, en factor fundamental para el ejercicio eficiente de esta disciplina, caracterizada por su diversidad y grado de especialización. En la ingeniería civil particularmente son muchas sus aplicaciones, desde levantamientos Aerofotogramétricos hasta el monitoreo en tiempo real del avance en el desarrollo de un proyecto de construcción y su posterior operación. De igual forma, en otras áreas relacionadas como la arquitectura, la geología, hidráulica e hidrología, se constituyen en un factor importante en el desarrollo de sus actividades. En el caso particular de rescates, emergencias y desastres naturales su utilización es de capital importancia como elemento apoyo en las labores realizadas por los grupos responsables. Allí radica la importancia de conocer sobre los orígenes de esta tecnología, sus características, tipos, aplicaciones, el marco legal venezolano, sus ventajas y desventajas, así como el futuro próximo que nos avecina”.

La inteligencia artificial seguirá desarrollándose a gran velocidad en los próximos años. La Ingeniería, un campo que ha evolucionado a lo largo de la historia, se encuentra ahora inmersa en una nueva etapa: la Revolución 4.0 y ya se empieza a hablar de la Generación 5 G. En este escenario, la Transformación Digital e Inteligencia Artificial se entrelazan para dar forma a una Ingeniería completamente nueva en su enfoque y aplicación, desafiando convenciones y abriendo nuevas fronteras en la forma en que concebimos y practicamos esta disciplina. La humanidad es quien debe decidir qué dirección tomará su desarrollo. Para más detalles, véase el capítulo 19.

Referencias

Alan Turing (1950). Computing Machinery and Intelligence. Mind, Volume LIX, Issue 236, October 1950, Pages 433–460.

<https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>

Bradley, J. C. (1988): “Quick BASIC-Using Modular Structure”. Wm.C Brown Publisher, Dubuque, Iowa.

Ellsey, Roy (1982): “Data Structures for Computer Information Systems”. Science Research Associates, Chicago.

Kassab, V. (1989): “Technical C Programming”. Prentice Hall Englewood Cliffs, New Jersey.

Linger, R. C., Mills, H. D., Witt, B.I. (1979): “Structured Programming Theory and Practice” Addison-Wesley Publishing Company, Reading Massachusetts.

Marca, David (1984): “Applying Software Engineering Principles”. Little Brown and Company, Boston.

Microsoft (1987): “QuickBasic 4.0, Basic Language Reference”, Microsoft.

Onwubiko, C. (1989): "Foundations of Computer Aided Design" West Publishing Company, St. Paul Minnesota.

Patrick Winston (1984). Artificial Intelligence. 2th Edition. Addison-Wesley

Rafael Reyes Madriz (2023). Los drones: presente y futuro en la ingeniería. Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela. Boletín 61. Diciembre 2023.

Stuart Russell y Peter Norvig (2022). Artificial Intelligence: A Modern Approach. US 4th. US Global Edition. University of California, Berkele

Warren McCullough y Walter Pitts (1943). "A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity". Bulletin of Mathematical Biophysics, Vol. 5, pp. 115-133 (1943).

<https://datascientest.com/es/> (consultado el 18-01-2024)

Yaohana, Chu (1982): "Software Blueprint and Examples". Books D.C. Heath and Company, Lexington, Massachusetts.

13. MANEJO DE DATOS - ESTADÍSTICA

13.1. Introducción

Los ingenieros toman unas series de decisiones en sus actividades de diseño cotidianas. Es bien conocido que las buenas decisiones se basan en buena información. Para el ingeniero esta información se encuentra generalmente en forma de datos numéricos. Los datos pueden ser el resultado de encuestas sobre la opinión de la gente o pueden ser resultados de experimentos conducidos en un laboratorio de investigación. La forma de cómo se obtienen los datos afecta a su utilidad. El manejo de los datos origina por lo menos dos interrogantes: ¿cómo se han obtenido los datos y que es lo que se puede hacer con ellos?. La respuesta a estas preguntas es materia de la rama de estudio llamada estadística, la cual se define como es el arte o la ciencia que trata con la recolección, análisis e interpretación de datos numéricos.

La estadística se utiliza de muchas formas, de acuerdo con las necesidades del usuario. Así por ejemplo, un ingeniero puede estar dudando de la capacidad de un material para resistir una carga determinada y necesita llevar a cabo una de pruebas para determinar dicha capacidad de carga del material en cuestión. Para realizar este experimento y analizar los resultados se utiliza la estadística. Un ingeniero de tránsito que planifica la instalación de un semáforo en una intersección puede utilizar la estadística para coleccionar datos sobre el flujo medio de vehículos en esa intersección para determinar si es o no necesario la instalación del semáforo. En una planta manufacturera la calidad de los productos se controla mediante el uso de la estadística. El ingeniero de control de calidad cuenta periódicamente el número de defectos en una línea de producción para determinar si esa línea está funcionando a un nivel aceptable.

Si bien, algunas compañías grandes, como General Motors o General Electric tienen grupos de especialistas investigando las complejidades de sus estadísticas, cada ingeniero debe poseer algún conocimiento instrumental sobre el campo de la estadística. Los estudiantes de ingeniería hacen uso de la estadística durante sus cursos prácticos y de laboratorio. Por ello, en este capítulo vamos a describir los aspectos de la estadística con los cuales el ingeniero debería estar familiarizado.

13.2. Distribución de Frecuencia

Frecuentemente los datos se recolectan y registran de un modo difícil de entender. Consideremos los datos obtenidos por un instructor sobre el peso de los estudiantes en una clase de 32 estudiantes, presentados en la forma que se muestra en la Tabla 13.1.

Tabla 13.1. Peso de los estudiantes en una clase de 32 miembros (en libras)

145	165	203	187	198	123	117	156
143	163	193	117	178	185	203	147
123	124	207	156	148	159	158	152
207	133	138	136	182	175	152	173

Los datos se pueden manejar mejor si se agrupan en intervalos de clases indicando su frecuencia de ocurrencia, como se muestra en la Tabla 13.2 .

Tabla 13.2. Análisis de frecuencia de los datos de la Tabla 13.1

Intervalo (Libras)	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada
111 – 120	2	0.0625	0.0625
121 – 130	3	0.0938	0.1563
131 – 140	3	0.0938	0.2501
141 – 150	4	0.1250	0.3751
151 – 160	6	0.1875	0.5626
161 –170	2	0.0625	0.6251
171 – 180	3	0.0937	0.7188
181 – 190	3	0.0938	0.8125
191 – 200	2	0.0625	0.8750
201 – 210	4	0.1250	1.0000
Total	32	1.0000	

Los datos mostrados en la Tabla 13.2 pueden representarse gráficamente. Si los intervalos de clase se llevan al eje horizontal y la frecuencia al vertical, la gráfica resultante se conoce como *histograma* (ver Figura 13.1). El histograma viene a ser la distribución de frecuencia del número de ocurrencias en cada intervalo. La representación gráfica es mucho más fácil de entender e interpretar que los datos numéricos dados en la Tabla 13.1.

Hay que hacer notar ciertos factores involucrados en la construcción de un histograma. Primero, que el intervalo de clase se selecciona de tal modo que cada dato cae sólo en una clase; segundo, el rango seleccionado cubre toda la serie de datos; tercero, los intervalos preferiblemente deben ser iguales; finalmente, los límites de clases se seleccionan en forma tal que ninguno de los valores caiga sobre el límite de clase.

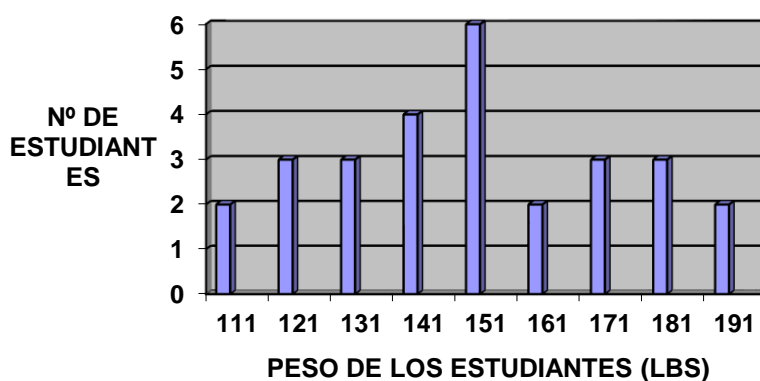


Figura 13.1. Histograma para los datos de la Tabla 13.1.

13.3. Medida de la Tendencia Central

Una de las mayores preocupaciones que tiene el ingeniero con respecto de la estadística consiste en la habilidad de utilizar las información proveniente de una muestra para extraer conclusiones sobre la población de la que provienen los datos de la muestra. Por ello es deseable poder describir los datos mediante pocos parámetros pero que sean representativos del conjunto. Uno de dichos parámetros tiene que ver con el valor central de los datos, es decir, el promedio. Este parámetro, el cual caracteriza al centro de la distribución de frecuencias se conoce como una medida de la Tendencia Central. La medida más común de la tendencia central viene a ser el Promedio Aritmético, que se define como sigue:

$$\bar{X} = (1/N) \sum X_i \quad \text{desde } i = 1 \text{ hasta } N \quad (13.1)$$

Otras medidas de la tendencia central son la mediana y la moda. La mediana es el término medio de la serie de datos arreglados en orden descendente o ascendente. La moda es valor que ocurre con mayor frecuencia en la serie de datos.

Ejemplo 13.1:

Determinar el promedio, la mediana y la moda del siguiente conjunto de números: 34, 45, 36, 50, 55, 48, 36, 44, 53.

Solución:

Usando la Ecuación (10.1), el promedio es $= 401/9 = 44.556$

Para obtener la mediana se ordena el conjunto de números, como sigue: 34, 36, 36, 44, 45, 48, 50, 53, 55. Luego la mediana es 45. La moda es 36, que es el número que aparece con más frecuencia.

13.4. Medida de la Variabilidad

En la sección anterior se examinó la medida de la centralidad de los datos, es decir la tendencia de los valores a ubicarse alrededor del valor medio. Otra característica de los datos de un conjunto es la medida de la variabilidad, es decir la tendencia de los valores a separarse del centro hacia los extremos de la distribución. El promedio, por ejemplo, no revela qué tan unidos o separados están los valores del conjunto. Así tenemos que en el conjunto {3, 4, 5} el promedio es 4, el mismo que para el conjunto {1, 2, 3, 10}; pero el rango en ambos conjuntos es distinto (diferencia entre los valores máximos y mínimos). Por ello, en el tratamiento de estos dos conjuntos es necesario tener una medida para la variación de los valores, que indique el grado de dispersión o de unión de los valores. Existen varios parámetros para medir la variabilidad, siendo los dos más comunes el rango y la desviación estándar. El rango es simplemente la diferencia entre el número más grande y el más pequeño en la serie; por ejemplo, en los dos conjuntos anteriores, el rango es 2 para el primero y 9 para el segundo.

La desviación estándar es el estadístico más comúnmente usado para medir la dispersión en una serie dada; se calcula como sigue:

$$S = [\sum (X_i - \bar{X})^2 / (N - 1)]^{1/2} \quad \text{desde } i = 1 \text{ hasta } N \quad (13.2)$$

Usando la definición en (13.1) se obtiene una forma más conveniente para S:

$$S = [N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2 / N(N - 1)]^{1/2} \quad \text{desde } i = 1 \text{ hasta } N \quad (13.3)$$

Al cuadrado de la desviación estándar se conoce como varianza.

No se debe confundir la desviación estándar de una muestra, con la desviación estándar de la población. La desviación estándar, σ , para una población se calcula usando:

$$\sigma = [\sum (X_i - \mu)^2 / N]^{1/2} \text{ desde } i = 1 \text{ hasta } N \quad (13.4)$$

Donde: μ = media de la población

N = número de datos

X_i = valor del dato

Ejemplo 13.2:

En la Tabla 13.3 se presentan los resultados de una prueba de aptitud tomada a 20 estudiantes en la escala de 0 a 100. Determinar: el promedio, el rango, la desviación estándar y la varianza.

Tabla 13.2. Resultados de una prueba hecha con 20 estudiantes

95, 81, 63, 84, 91, 70, 88, 97, 70, 76, 80, 77, 78, 91, 93, 60, 85, 79, 84, 90

Solución:

El promedio se calcula aplicando la Ecuación (10.1) = $1632/20 = 81.6$

La nota más alta es 97; la más baja, 60; por lo tanto el Rango es $97 - 60 = 37$

La desviación estándar se calcula utilizando la ecuación (10.32) = $S = 10.2977$

La varianza es el cuadrado de la desviación estándar, es decir = 106.0426

13.5. Probabilidad y Distribución Normal

El juego de azar como el lanzamiento de un dado o de una moneda es un aspecto bien conocido. El azar como concepto introduce la idea de incertidumbre. Los ingenieros siempre se enfrentan con incertidumbre con respecto a sus diseños. Por ejemplo, un ingeniero estructural diseña una estructura, la cual considera que puede resistir un terremoto de cierta magnitud, pero nadie estará nunca seguro de la probabilidad que un terremoto de esa magnitud vaya ser igualado o excedida. Debido a estos incidentes potenciales es que los ingenieros se enfrentan con el concepto de probabilidad. La probabilidad en su concepción más simple es una medida numérica del chance de ocurrencia de un evento. Al lanzar una moneda al aire existen dos posibles resultados: cara o sello, por lo tanto, la probabilidad que el resultado sea cara o sello es $1/2$. Si hay certeza de que un evento ocurra, entonces la probabilidad es igual a 1; por el contrario, si es imposible que ocurra, la probabilidad es cero. Por ejemplo, la probabilidad de que al lanzar una moneda no salga ni cara ni sello es cero. Uno se pregunta luego, ¿cómo puede determinarse la probabilidad? La respuesta más simple es por medio de un experimento. A este nivel, la probabilidad de un evento debe ser vista como la relación entre el número de ocurrencias del evento (frecuencia) y el número total eventos del experimento. La determinación de la probabilidad es simple si los resultados del experimento se representan por una gráfica o una ecuación. Esta gráfica o ecuación se conoce como el modelo de distribución de probabilidades; sin embargo, la representación matemática es más conocida como función de distribución de probabilidades. El histograma es un ejemplo de la distribución de probabilidades de variables aleatorias discretas. Observe que una variable aleatoria es aquella en la cual los valores se determinan como resultado de un experimento.

Uno de los tipos más populares de modelos es la distribución normal, la cual queda totalmente determinada mediante sólo dos parámetros: la media de la población, μ , y la desviación estándar de la población, σ ; su representación gráfica tiene la forma de una campana simétrica con respecto a la media (ver Figura 10.2). La distribución normal se representa matemáticamente por medio de la siguiente expresión:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

Donde μ y σ son el promedio y la desviación estándar de la población. Esta función se simplifica utilizando la variable estandarizada normal z como

$$z = (x - \mu)/\sigma \quad (13.6)$$

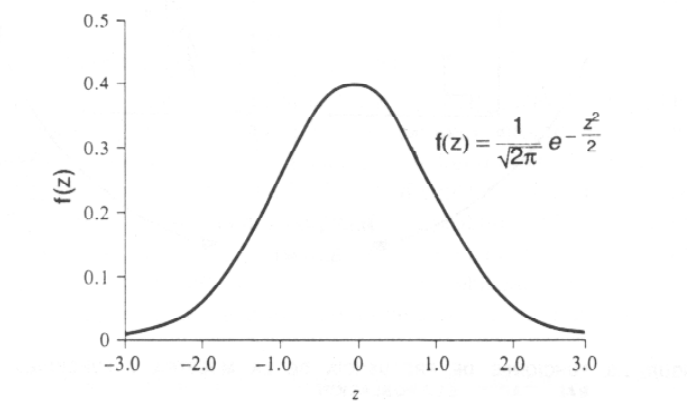


FIGURA 2.4. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTANDAR ($\mu = 0$, $\sigma = 1$).

Figura 13.2. Función de densidad de probabilidad de la distribución normal estándar ($\mu = 0$, $\sigma = 1$)

La distribución normal estandarizada correspondiente posee la función de densidad de probabilidades:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} \quad -\infty \leq z \leq \infty$$

la cual sólo depende del valor de z (ver Figura 13.2). La función estandarizada dada como

$$F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du$$

no tiene forma analítica. Sus valores se dan tabulados en textos de estadística.

Ejemplo 13.3:

Una variable aleatoria tiene una media de 25 y una desviación estándar de 5. Asumiendo que la variable es de distribución normal, determinar la probabilidad de que la variable tenga un valor menor 15 y la probabilidad de que el valor varíe entre 15 y 40.

Solución:

Aplicando la Ecuación (13.6) tenemos:

$Z = (15 - 25)/5 = -2$; el signo negativo simplemente significa que el valor de la variable está a dos veces desviaciones estándares por debajo del promedio. En cualquier libro de estadística se puede encontrar que el área entre el promedio y $z = -2$ es de 0.4772; por lo tanto, la probabilidad de que la variable sea menor que cinco es $0.5 - 0.4772 = 0.0228$.

Para la segunda parte de la respuesta, $z = (40 - 25)/5 = 3$. Nuevamente, en las tablas de la distribución normal de los libros de estadística se encuentra que el área entre $z = 0$ y $z = 3$ es 0.4987; con lo que la probabilidad de que la variable tenga valores entre 15 y 40 es $0.4722 + 0.4987 = 0.9759$.

13.6. Regresión Lineal

A los ingenieros les gusta trabajar con modelos matemáticos (ecuaciones) cuando tratan con las relaciones entre variables. Esto es útil particularmente en trabajos experimentales cuando se desea estudiar causa y efecto. Por ejemplo, la Ley de Hook fue descubierta al estudiar la relación entre la carga aplicada y la deformación causada por la carga. Cuando se obtienen datos tal como los que se muestra en la Tabla 10.4, podría ser deseable conocer la relación entre ellos, por ejemplo, con el propósito de determinar el valor de Y cuando X es igual a 1.75, el cual no está dado en los datos originales. Si existiera una expresión matemática que describe la relación entre x e y, el problema se resuelve reemplazando el valor de x en la expresión para obtener el correspondiente de y. Igualmente, si existiera una gráfica con la relación entre x e y, también se puede determinar el valor de y entrando con el valor de x dado. Un método para hallar la relación matemática entre variables es el *análisis de regresión*. Si existen dos variables y la relación entre ellas puede ser modelada por una línea recta, entonces la regresión es conocida como *regresión lineal*.

Consideremos los datos dados en la Tabla 10.4, y mostrados en la Figura 13.5. Se desea dibujar la línea recta que mejor se ajusta a los datos. Alternativamente, podríamos buscar una ecuación de la forma siguiente que también e ajuste a los datos:

$$y = ax + b$$

Tabla 13.4. Datos resultantes de una serie de medidas

x	y	x	y	x	y
0.50	0.34	2.50	3.70	4.5	7.06
1.00	1.18	3.00	4.50	5.00	7.90
1.50	2.02	3.50	5.38	5.50	8.74
2.00	2.86	4.00	6.22		

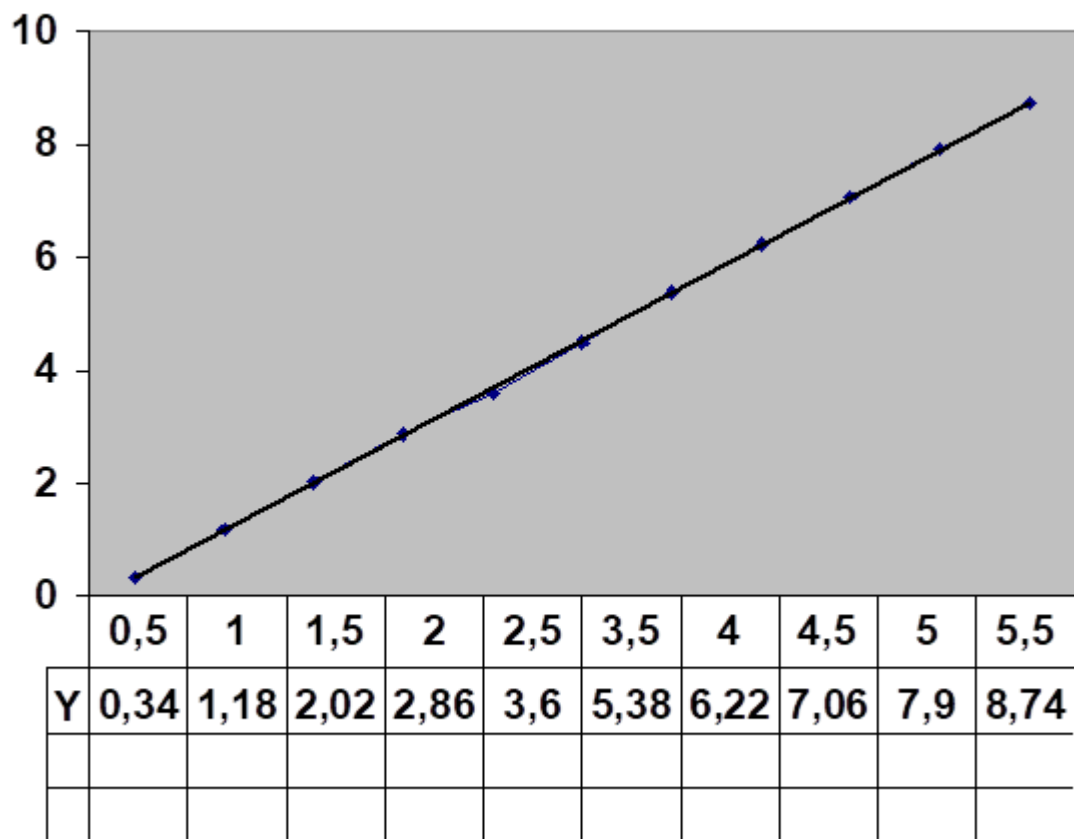


Figura 13.5. Gráfica de los datos dados en la Tabla 13.4

Los mejores valores de a y b en la Ecuación (13.9) se determinan por el método de los mínimos cuadrados, el cual consiste en minimizar la suma, S , de los cuadrados de la diferencia entre el valor actual de y , y el que se estima mediante la Ecuación (13.9).

$$S = \sum [Y_i - (ax_i + b)]^2 \quad \text{desde } i = 1 \text{ hasta } N \quad (13.10)$$

Para determinar el valor de a y b que hace a S mínimo, simplemente derivamos S con respecto a a y b respectivamente y se igualan los resultados a cero.

$$nb + a\sum X_i = \sum Y_i \quad (13.11)$$

$$b\sum X_i + a\sum X_i^2 = \sum X_i Y_i \quad (13.12)$$

Desde $i = 1$ hasta N

Resolviendo las Ecuaciones (10.11) y (10.12):

$$a = [n\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)] / [n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2] \quad (13.13)$$

$$b = [(\sum X_i^2)(\sum Y_i) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)] / [n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2] \quad (13.14)$$

desde $i = 1$ hasta N

13.7. Coeficiente de Correlación

En las secciones previas se mostró un método para hallar la mejor línea que se ajusta a una serie dada de datos. Una pregunta lógica es ¿qué tan bueno es dicho ajuste?. La respuesta a esta interrogante se obtiene mediante el coeficiente de correlación. El coeficiente de correlación es una medida del grado de relación lineal entre dos variables. El coeficiente de correlación, r , se calcula como:

$$r = [n\sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i] / \{[n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]\}^{1/2} \quad (13.15)$$

desde $i = 1$ hasta n

El coeficiente de correlación oscila entre -1 y +1. Si $r = -1$ entonces tenemos un ajuste negativo perfecto mientras que si $r = +1$ es indicativo de un ajuste positivo perfecto. Cuando no existe correlación entre las dos variables el coeficiente de correlación es cero.

Referencias

- Haan, C.T., "Statistical Methods in Hydrology", Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, 1977.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. "Applied Hydrology", Mc Graw-Hill, U.S.A., 1988.
- Chow, V.T. "Statistical and probability analysis of hidrologic data, Sec. 8-1 in "Handbook of Applied Hydrology", Ed. by V.T. Chow, Mc Graw-Hill, N.Y., 1964.

14. OPTIMIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES

14.1. Introducción

En la práctica de ingeniería se presentan muchos problemas que requieren de la toma de la mejor decisión posible. Por ejemplo, un gerente de manufactura podría estar frente al problema de ubicar los recursos entre muchas operaciones con el fin de elevar la eficiencia general del proceso de manufactura. Alternativamente, el gerente podría estar en la disyuntiva de planificar y distribuir las varias operaciones eficientemente en un esfuerzo por reducir los costos. Igualmente, un ingeniero podría requerir de un nuevo diseño, más eficiente, pero un sistema menos costoso, o talvez mejorar el desempeño de un sistema existente, como por ejemplo una planta química. Otro requerimiento posible podría ser por ejemplo, el diseño de una estructura de peso mínimo.

También es importante para el diseñador mejorar continuamente las soluciones de diseño con la finalidad de obtener la mejor para las condiciones de diseño dadas. Esto significa que el diseñador debe entender la diferencia entre lo que es un diseño adecuado y un diseño óptimo. El diseño adecuado se define como la selección de dimensiones y/o materiales que satisfagan los requerimientos funcionales manteniendo costos y efectos indeseables dentro de límites tolerables; se basa sobre la información de ingeniería disponible en ecuaciones, gráficos (en manuales) y en la experiencia del diseñador. El diseño óptimo se define como el mejor diseño entre varias alternativas que cumplen con un objetivo específico, usualmente logrado por aquellos que entienden la rama de las matemáticas denominada optimización. El propósito de este capítulo es el de introducir al estudiante en los conceptos básicos de la toma de decisiones. En su forma más simple, podemos definir la optimización como un proceso matemático para obtener un conjunto de condiciones requeridas para encontrar el valor máximo o mínimo de un objetivo específico.

14.2. Definiciones Fundamentales

Variables de diseño

Un modelo de optimización de ingeniería consiste de variables de decisión o parámetros cuyos valores numéricos tienen que ser determinados con la finalidad de lograr un diseño óptimo. A esas variables o parámetros se les denomina variables de diseño; entre ellas se incluye tamaño o peso, geometría o número de dientes en un engranaje, número de tubos en un intercambiador de calor, número de espirales de un resorte, etc. Dicho de otro modo, las variables de diseño representan cualquier número de variable requeridas para cuantificar o describir complementariamente un sistema de ingeniería. El número de variables depende del tipo de diseño involucrado, y a medida que se incrementa, también se incrementa la complejidad de la solución del problema de diseño.

Función Objetivo

El proceso de selección de la mejor solución entre varias posibles tiene que basarse en un criterio preestablecido denominado función objetivo. Para propósitos de optimización la función objetivo se define como la ecuación matemática que contiene las variables de diseño a ser minimizadas o maximizadas. La función objetivo se puede expresar como sigue:

$$D = f(x) \quad (14.1)$$

D se usa aquí para mostrar que tiene que lograrse un efecto deseado. La variable $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ representa las variables de diseño.

Restricciones

Por alguna de muchas razones, el diseñador en varias situaciones de ingeniería, no tiene libertad de hacer lo que escoge. Por ejemplo, en el diseño de sistemas térmicos que requieren altas condiciones de temperatura, el diseñador está limitado por el reducido número de materiales que resisten altas temperaturas. Otra fuente de restricciones son las consideraciones económicas. El ingeniero/diseñador tiene que aprender a operar con esas restricciones; En el campo de la optimización a esas limitaciones se denominan restricciones.

Espacio de diseño y región factible

Se denomina espacio de diseño a la región total o dominio definido por todas las variables de la función objetivo. Esta región normalmente es limitada por las denominadas restricciones (Ver Figura 14.1); de otro modo, se tendría un espacio de diseño ilimitado donde no existen soluciones factibles. Por tanto, el uso de restricciones es especialmente útil para limitar la región de búsqueda de los valores óptimos deseados para las variables de diseño.

Al conjunto de todos los puntos que satisfacen, tanto las restricciones de igualdad, como las de desigualdad, se denomina región factible de la función objetivo $f(x)$. Al vector x en la región factible se denomina punto factible. Este punto puede estar en el interior de la región o en su frontera. La optimización se refiere a la selección del mejor punto factible que satisface a la función objetivo.

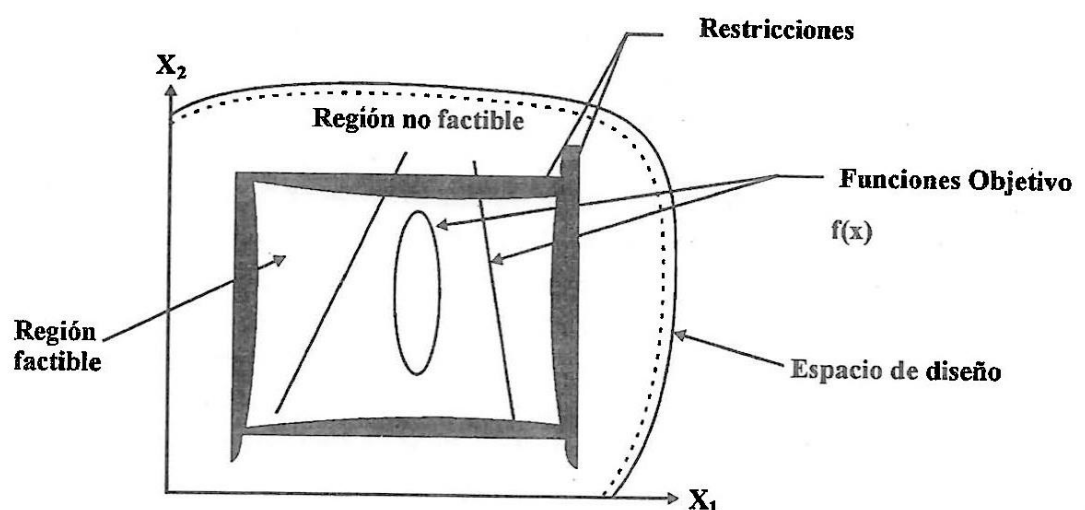


Figura 14.1. Representación esquemática del espacio de diseño

14.3. Métodos de Solución

Uno de los aspectos más difíciles de la optimización es determinar la manera de obtener una solución aceptable. Existen varios métodos de soluciones, pero están fuera del alcance de esta obra. Sin embargo, para demostrar cómo podrían obtenerse las soluciones, aquí vamos a presentar un tipo especial de problemas de optimización denominado optimización de una variable singular. El nombre proviene del hecho de que la función objetivo depende de una sola variable.

Solución gráfica

El procedimiento más fácil para resolver un problema de optimización de una variable singular consiste en graficar la función $f(x)$ en un eje de coordenadas con los valores de x en las abscisas y de $f(x)$ en las ordenadas. En el gráfico se puede obtener por inspección visual el mejor valor de la función. Por supuesto que la solución que se obtenga para algunas funciones puede depender del rango de valores utilizado en la gráfica del problema.

Métodos de búsqueda

Otro procedimiento para resolver los problemas de optimización de variable singular lo constituye el método de búsqueda. Este procedimiento se presta para utilizarlo como una aplicación de computadora. Se basa en la evaluación de la función objetivo, $f(x)$, para una secuencia de puntos x_1 , x_2 , ..., x_k , y la comparación de los resultados con la finalidad de obtener la solución óptima x^* . Para entender el modo de cómo opera el método de búsqueda, consideremos el siguiente escenario: Supongamos que a un estudiante se le vendan los ojos y se le deja en un cuarto vacío; luego se le indica que en algún lugar del cuarto hay un cheque de un millón de bolívars, que si lo encuentra es para él. El problema consiste en determinar la forma de búsqueda para encontrar el cheque del modo más eficiente. Un procedimiento podría consistir en iniciar la búsqueda en una esquina del cuarto tomando pasos secuenciales en línea recta asegurándose de no dejar espacios sin buscar entre dos pasos sucesivos hasta llegar al final de la otra esquina; luego doblar alrededor asegurándose de no repetir el camino recorrido. Si se sigue este procedimiento sistemáticamente, eventualmente se llega al lugar donde está el cheque. Esto es lo que en efecto hace el método de búsqueda, sólo que utiliza un procedimiento más eficiente.

Principios de la técnica de búsqueda de variable singular

Las técnicas más eficientes en el método de búsqueda singular son aplicables a funciones unimodales, definidas como aquellas que poseen un máximo o un mínimo dentro de un intervalo definido, como se muestra en la Figura 14.2, en la cual, la función decrece hasta el punto 1 en el primer intervalo, y luego crece.

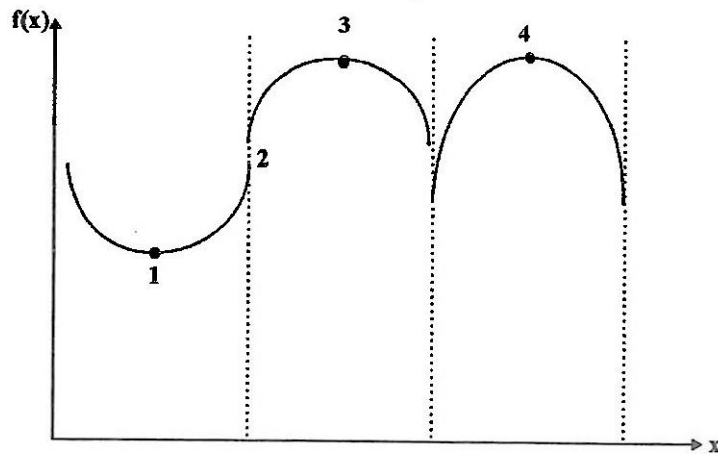


Figura 14.2. Ilustración de funciones unimodales

Para ilustrar esos principios, se asume que las funciones son unimodales: Consideremos dos puntos, x_1 y x_2 , sobre el intervalo $[a, b]$, en el cual se desea evaluar la función objetivo. Debido a que nuestro propósito es confinar la solución a la región $[a, b]$, esta región acotada se denomina intervalo inicial de incertidumbre, el cual se muestra en la Figura 14.3, al igual que los valores $f(x_1)$ y $f(x_2)$. Supongamos que se desea encontrar el máximo: Se comparan ambas funciones, $f(x_1)$ y $f(x_2)$. Ya que $f(x_2) > f(x_1)$, se descarta la región entre el punto a y x_1 . La solución óptima x^* debe estar entre $(x_1$ y el punto b). Luego debemos determinar cómo seleccionar el próximo punto para la evaluación y comparación. Para ello se usan muchos métodos. Uno de ellos consiste en dividir el intervalo en dos partes y ubicar dos puntos equidistantes del centro del nuevo intervalo. Se continúa con este proceso de evaluación y comparación hasta obtener un intervalo de incertidumbre que posea el mismo valor de la tolerancia previamente especificada, tal como ε , después de n evaluaciones. En la sección siguiente se presenta uno de los métodos de búsqueda más simples.

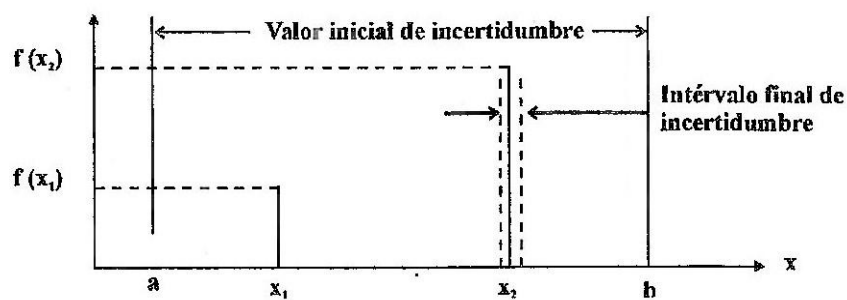


Figura 14.3. Ilustración de las definiciones utilizadas en el método de búsqueda

14.4. Búsqueda de la Sección Dorada

Este método de búsqueda se basa en lo que se denomina Regla de Sección Dorada. Se trata de dividir un intervalo en dos partes desiguales, tal que la relación entre la porción pequeña y la grande

sea igual a la relación entre la porción grande y el intervalo total. Consideremos la Figura 14.4: la Regla de la Sección Dorada establece que:

$$R_2/R_1 = R_1/R \quad (14.2)$$

$$R = R_1 + R_2 \quad (14.3)$$

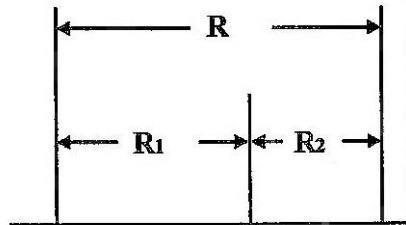


Figura 14.4. Ilustración gráfica de la Regla de la Sección Dorada

Combinando las ecuaciones (14.2) y (14.3) y simplificando tenemos:

$$(R_2/R_1)^2 + R_2/R_1 = 1 \quad (14.4)$$

Hagamos $K = R_2/R_1$; entonces

$$K^2 + K = 1 \quad (14.5)$$

La solución positiva de la Ecuación (14.5) es $K = 0.6180$. Este valor es constante para este tipo de proporción que es una relación armónica entre dos cantidades, y es el inverso del número conocido como número áureo, o número de oro: $1/K = 1.6180$. De aquí el nombre de esta regla: Sección Dorada.

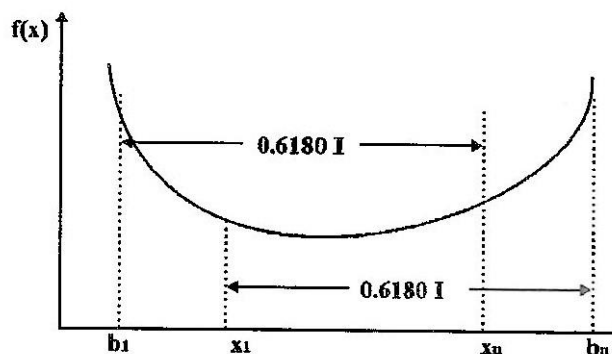
Repitiendo el procedimiento, el intervalo de incertidumbre, después de “n” evaluaciones, se relaciona con el valor inicial de incertidumbre mediante la ecuación siguiente:

$$I_n = I_0 (0.6180)^{n-1} \quad (14.6)$$

Donde: I_n = Intervalo de incertidumbre después de “n” evaluaciones

I_0 = Intervalo inicial de incertidumbre

n = número de evaluaciones



En la Figura 14.5 Ilustración gráfica del método de búsqueda de sección dorada.

Denotemos los límites de la región de búsqueda como sigue: límite inferior b_l ; límite superior b_u . Con lo cual, el intervalo de búsqueda, I , está dado como:

$$I = b_u - b_l \quad (14.7)$$

La interrogante que queda por resolver es dónde ubicar el primer punto. Utilizando la Regla de la Sección Dorada, ese punto tiene que ubicarse en x_u , tal que $x_u = 0.6180I$ desde b_l . Debido a que el Método de Búsqueda involucra la comparación de dos valores, se requiere otro punto. Este segundo punto tiene que ubicarse de tal modo que el intervalo de incertidumbre sea el mismo tomado desde el otro extremo (ver Figura 14.5), por lo que el punto se ubica en x_l , el cual se encuentra también a $0.6180I$ del límite superior b_u . La función puede ser evaluada en los dos puntos, y luego se hace la comparación para ver si $f(x_l) < f(x_u)$, para minimización. Si éste fuera el caso, entonces la búsqueda se confina a la región ubicada hacia la izquierda de $x = x_l$; de lo contrario, la búsqueda se confina a la región de $x = x_u$. Se define un nuevo intervalo de incertidumbre utilizando el mismo procedimiento que en el primer caso. Se continúa el proceso de evaluación hasta obtener un intervalo de incertidumbre que sea igual a la tolerancia deseada.

Hay que observar en la Figura 14.5 las siguientes igualdades, que permitirán entender mejor el procedimiento paso a paso para desarrollar el método Búsqueda Sección Dorada, dado más abajo:

$$x_l = b_u - KI \quad (14.8)$$

$$x_u = b_l + KI \quad (14.9)$$

Donde $K = 0.6180$

A continuación, se dan los pasos para encontrar un mínimo de una función utilizando la Regla de la Sección Dorada:

Paso 1

Datos de entrada: $b_{l,1}$, $b_{u,1}$, K y tolerancia ε .

Paso 2

Definir los dos puntos iniciales para la evaluación de las funciones, usando las Ecuaciones (14.8) y (14.9); es decir:

$$b_{l,1} = b_{u,1} - KI \quad (14.10)$$

$$x_{u,1} = b_{l,1} + KI \quad (14.11)$$

Note que $I_1 = b_{u,1} - b_{l,1}$

Corrida $n = 1$.

Paso 3

Comparar los valores para determinar el intervalo que contiene el mínimo deseado:

Si $f(x_{l,n}) = f(x_{u,n})$ hacer:

$$b_{l,n+1} = b_{l,n} \quad (14.12)$$

$$b_{u,n+1} = x_{u,n} \quad (14.13)$$

$$I_{n+1} = b_{u,n+1} - b_{l,n+1} \quad (14.14)$$

$$x_{l,n+1} = b_{u,n+1} - KI_{n+1} \quad (14.15)$$

$$x_{u,n+1} = x_{l,n} \quad (14.16)$$

Ir al paso 5; de lo contrario, ir al paso 4.

Paso 4

Actualizar la información para la próxima búsqueda, haciendo:

$$b_{l,n+1} = x_{l,n} \quad (14.17)$$

$$b_{u,n+1} = b_{u,n} \quad (14.18)$$

$$I_{n+1} = b_{u,n+1} - b_{l,n+1} \quad (14.19)$$

$$X_{l,n+1} = x_{u,n} \quad (14.20)$$

$$x_{l,n+1} = b_{l,n+1} + KI_{n+1} \quad (14.21)$$

Paso 5

Comprobar si se ha logrado el nivel satisfactorio de tolerancia

Si $|b_{u,n} - b_{l,n}| \leq \varepsilon$, ir al paso 6. De lo contrario, hacer $n = n + 1$ y regresar al paso 3.

Paso 6

Salida de la solución, como sigue:

$$X^* = \min \{x_{l,n}, x_{u,n}\} \text{ y } f_{\min} = \{f(x_{l,n}), f(x_{u,n})\}$$

Los mismos pasos pueden utilizarse para encontrar el máximo de la función modificando la condición de prueba del paso 3. En la Figura 14.6 se presenta un algoritmo detallado que permite escribir un programa de computadora.

Ejemplo 14.1

Determinar el valor máximo de la función $f(x) = x \cos \pi x^2$ en el intervalo $[0.0, 0.7]$. Utilizar $\varepsilon = 1 \times 10^{-4}$

Solución I. Método de la Sección Dorada

Paso 1

$$b_{l,1} = 0.0; \quad b_{u,1} = 0.7; \quad I_1 = 0.7$$

$$f(x) = x \cos \pi x^2$$

$$\varepsilon = 1 \times 10^{-4}$$

Estos datos de entrada satisfacen los datos de entrada.

Paso 2

Definir los dos puntos iniciales utilizando las ecuaciones (14.10) y (14.11);

$$x_{l,1} = 0.7 - (0.6180)(0.7) = 0.2674$$

$$x_{u,1} = 0.0 + (0.6180)(0.7) = 0.4326$$

Paso 3

Determinar el intervalo que contiene el máximo;

$$f(0.2674) = 0.2606$$

$f(0.4326) = 0.3600$. Debido a que $f(0.4326) > f(0.2674)$, la región de interés tiene que estar entre $x_{l,1}$ y $b_{u,1}$. Hay que ir al paso 4 y actualizar varias variables.

Paso 4

Utilizando las ecuaciones (14.17) y (14.21); hacer:

$$b_{l,2} = x_{l,1} = 0.2674, b_{u,2} = b_{u,1} = 0.7$$

$$I_2 = 0.4326, x_{l,2} = 0.4326$$

$$x_{u,2} = b_{l,2} + KI_2 = 0.5347$$

Paso 5

Probar si se satisface la tolerancia. Dado que $0.7 > \varepsilon$, incrementamos “n” a 2 y retornamos al paso 3. En la Tabla 14.1 se presentan los resultados para algunas iteraciones secuenciales. La solución final después de 20 iteraciones es: $x^* = 0.4562$ y $f_{\max} = 0.3622$.

Tabla 14.1. Resultados de iteraciones parciales para el Ejemplo 14.1

Iteración	b_l	b_u	x_l	x_u	$f(x_l)$	$f(x_u)$
1	0.0000	0.7000	0.2674	0.4326	0.2607	0.3599
3	0.2674	0.5347	0.3695	0.4326	0.3360	0.3599
6	0.5326	0.4957	0.4567	0.4716	0.3620	0.3610
9	0.4475	0.4624	0.4532	0.4567	0.3620	0.3620
12	0.4532	0.4567	0.4545	0.4554	0.3620	0.3620
15	0.4554	0.4562	0.4557	0.4559	0.3620	0.3620
19	0.4559	0.4560	0.4559	0.4559	0.3620	0.3620

Solución II. Gráfica

Se grafica la función como solución en la Figura 14.7. El valor óptimo se obtiene de la figura, como sigue:

$$x^* = 0.45$$

$$f(x) = 0.36$$

Hay que hacer notar que la solución gráfica no es tan precisa como el resultado que arroja el método de la Sección Dorada

14.5. Algoritmo de la Sección Dorada

```
0. Input: límites de búsqueda  $b_l$ ,  $b_u$ ,  $f(x)$ ,  $\varepsilon$ 
1. If el problema es minimización ?
2.    $\text{sig} := -1$ 
3. Else
4.    $\text{sig} := 1$ 
5. End If
6.  $r := 0.6180$ ;  $?b := b_u - b_l$ 
7.    $x_l := b_u - r?b$ ;  $b_l := b_l + r?b$ 
8. Do mientras  $?b > \varepsilon$ 
9.   If  $(-\text{sig} * f(x_l) (-\text{sig} * f(x_u))) ?$ 
10.     $b_u := x_u$ ;  $x_u := x_l$ 
11.     $?b := b_u - b_l$ ;  $b_l := b_l - r?b$ 
12.   Else
13.     $b_l := x_l$ ;  $x_l := x_u$ 
14.     $?b := b_u - b_l$ ;  $x_u := b_l + r?b$ 
15.   End If
16. End loop
17. If  $x_l \approx x_u ?$ 
18.    $x := x_l$ 
19. Else
20.    $x := x_u$ 
21. End If
22. Output  $x$ ,  $f(x)$ 
    End del algoritmo
```

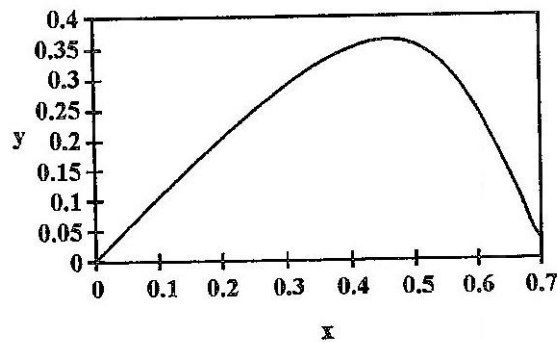


Figura 14.6. Solución gráfica para el Ejemplo 14.1.

Referencias

Onwubiko, C. (1989): "Foundations of computer aided design". West Publishing Co., St. Paul Minnesota.

15. PRINCIPIOS DE INGENIERÍA ECONÓMICA

15.1. Introducción

Muchas veces los ingenieros se encuentran en posiciones gerenciales que requieren de la evaluación de aspectos mercantiles o de negocios; por lo que, necesitan poseer conocimientos básicos de las consecuencias financieras de sus decisiones. Además, la naturaleza de la ingeniería actualmente demanda que el ingeniero deba considerar también beneficios económicos cuando toma decisiones de diseño. Por ejemplo, en la fase de diseño conceptual, si el ingeniero tiene que decidir entre dos o más alternativas para el componente de una máquina, uno de los factores a considerar es el costo de producción de ese elemento. Esto requiere algún conocimiento de ingeniería económica. En posiciones gerenciales el ingeniero podría también confrontar el problema de decidir entre la compra de una máquina para producir un producto una sola vez, o simplemente alquilar la maquinaria. Este tipo de decisiones requiere de un análisis económico.

En este capítulo vamos a presentar primero ejemplos de naturaleza general y luego problemas específicos de aplicaciones ingenieriles. Los principios son los mismos, por lo que el estudiante que domina los ejemplos generales entenderá fácilmente cómo aplicarlos a problemas típicos de ingeniería.

15.2. Retorno Sobre el Capital

El objetivo principal de cualquier negocio es la obtención de un retorno o beneficio sobre el capital invertido. En su sentido más amplio, el capital consiste de dinero, propiedades y otros recursos utilizados en las operaciones de negocios. Básicamente existen dos tipos de capital: Inversión y Préstamo. El capital de inversión es aquel perteneciente a individuos que han invertido dinero o propiedades con la esperanza de obtener algún retorno o beneficio. Préstamos es un capital obtenido de una institución financiera como un banco o un prestamista. Los negocios que operan con préstamos tiene que hacer el esfuerzo de lograr suficientes beneficios, de tal modo que después de cancelar los intereses del préstamo y amortizar el capital, aún les quede algún beneficio remanente.

La diferencia entre las entradas y el costo se denomina Beneficio. Un aspecto que debe considerarse como parte de los costos es el interés que se debe pagar por el capital tomado en préstamo. Sin importar el tipo de capital que se utiliza en un negocio, la preocupación principal viene a ser la tasa de retorno sobre la inversión, la cual es igual a la relación entre el beneficio y la inversión; es decir:

$$\text{Tasa anual de retorno} = \text{beneficio anual} / \text{capital invertido}$$

La tasa de retorno es una consideración primaria en la inversión de cualquier capital. Por eso, el ingeniero tiene que considerar este factor antes de acometer cualquier proyecto de inversión intensiva de capital. El retorno sobre el capital invertido depende del tiempo, ya que hay que tomar en cuenta el valor del capital con el tiempo.

15.3. Valor Temporal del Dinero

Hace poco tiempo que con Bs 100 se podían comprar dos panes; actualmente, ya no se puede comprar ni uno solo pan con el mismo dinero. De otro lado, si los 100 bolívares hubieran sido depositados en una cuenta de ahorros cuando el pan costaba 100, la inversión hubiera ganado intereses, de tal modo que el valor actual de los 100 bolívares sería mayor que el que tenían en el momento del

depósito. Esta idea de que el valor del dinero en el presente no es igual al valor del futuro porque puede ganar intereses al depositarlo en una cuenta se denomina valor temporal del dinero. El interés es el costo de usar el dinero. Si alguien deposita su dinero en un banco, éste lo utiliza y le paga un interés. Por otro lado, si alguien obtiene un préstamo del banco, tiene que cancelar el préstamo y los intereses por usar el dinero. Existen dos tipos de intereses: simple y compuesto.

Interés simple

Se dice que el interés es simple cuando la tasa cargada se aplica sólo al monto principal del préstamo. Se expresa como sigue:

$$I = Pni \quad (15.1)$$

Donde: P = Monto principal (dado o recibido en préstamo)

n = número de períodos de interés

i = tasa de interés a ser aplicada en cada período

El monto total pagado al final del período de préstamo es P + I. Utilizando la Ecuación (15.1), el monto total, Sn, pagado es:

$$S_n = P(1 + ni) \quad (15.2)$$

Ejemplo 15.1

Un comerciante recibe un préstamo de Bs. 10.000,00 a una tasa de interés anual del 9 %, para ser pagados en un período de tres años (capital más intereses). Calcular el monto a pagar al final del período.

Solución:

Utilizando la Ecuación (15.2) tenemos:

$$S = 10.000,00 (1 + 3 \times 0.09) = \text{Bs. } 12.700,00$$

Por lo tanto, el comerciante deberá pagar Bs. 12.700,00 al final de los tres años.

Interés compuesto

Cuando el interés que se carga se basa no sólo en el capital del préstamo, sino en los intereses devengados pero que no han sido cancelados, se trata de interés compuesto. Usando la misma nomenclatura que anteriormente, el monto pagado al final de cada período de interés es:

$$S_1 = P + I_1 = P(1 + i)$$

$$S_2 = S_1 + I_2 = S_1 + S_1 i = P(1 + i) + (P(1 + i))i = P(1 + i)^2$$

$$S_3 = P(1 + i)^2 (1 + i) = P(1 + i)^3$$

En general:

$$S_n = P(1 + i)^n \quad (15.3)$$

Donde:

S_n = Suma total de dinero al final del período “n”.

Ejemplo 15.2

Repetir el ejemplo 15.2 considerando interés compuesto por períodos de tres meses.

Solución

$$i = 0.09/4 = 0.0225$$

$$n = 4/\text{año} \times 3 \text{ años} = 12$$

Usando la Ecuación (15.3):

$$S_{12} = 10.000,00(1 + 0.0225)^{12} = 13.061,00$$

El monto total a pagar es de Bs. 13.061,00

Valor presente

Con frecuencia es necesario determinar el monto que debe invertirse ahora para obtener una determinada cantidad en el futuro. Esto significa la evaluación de un valor futuro en el tiempo presente. Para resolver este problema se aplica la inversa del término de la derecha de la Ecuación 15.3). Supongamos que se desea recibir el monto S_n después de “ n ” períodos a una tasa de interés de i %; el monto P que se debe invertir ahora, se obtiene de la Ecuación (15.3), como sigue:

$$P = S_n / (1 + i)^n \quad (15.4)$$

Al denominador de la Ecuación (15.4) se conoce como factor de amortización del valor presente.

Ejemplo 15.3

Al ingreso de un estudiante a sus estudios universitarios su padre le promete darle US\$ 20.000 al cabo de 6 años después de finalizar su carrera, para que siga estudios doctorales. Si la tasa de interés es del 7.5 % y el interés compuesto se calcula cada tres meses, cuánto deberá depositar el padre en el banco al inicio para cumplir con su promesa? Asuma que el estudiante se gradúa en 5 años.

Solución

$$n = 4 \text{ períodos compuestos/año} \times 11 \text{ años} = 44$$

$$i = 0.075/4 = 0.01875$$

De la Ecuación (15.4):

$$P = 20.000 / (1 + 0.01875)^{44} = 9.931.91$$

El padre debe depositar US\$ 8.831.91 al inicio para que se convierta en 20.000 al final de los 11 años

Diagramas de flujo de efectivo

La discusión siguiente se puede simplificar si se utilizan los diagramas de flujo de dinero, los cuales facilitan la visualización de lo que sucede en cualquier transacción financiera que involucra flujo de efectivo y flujos de salida. Los diagramas de flujo de dinero consisten básicamente de una línea horizontal que representa a la escala del tiempo subdividida en intervalos de períodos del tiempo involucrado, y una serie de flechas verticales que indican las entradas (flecha hacia arriba) y salidas (flecha hacia abajo) de dinero. Hay que hacer notar que los diagramas de flujo de dinero son dependientes del punto de vista del que los construye (prestamista y prestatario). Esto se puede observar en el diagrama de flujo de dinero del ejemplo 15.2 representado en la Figura 15.1. Observe que los períodos se indican en los intervalos en vez de hacerlo al final del período.

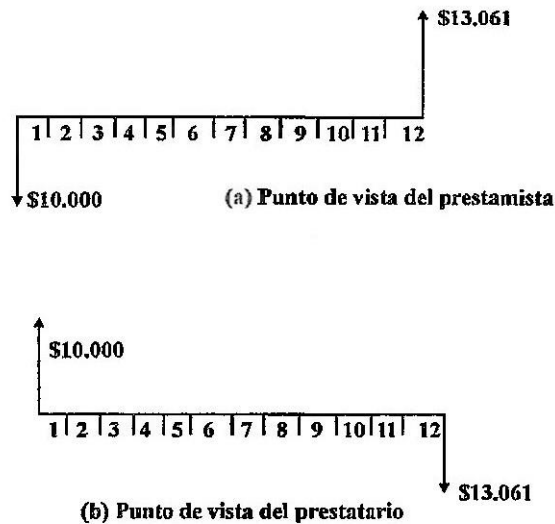


Figura 15.1. Representación del diagrama de flujo de dinero para el ejemplo 15.2

Anualidades

El término anualidad se usa generalmente en conexión con planes de jubilación. Anualidad se define como un monto de dinero pagable a un beneficiario a intervalos regulares durante un período preestablecido de tiempo de una suma reservada de dinero. Otra forma de concebir la anualidad es considerando la suma de dinero como un objetivo a lograr mediante un número (por determinar) de una serie de depósitos a efectuarse en períodos de tiempo igualmente espaciados y preestablecidos.

Suponiendo que el monto futuro es S_n , el monto de cada depósito al final de cada período es A , y la tasa de interés es $i\%$, se puede derivar fácilmente una relación entre dicha suma futura y el depósito periódico, A . Se entiende que el último depósito no gana intereses, de tal modo que su contribución a la suma total S_n es sólo igual a A . El penúltimo aporte gana un interés de Ai y su contribución a la suma total es igual a $A + Ai$ (es decir, $A(1 + i)$). El primer depósito al final de período “ n ” gana intereses durante un período $(n-1)$. Utilizando la Ecuación (15.3) se determina que la contribución del primer depósito a la suma total S_n es $A(1 + i)^{n-1}$. Por lo tanto, S_n puede expresarse como sigue:

$$S_n = A(1 + i)^{n-1} + A(1 + i)^{n-2} + \dots + A(1 + i) + A \quad (15.5)$$

Multiplicando ambos lados de la Ecuación por $(1 + i)$ se obtiene:

$$(1 + i)S_n = A(1 + i)^n + A(1 + i)^{n-1} + \dots + A(1 + i)^2 + A(1 + i) \quad (15.6)$$

Restando la Ecuación (15.6) de la Ecuación (15.5) se tiene:

$$S_n - (1 + i)S_n = A(1 + (1 + i)^n)$$

o

$$-iS_n = A(1 - (1 + i)^n)$$

Multiplicando ambos miembros de la última relación por -1 tenemos:

$$S_n = A\left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i}\right] \quad (15.7)$$

El término entre corchetes en la Ecuación (12.7) frecuentemente se denomina factor de interés compuesto de una serie uniforme.

La función inversa de la Ecuación (15.7) es la anualidad A:

$$A = S_n [i / (1 + i)^n - 1] \quad (15.8)$$

Ejemplo 15.4

En su trigésimo aniversario un individuo empieza a depositar en un banco \$ 120 al final de cada mes a un interés del 8 % anual. Determinar el monto que habrá acumulado hasta el final de su quincuagésimo aniversario si el cálculo se hace a un interés compuesto mensual.

Solución

$$n = 12 \text{ meses/año} \times 20 \text{ años} = 240 \text{ períodos}$$

$$i = 0.08 / 12 = 0.0067$$

De la Ecuación (15.7) tenemos:

$$S_{240} = 120 [(1 + 0.0067)^{240} - 1] / 0.0067 = 71\,034.83$$

El individuo tendrá al final de su quincuagésimo aniversario un monto de \$71.034,83

Recuperación del capital

Examinando las ecuaciones (15.4) y (15.7) se observa que ellas se pueden combinar fácilmente. Una anualidad posee una suma global futura S_n , la cual igualmente posee un valor presente equivalente, P. Por eso, se puede considerar a P conceptualmente que si fuera el equivalente al valor presente del valor futuro de S_n . Esta relación se muestra en el diagrama de flujo de dinero dado en la Figura 15.2. Combinando (15.4) y (15.7) se tiene:

$$P = A [\{ (1 + i)^n - 1 \} / i (1 + i)^n] \quad (15.9)$$

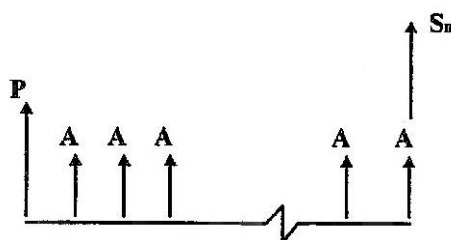


Figura 15.2. Diagrama de flujo de dinero relacionando el valor presente P y la anualidad S_n

Frecuentemente es necesario resolver A en la Ecuación (15.9); es decir:

$$A = P [\{ i(1 + i)^n \} / \{ (1 + i)^n - 1 \}] \quad (15.10)$$

Al término entre corchetes de la Ecuación (15.10) se conoce como factor de recuperación del capital o amortización anual uniforme. La Ecuación (15.10) se usa para calcular los planes de amortización o pago de créditos para viviendas.

Ejemplo 15.5

Un comerciante ha conseguido un crédito de \$ 110.000,00 de una compañía financiera a una tasa de interés compuesto del 9 % anual, amortizables mensualmente durante un período de 30 años. Calcular el pago mensual de la amortización.

Solución

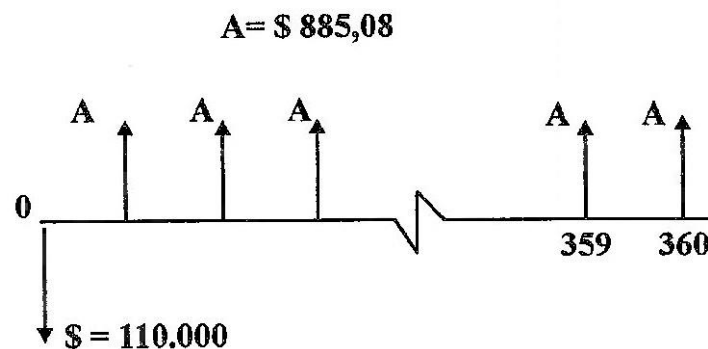
$$n = 12 \text{ cuotas /año} \times 30 \text{ años} = 360$$

$$i = 0.09/12 = 0.0075$$

De la Ecuación (15.10) tenemos:

$$A = 110.000[(0.0075(1 + 0.0075)^{360}) / ((1 + 0.0075)^{360} - 1)] = 885.08$$

La cuota de pago mensual es de \$ 885.08.



En la figura 15.3 se presenta el diagrama de flujo de dinero para este problema, desde el punto de vista del prestamista.

15.4. Evaluación de Alternativas de Inversión

En la sección anterior hemos discutido sobre el valor del dinero a lo largo del tiempo. Desde este punto de vista resulta claro que el tiempo y la tasa de interés afectan al capital. Ultimadamente la inversión de cualquier capital se orienta a lograr beneficios, por lo que hay que tener cuidado en comprometer el capital en cualquier proyecto. En muchas situaciones las empresas comprometen capital en la adquisición de equipos requeridos en la manufactura de un determinado producto. Una práctica común consiste en considerar el equipo de varios fabricantes. El problema se complica cuando cierto equipo requiere una elevada inversión inicial y un bajo costo de mantenimiento; mientras que otro equipo podría necesitar un bajo costo inicial y un alto costo de mantenimiento. En esta sección vamos a presentar el procedimiento que permite decidir la forma de seleccionar una alternativa de inversión. Existen dos formas de enfocar este problema: la primera se refiere al método del Valor Equivalente y la segunda es el método de la Tasa de Retorno. En el primer método todo el flujo de dinero se reduce a un valor equivalente en algún punto de tiempo utilizando una tasa de interés juzgada como la tasa de retorno mínima atractiva (TRMA).

El segundo método calcula la tasa anual de beneficio o el ahorro resultante de una inversión. Esta tasa de retorno se compara con la TRMA. Ambos métodos se relacionan entre sí; sin embargo, a continuación vamos a discutir el método del valor equivalente, previa definición de algunos conceptos de interés.

Costo de inversión

El costo de inversión viene a ser el monto inicial del precio de adquisición de los activos y de la instalación del bien.

Valor de rescate (residual)

El valor de rescate o valor residual es una estimación real de la suma neta realizada debido a la disposición de un ítem o propiedad cuando ya no es requerida.

Vida económica

Vida económica es un valor numérico de unidades de tiempo (normalmente años) a lo largo de las cuales el usuario espera utilizar un ítem dado.

15.4.1. Valor Presente

Valor presente es el monto de dinero que se tiene que invertir en el presente (ahora) para producir una determinada suma en una fecha futura. En el método del valor presente todos los flujos de dinero de entrada y salida proyectados al futuro se convierten a un valor presente singular en el tiempo cero. Se asume que la tasa de interés es igual a la TRMA.

Ejemplo 15.6

Un taller está considerando la compra de una máquina CNC a un precio inicial de US\$ 45.650,00. Se estima que la máquina producirá una ganancia anual de US\$ 7.300,00 por seis años, después de los cuales, el taller puede vender la máquina en US\$ 23.650 (valor de rescate). Los costos anuales de operación y mantenimiento son de US\$ 2.100. El taller ha establecido que la TRMA es del 10 %, antes de los impuestos sobre todo el capital invertido. Se pide determinar si el taller debería o no adquirir la máquina.

Solución

El valor presente del beneficio anual se calcula utilizando la Ecuación (15.9);

$$A = 7.300, i = 0.1, n = 6,$$

$$P = 7.300 \left[\frac{(1 + 0.1)^6 - 1}{0.1(1 + 0.1)^6} \right] = 31.793,40$$

El valor presente de los costos de operación y mantenimiento se determina siguiendo el mismo procedimiento.

$$P = 2.100 \left[\frac{(1 + 0.1)^6 - 1}{0.1(1 + 0.1)^6} \right] = 9.146,06$$

El valor presente del monto de rescate se calcula con la Ecuación (15.4):

$$P = 23.650 / (1 + 0.1)^6 = 13.349,81$$

La solución es entonces el balance de la sumatoria de los valores presentes:

Descripción	Flujo de egresos (\$)	Flujo de ingresos (\$)
Costo inicial de la máquina	- 45 650	
Beneficio anual		31 793,04
Costos de O&M	9 146,05	
Valor de rescate		13 349,81
Total	- 54 796,05	45 143,21

El valor presente neto es $- 54 796,05 + 45 143,21 = - 9 652,84$. Debido a que el valor neto es una cantidad negativa, la máquina no debe comprarse.

15.4.2. Valor Futuro (VF)

El método del valor futuro utiliza una concepción similar al método del valor presente. La única diferencia consiste en que en el método del valor futuro todos los flujos de ingresos y egresos se calculan sobre la base de un período de tiempo futuro.

Ejemplo 15.7

Repetir el problema 15.6 utilizando el método del valor futuro

Solución

El valor futuro del costo inicial se calcula con la Ecuación (15.3) como:

$$VF \text{ del costo inicial} = 45\,650(1 + 0.1)^6 = 80\,871,76$$

VF de la renta (beneficio) anual: de la Ecuación (15.7):

$$VF \text{ de la renta} = 7\,300 \left[\frac{(1 + 0.1)^6 - 1}{0.1} \right] = 56\,323,95$$

Similarmente, VF de los costos de O&M es:

$$2\,100 \left[\frac{(1 + 0.1)^6 - 1}{0.1} \right] = 16\,202,78$$

Luego la solución se encuentra efectuando el balance de valores futuros, como sigue:

Descripción	Flujo de egresos (\$)	Flujo de ingresos (\$)
Costo inicial de la máquina	- 80 871,16	
Beneficio anual		56 323,95
Costos de O&M	- 16 202,78	
Valor de rescate		23 650
Total	- 97 074,54	79 973,95

El valor futuro neto es $-97\,074,54 + 79\,973,95 = -17\,100,59$. Debido a que el valor neto es negativo, no debería comprarse la máquina. Observe que en el problema 15.6 se llegó a la misma conclusión.

MÉTODO DEL VALOR ANUAL

El método del valor anual es conceptualmente similar a los dos anteriores. La diferencia está en que este método convierte los flujos de ingresos y egresos del valor presente o del valor futuro en anualidades. Se expresa como sigue:

$$VA = CI - C_0 - CR \quad (15.11)$$

Donde: VA es el valor anual; CI es el ingreso de dinero anual (cash inflow); CO es el egreso de dinero anual (cash outflow); y CR es el capital anual de recuperación.

El Capital de Recuperación Anual se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$CR = P_0 \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] - S \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (15.12)$$

Donde P_0 es el valor de inversión inicial; S es el valor de rescate o de reventa.

Ejemplo 15.8

Repetir el ejemplo 15.7 utilizando el método del valor anual.

Solución

Los beneficios y los costos de O&M en el problema anterior ya se encuentran en base anual, por lo que aquí sólo calcularemos el término CR utilizando la Ecuación (15.12):

$$\begin{aligned} CR &= 45\,650 \left[\frac{0.1(1+0.1)^6}{(1+0.1)^6 - 1} \right] - 23\,650 \left[\frac{0.1}{(1+0.1)^6 - 1} \right] \\ &= 10\,481,58 - 3\,063,21 = 7\,416,37 \end{aligned}$$

El valor anual se calcula con la Ecuación (15.11):

$$VA = 7\,300 - 2\,100 - 7\,416,37 = -2\,216,37$$

Nuevamente se concluye en que no debe comprarse la máquina ya que el valor anual es menor que cero.

Como se ha podido observar, los tres métodos conducen a la misma conclusión de no comprar la máquina, aunque los resultados numéricos son diferentes. Por eso, no importa el método que se seleccione para el análisis. Sin embargo, muchos prefieren utilizar el método del valor anual debido a que se presta a una interpretación fácil debido a que la mayoría de los inversionistas trabajan con ingresos y egresos anuales.

15.5. Depreciación

En el argot popular es conocido el término usar y botar. Siempre que un bien físico está en uso, o se descarta o se hace obsoleto, ocasionando un decrecimiento del valor de la propiedad. Esta reducción del valor de un bien se conoce como depreciación. El concepto de depreciación es muy importante en la toma de decisiones relacionadas con un proyecto de inversión, por lo menos por las dos razones siguientes: 1) permite considerar la depreciación (la cual es una pérdida) como parte de los costos de producción cuando se utiliza un equipo específico; de lo contrario, y desde el punto de vista contable, una compañía podría estar pagando innecesariamente tasas de impuestos más elevadas que las debería

al no incluir las pérdidas por depreciación del bien. 2) provee un medio de rescate o recuperación del costo inicial de la propiedad física.

La depreciación generalmente se clasifica en dos categorías principales: depreciación normal y depreciación debido a la variación de precio. La primera se asocia con la imposibilidad o inhabilidad del bien de producir resultados o la obsolescencia de la propiedad física. Sin importar la categoría de depreciación, los principios contables para manejar la depreciación se mantienen virtualmente inalterables, a pesar de que los métodos de depreciación han cambiado debido a los impuestos por ingresos. A continuación, se discuten los métodos de depreciación más conocidos.

15.5.1. Depreciación en línea recta

Este método consiste en asignar igual costo de depreciación a cada período del tiempo en el cual se efectúa la depreciación, o tiempo de vida útil del bien a depreciar. Es un procedimiento simple y ampliamente utilizado. Incluye las siguientes expresiones:

$$d = (P - VR) / n \quad (15.13)$$

$$Dt = t(P - VR) / n \quad (15.14)$$

Donde: P = Costo de inversión inicial del bien

VR = Valor de rescate

n = vida útil o depreciable del bien

d = Deducción anual por depreciación

Dt = Depreciación acumulada a lo largo del período t

t = período de tiempo

Frecuentemente es necesario determinar el valor de libro o registro (diferencia entre el costo inicial y la depreciación acumulada) de un bien, como:

$$BV_t = P - Dt \quad (15.15)$$

Donde BV_t = valor de libro del bien en el tiempo t.

Ejemplo 15.9

Una empresa compra un camión en US\$ 17 600 y espera utilizarlo para el reparto hasta el final del quinto año y luego cederlo como parte de pago (valor de rescate). El valor de rescate se estima en US\$ 3 200. Calcular el costo de depreciación que la compañía debería deducir de los impuestos de ingresos el primer año. Calcular también el valor de libro del camión al final del tercer año.

Solución

$$P = 17\,600; VR = 3\,200; n = 5; t = 3$$

De la Ecuación (12.13):

$$d = (17\,600 - 3\,200) / 5 = 2\,880$$

Utilizando las ecuaciones (15.14) y (15.15):

$$BV_t = 17\,600 - 3(17\,600 - 3\,200) / 5 = 8\,960$$

El monto a deducir de los impuestos es de US\$ 2 880; el valor de libro del camión al final del tercer año es de US\$ 8 960.

15.5.2. Método de la suma de dígitos de los años (SDA)

A diferencia del método de línea recta, el método SDA asigna montos de depreciación mayores a los primeros años de depreciación y montos menores a los últimos años de vida útil del bien. Se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$dt = (P - VR)[2(n - t + 1)] / [n(n + 1)] \quad (15.16)$$

Donde dt = monto de depreciación para el período t

Ejemplo 15.10

Repita el ejemplo 15.9 utilizando el método SDA

Solución

Con $t = 1$, de la Ecuación (15.16) se tiene:

$$dt = (17\,600 - 3\,200)(2)(5 - 1 + 1) / 5(5 + 1) = 4\,800$$

Para $t = 2$:

$$d2 = 8(17\,600 - 3\,200) / 30 = 3\,840$$

Para $t = 3$:

$$d3 = 6(17\,600 - 3\,200) / 30 = 2\,880$$

La depreciación total acumulada al final del tercer año es: $4\,800 + 3\,840 + 2\,880 = 11\,520$. De la Ecuación (12.15), se deduce que el valor de libro al final del tercer año es igual a la diferencia $17\,600 - 11\,520 = 6\,080$. Por lo tanto, el monto de depreciación a ser deducida de impuestos durante el primer año es 4 800 y el valor de libro del camión al final del tercer año es 6 080.

15.5.3. Método del balance declinante

Este método se conoce también como la fórmula de Matheson o de porcentaje constante. El método asume que el costo anual de depreciación es un porcentaje fijo del valor del libro al inicio de cada año. Si denotamos como k a la tasa fija, entonces el valor de libro BV_t , después de un período t se calcula como se indica a continuación:

$$BV_t = P(1 - k)^t \quad (15.17)$$

Donde k = una tasa fija (ver Ecuación (15.20))

P = Costo de inversión del bien

La depreciación permitida en el período t se da como

$$dt = kP(1 - k)^{t-1} \quad (15.18)$$

La depreciación acumulada hasta el período t se obtiene como sigue:

$$Dt = P[1 - (1 - k)^t] \quad (15.19)$$

A diferencia de los dos métodos anteriores, la depreciación permitida en este método es independiente del valor de rescate. Esto significa que el bien no puede depreciarse nunca hasta cero. Esta característica es una debilidad del método, la cual se resuelve cambiándose a cualquier otro método, tal como el de línea recta, de tal modo de obtener en el año n un valor de libro igual a cero o algún otro valor. Matemáticamente esto se expresa como sigue:

$$BV_n = P(1 - k)^n = VR$$

De la que resolviendo para k se obtiene:

$$k = 1 - (VR/P)^{1/n} \quad (15.20)$$

Ejemplo 15.11

Repetir el ejemplo 15.9 utilizando el método de depreciación de balance declinante

Solución

La tasa constante k se calcula mediante la Ecuación (15.20):

$$k = 1 - (3\,200/17\,600)^{1/5} = 0.29$$

Utilizando la Ecuación (15.18) tenemos:

$$d_1 = 0.29 (17\,600)(1 - 0.29)^1 - 1 = 0.29 \times 17\,600 = 5\,104$$

$$\text{Igualmente, de la Ecuación (15.17): } BV_3 = 17\,600(1 - 0.29)^3 = 6\,299.23$$

Luego, el monto de impuestos a ser deducido en el primer año es 5 104 y el valor de libro del camión al final del tercer año es 6 299.23.

Referencias

DeGarmo, P. E., W. G. Sullivan, and J. Bontadelli (1989): "Engineering Economy". 8th ed. Macmillan, New York.

Kleinfeld, I. H. (1986): "Engineering and Managerial Economics". Holt, Rinehart and Winston, New York.

16. PRESENTACIÓN DE DATOS Y COMUNICACIÓN GRÁFICA

16.1. Introducción

Un diseño de ingeniería no es de utilidad a menos que sea apropiadamente conocido por quienes deben aprobarlo y los que deben fabricar sus componentes. Por eso, el ingeniero tiene que saber comunicar su diseño a sus pares u otros técnicos. Dado que no todos los ingenieros y técnicos hablan el mismo lenguaje técnico, es muy difícil entenderse a menos que utilicen un método común aceptable de comunicación. Sobre la base de la frase “una figura habla más que 1000 palabras”, los ingenieros se comunican entre sí en forma gráfica, cuya modalidad depende de lo que el ingeniero desea comunicar. Una de las formas gráficas más importantes de la comunicación es el dibujo técnico de ingeniería, el cual se utiliza universalmente para comunicar información sobre la manufactura en forma de líneas, arcos, formas y dimensiones.

La comunicación sobre el diseño comprende desde la fase conceptual hasta el diseño definitivo utilizando bosquejos o dibujos, por lo que es importante que el estudiante de ingeniería adquiera estas habilidades comunicacionales, para lo cual, hay por lo menos dos buenas razones: 1) el ingeniero tiene que comunicar a otros sus ideas de diseño de un modo muy sucinto; 2) adicionalmente, el ingeniero tiene que revisar y aprobar el trabajo de un dibujante especializado. La forma de comunicar el dibujo es la misma, pero con el avance logrado en la tecnología de computadoras ha cambiado el medio de comunicación. Por ejemplo, la máquina utilizada para producir líneas azules en el dibujo (que condujo al término blueprint) ha sido reemplazada ahora por graficadores (plotters), impresoras, y varios otros métodos de producción de dibujos.

En este capítulo vamos a introducir al estudiante en algunos de los más importantes conceptos de la comunicación gráfica, los cuales incluyen diferentes tipos de gráficos, métodos de bosquejos y la importancia de la modelación geométrica en la práctica actual de la ingeniería.

16.2. Gráficas

Un gráfico es la representación visual de la relación entre varios datos. Los tipos más comunes de gráficos son: representación lineal, de barras y de tipo pastel.

16.2.1. Gráficos lineales

Los gráficos lineales son útiles para comparar o describir datos numéricos. Son de utilidad en la experimentación debido a que ayudan a establecer la relación entre variables. Por ejemplo, para descubrir la relación entre dos variables, la variable x se lleva en el eje de las abscisas (horizontal), y la variable y se lleva en las ordenadas (vertical). En la modelación de ingeniería las relaciones que más comúnmente se asumen son del tipo lineal o exponencial. Un modelo lineal se representa como sigue:

$$y = ax + b \quad (16.1)$$

Un modelo exponencial se puede representar por cualquiera de las dos expresiones siguientes:

$$y = ax^b \quad (16.2)$$

$$y = ae^{bx} \quad (16.3)$$

El modelo lineal de la Ecuación (16.1) y los modelos exponenciales pueden representarse en gráficas o papeles determinados. Los tipos de papeles gráficos más comunes son los de coordenadas rectangulares o papel aritmético y el papel logarítmico (ver Figura 16.1); en el primero la escala es aritmética, es decir, abscisas y ordenadas se dividen en segmentos iguales; en el segundo la escala es logarítmica, es decir que la magnitud de las divisiones se basa en el hecho de que el logaritmo de cualquier número viene a ser el exponente al cual hay que elevar la base para que reproduzca el número. Por ejemplo, el logaritmo de 100 en base 10 es 2 porque 10 elevado al cuadrado es 100. Por eso las divisiones en un papel logarítmico no están igualmente espaciadas; además, la escala empieza en 1 en vez de cero. Los papeles logarítmicos comerciales disponibles son de diferentes formas y ciclos; el que se muestra en la Figura 16.1 tiene tres ciclos. Otro papel gráfico es el semi-logarítmico, en el cual, uno de sus ejes está en escala aritmética y el otro en escala logarítmica.

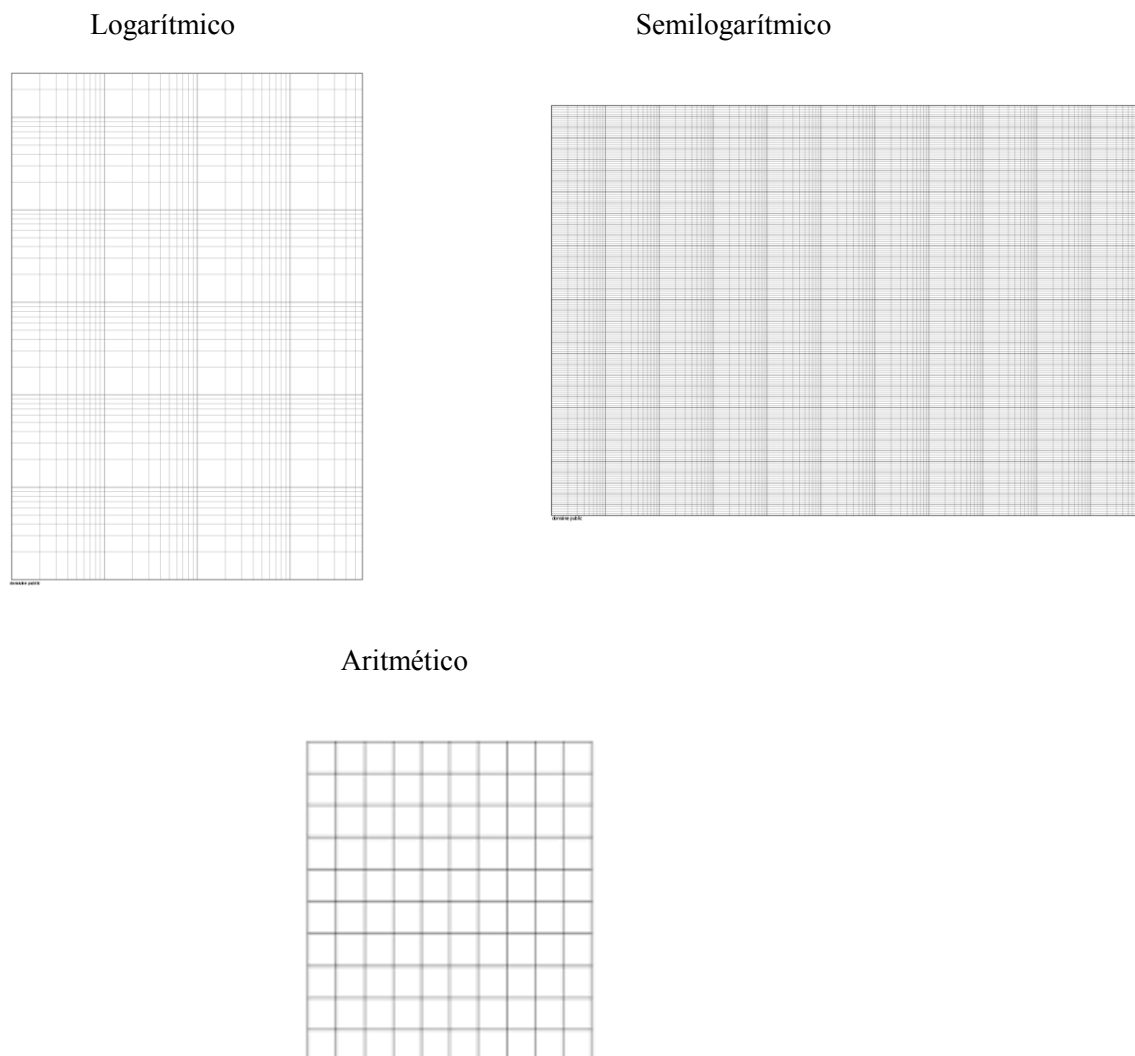


Figura 16.1. Diferentes papeles para graficar: a) rectangular; b) semilog; c) log-log.

El lector se preguntará cuál de los tipos de papel debe utilizar para presentar sus datos. En la mayoría de los casos se usa el papel aritmético rectangular; sin embargo, si los datos varían desde un valor muy pequeño hasta un valor muy grande, debería usarse el papel logarítmico porque el gráfico

utiliza menos espacio. Por ejemplo, si los valores varían en el rango de 0.01 a 1000 se debería considerar un gráfico logarítmico. Si los datos a ser graficados contienen magnitudes negativas, no se pueden utilizar las escalas logarítmicas.

Ejemplo 16.1

Graficar los datos que se muestran en la Tabla 16.1.

Tabla 16.1. Datos para el ejemplo 16.1

X	12	16	18	20	26	37	50	68
Y	100	200	270	300	500	1 000	2 000	3 000

Solución

Los datos se grafican en escala aritmética y en escala semilogarítmica, como se muestra en las Figuras 16.2 y 16.3, respectivamente. Hay que observar que los gráficos lineales tanto en escala aritmética, como en escala logarítmica pueden utilizarse para el análisis de regresión como el discutido en el Capítulo 13. Esto se ilustra en el siguiente ejemplo.

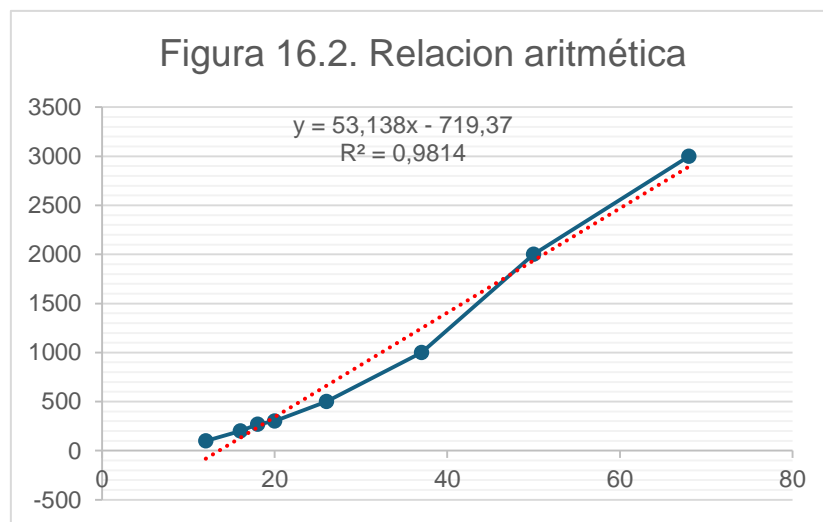


Figura 16.2. Datos de la Tabla 16.1 graficados en papel aritmético

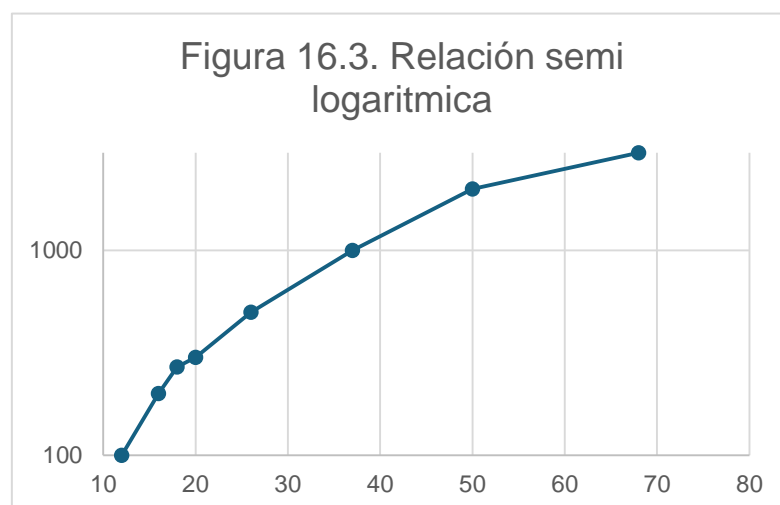


Figura 16.3. Datos de la Tabla 16.1 graficados en papel semi-logarítmico.

Ejemplo 16.2

Los datos presentados en la tabla 16.2 son de naturaleza exponencial. Encuentre la relación entre las variables.

Tabla 16.2. Datos para el ejemplo 16.2

X	0.05	0.15	0.35	0.55	0.65	0.85	0.95	1.15
Y	2.83	2.52	1.97	1.55	1.38	1.08	0.96	0.75

Solución

Debido a que la relación debe ser de la forma como se muestra en la Ecuación (16.3), tomando logaritmos a ambos lados de la ecuación se tiene:

$$\ln y = bx + \ln a$$

Los valores de b y a pueden determinarse graficando x versus y en un papel semi-logarítmico, como se muestra en la Figura 16.4.

De la Figura 16.3 se obtienen los siguientes valores:

$$b = \text{pendiente} = \Delta y / \Delta x = (\ln 1.9 - \ln 1.18) / (0.4 - 0.8) = -1.1908$$

El intercepto a (valor de y cuando $x = 0$) es $a = 3$

Luego la relación entre las variables es:

$$y = 3e^{-1.2x}$$

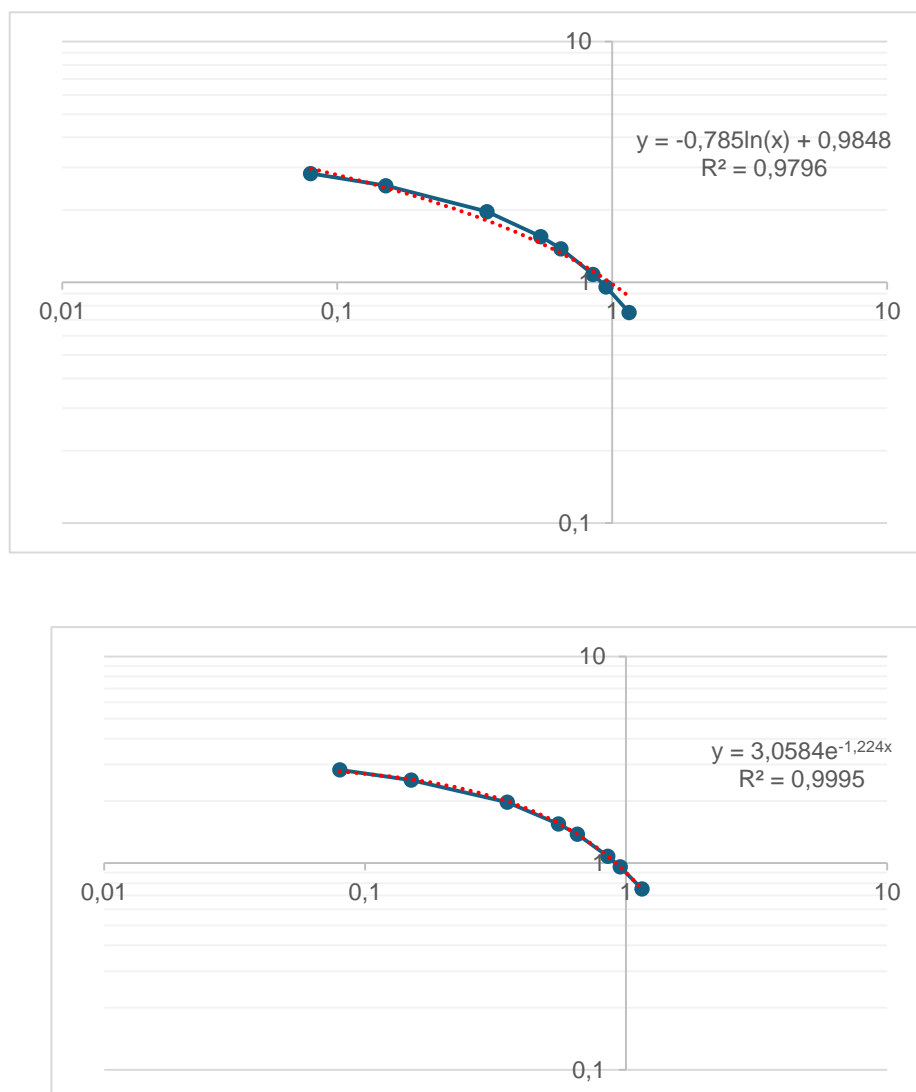


Figura 16.4. Gráfica de los datos del problema 16.2

16.2.2. Gráficas de barras

Las gráficas de barras se utilizan para representar información numérica cuando el objetivo es comparar grupos de datos o variables. Las barras pueden ser horizontales o verticales (ver Figura 16.5). Es mucho más fácil construir los gráficos de barras usando una hoja de cálculo electrónica; sin embargo, la construcción de las gráficas de barras es relativamente simple, aún sin la ayuda de las hojas de cálculo. En primer lugar seleccionar las escalas de los ejes horizontal y vertical de tal modo que se ajusten a los datos dados; luego construir cada barra vertical de tal modo que el espacio entre barras sea menor que el ancho de la barra.

16.2.3. Gráficas tipo pastel

Los gráficos tipo pastel se utilizan para comparar la relación de partes o porcentajes de un todo. En la Figura 16.5 se muestra una gráfica típica tipo pastel. Este tipo de representación se presta cuando no hay muchas partes por comparar. Su construcción involucra la división de un círculo en sectores.

Cada sector se obtiene multiplicando la fracción o porcentaje del todo por 360°. Por ejemplo, si la parte es el 10 % del todo, entonces debe ser representada por un sector con un ángulo incluido de 36°. Es importante marcar el porcentaje o fracción de cada parte sobre el pastel, así como las variables que representadas por la gráfica.

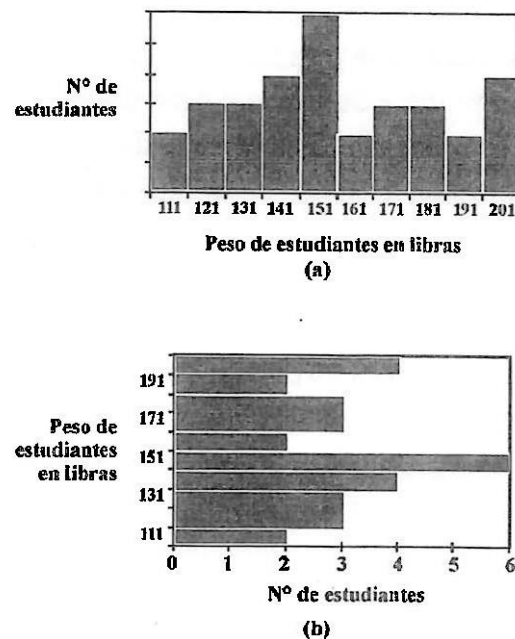


Figura 16.5. Gráficos típicos de barras: a) vertical; b) horizontal

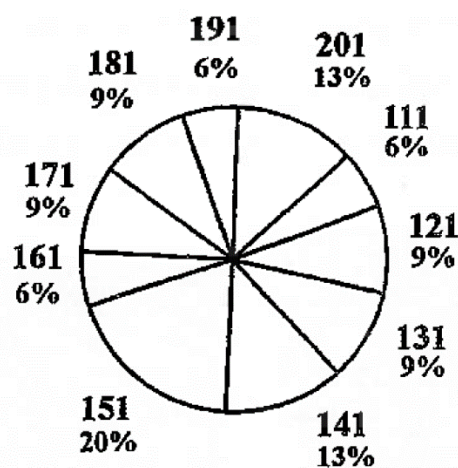


Figura 16.6. Ilustración de una gráfica típica tipo pastel

16.3. Bosquejo Técnico

El bosquejo o diagramación técnica es el proceso de comunicación de un concepto de diseño, idea o característica principal de un producto de una manera rápida y efectiva. En su mayoría comprende dibujos a mano alzada de los componentes. Los avances logrados en sistemas CAD (Computer Aid Design = diseño asistido por computadora) han hecho posible elaborar los bosquejos con programas de computadora.

Diagramación es una importante habilidad que todo ingeniero debe desarrollar debido a que la fase de diseño conceptual requiere que se presenten varias alternativas en formas que sean fácilmente entendidas. Esta habilidad se puede adquirir mediante una práctica constante y paciencia. Para ser experto en bosquejos se requiere de tiempo; sin embargo, si el estudiante desea convertirse en un diseñador efectivo que pueda rápidamente conducir a la práctica las ideas del diseño, está obligado a adquirir esta habilidad.

Cuando el bosquejo se efectúa a mano alzada, las únicas herramientas que se necesitan son lápices de carboncillo suave, preferiblemente del tipo H o 2H, un borrador y un papel. El papel debe ser preferiblemente reticular de tamaño carta. Los papeles reticulares más comunes son el cuadriculado y el isométrico (ver Figura 16.7), los cuales hacen un poco más fácil la diagramación. Debido a que las líneas rectas y curvas son difíciles de trazar sin la ayuda de una retícula, se aconseja elaborar los diagramas o bosquejos en papeles reticulados. Las líneas pueden dibujarse más rectas si se apoya el brazo sobre un soporte firme. Si la línea resultara muy larga se puede considerar el cambio de dirección del papel tan frecuente como sea necesario y utilizando una serie de líneas cortas conectadas. Esto implica que el papel no debe fijarse a ninguna mesa de dibujo o superficie. Durante el proceso de diagramación el lápiz debe sujetarse tan firme como posible, mientras que el brazo y el resto del cuerpo deben mantenerse relajados. Adicionalmente debe mantenerse un ángulo cómodo para la diagramación.

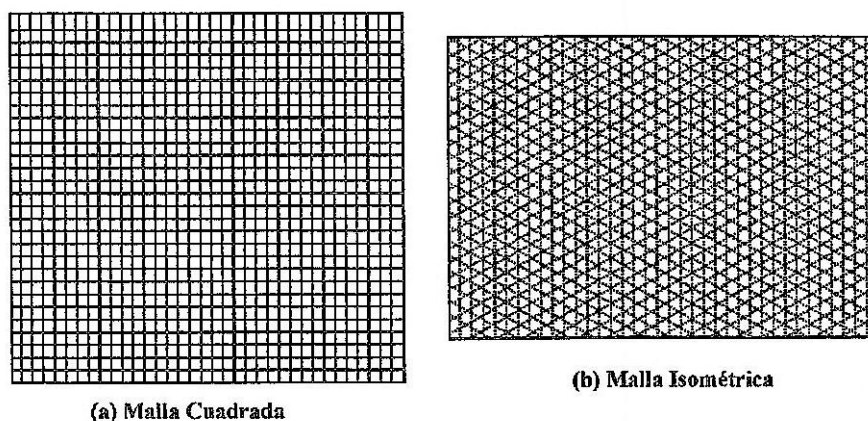


Figura 16.7. Papeles para bosquejos a mano alzada: a) cuadriculado; b) retícula isométrica

16.3.1. Bosquejo de arcos y círculos

Los bosquejos de muchos productos se pueden elaborar mediante líneas, arcos y círculos. Debido a que estos dos últimos son difíciles de trazar, se recomienda seguir los siguientes pasos, mostrados también en la Figura 16.8:

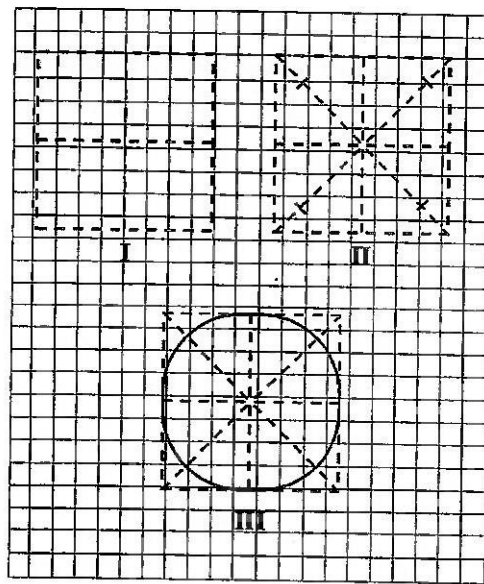


Figura 16.8. Ilustración de la diagramación de arcos y círculos

1. Dibujar suavemente un cuadrado de lado igual al diámetro del círculo o del arco que se desea diagramar. Obsérvese que en este caso es muy útil utilizar el papel reticular. Marcar los puntos medios de los lados del cuadrado. Utilizando dichos puntos medios trazar líneas verticales y horizontales. El punto de intersección viene a ser el centro del círculo.
2. Unir las diagonales del cuadrado utilizando líneas tenues. Empezando por el centro, marcar un segmento a lo largo de cada diagonal igual al radio del círculo. De este modo tendremos ocho puntos o marcas de la circunferencia: los cuatro extremos de los segmentos sobre las diagonales y los cuatro puntos medios de los lados del cuadrado.
3. Dibujar arcos cortos entre dos marcas sucesivas, rotando el papel a medida que se trazan los arcos. Continuar el proceso hasta concluir el círculo. Luego remarcar los arcos con una línea continua más gruesa y oscura hasta obtener el círculo o arco deseado.

16.3.2. Bosquejo isométrico

Cualquier tipo de comunicación pierde su significado cuando lo que se desea transmitir es difícil de interpretar o entender. En ingeniería uno de los mejores modos de comunicar una idea de diseño es mediante la representación pictórica o gráfica. Este tipo de representación puede ser en forma de proyección axonométrica, oblicua o perspectiva. La diagramación técnica de gráficas comúnmente involucra dibujo isométrico el cual es una forma de presentación pictórica axonométrica. En consecuencia, aquí sólo vamos a discutir la diagramación isométrica.

La diagramación isométrica resulta mejor si se utiliza papel isométrico. Sin embargo, debido a que ese tipo de papel no siempre se encuentra disponible, aquí se presentan principios más generales. El bosquejo requiere del uso de ejes isométricos, los cuales consisten de una línea vertical y dos líneas a 30 grados de la horizontal a ambos lados de la línea vertical (ver Figura 13.9). Utilizando esos ejes se bosqueja una caja de construcción asegurándose de que cada lado de la caja sea paralelo a los nuevos ejes definidos. Luego se puede bosquejar un objeto. Es importante darse cuenta que cualquier dimensión sobre los ejes isométricos son verdaderas mediciones. Cualquier dimensión que no esté sobre esos ejes

no se considera como una dimensión verdadera. Se pueden añadir detalles utilizando la caja de construcción para representar el objeto que se desea diagramar. Hay que hacer notar que un agujero se diagrama como una elipse. Una elipse puede bosquejarse siguiendo el mismo procedimiento utilizado en el bosquejo de un círculo, con la única diferencia de que los ejes utilizados son paralelos a los ejes isométricos.

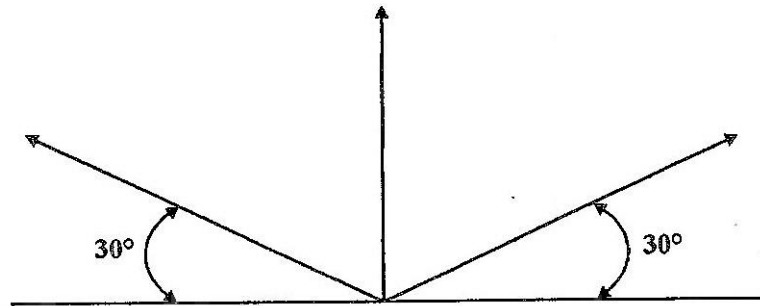


Figura 16.9. Ilustración de los ejes para el bosquejo isométrico

16.4. Dibujos de Trabajo Y Ensamble

La comunicación final de un diseño se efectúa a través de los denominados dibujos de trabajo o de producción. Por otro lado, la forma de cómo se ubican los componentes para constituir el producto final se muestra mediante el dibujo de ensamble.

Los dibujos de trabajo conocidos también como dibujos de detalle, contienen la información relevante necesaria para fabricar el componente. Dicha información incluye formas, dimensiones y tolerancias, materiales, tipos de acabado y especificaciones. En la Figura 16.10 se muestra un típico dibujo de trabajo.

Los dibujos de ensamble no necesitan la información detallada dada en los dibujos detallados debido a que ellos sirven sólo como una guía sobre la forma de cómo se unen las partes. El aspecto más importante en el dibujo de ensamble es comunicar claramente cómo las partes se ensamblan. El dibujo de ensamble puede ser ortográfico o pictórico. No cabe duda de que es preferible un dibujo de ensamble pictórico a un ortográfico. Cuando se usa el dibujo pictórico, frecuentemente se usan las líneas centrales para mostrar como se unen las partes. Debido a que el dibujo de ensamble contiene todas las partes de un producto, a cada una de ellas se le asigna un número o una letra con la descripción de las partes y el número de cada parte requerida en el ensamblaje. (ver Figura 16.11).

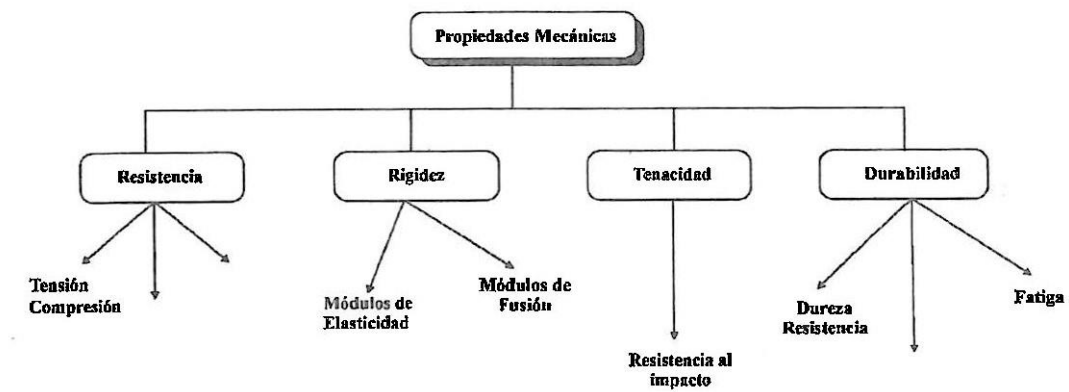


Figura 16.10. Ejemplo de un dibujo detallado

Número de ítem	Descripción	Número de parte	
1	Montaje de la tapa superior		
2	Montaje de abrazaderas		
3	Submontaje de anillo de flujo		
4	Limpiador de aceite		
5	Tuerca		
6	Perno		
7	Limpiador nylatron		
8	Pin		
9	Tapa inferior		
10	Armadura		
	Lista de partes	3-3-04	Tecnología Valencia
	Dibujante: xxx	3-4-04	Título: Ensamblaje Motor eléctrico
	Supervisión: yyy	1-3-04	Tamaño:
	Diseño: zzz		Escala
Tratamiento:	Número Contrato:		Código: ttt
Material:	Cliente:		Fecha de salida:
			Hoja No.

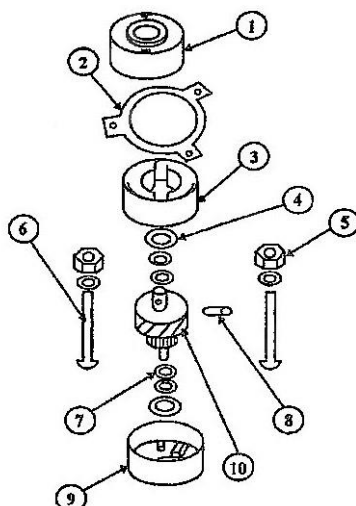


Figura 16.11. Ilustración de un dibujo de ensamblaje

16.5. Modelación Geométrica

La modelación geométrica se ocupa mayormente de la descripción de un objeto continuo tridimensional en una computadora digital finita y discreta. La representación de objetos tridimensionales se puede hacer usando modelos de marcos de cuerda o modelos sólidos. La representación tridimensional computarizada de objetos tiene ventajas; facilita al diseñador la simulación del proceso de manufactura; por ejemplo, un agujero a través de un sólido puede ser modelado como la remoción de un cilindro, donde el radio del cilindro debería ser igual al radio del cuchillo circular que se va a utilizar en la manufactura. Otra ventaja de la modelación geométrica está en la facilidad de cálculo de algunas propiedades que el ingeniero necesita en el diseño, como volumen.

En los sistemas CAD los sólidos tridimensionales se modelan representándolos como una colección de formas primitivas, tal como bloques, cilindros, esferas y conos. El modelo deseado se logra por adición o sustracción de diferentes sólidos. Este método de construcción de sólidos se denomina geometría constructiva de sólidos. (GCS) (ver Figura 13.12). Otro método de modelación de sólidos viene a ser la representación del sólido como si consistiera de una superficies; se conoce con el nombre de representación de fronteras (F-Rep) (ver Figura 16.13).

Muchos paquetes de software sobre CAD, como AUTOCAD Y CADKEY poseen comandos que permiten construir sólidos y superficies. Por eso es importante aprender el modo de uso de esas herramientas, ya que ellas son esenciales en las prácticas actuales de ingeniería y diseño. En referencia a la industria que no utiliza papeles, los sistemas CAD constituyen una gran ayuda: Se pueden crear objetos, varios tipos de dibujos, preparar información sobre manufactura, e incluso enviar la información a la unidad de ensamblaje sin necesidad de imprimir los documentos. El punto es que es sumamente importante que el estudiante de ingeniería domine el área de la modelación geométrica para utilizarla ventajosamente en su práctica profesional.

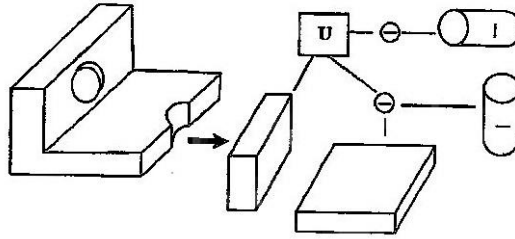


Figura 16.12. Representación de un objeto mediante el método de la geometría constructiva de sólidos (GCS)

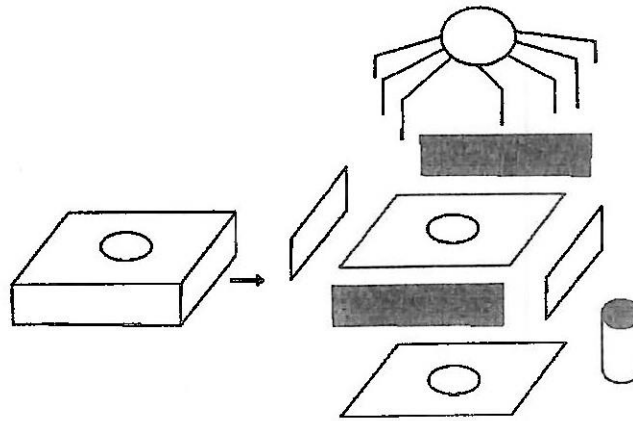


Figura 16.13. Representación de un objeto mediante el método representación de fronteras (F-Rep).

17. MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA

17.1. Introducción

Para lograr productos de alta calidad y de bajo costo el diseñador o ingeniero moderno tiene que preocuparse no sólo de la funcionalidad del producto, sino de la manufactura del mismo. Esto significa que el ingeniero debe también poseer conocimiento sobre los materiales que se van a utilizar en el diseño. Adicionalmente debe tener un conocimiento básico de la manufactura del producto. Estos requerimientos demandan un conocimiento básico en ciencia de los materiales y procesos de manufactura. Estos conocimientos básicos permitirán al ingeniero darse cuenta que existe una interrelación estrecha entre la forma, el material y los métodos de manufactura, para cualquier producto deseado. Además, hay que entender que sin esos conocimientos básicos el ingeniero estaría limitado enormemente en la selección de los materiales a utilizar en el diseño que recomienda. El objetivo de este capítulo es introducir al estudiante de ingeniería en la importante rama de los procesos de manufactura en la fase de diseño de un producto. Hay muchos textos sobre esta área y seguramente el estudiante pronto tomará cursos en los cuales profundizará sus conocimientos sobre este tema. Por eso, aquí sólo deseamos proveer de conceptos básicos y terminología que le permitan al estudiante de ingeniería familiarizarse con la temática y ayudarlo a convertirse en un buen ingeniero para la industria de los tiempos modernos.

17.2. Ciencia de los Materiales

Es muy importante entender el comportamiento de los materiales que se van a usar en el diseño. La ciencia de los materiales se ocupa del estudio de las relaciones que existen entre las estructuras internas y las propiedades de los materiales. El término “estructura” se refiere al arreglo interno de átomos y moléculas con respecto a cada otros átomos y moléculas.

Para poder especificar el tipo de material en un diseño de producto determinado, se debe decidir sobre las propiedades requeridas del componente. Esto se debe a que la selección del material se basa en características, tales como propiedades químicas, físicas y mecánicas.

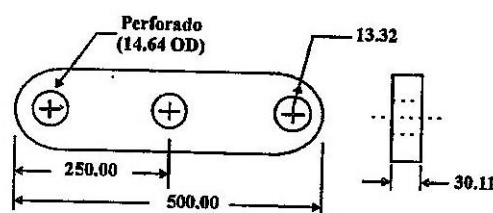
17.2.1. Propiedades de los materiales y selección

La propiedad química de un material es la característica que se relaciona con la estructura del material. Esta propiedad incluye aspectos como composición química del material o resistencia a la corrosión (habilidad del material para resistir el deterioro debido a reacción química). Para la selección del material para el diseño, el ingeniero debe hacer todo el esfuerzo necesario para determinar de qué está compuesto el material; de otro modo puede suceder que se seleccione el material equivocado o el más costoso, cuando sería suficiente uno más barato. Uno de los aspectos que el ingeniero de diseño debe considerar es la resistencia a la corrosión cuando el material va a estar sometido a ambientes hostiles; por ejemplo, productos para perforaciones en alta mar que van a estar en contacto con agua salada tienen que ser diseñados con materiales resistentes a la corrosión.

Las propiedades físicas son las características que describen la relación entre los materiales y varias formas de energía, así como con otras formas de materia. Las propiedades físicas incluyen: densidad, punto de fusión, expansión térmica (tasa de cambio de dimensión del material con el cambio de temperatura), y conductividad térmica (tasa de flujo de calor a través de un material por unidad de área por unidad de tiempo como resultado del cambio de temperatura). En la selección de un material

que va a trabajar en condiciones de temperaturas extremas, el diseñador debe prestar especial atención a la conductividad térmica y a la expansión térmica. Otra situación en la que es muy importante considerar la expansión térmica es aquella en la que varios materiales disímiles forman una parte que se va a someter a calentamiento. Cuando el peso del producto es el principal problema, entonces hay que prestar atención a la densidad del material a ser seleccionado.

Las propiedades mecánicas son aquellas características que describen el comportamiento de los materiales cuando están sometidos a la acción de fuerzas (ver Figura 17.1). Estas propiedades normalmente se relacionan con el comportamiento elástico o inelástico del material. Se dice que un material es elástico cuando se deforma si se somete a la acción de una carga, pero que retorna a su condición original cuando la carga deja de actuar. Entre las propiedades mecánicas tenemos: resistencia al esfuerzo, dureza y módulo de elasticidad. La resistencia al esfuerzo es la fuerza a la cual el material se desvía de la relación lineal entre el esfuerzo y la resistencia. La dureza es una medida de la resistencia del metal a deformarse en forma permanente (plástico). El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez del material. Otra propiedad mecánica que puede ser de interés para el ingeniero es la tenacidad o rigidez (medida de la cantidad de energía que el material puede absorber antes de fracturarse). Es muy importante que el ingeniero conozca estas propiedades, ya que ellas se relacionan con el diseño del producto. La resistencia al esfuerzo también debe investigarse cuidadosamente cuando hay preocupación por la habilidad de transportar carga bajo condiciones estáticas. La dureza afecta la maquinabilidad del metal, es decir a la facilidad de trabajar sobre el material utilizando máquinas. Estas características deben ser tomadas en consideración en la selección de materiales a ser especificados en un diseño específico.



Todas las dimensiones en milímetros	Dibujo: Pérez	3-3-95	Tecnología EGP		
	Check: King	3-6-95	Valencia 2001, Venezuela		
	Diseño: Ray	2-9-95	Título:		
			CONEXIÓN		
Material 1020 CRS	Customer		Tam. A	FSCM No. H-003D450	DWG. No. H-003D450
Tratamiento	Contract NO		SCALE N/S	RELEASE DATE 3-10-95	SHEET No. 1 OF 1

Figura 17.1. Propiedades mecánicas típicas consideradas en el diseño de elementos estructurales.

No está demás enfatizar que los productos se elaboran con materiales. Si bien, el diseñador no tiene que ser un científico de materiales o metalúrgico, por lo menos debe poseer los conocimientos básicos sobre los materiales con la finalidad de que pueda tomar las decisiones más acertadas o por lo menos ser capaz de hacer las preguntas correctas a los especialistas para lograr la información adecuada. Debido a que existe más de una característica de los materiales, es recomendable concentrarse sólo en aquellas que son esenciales para el funcionamiento del componente o producto a ser diseñado.

Hay por lo menos dos factores adicionales que deben ser considerados en el proceso de selección de los materiales: 1) Disponibilidad del material, pues no tiene sentido elegir un material que no se puede obtener fácilmente o que el tiempo de su adquisición ocasione demoras en el desarrollo del producto; el diseñador debe utilizar su buen juicio para seleccionar materiales alternativos. 2) El segundo factor se refiere al costo, no sólo el referido al diseño en sí o la manufactura, sino al costo del material; debe utilizarse el material más barato, cada vez que sea posible.

En resumen, la selección del material es un proceso complejo que requiere la comprensión no sólo de las propiedades del material, sino también de los procesos de manufactura para la fabricación del producto deseado. Afortunadamente, a medida que el estudiante de ingeniería avanza en sus estudios tendrá contacto con varias asignaturas relacionadas con las características de los materiales y su relación con la naturaleza de las cargas a las que van a estar sometidos. Para seleccionar el material es necesario entender claramente la función requerida del producto en relación con las cargas. Una vez entendido este aspecto, se procede a listar las propiedades mecánicas, físicas o químicas de los materiales que se espera satisfagan al producto; y sobre la base del listado se selecciona tentativamente el material a ser utilizado en el diseño. Utilizamos el término “tentativo” debido a que la selección final del material también es afectada por el proceso de manufactura del producto. Por ejemplo, un diseñador que ha seleccionado un material duro podría encontrarse con que ese material es difícil de trabajar, por lo que está obligado a seleccionar un material más suave o blando.

17.3. Procesos de Manufactura

La selección del material y del proceso de manufactura van de la mano. El proceso de manufactura se refiere a la conversión del material crudo o bruto en un producto final o acabado utilizando herramientas y maquinaria. Hay muchos procesos que se usan para obtener la forma deseada de cualquier producto o componente manufacturado (ver Figura 17.2). Estos procesos pueden incluir cambios de forma del material bruto almacenado sin siquiera tomar o agregar material; pueden incluir también remoción de parte del material almacenado para lograr la forma deseada, o la unión de dos partes para obtener la forma deseada. Estos procesos pueden ser aproximadamente clasificados como los procesos únicos que se describen a continuación:

Herrería (mecánica o machining)

La herrería incluye remoción del material utilizando procesos como corte, taladrado, perforado, triturado, etc. Esta técnica podría preferirse a otros métodos de producción de un componente cuando se requiere gran precisión dimensional; ya que algunas características de superficie o acabados se logran mejor con este procedimiento. La técnica tiene algunas desventajas, tal como el tiempo que toma para obtener la forma deseada.

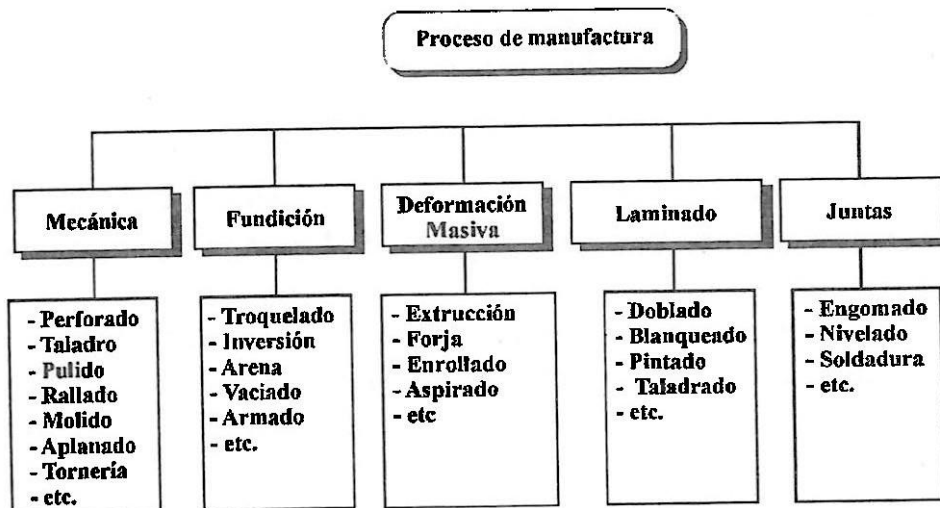


Figura 17.2 Ilustración de procesos típicos de manufactura

Fundición y vaciado

La fundición es uno de los procesos más antiguos para dar forma a productos. El vaciado de metales incluye la fusión del metal y el relleno de moldes de la misma forma que el producto deseado. Los bloques de máquinas se producen mediante esta técnica. Adicionalmente, este método es económico. Es el proceso preferido cuando se requieren formas complejas con secciones agujereadas, lo mismo que cuando se desea producir componentes grandes.

Moldeado

El moldeado es un proceso que se usa para cambiar la forma de los objetos; incluye la aplicación de fuerzas compresivas. El moldeado no involucra remoción del material y permite alta productividad y evita pérdida de material. Los procesos de formar y dar forma incluyen operaciones como laminado (cambio de sección transversal por la aplicación de fuerzas compresivas mediante rodillos) y fragua (construcción de formas por aplicación de fuerzas compresivas mediante el uso de dados y otras herramientas).

Uniones o juntas

Unión es un método de ensamble que involucra la colocación conjunta de dos partes ya sea por aplicación de calor, presión, o ambos o mediante el uso de sujetadores mecánicos. El método más común es la soldadura y el ribeteado. La soldadura se refiere a la unión de dos o más partes metálicas por la aplicación de calor o presión o ambos. Ribeteado se refiere a insertar un pin metálico a través de perforaciones de dos o más láminas metálicas y luego formar la cabeza del pin para fijar las piezas.

Las juntas deben considerarse durante el proceso de diseño, especialmente cuando no es posible fabricar un componente como una sola pieza, o cuando es más fácil y económico fabricar el producto como componentes singulares los cuales luego se ensamblan. Otra situación en la que se debería considerar las uniones es el caso de grandes estructuras que se fabrican en una planta industrial y que se utilizan en una ubicación distinta donde van a formar parte de estructuras aún más complejas (problemas de transporte). Este es el caso de la industria de la construcción de edificios.

Proceso de selección

El proceso de selección se guía por varios factores: Tamaño de las partes, capacidad de forma, y volumen de producción. Por ejemplo, si el material especificado es acero y el tamaño de la parte es menor que 800 mm y la forma es de moderada complejidad sin cortes internos y el volumen de producción es menor que 10.000 unidades, debería seleccionarse el proceso de forja. Para lograr la mejor selección posible del proceso para un determinado producto, es igualmente importante tomar en cuenta la calidad del producto final, así como la efectividad del costo del proceso escogido.

Referencias

DeGarmo, e. P., J. T. Black, and R. A. Kosher (1988): “Materials and Process of Manufacturing”. 7th Ed., Macmillan Publishing Company, New York.

Kalpakjian, S. (1995): “Manufacturing Engineering and Technology”. Third Edition,, Addison-Wesley Publishing Company, New York

Smith, W. F. (1996): “ Principles of Material Science and Engineering”, MCGraw-Hill Inc, New York.

18. DISEÑO Y MONTAJE

18.1. Introducción

El montaje es una actividad importante del proceso de manufactura es la unión de las varias partes que constituyen el producto final. Este proceso puede ser costoso y demandar tiempo, ya sea que se efectúe en forma manual o automática. Entre los problemas del montaje figura la excedencia en los límites especificados de tolerancia, lo cual ocasiona dificultades para unir las piezas durante el proceso de ensamblaje. El procesamiento deficiente de las partes también puede causar dificultades en el montaje. Para evitar esos problemas durante el montaje, el ingeniero debe tomar en cuenta durante la fase de diseño del desarrollo del producto la forma de unir las partes. No sólo debe considerar la satisfacción de funcionalidad de las partes sino también los aspectos relacionados con el material de los componentes y los métodos de ensamblaje.

En este capítulo se va a introducir al estudiante de ingeniería en algunos procesos de montaje y las reglas que debe dominar con la finalidad de estar consciente del montaje durante la fase de diseño.

18.2. Procesos de Montaje

La función principal del montaje es la unión de los componentes para lograr el producto acabado, lo que normalmente se logra por medio de forma o morfología, fuerza y material. La morfología involucra cambio de las características externas del componente, lo que puede incluir laminado o simplemente operaciones de doblaje. La unión por medio de fuerza involucra el forzamiento de una parte dentro de otra de dimensiones ligeramente menores; puede ser también mediante tornillos o ribetes. Las uniones por medio de materiales incluyen operaciones de soldadura y pegado (encolado). Las uniones o juntas pueden ser vistas estrictamente como un proceso de montaje; sin embargo, pueden tratarse como procesos de manufactura, como lo hemos indicado en el capítulo anterior. El hecho de que las uniones no sean un simple proceso de ensamblaje justifica la idea de que un proceso de montaje es un subconjunto de los procesos de manufactura.

La soldadura se utiliza cuando se desea unir dos partes en forma permanente; por lo tanto, esta práctica no es adecuada cuando posteriormente se requiere separar las piezas para mantenimiento. Siendo la soldadura es un procedimiento aceptable de montaje, se debe considerar la ubicación y accesibilidad de las dos partes a ser soldadas. Adicionalmente hay que tomar en cuenta el costo y la apariencia de la unión. Si la estética juega un rol importante en el producto final, las partes deben diseñarse de tal modo de evitar en lo posible la soldadura.

El ribeteado también es una técnica de unión permanente. Tiene la ventaja de que se puede usar para unir piezas hechas de materiales distintos. Sin embargo, el diseñador no debe ubicar los ribetes muy cerca de los bordes de las partes que van a ser ribeteadas para evitar desgarramiento de los componentes cuando se someten a esfuerzos externos.

Los métodos de montaje que involucran el uso de fuerza incluyen ajustes por reducción y presión. El ajuste por reducción se basa en el hecho de que dos partes que se van a unir poseen diferentes coeficientes de expansión y compresión térmica. El ajuste por presión consiste en forzar un componente de mayor dimensión a penetrar en otro de menor dimensión.

Sin importar el medio por el cual los componentes se unen, el proceso de montaje involucra tres operaciones principales: manejo o manipulación, composición o ensamble y comprobación o

chequeo. El manejo implica que el diseñador debe considerar aspectos como el transporte de las partes de un lugar a otro, ya sea manualmente o por medio de sistemas mecánicos; igualmente debe considerar el posicionamiento o alineación de los componentes antes del ensamblaje. La composición o montaje propiamente dicho se refiere a la acción de encaje permanente entre de las partes. La comprobación o chequeo es el proceso mediante el cual el ensamblador se asegura de que los componentes estén correctamente posicionados o ensamblados en la secuencia correcta. Probablemente el manejo sea el aspecto de mayor preocupación para el diseñador, sin importar la forma de cómo las partes van a ser ensambladas: manualmente o por medio de procesos automatizados. Esto no significa que el diseñador debe descuidar el proceso de composición, sino que le dará mayor énfasis al manejo. Partes pobremente diseñadas pueden ocasionar otros problemas de manejo tal como atascamiento de los sistemas mecánicos de transporte.

18.3. Sistemas de Montaje

Los costos de montaje de cualquier producto guardan una relación con los métodos de ensamblaje. Por ello, el ingeniero de diseño tiene que tomar en cuenta los sistemas de montaje durante la fase de diseño. Un sistema de montaje consiste en un operador o ensamblador y herramientas de montaje. Las herramientas de montaje pueden ser simples instrumentos manuales como una llave, o pueden ser tan complejas como un sistema de robots.

En términos generales, los sistemas de montaje se dividen en tres categorías: manuales, semiautomáticos y automáticos. El montaje manual se lleva a cabo utilizando equipo simple consistente de herramientas de mano fijadores y mesas. Los sistemas de montaje semiautomáticos son aquellos en los cuales una parte del montaje se efectúa manualmente y otra mediante maquinaria programada. Un sistema automático realiza el montaje siguiendo las instrucciones de programas de computadora; es capaz de llevar a cabo las tareas de montaje utilizando información de entrada suministrada por un computador.

De acuerdo con lo expuesto, es claro que un sistema de montaje requiere de equipo de ensamblaje, equipo de transporte y medios de almacenamiento. El equipo de montaje incluye el área de trabajo manual con ajustes, herramientas de mano, instrumentos de medida y cajas para partes y componentes. En el caso de sistemas de montaje semiautomáticos y automáticos también se requieren máquinas de ensamblaje. El equipamiento para transporte incluye sistemas mecánicos y otros medios de transporte para llevar las partes desde la estación de tallado hasta la estación de ensamblaje.

El conocimiento del sistema de montaje es esencial, debido por lo menos a las dos razones siguientes: 1) ayuda al ingeniero en la fase de diseño a efectuar la selección correcta de los métodos de montaje a ser utilizados para la elaboración del producto; 2) facilita al ingeniero de diseño a diferenciar o darse cuenta de que ciertas operaciones de montaje muy fáciles para un sistema manual, podrían ser imposibles para un sistema automático. Esto ayuda en las decisiones de diseño que se pueden arreglar a bajo costo en la fase de ensamblaje.

18.4. Principio de Diseño para Ensamblaje

El diseño para ensamblaje (DPE) es una metodología que se orienta a mejorar el diseño del producto para minimizar los costos de montaje haciendo que los componentes sean manejables con ambos procesos de montaje, manual y automático. Esta metodología es muy importante ya que su correcta aplicación ha conducido a una reducción del tiempo de montaje y consecuentemente a un incremento de la productividad de muchas empresas, como IBM y Xerox.

El diseño para ensamble (DPE) se rige por ciertos principios generales; siendo el de mayor importancia la reducción del número de partes en un sistema, siempre que sea posible. Otro principio importante consiste en diseñar productos y componentes que se adecuen a un montaje unidireccional. Miles (1989) indica 14 principios que gobiernan esta filosofía de diseño; sin embargo, esos principios no son específicos como para servir de ayuda al diseñador, sino de amplia base. Por ello, es necesario desarrollar algunas reglas de diseño para ayudar a ese propósito. En efecto, en un esfuerzo para proveer guías más precisas, se han desarrollado varias reglas que deben regir el diseño para montaje (Boothroyd and Dewhurst, 1983; Hoekstra, 1989). A continuación, se presentan dichas reglas, haciendo la salvedad que todas ellas son igualmente importantes.

Regla 1: Diseñar los componentes de tal modo que sean fáciles de asir o empuñar o agarrar. Las formas deseables incluyen superficies planas, agujeros, ranuras y orejas. En la Figura 18.1 se compara una parte inadecuada para el agarre (a) con otra que sí se adapta a ese propósito (b).

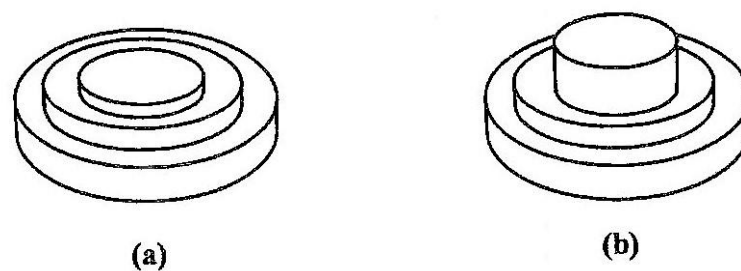


Figura 18.1 (a) Parte inadecuada para el agarre; (b) parte adaptable para el agarre

Regla 2: Evitar el uso de sujetadores o pasadores cuando sea posible. Si no fuera posible, entonces reducir el número y utilizar el mismo tipo de pasador en todo el ensamble. Es preferible utilizar sujetadores integrales en vez de sujetadores separados (ver Figura 18.2 y comparar caso a con b). Existen al menos tres razones para evitar el uso de pasadores o fijadores: 1) Su uso podría requerir su propio montaje, especialmente cuando se utilizan tornillos y tuercas. 2) La aplicación de torque a los pasadores tiene que hacerse con mucho cuidado para evitar fallas de las partes ensambladas como resultado de las fallas de los pasadores debido a una precarga insatisfactoria; todo esto innecesario si se evitan los pasadores. 3) El montaje con pasadores podría resultar difícil, sino imposible en el ensamble automático.

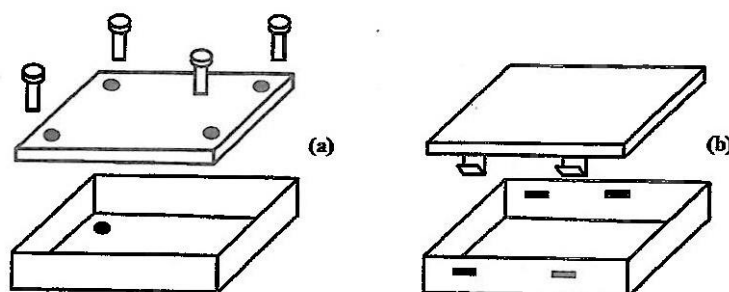


Figura 18.2. (a) Parte con tornillos; (b) Parte rediseñada con pasadores integrales

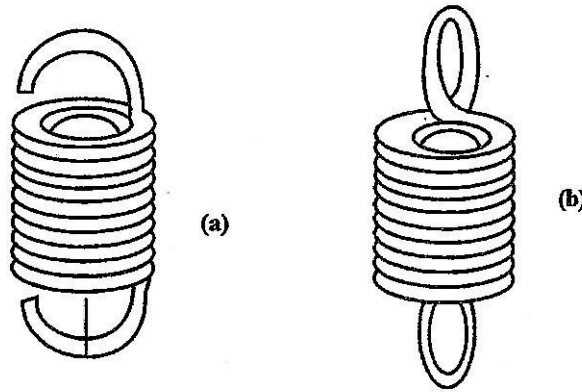


Figura 18.3 (a) Resorte con terminal abierto que puede provocar enredamiento; (b) Resorte con terminal cerrado, preferible para el ensamblaje.

Regla 3: Diseñar las partes evitando enmarañados o enredados de los componentes. Esto se previene usando partes con características que no pueden encajarse entre las otras. Si tienen que utilizarse resorte, se debe cuidar que los terminales sean cerrados, como se muestra en la Figura 18.3.

Regla 4: Diseñar las partes con puntos de ubicación o unión que hacen imposible a otras partes ser ensambladas incorrectamente, como se muestra en la Figura 18.4.

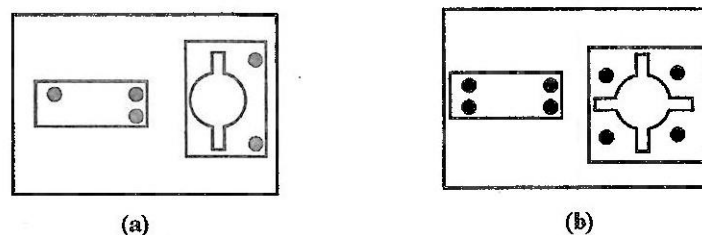


Figura 18.4. (a) Las partes podrían ser ensambladas erróneamente debido a una orientación incorrecta; (b) Las partes no pueden ensamblarse erróneamente debido a la simetría, no existe problema de orientación.

Regla 5: Las partes deben diseñarse para facilitar la inserción o encaje. Por eso, debe usarse tanto el biselado (chaflanado o acanalado) interno, como el externo, como se muestra en la Figura 18.5.

Regla 6: Diseñar las partes para un montaje unidireccional, especialmente si el modo de ensamble es por inserción (ver Figura 18.6). Una regla alterna sería diseñar el producto para apilado o amontonamiento; es decir, que los componentes descansan sobre la parte superior de otros durante el montaje del producto.

Regla 7: Evitar el uso de partes flexibles por que ellas podrían ocasionar enredamiento durante el transporte desde la estación de tallado hasta la estación de montaje (ver Figura 18.7).

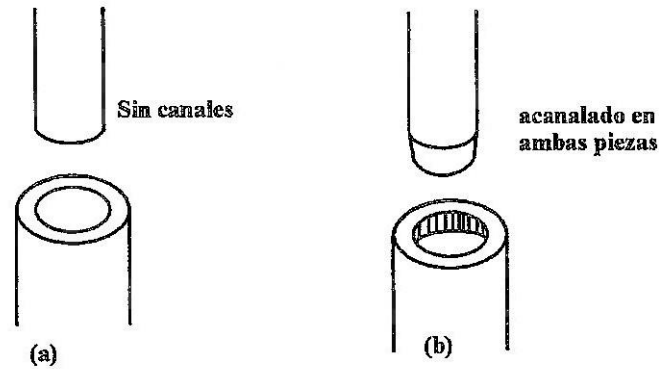


Figura 18.5 (a) Las partes pueden ser difíciles de montar debido a la falta de biselado o chaflanado; (b) El chaflanado facilita el ensamblaje.

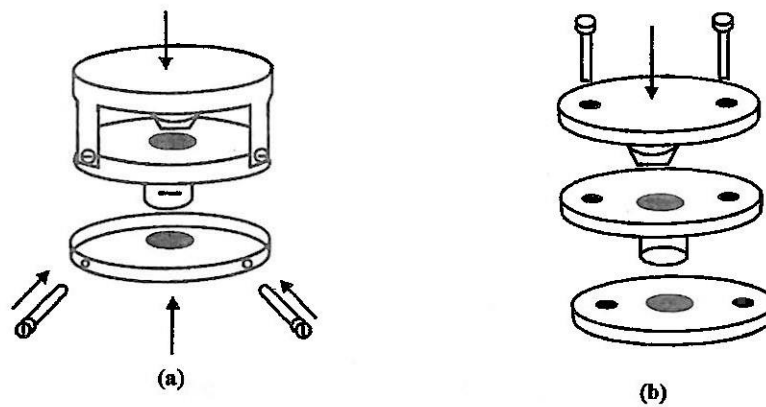


Figura 18.6. (a) El montaje incluye dos direcciones distintas; (b) El montaje incluye una sola dirección, por lo que es el preferido.

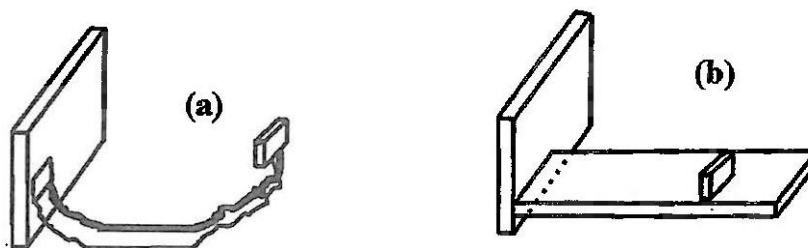


Figura 18.7. (a) La parte tiene un componente flexible que podría ocasionar enredamiento; (b) la parte no tiene componente flexible, por lo tanto, adecuada para ensamble.

18.5. Principios del Diseño Aplicado al Montaje

Es importante considerar las implicaciones de las reglas establecidas anteriormente en el sentido de que es deseable evitar el montaje en general para evitar así los costos relacionados. Esto

significa que los componentes deberían ser integrados. Para decidir sobre la integración de partes hay que responder a las tres interrogantes siguientes: 1) Si una parte posee un movimiento relativo con respecto a otra; 2) Si las dos partes a integrarse se pueden fabricar del mismo material; 3) Cómo la integración afecta a los costos de producción y montaje. Si las respuestas resultan favorables, entonces debería considerarse la integración. El análisis detallado sobre la aplicabilidad del Diseño para Ensamblaje (DPE) está fuera del alcance de esta obra; sin embargo, a continuación se presenta un resumen del procedimiento general:

Paso 1: Utilizar diagramas de bloques para describir las varias operaciones involucradas en el montaje del producto propuesto en la fase conceptual del diseño.

Paso 2: Realizar análisis funcional de cada componente para ver si su función es necesaria para el desempeño del producto. Componentes cuya función es simplemente fijación o locación deberían considerarse como objetivos para su eliminación o rediseño.

Paso 3: Llevar a cabo un análisis de ajuste. Examinar la facilidad con la cual cada parte puede manejarse en el transporte hasta la estación de montaje y durante el mismo montaje. Normalmente se le asigna un valor a cada componente sobre la base de este criterio. Luego, se realiza un análisis del proceso de inserción utilizando el diagrama del paso 1. El objetivo es identificar los procesos de ajuste que son muy costosos. Igualmente, se asigna un índice subjetivo a cada proceso de ajuste; aquellos con valores elevados, se consideran como candidatos para un rediseño.

Paso 4: Conducir un análisis de alimentación. El objetivo es determinar componentes que podrían causar dificultades durante el transporte a la estación final de ensamblaje; aquellos que se identifican positivamente son candidatos para el rediseño.

Al final del análisis el diseñador regresa a la fase conceptual para incorporar algunas de las modificaciones sugeridas por el análisis de DPE. Esto podría resultar ya sea en una eliminación de algunas partes innecesarias, o por lo menos en una simplificación del proceso de ensamblaje.

Ejemplo 18.1

Considere el sub-ensamblaje de la Figura 18.8 (a) consistente de tres componentes perno, arandela y espaciador. Se puede aplicar los principios del DPE para obtener el diseño de la parte (b) de la Figura. La pregunta es: pueden los tres componentes del mismo material?. La respuesta es sí. Por supuesto que existen análisis más rigurosos que deben llevarse a cabo; pero el ejemplo sólo pretende mostrar que aun en casos simples se pueden aplicar los principios del DPE para minimizar el número de partes de un sistema.

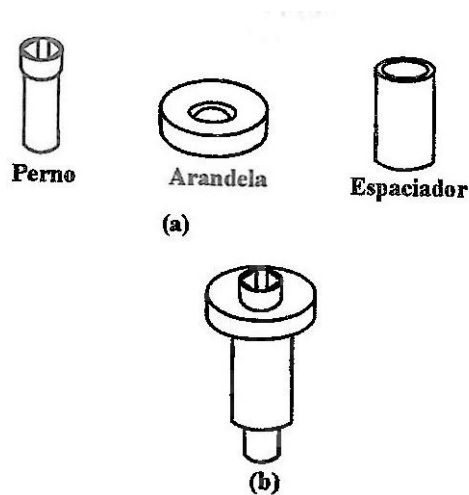


Figura 18.8 (a) Un sub-ensamble de tres partes: perno, arandela y separador; (b) Un ensamble de una pieza: pasador de cabeza fría

Referencias

- Andreasen, M. M.; s. Khaler; and T. Lund (1988): "Design for Assembly". Second Edition, IFS Publication, UK, Springer Verlag, New York.
- Boothroyd, G. and P. Dewhurst (1983): "Design for Assembly – A Designer's Handbook". Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts, Amherst.
- Boothroyd, G., C. Poli, and L. E. Murch (1997): "The Handbook of Feeding and Orienting Technics for Small Parts". Department of Mechanical Engineering, University of Massachusetts, Amherst.
- Budinski, K. ((1989): "Engineering Materials – Properties & Selection", Third Edition.
- Hoekstra (1989): "Design for Automatic Assemble
- El Wakil, S.D. (1989): "Processes and Design for Manufacturing". Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Hoekstra (1989): "Design for Automated Assembly: An Axiomatic and Analytical Method". SME Technical Paper, AD89-416, presented a the SME International Conference, Detroit, Michigan, May 1-4, 1989.
- Kalpakjian, S. ((1995): "Manufacturing Engineering and Technology". Third Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA.
- Onwudiko, C. and G. Bekey (1992): "Group Technology for DFA: An International Step for DFA Advisory Systems", Journal os Applied Manufacturing Systems, Vol. 5, No. 1, Fall 1992, pp. 59-67.

19. REDEFINIENDO LA INGENIERÍA DEL MAÑANA: TRANSFORMACIÓN DIGITAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Ingeniería, un campo que ha evolucionado a lo largo de la historia, se encuentra ahora inmersa en una nueva etapa: la Revolución 4.0.

En este escenario, la Transformación Digital e Inteligencia Artificial (AI) se entrelazan para dar forma a una Ingeniería completamente nueva en su enfoque y aplicación, desafiando convenciones y abriendo nuevas fronteras en la forma en que concebimos y practicamos esta disciplina.

Figura 19.1. Tecnología y Transformación Global



La Transformación Digital va más allá de adaptarse a nuevas tecnologías; implica una profunda metamorfosis en la esencia misma de la Ingeniería.

La digitalización de procesos, la conectividad ilimitada y la analítica de datos redefinen la interacción de los ingenieros con su entorno laboral y con la sociedad. Este cambio paradigmático requiere perspectivas frescas y la adopción de tecnologías emergentes para mantenerse relevantes en un panorama dinámico. Sin embargo, la Transformación Digital es solo una parte del rompecabezas.

19.1. Inteligencia Artificial: Potenciando la Innovación.

La Inteligencia Artificial (AI) actúa como el impulsor de la Ingeniería hacia territorios inexplorados. Desde los sistemas autónomos y la robótica hasta el aprendizaje automático y el procesamiento de lenguaje natural, la Inteligencia Artificial está potenciando no solo la automatización de tareas rutinarias, sino también la capacidad de análisis y toma de decisiones en tiempo real.

Este avance no solo mejora la eficiencia operativa, sino que se encuentra redefiniendo la forma en que los ingenieros enfrentan problemas complejos, además de fomentar la creatividad en el diseño y la innovación.

El impacto de estos cambios en la Ingeniería se manifiesta en diversas formas. Se observa una transición hacia un enfoque más interdisciplinario y colaborativo, donde la implementación de sensores inteligentes, la Internet de las Cosas (IoT) y la computación en la nube crean ecosistemas de Ingeniería conectados. Este fenómeno demanda que los ingenieros adquieran nuevas habilidades en áreas como la ciberseguridad, la gestión de datos masivos y la integración de sistemas complejos, entre otros.

Mirando hacia el futuro, se vislumbra un horizonte lleno de posibilidades. La realidad aumentada, la simulación avanzada y la fabricación aditiva, entre las principales, se perfilan como herramientas comunes en el kit del Ingeniero 4.0. La capacidad de adaptarse a entornos virtuales y comprender la ética en la Inteligencia Artificial (AI) se vuelven también competencias críticas.

19.2. Habilidades y Competencias del Ingeniero 4.0: Más Allá de lo Técnico

Ante este panorama, surge la pregunta:

¿Cuáles son las habilidades y competencias del nuevo Ingeniero 4.0?



Figura 19.2. El Ingeniero 4.0.

Más allá de las técnicas tradicionales, destacan habilidades blandas tales como: la resolución de problemas complejos, la comunicación efectiva y la agilidad mental.

Igualmente, la capacidad de aprendizaje continuo es esencial en un mundo donde la tecnología evoluciona a un ritmo vertiginoso.

¿Y cómo abordamos estos cambios en la educación en Ingeniería?

En primera instancia, la carrera profesional del ingeniero deberá plantearse en términos de constante transformación y las instituciones educativas deberán adaptarse a este nuevo paradigma. La relación de la Academia con la industria deberá fortalecerse y transformarse al actualizar continuamente los planes de estudio, así como la docencia deberá integrar tecnologías emergentes como parte de la enseñanza.

Es importante destacar que la Ingeniería del mañana no solo es tecnológica, sino también cultural y educativa. Abrazar el cambio y cultivar una actitud de adaptabilidad se convierten en los pilares fundamentales para el éxito en este nuevo escenario de la Ingeniería.

La Revolución 4.0 está en marcha, y aquellos que acepten el desafío se adaptarán con mayor facilidad a los cambios mayores que se encuentran en desarrollo y aquellos que se avecinan. En este proceso de cambio, la ingeniería se redefine continuamente, y con ello, sus profesionales deberán estar preparados para asumir las transformaciones que se requieran.

19.3. Innovación en la Ingeniería 4.0: El Futuro visualizado en Modelos Virtuales

Dentro de esta dinámica de la Transformación Digital, es crucial explorar no solo las actuales aplicaciones de la Ingeniería, sino también anticipar futuros desarrollos. Con relación a los futuros desarrollos, la creación y la utilización de modelos virtuales se convierten en un motor fundamental de la innovación en la Ingeniería 4.0, posicionándose como los principales elementos transformadores en la práctica ingenieril.

En el ámbito de la innovación, estos modelos virtuales también se destacan como generadores de creatividad y eficiencia, ya que pueden simular y representar virtualmente productos y procesos, permitiendo a los ingenieros probar ideas, identificar problemas potenciales y optimizar diseños antes de la implementación física. La personalización de componentes y la creación de estructuras complejas se vuelven accesibles, dando inicio a un nivel de innovación que redefine los límites de la ingeniería.

A lo anterior se suma la integración de tecnologías, tales como la realidad aumentada (RA), la simulación avanzada y la fabricación aditiva, las cuales permiten a los ingenieros explorar nuevas posibilidades en el diseño y la producción.

Cada vez es más frecuente observar ingenieros explorando maquetas o prototipos virtuales de una nueva infraestructura o de un producto, antes de que se coloque la primera piedra o se elaboren las piezas. La capacidad de estas herramientas, no solo mejora la eficiencia en el diseño, sino que también fomenta la creatividad al proporcionar un espacio virtual para la experimentación sin restricciones físicas.

En este sentido, los modelos virtuales también se combinan con la realidad aumentada (RA) para ofrecer experiencias que se sienten reales. La realidad aumentada (RA) como tecnología, superpone información digital en el mundo real y se perfila como una herramienta integral para la Ingeniería del mañana. Pronto será muy común el observar a los ingenieros utilizando cascos de realidad aumentada (RA) para visualizar planos y datos relevantes directamente sobre un proyecto en construcción. Esta integración de tecnologías transformará la manera en que se planifican, ejecutan y supervisan los proyectos, brindando una perspectiva inmersiva y mejorando la eficiencia.

Adicionalmente, estos modelos virtuales no solo se limitan a la realidad aumentada (RA); también se extienden hasta la simulación avanzada de procesos. Con la realidad aumentada (RA) se pueden probar ideas por anticipado al representar virtualmente diversos productos y escenarios antes de su implementación física. También se puede visualizar el rendimiento del sistema de producción en diversas condiciones, identificando sus problemas potenciales, optimizando su diseño, minimizando los riesgos y racionalizando los recursos. Desde pruebas de resistencia de materiales hasta simulaciones de impacto ambiental, la capacidad de prever y comprender los resultados antes de la ejecución física será sustancial en la Ingeniería 4.0.

No se puede dejar de mencionar la fabricación aditiva, comúnmente conocida como impresión 3D. Esta tecnología se respalda por modelos virtuales precisos e impulsa la creación de componentes y estructuras que de otra manera serían difíciles o imposibles de producir. No solo se transforma la forma en que se producen los prototipos, sino que también se redefinen los límites de lo que sería posible fabricar. La personalización de componentes y la creación de estructuras complejas se vuelven

accesibles, permitiendo la exploración de nuevas geometrías y materiales hasta un nivel de innovación que en las etapas anteriores de la Ingeniería serían impensables.

19.4. Desafíos Éticos y Responsabilidades en la Ingeniería 4.0: El Compromiso Ineludible.

Sin embargo, no todo es color de rosa. En términos de responsabilidad, estos avances tecnológicos también plantean desafíos éticos y sociales. La Inteligencia Artificial (AI) aplicada a la automatización de procesos, por ejemplo, nos plantea preguntas cruciales sobre quién es responsable en caso de decisiones erróneas o de accidentes.

Surgen las siguientes interrogantes:

¿Quién es responsable cuando un algoritmo toma decisiones críticas?

¿Cómo aseguramos la equidad y la transparencia en sistemas alimentados por la Inteligencia Artificial (AI)?



Figura 19.3. Inteligencia Artificial y Sistematización de Procesos

Estas consideraciones éticas no solo deben abordarse, sino que deben integrarse en la formación del Ingeniero 4.0.

En este sentido, se entiende que la Revolución 4.0 no solo está transformando la práctica de la ingeniería en términos de tecnologías emergentes, sino que también debe imponer una serie de consideraciones regulatorias y éticas que deben tomarse en cuenta.

Es por ello que la creación de marcos legales sólidos derivados de la implementación generalizada de tecnologías como la

Inteligencia Artificial (AI) y la Internet de las Cosas (IoT) se presentan como una necesidad obligatoria. Resulta de suma importancia el definir claramente las responsabilidades en todos los escenarios que implica el desarrollo seguro de la Ingeniería 4.0.

Si bien la práctica de la Ingeniería 4.0 dentro de este proceso de transformación digital constituye una fuerza impulsora de la creatividad, innovación y de la eficiencia, también se deben examinar las afectaciones y los cambios críticos que las regulaciones deben contemplar.

Principalmente, se deben considerar aspectos como: la gestión privada de datos personales, la seguridad cibernética, la propiedad intelectual, la transparencia y responsabilidad en la toma de decisiones automatizadas, la equidad en el acceso a la Ingeniería 4.0 y la sostenibilidad.

19.5. Regulaciones y Ética 4.0: El Marco Necesario para la Ingeniería del Futuro.

Dentro de este marco conceptual sobre la ética 4.0, es esencial profundizar en los principios fundamentales que deben guiar las regulaciones, considerando el análisis general de los puntos antes mencionados:

19.5.1. Privacidad y Respeto de los Datos:

En el contexto de recopilación masiva de datos para alimentar algoritmos y modelos, los ingenieros deben dar prioridad a la privacidad y al respeto de los datos virtuales como pilares éticos. Garantizar la protección de la información personal se vuelve imperativo. Las regulaciones deben abordar la necesidad de transparencia en la gestión de datos, así como la implementación de medidas efectivas para preservar la privacidad de los individuos en un mundo cada vez más conectado.

En el ámbito de la ingeniería, las regulaciones centradas en la privacidad y el respeto de datos se traducen en prácticas rigurosas para salvaguardar la información personal utilizada en proyectos y sistemas.

Por ejemplo, en el desarrollo de sistemas de Inteligencia Artificial (AI) para la salud, donde se manejan datos médicos sensibles, los ingenieros deben implementar protocolos de seguridad muy sólidos, como el cifrado de extremo a extremo y el acceso limitado para garantizar la confidencialidad de la información del paciente. Además, deben ser transparentes en cuanto a cómo se recopilan, almacenan y utilizan esos datos, asegurando el consentimiento informado de los usuarios.

19.5.2. Ciberseguridad como Prioridad:

La interconexión de sistemas y la recopilación masiva de datos hacen que la ciberseguridad sea una tarea fundamental. Las regulaciones deben establecer estándares y prácticas para la protección contra amenazas cibernéticas.

Los ingenieros deben implementar fuertes medidas para garantizar la integridad y seguridad de los sistemas, reconociendo la importancia de salvaguardar la información en un entorno digital en constante evolución.

Por ejemplo, en el diseño de infraestructuras interconectadas, como las redes inteligentes en la ingeniería eléctrica, la ciberseguridad se vuelve decisiva. Los ingenieros deben incorporar medidas de protección contra amenazas cibernéticas, como firewalls avanzados, sistemas de detección de intrusiones y actualizaciones de seguridad regulares.

Un caso concreto podría ser la implementación de sistemas de control de acceso en una red eléctrica inteligente para prevenir accesos no autorizados y posibles ataques que podrían tener consecuencias devastadoras en la distribución de energía.

19.5.3. Evolución de la Propiedad Intelectual:

La propiedad intelectual evoluciona en un entorno de innovación constante extendiéndose más allá de las patentes para redirigirse hacia los derechos de autor en software y algoritmos, además de la protección de datos.

Las regulaciones deben plantear cómo los ingenieros pueden proteger sus creaciones intelectuales, así como el respeto a los derechos de otros en un ambiente profesional donde la colaboración y el intercambio de datos son actividades rutinarias en el ámbito profesional. La comprensión de los límites éticos y legales en la innovación es esencial.

Otro ejemplo en el campo de la ingeniería de software, donde la innovación es constante, las regulaciones sobre propiedad intelectual pueden manifestarse sobre los derechos de autor en algoritmos y software. Ingenieros que desarrollan aplicaciones innovadoras deben conocer cómo proteger su código y al mismo tiempo, respetar las licencias de código abierto. Esto fomenta una cultura de colaboración responsable y el intercambio de conocimientos sin infringir los derechos de los creadores originales.

19.5.4. Transparencia y Responsabilidad Ética:

En la toma de decisiones automatizada, los ingenieros no solo deben considerar la eficiencia y la optimización, sino también la transparencia y la responsabilidad ética.

Las regulaciones deben orientar a los ingenieros a diseñar algoritmos comprensibles y explicables, permitiendo a los usuarios entender cómo se toman las decisiones. Esto fortalece la confianza en la tecnología y reduce el riesgo de desviaciones no intencionadas, asegurando que la eficiencia va de la mano con la ética.

La transparencia y la responsabilidad ética aplicadas a la ingeniería de sistemas autónomos, pueden traducirse en el diseño de algoritmos comprensibles. Por ejemplo, en el desarrollo de vehículos autónomos, los ingenieros deben garantizar que las decisiones tomadas por el sistema sean explicables. Un enfoque podría ser la implementación de algoritmos interpretativos que permitan a los usuarios entender por qué se toma una determinada decisión, contribuyendo a la confianza del público y evitando posibles rechazos no deseados.

19.5.5. Equidad en el Acceso a la Ingeniería 4.0:

La equidad en el acceso a la Ingeniería 4.0 debe ser una preocupación central. Las regulaciones deben asegurar que, a medida que las tecnologías avanzan, se aborde la brecha digital y se garantice que los beneficios se distribuyan equitativamente. Los ingenieros del futuro deben considerar el impacto de sus proyectos en diferentes comunidades y trabajar activamente para eliminar inconsistencias y sesgos en el desarrollo y aplicación de tecnologías, contribuyendo así a una sociedad más inclusiva.

En proyectos de infraestructura digital, como la implementación de redes de banda ancha, los ingenieros deben considerar la equidad en el acceso. Esto implica, por ejemplo, asegurar que las comunidades rurales no se queden rezagadas en términos de conectividad.

Las regulaciones podrían establecer estándares que exijan la expansión equitativa de la infraestructura digital, garantizando que todos los sectores de la sociedad tengan acceso a los beneficios de la Ingeniería 4.0.

19.5.6. Sostenibilidad Ambiental:

Las regulaciones deben considerar la sostenibilidad ambiental como un componente esencial de la Ingeniería 4.0. Incentivar prácticas ecoamigables y el diseño de soluciones que contribuyan a la mitigación del cambio climático se vuelve imperativo.

Los ingenieros del futuro deben ser conscientes de la responsabilidad de minimizar la huella ambiental de sus proyectos, integrando consideraciones ambientales desde las fases iniciales de diseño hasta la implementación y el mantenimiento a largo plazo. La Ingeniería no solo impulsa la innovación, sino que también tiene la responsabilidad de ser un agente activo en la preservación del medio ambiente.

En la Ingeniería Civil, las regulaciones pueden enfocarse en la sostenibilidad ambiental durante la planificación y construcción de proyectos. Por ejemplo, en la construcción de edificaciones, los ingenieros podrían adoptar prácticas ecoamigables, como el uso de materiales reciclados, la implementación de sistemas de energías renovables e integradas a la estructura, así como el diseño eficiente para minimizar el consumo excesivo de recursos. Esto contribuiría a la mitigación del cambio climático y a la creación de entornos sostenibles desde una perspectiva de la Ingeniería 4.0.

El análisis de los aspectos arriba mencionados dentro del contexto ético, permite determinar que la formación y las capacidades del Ingeniero 4.0 deben trascender lo puramente técnico e incluir una comprensión profunda de las implicaciones éticas, sociales y regulatorias inherentes a las tecnologías emergentes con las que se trabajan.

Los ingenieros del futuro deben estar no solo actualizados, sino también preparados para navegar en un terreno regulatorio complejo que demanda una atención especial a cuestionamientos y a características particulares. Las regulaciones prioritarias abordarán aspectos como la seguridad en la arquitectura de sistemas, la gestión ética de datos y la responsabilidad ante posibles grietas de seguridad.

En este sentido, la colaboración entre entidades gubernamentales, la industria y expertos en ciberseguridad se convierte en un componente esencial para establecer estándares efectivos y garantizar la seguridad en el uso de datos y en la equidad en el acceso a las tecnologías emergentes.

19.6. Potenciando la Innovación: Diversidad y Entornos Virtuales

Igualmente, la evolución de los programas educativos es fundamental ya que no solo se deben abordar las habilidades técnicas, sino también se deben fomentar la reflexión ética y la toma de decisiones responsable. Más allá de máquinas y algoritmos, la formación de los Ingenieros 4.0 tratará de empoderar a los profesionales de la Ingeniería para enfrentar los desafíos globales, desde el cambio climático hasta la igualdad social, reconociendo que su labor impacta directamente en la sociedad.

En este camino de uso responsable de la tecnología, la colaboración estrecha con expertos en ética se torna esencial. Los ingenieros necesitan trabajar en conjunto con profesionales en ética para garantizar que sus desarrollos tecnológicos sean socialmente responsables y éticos desde la fase de concepción hasta la implementación. La ética aplicada se convierte en una parte intrínseca del proceso de diseño, contribuyendo a la creación de soluciones en las cuales se consideran las consecuencias éticas y sociales.

Asimismo, la interacción con expertos en políticas públicas adquiere relevancia como medio para comprender el impacto social de la Ingeniería y garantizar que la Ingeniería 4.0 esté alineada con el interés público y las regulaciones gubernamentales.

Los ingenieros deben considerar las implicaciones culturales y sociales de sus proyectos, adaptando sus soluciones a las necesidades y contextos específicos de las comunidades afectadas y

participando activamente en discusiones sobre la implementación de tecnologías de forma que contribuyan en la formulación de políticas que equilibren la innovación con la seguridad y la equidad.

Se espera que los ingenieros del futuro no solo estén familiarizados con estas regulaciones, sino que las integren en sus procesos de diseño, ejecución y desarrollo.

Entender que la Revolución 4.0 exige un cambio radical en la forma de practicar la ingeniería implica asumir una responsabilidad ética inherente a la labor del ingeniero moderno.

La diversidad en los equipos de ingeniería surgirá como un catalizador de la innovación. La inclusión de diferentes perspectivas y experiencias mejorarán la creatividad y la capacidad de los equipos para abordar desafíos complejos.

Los ingenieros del futuro, como promotores de entornos de trabajo inclusivos, valorarán la diversidad como un activo para la excelencia en la Ingeniería 4.0, contribuyendo así a la creación de soluciones óptimas y socialmente responsables.



Figura 19.4. Innovación y Entornos Virtuales

19.7. Innovación en la Formación: Adaptación al Nuevo Paradigma.

Luego de profundizar sobre el impacto y los aspectos éticos y regulatorios en la exploración de la Ingeniería 4.0, a continuación se indicarán algunas particularidades a considerar sobre la importancia de la educación, las habilidades necesarias y gestión del cambio para los ingenieros del futuro.

Como se mencionó anteriormente, la Transformación Digital y la Inteligencia Artificial (AI) están redefiniendo la práctica de la ingeniería, lo que conlleva a plantear preguntas sobre la formación y las competencias esenciales que requerirán los ingenieros en el futuro.

Es importante destacar que la evolución acelerada de las tecnologías va a exigir que los ingenieros estén dispuestos a aprender y adaptarse de manera constante a nuevas herramientas y enfoques.

En este panorama cambiante y dinámico de la Ingeniería 4.0, la educación continua se vuelve una piedra angular para el éxito profesional. Los ingenieros deben comprometerse con la formación constante, actualizándose en las últimas tecnologías y en las tendencias de la industria para mantenerse relevantes y competitivos.

Igualmente, la demanda creciente de habilidades STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) se vuelve más evidente para la formación de futuros ingenieros, por cuanto se destaca la necesidad de comprender y aplicar conceptos avanzados en estas áreas que permitan abordar la complejidad y los desafíos tecnológicos actuales y futuros. En consecuencia, la formación en STEM y las habilidades específicas del Ingeniero 4.0 demandan cambios inmediatos, instando a las instituciones educativas a evolucionar para reflejar estas demandas y abrazar la transformación digital que se requiere.

Es por ello que en el ámbito educativo, las instituciones deben ofrecer programas actualizados que incorporen las últimas tecnologías, promoviendo la colaboración interdisciplinaria y fomentando una mentalidad de aprendizaje continuo. La conexión con la industria, la modernización de sus planes de estudios y la participación activa en proyectos tecnológicos del mundo real se convierten en elementos esenciales de la formación ingenieril.

A este respecto, es imperativo que las instituciones repiensen sus enfoques pedagógicos y colaboren estrechamente con la industria para alinear los programas académicos con las demandas del mercado laboral. Los ingenieros del futuro necesitan experiencias prácticas, proyectos que aplican las tecnologías en el mundo real y oportunidades de aprendizaje a lo largo de toda su vida para prepararse eficazmente para los desafíos que enfrentarán.

La aptitud de aprender, desaprender y adaptarse constantemente a la nueva visión tecnológica, implica que la formación continua y la actualización constante de habilidades se convierten en una parte integral de la carrera del Ingeniero 4.0. Pero esta aptitud no puede ser un complemento, sino debe considerarse como una parte integral de la carrera profesional del ingeniero moderno dada la rápida evolución de las tecnologías como la Inteligencia Artificial (AI).



Figura 19.5. Habilidades y Competencias 4.0

En este viaje de transformación, los docentes desempeñan un papel crítico. La forma en que se enseña la ingeniería evoluciona para reflejar las realidades del mundo actual. La ingeniería, en su esencia, siempre ha sido una disciplina que impulsa el progreso y la innovación, por lo cual la pedagogía centrada en el estudiante, el estímulo de la creatividad, la resolución de problemas y la integración efectiva de la tecnología en la enseñanza, se convierten en las buenas y mejores prácticas para la Ingeniería 4.0. La inspiración y la tutoría de los docentes deben llevar a la motivación de los estudiantes a abrazar la innovación y la búsqueda constante de conocimiento.

19.8. Evolución Educativa: Desafíos y Competencias del Ingeniero 4.0.

En este escenario de cambio constante, surge la necesidad de reconsiderar otras habilidades y competencias esenciales para los ingenieros del futuro. Como se mencionó anteriormente, la formación no debe limitarse solo a habilidades técnicas, sino que debe poner un énfasis sustancial en habilidades blandas. En un entorno donde la innovación avanza apresuradamente, la agilidad mental en el aprendizaje, así como la capacidad de adaptarse rápidamente a nuevas tecnologías y enfoques, se vuelven imperativas para el Ingeniero 4.0, convirtiéndose en competencias prioritarias a incorporarse en la formulación de los planes de estudio de las carreras ingenieriles. No solo deben incluirse en asignaturas electivas, sino ser parte de contenidos básicos e indispensables para el Ingeniero 4.0.

Es significativo recordar nuevamente, que los ingenieros deben mantenerse actualizados en las últimas tecnologías pero también comprender los impactos sociales, éticos y ambientales de sus acciones. Por lo cual la sostenibilidad y la responsabilidad social deben integrarse en la formación del Ingeniero 4.0, transformándolos no solo en expertos técnicos, sino también en agentes de cambio conscientes de su papel en la sociedad.

Otra habilidad blanda a observar corresponde a la flexibilidad en la gestión de la transformación que los ingenieros del futuro deben adquirir para ejercer competentemente en su profesión, combinada con la disposición para enfrentar y abrazar la incertidumbre. Igualmente, la colaboración interdisciplinaria se convierte en una herramienta clave, reuniendo a expertos y profesionales en múltiples disciplinas para garantizar un desarrollo tecnológico que beneficie a la sociedad en conjunto.

La comunicación efectiva, la colaboración de equipos interdisciplinarios y la resolución de problemas complejos se convierten en habilidades críticas en un entorno donde la innovación depende de la sinergia entre diversas disciplinas.

Además, la creación de entornos de trabajo virtuales facilita la colaboración global. Los ingenieros de diferentes partes del mundo pueden trabajar juntos en proyectos complejos, compartiendo ideas y cultura, así como aportando habilidades especializadas sin importar la distancia física. Esto no solo amplía el alcance de la innovación, sino que también fomenta la globalización y la diversidad de perspectivas en la resolución de problemas.

La Ingeniería 4.0 no solo impulsa la evolución tecnológica y las habilidades individuales, sino que también fomenta una cultura de colaboración interdisciplinaria. La implementación exitosa de soluciones ingenieriles complejas requiere de la sinergia de diversas disciplinas, destacando la importancia de la colaboración como generador de la innovación y de la excelencia en la ingeniería del futuro.

19.9. Perspectivas de la Ingeniería 4.0: Reflexiones y Compromisos.

En este impresionante viaje que plantean la Transformación Digital y la Inteligencia Artificial (AI) hacia el mañana tecnológico, se hace evidente la necesidad de adoptar una visión adaptable y comprometida con el aprendizaje continuo.

Este compromiso se vuelve esencial debido a la constante redefinición del entorno ético y tecnológico que no solo exige habilidades multidisciplinarias, sino también una profunda comprensión de los impactos éticos y sociales de la Ingeniería en el contexto de la Revolución 4.0.

A medida que se avanza en esta nueva era, es crucial recordar que cada desafío que se enfrenta representa la oportunidad para la innovación. La Ingeniería 4.0 se presenta como un recorrido creativo e innovador hacia un porvenir que se caracteriza por su naturaleza incierta pero que se encuentra llena de posibilidades para abordar las necesidades y expectativas que eventualmente surgen en el camino.

En última instancia, estas reflexiones buscan inspirar a los ingenieros del mañana, instándolos a desarrollar, no solo habilidades técnicas avanzadas, sino también una agilidad mental que les permita adaptarse rápidamente a los cambios.

Además, cabe recalcar la importancia de cultivar una profunda comprensión de las consideraciones éticas y sociales asociadas con la ingeniería en la era de la Revolución 4.0.

Es fundamental reconocer que los Ingenieros 4.0 tienen en sus manos la responsabilidad de construir un mundo mejor y más sostenible. Su capacidad para abordar los desafíos con creatividad, ingenio e innovación, así como una sólida base ética será crucial para moldear el futuro de manera positiva.

¡Adelante, Ingenieros 4.0! ¡El futuro está en sus manos y su contribución continuará siendo determinante para el progreso de la sociedad y del planeta!



Figura 19.6. Prospectiva de los Ingenieros 4.0.