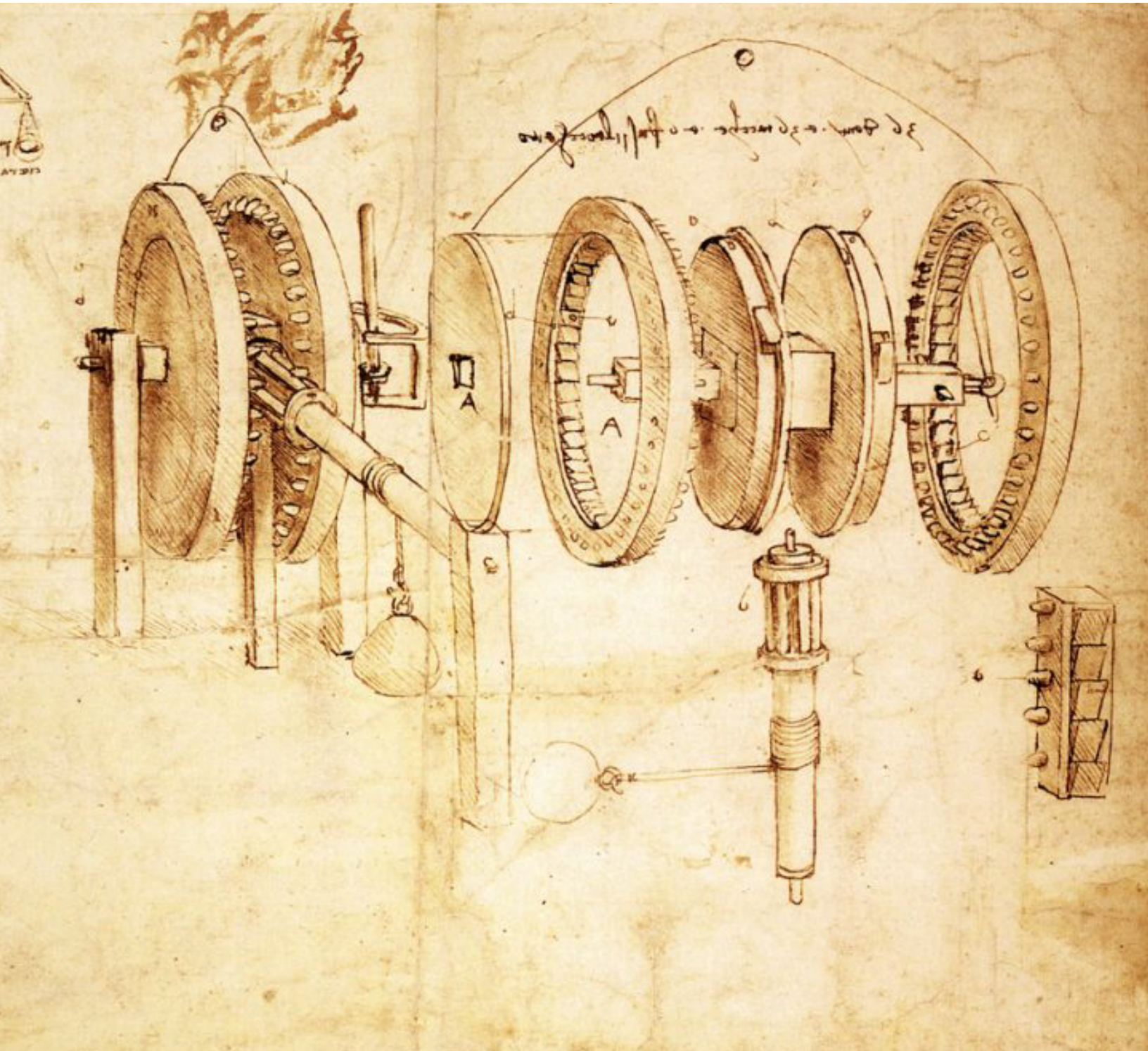




# Módulos de Diseño de Ingeniería



Presidente de la República  
Iván Duque Márquez

Ministra de Educación Nacional  
María Victoria Angulo González

Viceministro de Educación Superior  
Luis Fernando Pérez

Publicación del Instituto Colombiano para la  
Evaluación de la Educación (Icfes)  
© Icfes, 2019.

Todos los derechos de autor reservados.

#### Autor

Adolfo León Arenas Landinez

#### Colaboradores

Adolfo Camilo Torres Prada  
Luis Alfredo Posada Delgado (Icfes)  
María del Socorro Hernández Angulo (Icfes)  
Ómar Javier Tijaro Rojas (Icfes)  
Óscar Libardo Lombana Charfuelán (Icfes)  
Óscar Sebastián Galindo Vesga (Icfes)  
Zandra Astrid Parra Niño (Icfes)

#### Edición

Juan Camilo Gómez Barrera

Diseño de portada y diagramación  
Linda Nathaly Sarmiento Olaya

#### Fotografía portada

Diseño de una máquina construido por Da Vinci

#### ¿Cómo citar?

Icfes, (2019). *Marco de referencia del módulo de diseño de ingeniería. Saber Pro*. Bogotá: Dirección de Evaluación, Icfes.

Directora General  
María Figueroa Cahnspeyer

Secretaria General  
Liliam Amparo Cubillos Vargas

Directora de Evaluación  
Natalia González Gómez

Director de Producción y Operaciones  
Mateo Ramírez Villaneda

Director de Tecnología  
Felipe Guzmán Ramírez

Oficina Asesora de Comunicaciones y Mercadeo  
María Paula Vernaza Díaz

Oficina Gestión de Proyectos de Investigación  
Luis Eduardo Jaramillo Flechas

Subdirectora de Producción de Instrumentos  
Nubia Rocío Sánchez Martínez

Subdirector de Diseño de Instrumentos  
Luis Javier Toro Baquero

Subdirector de Estadísticas  
Jorge Mario Carrasco Ortíz

Subdirectora de Análisis y Divulgación  
Ana María Restrepo Sáenz

ISBN de la versión digital: 978-958-11-0840-4

Bogotá, D. C., diciembre de 2019

## ADVERTENCIA

Todo el contenido es propiedad exclusiva y reservada del Icfes y es el resultado de investigaciones y obras protegidas por la legislación nacional e internacional. No se autoriza su reproducción, utilización ni explotación a ningún tercero. Solo se autoriza su uso para fines exclusivamente académicos. Esta información no podrá ser alterada, modificada o enmendada.

# Tabla de contenido

---

▶ Preámbulo .....	6
▶ Introducción .....	7
▶ 1. Antecedentes .....	9
1.1 Marco legal .....	9
1.1.1 Saber Pro .....	9
1.2 Alcance de los exámenes de Estado .....	10
1.3 Normativa relacionada .....	10
1.4 Referentes teóricos de los módulos .....	11
1.4.1 Desafíos del ingeniero en el siglo XXI .....	11
1.4.2 Perfil de egreso del ingeniero .....	13
1.4.3 Diseño de ingeniería .....	16
1.4.4 La importancia del diseño en ingeniería .....	18
1.4.5 El modelo en el proceso de diseño en ingeniería ..	19
1.5 Historia de los módulos .....	21
1.6 Propuesta actual .....	22
▶ Diseño de la prueba .....	24
2.1 Definición del objeto de evaluación .....	24
2.1.1 Diseño de ingeniería como resultado del aprendizaje .....	24
2.1.2 Evaluación de aprendizajes del diseño de ingeniería .....	31
2.2 Estructura del objeto de evaluación .....	33
2.2.1 Inferir el desempeño .....	34
2.2.2 Evaluación de aprendizajes basados en casos .....	34
2.2.3 Evaluar basados en casos .....	37

# Tabla de contenido

2.3	Especificaciones de la prueba .....	38
2.3.1	Modelo de evaluación basado en evidencias .....	41
2.4	Características de los contextos .....	42
2.4.1	Modelo de diseño en ingeniería: obras de infraestructura .....	43
2.4.2	Modelo de diseño en ingeniería: procesos industriales .....	44
2.4.3	Modelo de diseño en ingeniería: sistemas de control .....	47
2.4.4	Modelo de diseño en ingeniería: sistemas de manejo de impacto ambiental .....	49
2.4.5	Modelo de diseño en ingeniería: sistemas, procesos y productos agroindustriales .....	52
2.4.6	Modelo de diseño en ingeniería: sistemas mecánicos .....	52
2.4.7	Modelo de diseño en ingeniería: sistemas productivos y logísticos .....	54
2.4.8	Modelo de diseño en ingeniería: <i>software</i> .....	55
▶	Referencias .....	57

# Lista de figuras y tablas

---

▶ Ilustración 1. Factores que influyen en la formación de ingenieros .....	13
Ilustración 2. Modelo descriptivo lineal del método de diseño	20
Ilustración 3. Componentes de la evaluación de diseño en ingeniería .....	33
▶ Tabla 1. Capacidades cognitivas según la estructura de la inteligencia humana de Guilford .....	25
Tabla 2. Categorías de la competencia de diseño según TIDEE	26
Tabla 3. Procesos cognitivos en la actividad de diseño según Dym et al. (Dym,2005) .....	29
Tabla 4. Especificaciones de la prueba de diseño en ingeniería .....	39
Tabla 5. Contenido referencial de diseño de procesos industriales .....	45
Tabla 6. Contenido referencial de diseño de sistemas de control .....	48
Tabla 7. Contenido referencial de diseño de sistemas de manejo de impacto ambiental .....	50

El presente marco de referencia agrupa ocho módulos de las pruebas específicas del examen Saber Pro. Teniendo en cuenta que el diseño es transversal a la formación en ingeniería, se ha decidido construir un solo marco conceptual para las pruebas que cobijan los diferentes programas de ingeniería evaluados. De esta manera, bajo la modalidad de conceptos y principios comunes, se agrupan bajo la noción de diseño de ingeniería los módulos de Obras de Infraestructura; Procesos Industriales; Sistemas de Control; Sistemas de Manejo de Impacto Ambiental; Sistemas, Procesos y Productos Agroindustriales; Sistemas Mecánicos; Sistemas Productivos y Logísticos, y *Software*.

Este marco de referencia ha sido elaborado por Adolfo León Arenas Landinez con la intención de satisfacer las necesidades de evaluación de la comunidad en general. Su construcción se llevó a cabo a partir de reuniones y discusiones, desde el año 2012, en las que participaron investigadores, asesores expertos y los encargados de las pruebas del Icfes y de versiones anteriores. De igual manera, la escritura del marco contó con la participación del Ing. Adolfo Camilo Torres Prada, quien fungió como par académico en la revisión del documento. Esto permitió garantizar miradas externas que aportaron, desde sus quehacer y conocimientos, una mayor confiabilidad y calidad académica.

# Introducción

---

En este documento, el Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (Icfes) presenta los fundamentos conceptuales, la estructura y las especificaciones de los módulos Diseño en Ingeniería, aplicado a estudiantes de todos los programas de ingenierías del país, en el examen Saber Pro. El propósito del presente documento es responder las siguientes preguntas: ¿por qué se ha establecido el dominio del diseño como objeto de la evaluación en ingeniería? y ¿cómo se construye un instrumento de evaluación en estos módulos?

La Ley 1324 de 2009 estableció la evaluación externa efectuada por el Estado con el propósito de medir no solo conocimientos básicos fundamentales, sino verificar que las instituciones hayan desarrollado en los estudiantes las competencias definidas por el sistema educativo y el nivel de aprendizaje alcanzado. Basados en lo anterior, la definición de competencia que se ha adoptado para la construcción de las pruebas es: “un conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes, comprensiones y disposiciones cognitivas, socioafectivas y psicomotoras apropiadamente relacionadas entre sí para facilitar el desempeño flexible, eficaz y con sentido de una actividad o de cierto tipo de tareas en contextos relativamente nuevos y retadores” (Ministerio de Educación Nacional, 2006, p. 49).

Esta definición es utilizada en la construcción de los módulos que conforman el examen Saber Pro, que es el Examen del Estado colombiano para evaluar la Calidad de la Educación Superior, el cual fue diseñado con la colaboración de la comunidad académica, siguiendo las directrices establecidas por el Ministerio de Educación Nacional. Cabe mencionar que el acuerdo 01 de 2018 del Consejo Superior Universitario (CESU), en la Condición de Calidad: Gestión Curricular, Característica 3, establece una revisión continua del diseño y

---

desarrollo curricular con el propósito de establecer acciones de mejora y actualización curricular, teniendo en cuenta el logro de los resultados de aprendizaje de los estudiantes.

A partir de la definición de competencia, en el capítulo 1 se revisan los marcos conceptuales que sirven de soporte para la determinación del diseño en ingeniería como una de las competencias fundamentales por desarrollar en la formación de ingenieros. Los programas de ingeniería que están a la vanguardia en la formación de ingenieros en el contexto internacional, tomando, por ejemplo, como referencia el MIT (Massachusetts Institute of Technology), conciben la formación de ingeniería como “una profesión creativa, cuya razón de ser es el desarrollo y aplicación de conocimiento científico y tecnológico para satisfacer las necesidades de la sociedad dentro de las condicionantes físicas, económicas, humanas y culturales” (ACOFI, 2007). Se identifica, por consiguiente, que el desarrollo de la competencia de diseño es un factor predominante en la formación del ingeniero enfocado a su quehacer profesional. Además, en el Acuerdo 01 de 2019 del CESU, en la característica 6 de Gestión Curricular se contempla la formación en investigación, diseño o innovación, lo cual tiene el propósito de satisfacer necesidades o concebir soluciones para la sociedad, inmersa en un constante desarrollo tecnológico e industrial.

En el capítulo 2 se presenta la estructura y las especificaciones del módulo para generar el instrumento de evaluación según el enfoque del diseño centrado en evidencias. La estructura articula tres componentes: las competencias de los ingenieros en los tres momentos del proceso de diseño, los procesos cognitivos que operan en el método de diseño y la formulación de un caso o situación problema que permite contextualizar la evaluación según áreas disciplinares específicas de ingeniería.



# Antecedentes

---

## 1.1 Marco legal

Los exámenes de Estado que realiza el Icfes están sustentados en la Ley 1324 de 2009, en donde se establece que el objeto del Icfes es “ofrecer el servicio de evaluación de la educación en todos sus niveles y adelantar investigación sobre los factores que inciden en la calidad educativa, con la finalidad de ofrecer información para mejorar la calidad de la educación” (artículo 12.º). Para estos efectos, en esta ley se le asigna al Icfes la función de desarrollar la fundamentación teórica de los instrumentos de evaluación, así como las de diseñar, elaborar y aplicar estos instrumentos, de acuerdo con las orientaciones que defina el Ministerio de Educación Nacional (MEN) (*Ibid.*, numeral 2).

En este marco legal, el Icfes diseña, desarrolla, aplica, califica y entrega resultados de tres exámenes de Estado, Saber 11.º, Saber TyT y Saber Pro. Adicionalmente, realiza un examen nacional por encargo del MEN para las pruebas de la educación básica, Saber 3.º, 5.º y 9.º. Cada una de estas evaluaciones tiene su respaldo en distintas leyes, decretos y normativas. A continuación, se describen brevemente las normas asociadas con los módulos que son objeto de este marco, a partir de lo dispuesto en la Ley 1324 de 2009.

### 1.1.1 Saber Pro

La Ley 1324 de 2009 establece el Examen de Estado de Calidad de la Educación Superior, Saber Pro, como un instrumento estandarizado para la evaluación externa de la calidad de la educación superior (artículo 7.º). También conforma, junto con otros procesos y acciones, el Sistema Nacional de Evaluación Estandarizada de la Educación, de manera que es otro de los instrumentos de los que el Gobierno nacional “dispone para evaluar la calidad del servicio público educativo y ejercer su inspección y vigilancia” (Decreto 3963, 2009, artículo 1.º). Según lo reglamentado en el anterior decreto, el diseño definitivo de los nuevos exámenes Saber Pro tendrá una vigencia de, por lo menos, doce años (artículo 3.º). Una vez sea adoptado de manera definitiva cada módulo de los exámenes será posible iniciar la generación de resultados comparables.

## 1.2 Alcance de los exámenes de Estado

Vale la pena señalar qué instancias participan en los procesos de evaluación de la educación y de qué manera lo hacen. Por un lado, las funciones que le competen al Icfes, al MEN y a otras entidades en la evaluación de la educación básica, media y superior se delimitan de la siguiente manera: el MEN define las políticas, los propósitos y los usos de las evaluaciones, al igual que los referentes de lo que se quiere evaluar, en consulta con los grupos de interés; también hace seguimiento a estrategias y planes de mejoramiento. Así, a partir de los criterios definidos por el MEN, el Icfes diseña, construye y aplica las evaluaciones; analiza y divulga los resultados, e identifica aspectos críticos. Debido al desarrollo de estas funciones, otras entidades —como las secretarías de educación, los establecimientos educativos y las instituciones de educación superior— formulan, implementan y coordinan planes de mejoramiento.

Por otro lado, se cuenta con asesoría académica y técnica como parte fundamental de las labores propias del desarrollo de las evaluaciones a cargo del Icfes. Teniendo en cuenta que los lineamientos para el diseño de los nuevos exámenes se definieron de acuerdo con la política de formación por competencias del MEN, estas evaluaciones se desarrollaron en todas sus etapas (diseño, construcción de instrumentos, validación, calificación) con la participación permanente de las comunidades académicas y de las redes y asociaciones de facultades y programas, tanto en lo que se refiere a la educación básica y media como a la superior. Además, desde 2014 se ha contado con la puesta en funcionamiento de los Comités Técnicos de Área, que son una instancia consultiva de la Dirección de Evaluación para monitorear y hacer seguimiento a las evaluaciones que realiza el Icfes. Esta instancia está conformada por consultores de alto nivel en las distintas áreas evaluadas en los exámenes Saber.

## 1.3 Normativa relacionada

Uno de los referentes normativos de los módulos agrupados de diseño en ingeniería es la resolución 2773 del 13 de noviembre de 2003, donde se exponen las características específicas de los programas de formación de pregrado en ingeniería. Esta fuente nos muestra que uno de los aspectos básicos que se deben tener en cuenta para conceptualizar el objeto de estudio es el dominio de herramientas teórico-prácticas

---

en ciencias y matemáticas. Estas son necesarias para proponer diseños, desarrollos y aplicaciones que permitan resolver problemas propios de cada especialidad de la disciplina, y que sean útiles para el progreso de la sociedad, la ciencia y la tecnología.

Continuando con el marco normativo, se referencia la Ley 842, por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el código de ética profesional y se dictan otras disposiciones. Allí se define la ingeniería como “toda aplicación de las ciencias físicas, químicas y matemáticas”. Ello permite identificar sus principios teóricos fundamentales. Los últimos referentes normativos son la Ley 50 de 1986 y la resolución 51 del 2 de septiembre de 2008. La primera reglamenta el ejercicio de las profesiones de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y profesiones afines y se dictan otras disposiciones. La segunda amplía el alcance de las actividades contenidas en la clasificación nacional de ocupaciones.

## **1.4 Referentes teóricos de los módulos**

En el presente apartado se presentan los principales referentes teóricos que permiten sustentar el diseño de la evaluación específica de los módulos agrupados. Para abordarlos, se van a desagregar en cinco apartados: los desafíos de la ingeniería en el siglo XXI, el perfil del egresado de ingeniería, la definición de lo que se considera como diseño de ingeniería, la importancia del diseño de ingeniería y el modelo en el proceso de diseño de ingeniería.

### ***1.4.1. Desafíos del ingeniero en el siglo XXI***

El mundo moderno, en el escenario social y tecnológico, se encuentra en permanente cambio. De igual manera, el conocimiento evoluciona rápidamente, así como también los problemas y desafíos que la humanidad debe enfrentar y resolver. La educación en el siglo XXI se considera el instrumento fundamental para preparar a las próximas generaciones en la solución de los numerosos desafíos que la humanidad enfrentará.

---

A raíz de los cambios tecnológicos, políticos, socioculturales, económicos y ambientales, la formación en ingeniería asume grandes desafíos. Estos factores de cambio influyen en los atributos que deben poseer los profesionales de ingeniería de la época actual y del futuro próximo. Así, en lo económico se están gestando cambios en las variables de mercado y macroeconomía productiva, debido a los fenómenos de la globalización. En cuanto a lo político, es preciso estudiar los diversos programas, planes, convenios, tratados, políticas, licencias y actos de regulación que pueden afectar positiva o negativamente el curso de los temas de estudio en distintas áreas de conocimiento.

Los cambios demográficos son otro de los factores de tipo social que marcan los retos de la educación en ingeniería. En especial, se pueden indicar que en los últimos años ha habido un aumento de la población, una creciente urbanización y abandono del campo y nuevas tendencias y corrientes migratorias transcontinentales. El ámbito tecnológico, a su vez, está transformándose debido a las tecnologías emergentes, que ejercen influencia en los dominios que deben poseer los profesionales en ingeniería, tecnologías como las de información y comunicación, nano-bio-info-cogno tecnología e innovación tecnológica (NAE, 2004). Estos factores se presentan en la ilustración 1.

Frente a los desafíos que plantea el mundo moderno a los ingenieros, la formación orientada al desarrollo de competencias es una opción para responder a los requerimientos de la sociedad, ya que permite desarrollar un nuevo paradigma en educación. Este nuevo paradigma se centra en el estudiante y la necesidad de encauzarse hacia la gestión del conocimiento, así como responder a las demandas crecientes de una sociedad de aprendizaje permanente y de una mayor flexibilidad en la organización del aprendizaje (Contreras, 2011).

Ilustración 1. Factores que influyen en la formación de ingenieros



### 1.4.2. Perfil de egreso del ingeniero

La Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI) aprobó el acuerdo sobre competencias genéricas de egreso del ingeniero iberoamericano. En su *Declaración de Valparaíso*, la asociación contempla diez competencias genéricas, complejas e integradas, relacionadas con saberes (teórico, contextual y procedimental), que se vinculan con el saber-hacer (formalizado, empírico, relacional), referidas al contexto profesional (la situación por ejercer). Estas competencias apuntan al desempeño profesional e incorporan la ética y los valores en el perfil del profesional que se busca formar (ASIBEI, 2016). Estas competencias son:

---

## Competencias tecnológicas

1. Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
2. Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería.
3. Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería.
4. Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.
5. Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos o innovaciones tecnológicas.

## Competencias sociales, políticas y actitudinales

6. Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.
7. Comunicarse con efectividad.
8. Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.
9. Aprender en forma continua y autónoma.
10. Actuar con espíritu emprendedor.

Estas competencias se sustentan en el desarrollo y movilización articulada de un conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes que incluyen, los siguientes elementos: el conocimiento disciplinar, la comunicación oral, escrita y multimedial, la responsabilidad social, la autonomía del aprendizaje, la búsqueda del crecimiento personal y social, el manejo eficiente de TIC, la capacidad de análisis y de síntesis, la comunicación en lengua extranjera —particularmente el inglés—, el pensamiento crítico y la comprensión de la diversidad cultural (Contreras, 2011).

En relación con lo anterior, la Agencia de Acreditación de Programas de Ingeniería (ABET<sup>1</sup>) encargada de asegurar que los programas en ciencias aplicadas, computación, ingeniería y tecnología cumplan con los estándares de calidad internacionales

---

1 ABET son las siglas en inglés de Accreditation Board of Engineering and Technology.

---

exigidos para dichas disciplinas en EE.UU. y el resto del mundo, plantea las siguientes competencias de los profesionales en ingeniería:

- Capacidad para identificar, formular y resolver problemas complejos mediante la aplicación de principios de ingeniería, ciencia y matemática.
- Capacidad para aplicar el diseño de ingeniería en la producción de soluciones que satisfagan necesidades específicas considerando aspectos de salud pública, seguridad y bienestar, así como factores globales, culturales, sociales, ambientales y económicos.
- Habilidad para comunicarse efectivamente con una variedad de audiencias.
- Capacidad para reconocer responsabilidades éticas y profesionales en situaciones de ingeniería y emitir juicios informados, considerando el efecto de las soluciones de ingeniería en contextos globales, económicos, ambientales y sociales.
- Capacidad para funcionar eficazmente en un equipo cuyos miembros juntos proporcionan liderazgo, crean un entorno colaborativo e inclusivo, establecen metas, planifican tareas y cumplen objetivos.
- Capacidad para desarrollar y llevar a cabo una experimentación adecuada, analizar e interpretar datos, y usar el juicio de ingeniería para sacar conclusiones.
- Capacidad para adquirir y aplicar nuevos conocimientos según sea necesario, utilizando las estrategias de aprendizaje apropiadas.

Para ABET, todo programa ingeniería debe contemplar en el plan curricular dos experiencias de aprendizaje:

a. Una experiencia culminante de diseño en ingeniería que:

- Incorpore estándares de ingeniería apropiados y múltiples restricciones.
- Se base en los conocimientos y habilidades adquiridos en cursos anteriores.

---

b. Un trabajo de grado, el cual brinda al estudiante la oportunidad de realizar un ejercicio de análisis y aplicación de conocimientos, habilidades y valores adquiridos durante su proceso de formación y proponer aportes o alternativas de solución a problemas o necesidades de la región o el país.

### **1.4.3 Diseño de ingeniería**

Una de las competencias más importantes en ingeniería se presenta en el proceso de diseño. De hecho, se puede decir que la esencia de la ingeniería es el diseño; es la función más importante que desarrolla un ingeniero, puesto que de esta se derivan todos los demás procesos como la producción, la transformación y la comercialización, entre otros. Para lograr un diseño óptimo se deben efectuar una serie de pasos adecuados que tienen una secuencia lógica y que permiten solucionar un problema planteado. Los problemas de ingeniería son abiertos, tienen muchas soluciones, buenas, malas y no viables, lo cual requiere una actividad creativa, que implica imaginación, intuición y selección intencional, además de conocimientos científicos y tecnológicos. Para la definición de diseño de ingeniería, se deben tener en cuenta cuatro elementos:

- El diseño busca la satisfacción de una necesidad, es decir, plantea la soluciones a una situación problemática.
- El entorno en el que se aplicará y las interrelaciones entre sus componentes; es decir, tener un enfoque sistémico, lo cual implica una actividad multidisciplinaria.
- Considerar las limitaciones impuestas por factores externos de orden físico, económico, funcional, social, ambiental, legal.
- Es, en esencia, una actividad creativa (Dym y Little, 2002).

Son múltiples las referencias académicas que proponen el diseño como la actividad central y distintiva de la ingeniería (ABET, 2015; Crawley, Malmqvist, Lucasy Brouder, 2011). Sin embargo, la palabra *diseño* puede evocar diferentes conceptos según el



---

contexto en que se utilice. El Diccionario de la Real Academia Española registra las siguientes acepciones:

1. Traza o delineación de un edificio o de una figura.
2. Proyecto, plan que configura algo. *Diseño urbanístico*.
3. Concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie. *Diseño gráfico, de modas, industrial*.
4. Forma de un objeto de diseño. *El diseño de esta silla es de inspiración modernista*.

Una de las primeras definiciones de diseño conocidas es la del International Council of Societies of Industrial Design (ICSID), la cual define el diseño como “El arte de imaginar y crear cosas útiles capaces de satisfacer necesidades, manifiestas o latentes, del individuo o de la comunidad”. El carácter polisémico de la palabra *diseño* representa una dificultad que debe resolverse por medio de una caracterización de su significado en un contexto dado. Para el caso de ingeniería, ABET (2015) propone las siguientes definiciones:

El diseño en ingeniería es el proceso de idear un sistema, componente o proceso para satisfacer necesidades deseadas. Es un proceso de toma de decisiones (frecuentemente iterativo), en el cual se aplican las ciencias básicas, las matemáticas y las ciencias de la ingeniería para transformar recursos de manera óptima con el fin de satisfacer tales necesidades (p. 23).

[...] habilidades para diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer necesidades deseadas bajo restricciones realistas, como las económicas, sociales, políticas, éticas, de salud y seguridad, manufactura y sostenibilidad (p. 53).

Otros autores definen el diseño en ingeniería como un proceso sistemático, creativo y flexible que incluye la generación, evaluación sistemática y puesta a prueba de especificaciones para la creación de artefactos, sistemas, procesos e infraestructura cuya forma y función permitan lograr unos objetivos establecidos y satisfacer una serie de restricciones especificadas a partir de una necesidad o situación problemática (Boccardo, 2006; Dym y Little, 2002). Al respecto, también se ha señalado el reto de diseñar sistemas cada vez más complejos en lugar de diseñar partes aisladas (EUR-ACE, 2006).

---

Este conjunto de definiciones señalan el significado del diseño en un contexto general y lo que implica en el contexto específico de la ingeniería. De esta manera, no parece necesario producir una nueva definición; además, podría no ser más funcional que las que ya se tienen. En su lugar, a partir del conjunto de definiciones que se presentaron, surgen algunas características fundamentales del diseño en ingeniería que deben permitir identificar qué situaciones responden a un problema de diseño en ingeniería (Camacho, Arenas y Duque, 2012):

1. El diseño es una estrategia para resolver cierto tipo de problemas desde la perspectiva de la concepción de productos tecnológicos.
2. Es un proceso iterativo de toma de decisiones.
3. Un problema de diseño en ingeniería es un problema abierto, en general, estructurado y con múltiples soluciones.
4. Para el caso de la ingeniería, el producto final de la actividad de diseño es un producto tecnológico, entendido como un artefacto, un proceso o un sistema que debe operarse económicamente y que cumple con especificaciones y restricciones.
5. El término artefacto se utiliza para designar una amplia gama de productos físicos, como una máquina, un dispositivo, un puente, un automóvil. Se trata de un bien de consumo que involucra tecnología en su desarrollo y que se inserta en el mercado para satisfacer necesidades. Implica la transformación de la materia para generar elementos con funcionalidades y características nuevas que buscan resolver necesidades existentes o potenciales.
6. La utilización intensiva explícita o implícita del conocimiento matemático y científico es un pilar central de todo proceso de diseño en ingeniería.
7. El desarrollo cognitivo que se requiere para diseñar tiene un componente transversal a las especialidades de ingeniería (Camacho, Arenas y Duque, 2012).

#### ***1.4.4 La importancia del diseño en ingeniería***

El diseño en ingeniería es importante para la sociedad porque la generación de posibles soluciones constituye una de las competencias más importantes del ingeniero. Con ello, se da rienda suelta a la creatividad y las habilidades desarrolladas en el proceso

---

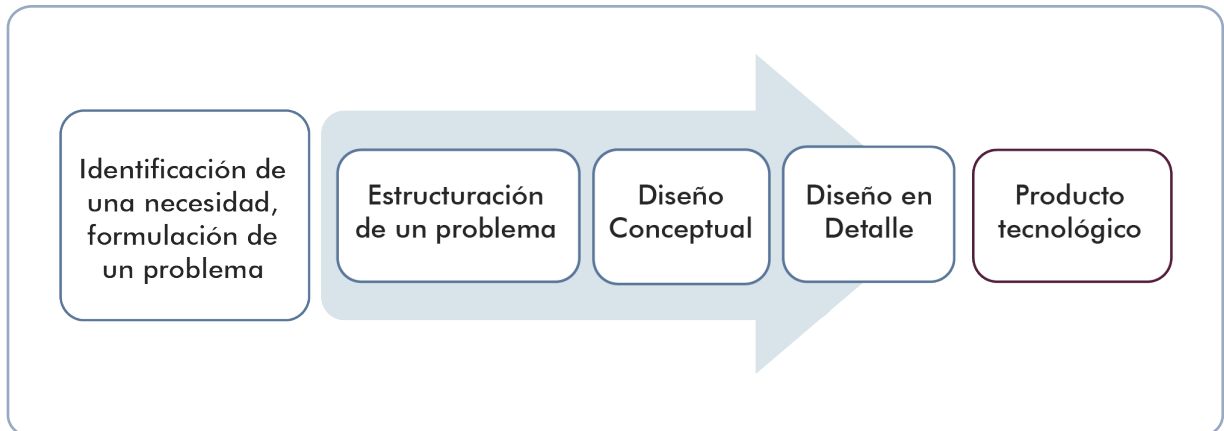
de formación en esta disciplina. Un examen de las necesidades de la sociedad puede mostrar una respuesta apropiada. El éxito de un país en el siglo XXI tiene una fuerte relación con la capacidad de producir artefactos y servicios de forma competitiva en un mercado cada vez más globalizado. El país, en consecuencia, requiere de infraestructura para educar, alimentar, brindar productos y servicios básicos, prestar servicios de salud, de esparcimiento y culturales, entre otros. Igualmente, requiere de procesos y sistemas que generen productos y servicios competitivos y de calidad que sean valorados por el mercado nacional e internacional. Los productos del diseño de la ingeniería son capaces de crear un mundo real que responda a las necesidades humanas más diversas en un marco de desarrollo sostenible. En consonancia, la solución de problemas centrales de la industria está en manos de la ingeniería (Camacho, Arenas y Duque, 2012).

### ***1.4.5 El modelo en el proceso de diseño en ingeniería***

El proceso de resolución de problemas implícitos en un proyecto de diseño se puede asumir como un proceso de transformación de información a través de operaciones de análisis, síntesis, evaluación y realimentación. La información es el elemento sobre el cual los ingenieros aplican sus conocimientos científicos y tecnológicos para ir transformándola en otro tipo de información más elaborada. El proceso de diseño en ingeniería es una actividad compleja con requerimientos sociales que articula diferentes capacidades individuales. Por ello, cualquier modelo que se proponga es una esquematización de la actividad del diseño y, en consecuencia, debe ser tomado como lineamiento para tener en cuenta a la hora de diseñar.

Entendiendo el modelo como el método que desarrollan los ingenieros en su labor, el modelo lineal del proceso de diseño o modelo básico, mostrado en la ilustración 2, permite identificar los momentos de diseño aceptados en la comunidad de ingeniería.

**Ilustración 2.** Modelo descriptivo lineal del método de diseño



**Identificación de una necesidad.** Se trata de determinar las necesidades que se precisan resolver o los objetivos por alcanzar, según planteamiento de las personas interesadas o de los usuarios. De igual manera, permite reunir información necesaria para plantear una solución mediante un producto tecnológico.

**Estructuración del problema.** Por lo general, la necesidad está enunciada en términos vagos y corrientes, pues muchas veces quien la plantea no tiene conocimientos técnicos (un ama de casa, un publicista, un gerente, un funcionario público, etc.). En esa medida, es tarea del ingeniero traducir este planteamiento a un enunciado objetivo, concreto y en términos técnicos. La estructuración del problema es la descripción detallada y la identificación general de los componentes específicos de una situación que requiere solución: es la delimitación clara y precisa del objeto tecnológico por diseñar. Así, “Se debe determinar los objetivos del diseño, establecer los requerimientos del usuario, identificar restricciones, establecer funciones, formular especificaciones y determinar las necesidades de recursos” (Torres, 2013, pág. 5).

**Diseño conceptual.** Se trata de la generación de conceptos o esquemas de diseño alternativo. Los conceptos son ideas de solución representadas en forma de bosquejos acompañados de una descripción textual. Demanda del diseñador abstracción y creatividad. Se caracteriza por la incertidumbre y por una evolución dinámica de propuestas de solución válidas. Aquí se revisan especificaciones, se modelan alternativas conceptuales con el propósito de evaluar y seleccionar la alternativa por desarrollar (DYM, y LITTLE, 2002).

---

**Diseño en detalle.** Afinar y definir en forma detallada el diseño final. En este, se diseñan las especificaciones necesarias para el desarrollo del producto tecnológico.

## 1.5 Historia de los módulos

En el año 2010 se realizó la primera versión de una prueba genérica en diseño para todos los programas en ingeniería, la cual se construyó con ítems basados en casos. Cada caso consistió en la descripción de un contexto y una situación problemática, relacionada con el campo de desempeño profesional, que requería solucionarse con un proceso de diseño en ingeniería. En torno a cada uno de los casos se desarrolló un conjunto de preguntas basadas en las especificaciones de la evaluación que se encontraban en el marco genérico para diseño en ingeniería.

Sin embargo, la construcción de las preguntas para la prueba de diseño en ingeniería común a todos los programas, así como su aplicación, mostraron que esta opción no resultaba viable, ya que los casos o situaciones problema resultaban muy triviales o demasiado complejos. Por esto, se identificaron los campos de actuación profesional o contextos de desarrollo del proceso de diseño, hecho que permitió cubrir las diferentes especialidades de la ingeniería de una forma más pertinente.

Para lograr definir los contextos se realizó una encuesta nacional con directores de programas de ingeniería, entre los meses de septiembre a noviembre de 2010. El objetivo era obtener un inventario de los problemas de diseño en ingeniería que se estudiaban en los diferentes programas. Como resultado, se identificaron 258 objetos de diseño, según lo señalaron cerca de 70 programas de ingeniería. De este trabajo se desprendieron los ocho módulos de diseño que permiten cubrir la mayor parte de los programas. De igual forma, se mantuvieron un número suficiente de estudiantes por evaluar, de modo que los resultados de la prueba tuvieran sentido desde el aspecto técnico para este tipo de exámenes. Algunos de los programas reportaron objetos de diseño que no parecían corresponder a lo que la comunidad académica entiende por *diseño en ingeniería* o no resultaban pertinentes para un número de estudiantes suficiente, como para que fuera necesario construir un módulo adicional (Camacho, Arenas y Duque, 2012).

---

## 1.6 Propuesta actual

El diseño es una competencia fundamental en el perfil del egresado de los profesionales de ingeniería, pues son quienes soportan el desarrollo tecnológico del sector productivo mediante la creación e innovación de productos tecnológicos. En ese sentido, la ingeniería es la aplicación creativa de los principios de la ciencia y su expresión tecnológica, y se enfoca en el diseño de productos, sistemas y procesos. Es en este campo donde los profesionales de ingeniería demuestran su creatividad y su innovación; por tanto, el diseño es un dominio común y el corazón de la ingeniería.

La industria es el conjunto de conocimientos, las herramientas, las infraestructuras, las instalaciones, los productos tecnológicos, las organizaciones y el modelo de intercambio de recursos que permiten producir en grandes cantidades bienes y servicios útiles para la sociedad. Este sector productivo ha sido proyectado, desarrollado y mantenido por profesionales. Por tanto, la metodología de proyecto en la industria, esto es, la forma en que los ingenieros diseñan los bienes y servicios, es una de las habilidades básicas del conocimiento en ingeniería (García, Alcaide, Gómez, 2010).

Un diseño en ingeniería implica un problema concreto en un contexto de desempeño profesional, lo cual requiere del conocimiento declarativo (saber) y procedimental (saber-hacer, siguiendo procedimientos predeterminados) específico (Camacho, Arenas y Duque, 2012). Esto exige relacionar conocimientos disciplinares con contextos de actuación, lo cual plantea la necesidad de realizar la prueba de diseño en ingeniería según contextos específicos que pueden ser compartidos por diferentes programas de ingeniería. Por consiguiente, es necesario identificar las áreas disciplinares comunes a varios programas de ingeniería, desde las cuales se formulan las situaciones problemáticas por resolver. Los módulos de diseño que permiten cubrir la mayor parte de los programas de ingeniería, en el examen Saber Pro, son los siguientes:

- 
- Diseño de obras de infraestructura.
  - Diseño de procesos industriales.
  - Diseño de sistemas de control.
  - Diseño de sistemas de manejo de impacto ambiental.
  - Diseño de sistemas, procesos y productos agroindustriales.
  - Diseño de sistemas mecánicos.
  - Diseño de sistemas productivos y logísticos.
  - Diseño de *software*.

## 2.1 Definición del objeto de evaluación

### 2.1.1 Diseño de ingeniería como resultado del aprendizaje

La competencia del diseño en ingeniería, resultado de aprendizaje en el perfil de egreso de profesionales de ingeniería, es: *planificar y concebir productos tecnológicos como artefactos, sistemas o procesos, mediante la integración de conocimientos y principios de las matemáticas, ciencias, tecnología y ciencias de la ingeniería, con el fin de satisfacer necesidades y cumplir con requerimientos y restricciones técnicas, financieras, de mercado, ambientales, sociales, éticas y económicas.* Esta formulación se establece teniendo en cuenta que los problemas propios de cada ingeniería se solucionan con conocimientos científicos, tecnológicos y especializados en un proceso de diseño que conduce a la generación de una propuesta de solución y la respectiva implementación de productos tecnológicos que pueden ser artefactos, elementos, sistemas o procesos (Camacho, Arenas y Duque, 2012).

Según el enfoque cognitivista, la naturaleza del acto de diseñar es considerada como una capacidad intelectual compleja que, frente al desempeño, requiere del individuo “la movilización de conocimientos, habilidades, actitudes y valores, así como las capacidades y experiencias en un contexto específico, para resolver un problema o situación en su campo de acción” (Braslavsky, citada en UNESCO, 2012). Así mismo, un ingeniero, en sus labores de diseño, debe poseer sólidos referentes conceptuales en su área disciplinar para llegar a concebir y proponer alternativas de solución a necesidades y problemas presentados.

Por consiguiente, es importante determinar qué capacidades cognitivas están vinculadas con la acción de diseñar. Al respecto, Nigel Cross (2009) plantea el *pensamiento de diseño* (o *thinking design*) como “una de las varias formas en las que opera la inteligencia humana” (p. 84). Por su parte, Guilford (1986) plantea que las habilidades mentales pueden ser presentadas en tres categorías, mostradas en la tabla 1. Según Guilford (1986), el pensamiento cognitivo utiliza operaciones cognitivas a partir de un contenido adecuado (información, representaciones mentales) para obtener productos. En consecuencia, las acciones del proceso de diseño requieren de estas capacidades para formular soluciones a las distintas situaciones.



**Tabla 1.** Capacidades cognitivas según la estructura de la inteligencia humana de Guilford

Pensamiento en diseño	
Categorías	Capacidades cognitivas
<p><b>Contenido</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Información almacenada en forma de representaciones mentales.</li> <li>- Figurativo, Simbólico, Semántico, Conductual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Registro (selección, codificación).</li> <li>- Retención.</li> <li>- Recuperación.</li> </ul>
<p><b>Proceso</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Generación de productos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Percepción.</li> <li>- Memoria.</li> <li>- Pensamiento convergente.</li> <li>- Pensamiento divergente.</li> </ul>
<p><b>Producto</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comunicación: texto, imágenes (figuras, planos), algoritmos, estructuras conceptuales, sistemas, procesos.</li> </ul>

Se requiere, además tener en cuenta las categorías de competencia del proceso de diseño, referenciadas en los trabajos de Crain *et al.*, en (1995) y Davis *et al.*, (2002), en el marco de la iniciativa TIDEE<sup>2</sup>.

2 Transferable Integrated Design Engineering Education, <http://archive.fie-conference.org/fie96/papers/410.pdf>

TIDEE ha desarrollado un enfoque de tres niveles para el desarrollo de una estructura basada en competencias para educación en ingeniería. El modelo, basado en el proceso de diseño, incluye la consideración de competencias que luego se ordenan en categorías y luego se evalúan niveles deseados de competencia. Las categorías de la competencia de diseño se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.** *Categorías de la competencia de diseño según TIDEE*

Categoría de competencia	Indicador de logro
<p><b>Trabajo en equipo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Los individuos comprenden el modo de pensamiento propio y el de otros integrantes, así como la manera como estos afectan el trabajo en equipo.</li> <li>▶ Los individuos comprenden los diferentes roles que involucra el trabajo en equipo y las responsabilidades de cada uno de ellos.</li> <li>▶ Los individuos emplean habilidades efectivas para la comunicación en grupo: auditiva, oral, visual.</li> <li>▶ Los individuos cooperan para mantener un trabajo en equipo efectivo.</li> </ul>
<p><b>Recolección de información</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Los individuos utilizan técnicas visuales y orales importantes (preguntar, observar) para recolectar información.</li> <li>▶ Los individuos usan de manera efectiva los recursos de las bibliotecas para acceder a información relevante.</li> </ul>

Continúa en la siguiente página

Categoría de competencia	Indicador de logro
<p><b>Definición del problema</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Los individuos comprenden que, por naturaleza, los problemas son abiertos.</li> <li>▶ Los individuos formulan objetivos específicos en enunciados luego de recolectar información sobre un problema.</li> <li>▶ Los individuos reconocen la importancia de la definición del problema para el desarrollo de un diseño adecuado.</li> <li>▶ Los individuos desarrollan la definición del problema bajo criterios y restricciones específicos.</li> </ul>
<p><b>Concepción de ideas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Los equipos y los individuos identifican y usan entornos que favorecen la concepción de ideas.</li> <li>▶ Los equipos desarrollan lluvias de ideas de manera efectiva.</li> <li>▶ Los individuos aplican técnicas de forma efectiva en la generación de sus propias ideas.</li> <li>▶ Los equipos emplean técnicas de síntesis de ideas para incrementar la creación de ideas.</li> </ul>
<p><b>Evaluación y toma de decisiones</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Los equipos adoptan un enfoque iterativo bajo el cual la evaluación se emplea de manera repetida en el proceso de diseño.</li> <li>▶ Los equipos e individuos aplican técnicas simples de matrices para evaluar las soluciones propuestas.</li> </ul>

Continúa en la siguiente página

Categoría de competencia	Indicador de logro
<b>Implementación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Los equipos manejan el tiempo y otros recursos como se requiera para terminar el proyecto.</li> <li>▶ Los integrantes de los equipos siguen instrucciones dadas por otros en la implementación.</li> </ul>
<b>Comunicación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Los individuos ejercitan habilidades de escucha efectivas para recibir información de manera acertada.</li> <li>▶ Los individuos se expresan con lenguaje no verbal apropiado (por ejemplo, el contacto visual) en la comunicación interpersonal.</li> <li>▶ Los individuos dan y reciben críticas y sugerencias constructivas.</li> <li>▶ Los individuos registran actividades grupales, resultados, ideas, datos y otra información en diarios personales de diseño.</li> <li>▶ Los individuos producen informes técnicos y circulares con un estilo y formato aceptable.</li> <li>▶ Los equipos exponen información sobre el diseño en presentaciones grupales orales.</li> <li>▶ Los individuos comunican las relaciones geométricas mediante dibujos y bocetos.</li> </ul>

Adicionalmente, se presentan procesos cognitivos involucrados en la competencia de diseño, propuestos por Dym (2005), como se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** *Procesos cognitivos en la actividad de diseño según Dym et al. (Dym, 2005)*

Proceso cognitivo	Descriptor
<p><b>Pensamiento sobre sistemas dinámicos</b></p>	<p>Quien diseña debe estar en capacidad de predecir las consecuencias, incluso las no esperadas de la interacción entre partes del sistema. Así mismo, representa conocimiento de tipo esquemático sobre el sistema en desarrollo. Se trata, en efecto, de capacidades difíciles de desarrollar en esquemas tradicionales de enseñanza.</p>
<p><b>Razonar bajo incertidumbre</b></p>	<p>El diseño en ingeniería trabaja con modelos imperfectos, información incompleta o ambigua. La probabilidad y la estadística en general no han recibido toda la importancia que se requiere en la educación del ingeniero, lo cual se refleja en varios estudios realizados que muestran las dificultades de los estudiantes de ingeniería en este contexto.</p>
<p><b>Realizar estimaciones</b></p>	<p>Los diseñadores en ingeniería tienen la capacidad de estimar órdenes de magnitud de las variables involucradas. La educación clásica en ingeniería permite a los estudiantes obtener resultados por medio de métodos sofisticados, pero poco aporta a la estimación rápida de valores para las variables en juego.</p>

Continúa en la siguiente página

Proceso cognitivo	Descriptor
<p><b>Conducir experimentos</b></p>	<p>El diseño rara vez se lleva a cabo en un procedimiento directo y exclusivo de aplicación de principios científicos fundamentales. En la mayoría de casos se requiere información empírica y experimentación.</p>
<p><b>Toma de decisiones</b></p>	<p>El diseño es una actividad racional de toma de decisiones en relación con varias alternativas. El diseño en ingeniería es una actividad intensiva de toma de decisiones.</p>
<p><b>Pensamiento en diseño en el marco de un equipo</b></p>	<p>El diseño es cada vez más una actividad de equipo que busca involucrar los diferentes aspectos del diseño de orden social, ético, económico, ambiental, ergonómico, de seguridad.</p>
<p><b>Lenguaje del diseño en ingeniería</b></p>	<p>Son múltiples los lenguajes utilizados en el diseño, los cuales van desde los modelos matemáticos hasta los símbolos, diagramas, bocetos. Se incluyen lenguaje verbal, gráfico, gramática de formas, matemático, números, algoritmos.</p>

---

## 2.1.2 Evaluación de aprendizajes del diseño de ingeniería

Según lo plantea Yániz y Villardón (2006), la concepción de competencia como resultado de aprendizaje tiene una serie de implicaciones para la evaluación.

- La competencia supone la adquisición de conocimientos, habilidades y actitudes. Por tanto, la evaluación debe valorar los tres *tipos de adquisiciones*.
- La competencia supone la movilización estratégica de elementos (conocimientos, destrezas y habilidades) y recursos disponibles y necesarios para dar respuesta a una situación determinada. En consecuencia, la evaluación debe constatar la capacidad de movilizar los recursos de forma eficaz para atender a una determinada demanda. Se requiere, por tanto, el planteamiento de **situaciones auténticas** para comprobar la capacidad para analizar cada elemento de la situación y la respuesta que se da para resolverla adecuadamente.
- La competencia se demuestra *haciendo*.
- El desarrollo de competencias es un proceso de aprendizaje. La evaluación de este *proceso* permite aprovechar el instrumento de la prueba para evidenciar el nivel de logro de los objetivos formativos.

Teniendo como fundamento la concepción del aprendizaje como algo activo, individualizado y basado en el desarrollo cognitivo, se debe incorporar un sistema de evaluación a partir de la actuación del estudiante que le permita utilizar sus conocimientos de manera creativa para resolver problemas articulados con la realidad. Este enfoque de evaluación requiere que el estudiante actúe eficazmente con el conocimiento adquirido, en un amplio rango de tareas significativas para el desarrollo de competencias, que permitan ensayar la realidad compleja de la vida social y profesional (Wiggins, 1990).

La competencia no puede ser observada directamente en toda su complejidad, pero puede ser inferida del desempeño de actuación frente a situaciones planteadas. Esto

---

requiere pensar los tipos de actuaciones que permitirán reunir evidencia, en cantidad y calidad suficiente, para hacer juicios razonables acerca de la competencia de un individuo. Para lograr este tipo de juicios sobre la competencia se deben seguir tres principios (McDonald y Col., 2000):

- Usar instrumentos de evaluación adecuados que permitan evaluar la competencia de manera integrada con sus criterios de realización.
- Utilizar instrumentos que sean directos y relevantes para aquello que está siendo evaluado.
- Soportarse en una amplia base de evidencias para inferir la competencia.

Los elementos esenciales de una evaluación de competencias son el contexto, el estudiante, la autenticidad de la actividad y los indicadores (Herrington y Herrington, 1998). Esto implica:

- Diseñar un contexto que refleje las condiciones bajo las cuales operará el desempeño.
- Que los estudiantes deben actuar de forma eficaz con el conocimiento adquirido y producir resultados.
- La actividad debe implicar desafíos complejos, que requieren juicio y un conjunto de tareas complejas.
- Las evidencias o indicadores son las producciones que reflejan la existencia de aprendizaje. Se procura la validez y fiabilidad de estas evidencias con criterios adecuados para calificar la variedad de productos.

Partiendo del concepto de evaluación de aprendizajes, que incluye observación del desempeño en un contexto adecuado y valoración de las evidencias, la formulación de una prueba requiere las siguientes fases:



a) Establecimiento de competencias o resultados de aprendizaje por desarrollar. Son los objetivos formativos que tienen que lograr los estudiantes que vienen determinados por los programas curriculares para lograr el perfil del egreso o estándares de desempeño en el área disciplinar.

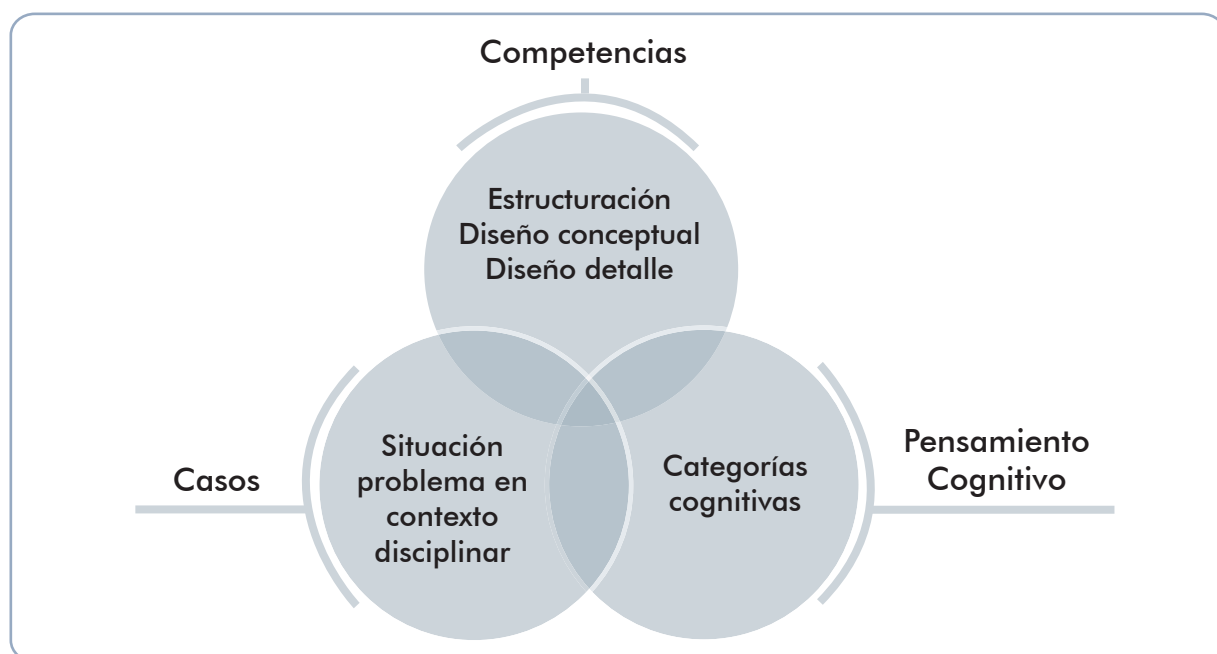
b) Determinación de los criterios para la evaluación y las evidencias que permiten establecer juicios e inferencias. Para cada una de las competencias, se establecen los criterios de evaluación y las fuentes de información o evidencias de logro a través de las producciones del estudiante.

c) Determinar las tareas que implican una determinada realización y las funciones cognitivas o de otro tipo que se necesitan realizar para cumplir con cada tarea.

## 2.2 Estructura del objeto de evaluación

Tres momentos se deben articular en el objeto de evaluación del dominio de diseño en ingeniería, presentados en la ilustración 3.

**Ilustración 3.** Componentes de la evaluación de diseño en ingeniería



## 2.2.1 Inferir el desempeño

Se infiere el desempeño del estudiante en las competencias vinculadas al proceso de diseño en los tres momentos: estructuración, diseño conceptual y diseño en detalle. El resultado de aprendizaje del diseño en ingeniería se enuncia de la siguiente manera:

*Planifica y concibe productos tecnológicos como artefactos, sistemas o procesos, mediante la integración de conocimientos y principios de las matemáticas, ciencias, tecnología y ciencias de la ingeniería, con el fin de satisfacer necesidades y cumplir con requerimientos y restricciones técnicas, financieras, de mercado, ambientales, sociales, éticas y económicas.*

## 2.2.2 Evaluación de aprendizajes basados en casos

La resolución de casos o situaciones problema tienen un comportamiento adecuado como situaciones profesionales. A través de dichas situaciones se pueden evaluar aprendizajes para constatar el nivel de logro de la competencia alcanzada por los estudiantes (Yániz y Villardón, 2006). La evaluación de la capacidad para adelantar un diseño en ingeniería de un estudiante al nivel del 75 % de su carrera es un reto complejo de abordar. Por lo general, en el ámbito nacional, la inter o transdisciplinariedad que requiere la solución de problemas en ingeniería se desarrolla de manera práctica en las últimas fases de los programas de pregrado, y se afianza al final bien sea con su práctica profesional, proyectos de diseño, trabajos de grado, investigación formativa, etc. El contexto ideal sería una evaluación de desempeño, en la que el estudiante se enfrente a una situación similar (genuina) a la que tendría en su vida profesional.

Sin embargo, por razones prácticas, la prueba Saber Pro tiene limitaciones que llevan a proponer una estrategia intermedia: la utilización de casos y preguntas individuales en las cuales se puedan incluir situaciones con algún nivel de fidelidad y complejidad que se aproximen tanto como se pueda a una situación de diseño con varias limitaciones importantes. Esto compromete las siguientes características.

- 
- a) Algunos componentes presentes en las actividades de diseño, como por ejemplo el trabajo en equipo, resultan complejos para ser evaluados en una prueba con las características actuales de la prueba.
  - b) El estudiante está en el 75 % de su carrera, por lo que se podrá utilizar conocimientos que pueden abordarse en este primer segmento del programa, evitando contenidos profesionales que solo pueden abordarse en el último año.
  - c) Se supone que al 75 % del programa los estudiantes han abordado problemas de diseño con la complejidad suficiente para incluir los momentos de diseño en ingeniería que se retienen en este marco para la evaluación.
  - d) El formato de las preguntas es de opción múltiple, con única respuesta.

Los casos deben estar orientados a situaciones problema que requieran la consideración de marcos conceptuales y la aplicación de capacidades y habilidades propias de un área disciplinar, atendiendo a la singularidad y complejidad de situaciones específicas. La evaluación de aprendizaje está diseñado para medir las habilidades de los estudiantes en la competencia de diseño en ingeniería. Por ello, la prueba exige un nivel de conocimientos y desenvolvimiento técnico en el contexto de aplicación que supere los retos del sentido común, de la lógica elemental y de la comprensión de lectura.

Los casos y las preguntas individuales para evaluar el aprendizaje de diseño en ingeniería deben estar vinculados a los momentos del proceso de diseño, que se mencionan a continuación.

## 1. Diseño - Estructuración

- a. **Identificación y análisis de información.** Las situaciones de diseño se construyen con información incompleta, contradictoria y con algún nivel de incertidumbre utilizando estadística básica en su presentación.
- b. **Definición del problema de diseño.** Los problemas de diseño parten de situaciones débilmente estructuradas que requieren definición del problema de diseño y estructuración para producir especificaciones y restricciones de corte técnico.

**c. Determinar requerimientos.** Son variables cuantitativas y cualitativas que debe cumplir una solución o producto tecnológico. Son fijadas previamente por el usuario y el diseñador, por el contexto, por requisitos legales o por disposiciones de norma. De igual manera, son declaraciones que identifican atributos, capacidades, características y cualidades que un producto tecnológico necesita cumplir para que tenga valor y utilidad para el usuario (Giesecke, 2006). Finalmente, son el conjunto de características que un producto tecnológico debe cumplir a fin de suplir necesidades o solucionar problemas desde la perspectiva de su funcionalidad, seguridad, confiabilidad, desarrollabilidad, mantenibilidad y factibilidad económica (Camacho, Arenas y Duque, 2012).

**d. Identificar restricciones.** Las restricciones son limitaciones para el proceso de desarrollo del producto tecnológico. Las restricciones pueden ser: económicas, fuentes de suministro, recursos tecnológicos, estándares y códigos, regulaciones gubernamentales (Camacho, Arenas y Duque, 2012). Una categoría especial de restricciones son las especificaciones fijadas por las normas y códigos (por ejemplo, especificaciones de la norma ASTM para el desarrollo de componentes), por el mercado, por las características de los materiales o por la decisión de los clientes.

**e. Fijar especificaciones.** Implica establecer las propiedades físicas, características funcionales y los parámetros de operación de un producto tecnológico.

## 2. Diseño - Conceptual

**a. Objeto del diseño en ingeniería.** Se aborda el desarrollo de un artefacto, proceso o sistema.

**b. Posibles soluciones.** La situación tiene varias posibles soluciones.

**c. Toma de decisiones.** La toma de decisiones, frente a varias alternativas que presentan cierto grado de incertidumbre, es central en diseño.

## 3. Diseño - Detalle

**a.** Se utiliza conocimiento matemático, científico, tecnológico y de ingeniería de forma explícita o implícita.

---

b. La noción de optimización frente a varios criterios y restricciones está presente explícita o implícitamente con el fin de decidir entre las posibles soluciones (Camacho, Arenas y Duque, 2012).

### ***2.2.3 Evaluar basados en casos***

El caso corresponde a una situación problema articulada con la realidad en el contexto de actuación del área disciplinar. Los casos favorecen la transferencia y la aplicación de los referentes conceptuales a la realidad, así como evidencia el desempeño en competencias vinculadas al mundo profesional.

La evaluación del aprendizaje basados en casos se enmarca en la perspectiva de una evaluación auténtica de aprendizajes situados. La evaluación auténtica destaca la importancia de la aplicación de las competencias en contexto de una situación de la vida real, entendida como un desempeño significativo en el mundo real, en situaciones y escenarios que permitan evidenciar lo que los alumnos han logrado comprender, solucionar o intervenir en situaciones pertinentes con su área disciplinar. Algunos principios relacionados con evaluaciones basadas en casos son:

- El énfasis de este tipo de evaluaciones debe residir en explorar los aprendizajes que requieren habilidades cognitivas y ejecuciones complejas, y no el simple recuerdo de información o la ejercitación rutinaria.
- Seleccionar o desarrollar tareas auténticas que representen tanto referentes conceptuales como las capacidades centrales en términos de los aprendizajes más importantes.
- Requieren de la definición y consenso de criterios de desempeño o estándares mínimos que permitan cualificar los aprendizajes logrados.

No necesariamente cada caso debe incluir los tres momentos. Un caso puede contemplar una situación problema en cualquier momento del proceso de diseño, en la descripción de la necesidad o inclusive en el producto tecnológico generado a partir del proceso. El hecho de que la prueba Saber Pro se plantee con preguntas de múltiples opciones con única respuesta, permite formular casos o situaciones

---

problema de categoría convergente. En esta categoría de caso o problema se presenta toda la información disponible y se espera que quien trata de resolverlos combine entre sí todos los datos relacionados y los ordene de manera lógica para encontrar respuesta válida.

El caso o problema se resuelve mediante el uso práctico de referentes conceptuales, lo cual implica que debe llevar al estudiante a deducciones lógicas o a inferencias obligadas. Desde el punto de vista cognoscitivo, la deducción se refiere a la extracción de conclusiones necesarias o implicaciones, así como también las inferencias corresponden a razonamientos por analogía (Guilford, 1986). Cada módulo de diseño en ingeniería incluye casos (situaciones problema) de los que se desprenden varias preguntas. De igual forma, también incluyen preguntas individuales, es decir, que no están unidas a un caso. Para la descripción de cada caso se hace uso de textos, gráficas, tablas, esquemas, ecuaciones o de cualquier otro tipo de representación que le permitan al estudiante entender la problemática que se plantea y resolver las preguntas que se formulan. Estas preguntas deben analizarse y responderse teniendo en cuenta la información presentada, el contenido de cada pregunta y lo descrito en los casos.

## 2.3 Especificaciones de la prueba

El diseño de evaluación sigue los pasos o estratos definidos por el DCE. El diseño de las especificaciones de las pruebas se enfoca en cuatro estratos fundamentales: el análisis del dominio, la especificación de las afirmaciones, la definición de las **evidencias** y el desarrollo de las **tareas**, a partir de las cuales se construirán las preguntas de las pruebas.

El resultado del aprendizaje y las competencias del diseño en ingeniería son transversales a todos los programas curriculares de ingeniería. Por consiguiente, las especificaciones de la prueba son comunes para todas las áreas disciplinares. Las siguientes tablas presenta la definición de componentes, las afirmaciones y evidencias para los diferentes contextos o módulos de diseño en ingeniería:

**Tabla 4.** Especificaciones de la prueba de diseño en ingeniería

<b>Competencia</b>	Planifica y concibe productos tecnológicos como artefactos, sistemas o procesos, mediante la integración de conocimientos y principios de las matemáticas, ciencias, tecnología y ciencias de la ingeniería, con el fin de satisfacer necesidades y cumplir con requerimientos y restricciones técnicas, financieras, de mercado, ambientales, sociales, éticas y económicas.
--------------------	---

**Dimensión: Diseño-Estructuración**

Componente	Afirmación	Evidencias
<b>Diseño-Estructuración:</b> Formular el problema de diseño a partir de la identificación y análisis de necesidades del usuario, para traducirlas en características técnicas.	1. Identifica y formula un problema de diseño a partir del análisis de una situación contextualizada, basado en información que puede ser incompleta, sobrante o incierta.	1.1 El estudiante comprende e interpreta en un marco técnico la información para identificar el problema que se requiere resolver en un contexto específico.
		1.2 El estudiante diferencia y plantea restricciones y requerimientos del producto tecnológico a diseñar.
		1.3 El estudiante formula las especificaciones técnicas para el diseño del producto tecnológico.

Continúa en la siguiente página

## Dimensión: Diseño-Conceptual

Componente	Afirmación	Evidencias
<b>Diseño-Conceptual:</b> Proponer, analizar y evaluar alternativas de solución para seleccionar la más conveniente tomando en cuenta requerimientos, restricciones y características técnicas.	2. Analiza alternativas de solución y selecciona la más adecuada teniendo en cuenta criterios de tipo técnico, económico, financiero, social, ético y ambiental.	2.1 El estudiante reconoce alternativas viables de solución para satisfacer requerimientos, restricciones y especificaciones técnicas de diseño.
		2.2 El estudiante compara alternativas de solución de acuerdo con criterios determinados.
		2.3 El estudiante selecciona la alternativa de solución más adecuada.

Continúa en la siguiente página



Dimensión: Diseño-Detalle		
Componente	Afirmación	Evidencias
<p><b>Diseño-detalle:</b> Especificar en forma detallada el producto tecnológico y sus componentes.</p>	<p>3. Aplica los conocimientos de las matemáticas, las ciencias, la tecnología y las ciencias de la ingeniería para especificar en forma detallada un producto tecnológico.</p>	<p>3.1 El estudiante realiza cálculos y procedimientos necesarios para detallar el producto tecnológico y sus componentes.</p>
		<p>3.2 El estudiante plantea especificaciones para el proceso de desarrollo del producto tecnológico.</p>
		<p>3.3 El estudiante revisa, verifica y valida que una solución cumple con las especificaciones técnicas de diseño.</p>

### 2.3.1 Modelo de evaluación basado en evidencias

Para la evaluación de competencias en la prueba Saber Pro, el Icfes ha establecido el diseño centrado en evidencias (en adelante DCE). Conforme a este modelo, se evalúa sobre una taxonomía de cuatro niveles: dominio, afirmaciones, evidencias y tareas. Una *afirmación* es un enunciado que detalla capacidades, habilidades o conocimientos que pueden atribuirse a un estudiante. Una o más *afirmaciones* conforman una competencia y, de este modo, las afirmaciones describen de qué es capaz un estudiante que domina esa competencia. Las *evidencias* precisan cuáles son las acciones que pueden acreditar que un estudiante cuenta con una competencia.

---

Se trata, entonces, de operaciones que pueden evidenciar que se dispone de las capacidades, las habilidades o los conocimientos detallados en una afirmación. Con una *tarea* se determina el desempeño de un estudiante al contestar una pregunta o seguir una instrucción. Cuando una tarea se resuelve correctamente, se cuenta con los elementos para sustentar una evidencia. De este modo, a partir de la realización de ciertas tareas se infiere si un estudiante cumple, o no, los criterios y estándares de desempeño establecidos para una competencia.

La evaluación de diseño en ingeniería presenta casos y preguntas individuales articuladas a una situación de ingeniería de selección múltiple con única respuesta en diseño-estructuración, diseño-conceptual y diseño-detalle. Los casos presentan problemas específicos próximos a la realidad profesional y enmarcado en un contexto de diseño de cada especialidad de la ingeniería (Camacho, Arenas y Duque, 2012).

## 2.4 Características de los contextos

Como se mencionó, los casos son viables de construirse en contextos de áreas disciplinares específicas. Por esta razón, existen ocho módulos de diseño en ingeniería que corresponden a los siguientes contextos o Módulos de Diseño en la Prueba Saber Pro.

1. Diseño de obras de infraestructura.
2. Diseño de procesos industriales.
3. Diseño de sistemas de control.
4. Diseño de sistemas de manejo de impacto ambiental.
5. Diseño de sistemas, procesos y productos agroindustriales.
6. Diseño de sistemas mecánicos.
7. Diseño de sistemas productivos y logísticos.
8. Diseño de *software*.

A continuación, se presenta cada uno de los módulos de diseño en ingeniería con sus definiciones y las especialidades asociadas.

---

## **2.4.1 Módulo de diseño en ingeniería: obras de infraestructura**

Las obras necesarias para proveer a la población de servicios públicos esenciales se denominan obras de infraestructura. Así, las carreteras, los puertos, los puentes y los túneles permiten el transporte de bienes y pasajeros; los acueductos y los alcantarillados, el abastecimiento de agua potable y la evacuación de las aguas servidas; los embalses, los túneles a presión y las máquinas hidráulicas, la generación de energía hidroeléctrica; los sistemas de sostenimiento y las medidas de protección morfológica de los terrenos, la sostenibilidad ambiental; las estructuras, los cimientos y las instalaciones, los edificios públicos como hospitales, escuelas, plantas y otras obras públicas.

El diseño de *obras de infraestructura* es un proceso complejo de concepción, análisis, creatividad e ingenio, cálculo y discernimiento, que se traduce en una ubicación precisa, unas memorias de cálculo, unas especificaciones técnicas y unos planos detallados, mediante los cuales se puede materializar una obra para cumplir con las necesidades de la comunidad y garantizar su estabilidad, durabilidad y funcionalidad, tanto en condiciones corrientes como en presencia de eventuales amenazas naturales.

En concordancia, el módulo está diseñado para evaluar las habilidades de los estudiantes en el diseño de obras de infraestructura. Las especificaciones de la prueba exigen un nivel de conocimientos y de desenvolvimiento técnico en el área que supere los retos del sentido común, de la lógica elemental y de la comprensión de lectura y que llegue hasta la utilización provechosa y práctica de conocimientos, los cuales están relacionados con:

### **Áreas conceptuales de referencia**

El módulo exige el manejo y aplicación de conocimientos relacionados con los fundamentos culturales, sociales, económicos y geográficos que permitan justificar la necesidad y la magnitud de las obras requeridas de infraestructura; de ciencias naturales como física clásica, geología e hidrología para ingenieros, y de ciencias de la ingeniería como mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, mecánica de suelos, resistencia de materiales y los materiales de construcción.

---

Asimismo, requiere el manejo de herramientas de ingeniería como dibujo, topografía y cálculo numérico básico; de ingeniería estructural, ingeniería hidráulica, ingeniería geotécnica, ingeniería de carreteras, acueductos y las plantas de tratamiento, sistemas de conducción y construcción, que incluyen aspectos relacionados con programación de obra, presupuesto y métodos constructivos convencionales.

### **Productos tecnológicos objeto del diseño de obras de infraestructura**

Algunos ejemplos de productos tecnológicos que pueden ser planteados en las preguntas de este módulo son:

- ▶ **Infraestructura de transporte:** las carreteras, puentes, túneles, canales, aeropuertos, vías férreas y puertos (los cuales habilitan el transporte de bienes y pasajeros).
- ▶ **Edificaciones públicas:** las estructuras, los cimientos y la fontanería son básicos para la construcción de edificios públicos y privados (como hospitales, escuelas, viviendas, entre otros).
- ▶ **Acueductos y alcantarillados:** los acueductos y alcantarillados permiten el abastecimiento de agua potable y evacuación de aguas servidas. Los embalses, presas y los túneles a presión son utilizados para la generación hidroeléctrica. También se incluyen las obras de defensa y mitigación de riesgos hidráulicos y geotécnicos.

## ***2.4.2 Módulo de diseño en ingeniería: procesos industriales***

El *diseño de procesos industriales* se entiende como un esfuerzo sistemático para definir y determinar las necesidades involucradas en la fabricación, manipulación y transporte de materia prima y producto terminado, así como los equipos involucrados en su transformación que concluyen en el desarrollo integrado de procesos y productos. Abarca todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde la definición de las

especificaciones preliminares, el diseño conceptual (que incluye diagramas de flujo, balances de masa y energía, fenómenos de transporte y operaciones unitarias), hasta su disponibilidad, calidad, costos y necesidades de los usuarios.

### Áreas conceptuales de referencia

Se deben tener bases conceptuales para definir diagramas de flujo donde se especifiquen corrientes y sus propiedades, balances de masa y energía (con y sin reacción química), fenómenos de transporte y operaciones unitarias, evaluación y análisis de condiciones técnico-económicas, de seguridad y desempeño ambiental. Se espera que los estudiantes demuestren dominio de contenidos referenciales como los indicados en la tabla 5.

**Tabla 5.** *Contenido referencial de diseño de procesos industriales*

Contenido referencial	Subtemas
Diseño de reactores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cinética y mecanismos de reacción.</li> <li>- Análisis de datos cinéticos.</li> <li>- Identificación y selección de reactores (tipo).</li> <li>- Dimensionamiento y comportamiento de reactores (balance de masa, balance de energía, termodinámica, comportamiento, rendimiento, eficiencia, selectividad, entre otros).</li> </ul>
Diseño y análisis de procesos industriales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificación y categorización de procesos químicos, físicos y bioquímicos.</li> <li>- Definición y caracterización de materia prima, producto intermedio y producto terminado.</li> <li>- Identificación y selección de operaciones unitarias y procesos de transformación.</li> <li>- Selección y dimensionamiento básico de equipo.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de procesos.</li> </ul> </li> <li>- Optimización de procesos (intensificación, integración).</li> </ul>

Continúa en la siguiente página

Contenido referencial	Subtemas
Diseño de equipos y plantas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensionamiento de equipos.</li> <li>- Planificación y distribución en planta.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Seguridad industrial.</li> </ul> </li> <li>- Especificaciones y selección de materiales.</li> <li>- Instrumentación y control de procesos.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice de costos.</li> </ul> </li> </ul>

### Productos tecnológicos objeto del diseño de procesos industriales

Algunos ejemplos de productos tecnológicos (artefactos, sistemas o procesos) que pueden ser planteados en las preguntas de este módulo son:

- ▶ Procesos de transformación de materias primas.
- ▶ Plantas de transformación o de proceso.
- ▶ Reactores químicos.
- ▶ Equipos de separación o mezclado.
- ▶ Intercambiadores de cantidad de movimiento y logística.
- ▶ Intercambiadores masa y energía.
- ▶ Diagramas de flujo que establecen condiciones de operación.

---

### **2.4.3 Módulo de diseño en ingeniería: sistemas de control**

Los *sistemas de control* son aquellos sistemas automáticos en los cuales existe la ausencia total o parcial de seres humanos en su operación, con un grado de funcionamiento autónomo, al cual se le incorporan elementos tecnológicos para medir, controlar y actuar sobre el comportamiento dinámico del sistema.

Vistas desde el controlador, las señales de control presentes en el sistema son de naturaleza eléctrica. La arquitectura del sistema involucra tanto componentes de *hardware* como de *software*. Por la naturaleza de los procesos y de las estrategias de control que se implementan, los sistemas de control se pueden clasificar como sistemas de control discretos (estrategias basadas en eventos), sistemas de control continuos (estrategias regulatorias) y sistemas de control secuenciales (estrategias tipo batch o por tandas).

El diseño de sistemas de control parte de la identificación de los requerimientos y restricciones de la planta, proceso o equipo por controlar, para la definición de especificaciones técnicas, condiciones de uso y las leyes o esquemas de control automáticos por emplear, así como su configuración, instalación y evaluación.

#### **Áreas conceptuales de referencia**

Para el diseño del sistema de control de cualquier producto tecnológico (artefacto, sistema o proceso) de naturaleza automática, el estudiante requiere manejar y aplicar los conocimientos que ofrecen las disciplinas teóricas y tecnológicas que intervienen en la concepción, construcción y empleo de los diferentes tipos de sistemas automáticos. Las disciplinas teóricas ofrecen el conjunto de los métodos matemáticos de análisis y síntesis de los sistemas automáticos y de sus elementos.

Las disciplinas tecnológicas tratan con problemas prácticos, relacionados con la teoría y la tecnología de los sensores, actuadores y controladores. En particular, se deben conocer, manejar y aplicar las matemáticas, que incluyen la transformada de Laplace y transformada Z, entre otras; dinámica de sistemas; teoría de control e informática (algoritmos y programación), y conocimientos técnicoeconómicos, de seguridad y desempeño ambiental.

Se espera que el estudiante demuestre dominio de los contenidos referenciales indicados en la tabla 6.

**Tabla 6.** *Contenido referencial de diseño de sistemas de control*

Contenido referencial	Subtemas
Control analógico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelamiento de sistemas físicos.</li> <li>- Representación por función de transferencia y variables de estado.</li> <li>- Diagramas de bloque, algebra de bloques.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Error de estado estacionario.</li> </ul> </li> <li>- Comportamiento en estado estacionario y transitorio.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plano complejo, nociones de lugar de raíces.</li> <li>- Criterios de estabilidad.</li> </ul> </li> <li>- Diseño de sistemas de control con especificaciones temporales.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sintonización básica de PID.</li> </ul> </li> </ul>
Sistemas discretos	<p>Nociones básicas de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conversión A/D-D/A.</li> <li>- Discretización de modelos de procesos y de reguladores.</li> <li>- Criterio de estabilidad y especificaciones temporales.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Error en estado estacionario.</li> </ul> </li> </ul>
Control lógico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lógica combinacional, secuencial.</li> <li>- Lógica cableada, programada booleana.</li> <li>- Métodos de diseño de automatismos lógicos (GRAFSET, Petri, etc.).</li> </ul>

Continúa en la siguiente página



Contenido referencial	Subtemas
Instrumentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nociones básicas de características de los sistemas de medida (exactitud, precisión, incertidumbre, histéresis, errores, curvas de calibración, comportamiento estático y dinámico.</li> <li>- Nociones sobre implementación de sistemas de control que utilizan componentes del tipo PID, PLC, computador.</li> </ul>

### Productos tecnológicos objeto del diseño de sistemas de control

Algunos ejemplos de productos tecnológicos (artefactos, sistemas o procesos) que pueden ser planteados en las preguntas de este módulo son:

- ▶ Sistemas de control en tiempo continuo (PID, sensores, actuadores).
- ▶ Sistemas de control en tiempo discreto (A/D, D/A).
- ▶ Algoritmos de control, sensores, actuadores.
- ▶ Sistemas de control a eventos discretos (PLC).

## ***2.4.4 Módulo de diseño en ingeniería: sistemas de manejo de impacto ambiental***

Los *sistemas de manejo de impacto ambiental* incluyen un conjunto de técnicas orientadas a prevenir, minimizar o compensar los efectos que produce una determinada acción del hombre sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. En este contexto también están incluidos los sistemas de saneamiento básico. Este conjunto de técnicas está orientado a la aplicación de dispositivos y tecnologías convencionales y no convencionales para prevenir, mitigar y controlar impactos

ambientales. En el diseño de estos sistemas es fundamental una mirada general de la interacción entre la acción humana y los ecosistemas naturales, aunque deberán estar identificados y considerados factores sociales, económicos, culturales y ambientales que inciden en el cuidado y protección de los recursos naturales.

### Áreas conceptuales de referencia

Para abordar el Módulo de diseño de sistemas de manejo de impacto ambiental, los estudiantes deberán manejar y utilizar conocimientos sobre recursos naturales, química ambiental y calidad del agua, aire y suelo. Estos conocimientos les permitirán identificar las principales causas e impactos de la contaminación con el fin de desarrollar medidas para un adecuado manejo de los recursos naturales; asimismo, les ayudarán a tomar decisiones ambientales. Se espera que los estudiantes demuestren dominio de los contenidos referenciales indicados en la tabla 7.

**Tabla 7.** *Contenido referencial de diseño de sistemas de manejo de impacto ambiental*

Contenido referencial	Subtemas
Gestión de recurso hídrico	Incluye, entre otros, temáticas relacionadas con fluidos y recursos hidráulicos, tratamiento de aguas y calidad de agua.
Gestión del suelo	Aborda temáticas relacionadas con los residuos sólidos, suelos y geología ambiental, restauración y biorremediación, entre otros.
Gestión de recurso aire	Se tienen en cuenta temáticas como calidad de aire, medición de la contaminación atmosférica, entre otras.

Continúa en la siguiente página

Contenido referencial	Subtemas
Transversal	En esta categoría se encuentran temáticas como el diagnóstico ambiental, educación ambiental, economía ambiental, sistemas de información geográfica, gestión ambiental, modelamiento ambiental, ordenamiento territorial, energías alternativas, biodiversidad y recursos biológicos.

### Productos tecnológicos objeto del diseño de sistemas de manejo de impacto ambiental

Algunos ejemplos de productos tecnológicos (artefactos, sistemas o procesos) que pueden ser planteados en las preguntas de este módulo son:

- ▶ Sistemas para control de la contaminación del agua.
- ▶ Sistemas de potabilización y tratamiento de aguas residuales.
- ▶ Rellenos sanitarios.
- ▶ Sistemas de control de contaminación de suelos.
- ▶ Sistemas para el control de la contaminación en aire.
- ▶ Sistemas de medición de la contaminación atmosférica.
- ▶ Procesos de aprovechamiento de residuos.
- ▶ Protocolos y medidas para la estimación de impactos ambientales de una actividad o proyecto.
- ▶ Estrategias para la prevención, mitigación y contingencia del impacto ambiental.
- ▶ Estrategias para la gestión ambiental.

---

## **2.4.5 Módulo de diseño en ingeniería: sistemas, procesos y productos agroindustriales**

El *diseño de sistemas, procesos y productos agroindustriales*, se define como el desarrollo conceptual y metodológico para resolver necesidades tecnológicas del sector agroindustrial en diferentes contextos relacionados con el acopio, almacenamiento, transporte, procesamiento de materias primas agrícolas o pecuarias, y el manejo de productos terminados.

### **Áreas conceptuales de referencia**

Este contexto de diseño incluye: operaciones unitarias, métodos de conservación, manejo poscosecha y posproducción y procesos agroindustriales.

### **Productos tecnológicos objeto del diseño de sistemas, procesos y productos agroindustriales**

Algunos ejemplos de productos tecnológicos que pueden ser planteados en las preguntas de este módulo son:

- ▶ Sistemas de acopio, almacenamiento y transporte de materias primas agrícolas y pecuarias y de producto terminado.
- ▶ Procesos de producción a partir de materias primas agrícolas y pecuarias.

## **2.4.6 Módulo de diseño en ingeniería: sistemas mecánicos**

Los *sistemas mecánicos* tienen como función principal la transformación de energía para la generación de potencia usando componentes y dispositivos que sirvan al sector productivo, bienes y servicios. El diseño de sistemas mecánicos concibe la formalización de la idea, manufactura y puesta en servicio de los componentes y

---

dispositivos, teniendo en cuenta el fin para el cual fue concebido y el sector donde se usará (mantenimiento, producción, manufactura, transporte, construcción, agrícola y servicios). Todo lo anterior teniendo en cuenta restricciones técnicas, financieras, sociales, ambientales, económicas y éticas.

### **Áreas conceptuales de referencia**

Para abordar el Módulo de diseño de sistemas mecánicos se requiere el manejo y aplicación de conocimientos sobre materiales y sus propiedades mecánicas; cálculos estructurales dinámicos y estáticos; transporte de energía y fluidos; procesos de transformación de materiales con o sin arranque de viruta; análisis y administración de factores financieros y económicos, técnicos y medioambientales.

### **Productos tecnológicos objeto del diseño de sistemas mecánicos**

Algunos ejemplos de productos tecnológicos que pueden ser planteados en las preguntas de este módulo son:

#### **Sector primario**

- ▶ Sistemas de extracción de minerales y materias primas.
- ▶ Sistemas de transporte de minerales y materias primas.
- ▶ Sistema de transformación de minerales y materias primas.

#### **Sector secundario**

- ▶ Sistemas de abastecimiento de energía mecánica, térmica y fluida en los sistemas productivos.
- ▶ Sistemas de transformación de materias primas en productos semielaborados y elaborados.
- ▶ Sistemas de almacenamiento y distribución de productos semielaborados y elaborados.

### **Sector terciaria**

- ▶ Gestión y ejecución de mantenimiento mecánico en los sectores primario, secundario y terciario.
- ▶ Sistemas de abastecimiento de energía mecánica, térmica y fluida en sectores domésticos, educativos, ocio, hotelero y salud.
- ▶ Sistemas de transformación y distribución de energía mecánica, térmica y fluida en sectores domésticos, educativos, ocio, hotelero y salud.

## ***2.4.7 Módulo de diseño en ingeniería: sistemas productivos y logísticos***

El *diseño de sistemas productivos y logísticos* aborda la estructuración general de cadenas de abastecimiento de bienes y servicios y la estructuración específica de cada una de sus funciones (aprovisionamiento, producción y distribución). De igual manera, comprende la determinación e integración de los flujos de materiales, personas e información, así como las actividades de soporte, con el fin de generar soluciones que cumplan con criterios de calidad, costo, tiempo y flexibilidad.

### **Áreas conceptuales de referencia**

Para abordar el Módulo de diseño de sistemas productivos y logísticos se requiere del manejo y aplicación de bases conceptuales en análisis estadístico, modelación matemática aplicada a la optimización de sistemas productivos, estudio y medición del trabajo y su utilización en la gestión de operaciones, gestión de cadenas de abastecimiento y la definición de la capacidad, localización y distribución en planta de instalaciones industriales.

### **Productos tecnológicos objeto del diseño de sistemas productivos y logísticos**

Algunos ejemplos de productos tecnológicos que pueden ser planteados en las preguntas de este módulo son:

- ▶ Cadenas de abastecimiento.
- ▶ Instalaciones industriales (localización, capacidad y distribución en planta).
- ▶ Sistemas de aprovisionamiento de recursos.
- ▶ Sistemas de producción de bienes y servicios.
- ▶ Sistemas de inventarios y almacenamiento.
- ▶ Sistemas de distribución física de bienes y acceso a servicios.

### ***2.4.8 Módulo de diseño en ingeniería: software***

Es un proceso sistémico que involucra determinar un problema e identificar su causa, realizar el análisis de requerimientos, crear el modelo de datos e interfaces, definir casos de uso y establecer la arquitectura de *software*, que permite obtener la solución de un problema del área de sistemas de información enmarcado en un contexto específico con restricciones, económicas, tecnológicas, temporales, éticas o de recursos humanos.

#### **Áreas conceptuales de referencia**

Para resolver las preguntas presentadas en el Módulo de diseño de *software* es necesario saber plantear problemas desde el punto de vista sistémico; conocer, entender y saber aplicar la teoría general de sistemas en cada una de las etapas del ciclo de vida de un sistema de información; comprender conceptos básicos de estructuras de datos y las primitivas de programación existentes, así como las bases de programación orientadas a objetos, uso de lenguaje modelado, diseño de interfaces gráficas, la teoría general de bases de datos y teoría general de sistemas, todo esto para la solución de problemas mediante algoritmos.

#### **Productos tecnológicos objeto del diseño de *software***

Algunos ejemplos de productos tecnológicos que pueden ser planteados en las preguntas de este módulo son:

- 
- ▶ Especificaciones de requerimientos.
  - ▶ Modelo de datos.
  - ▶ Interfaces gráficas.
  - ▶ Gráficos de casos de uso.
  - ▶ Arquitectura de software.
  - ▶ Pseudocódigos y algoritmos.
  - ▶ Diagramas de proceso.
  - ▶ Diagramas de secuencia.
  - ▶ Diagramas UML.
  - ▶ Diseño de reportes y salidas.



# Referencias

---

- Abet. (2011). Criteria for accrediting engineering programs: ABET.
- Acuerdo Red Europea para la Acreditación de Programas de Ingeniería, Norma EUR - AC. (2006)
- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería, ACOFI. El ingeniero colombiano del año 2020, retos para su formación. Santafé de Bogotá. Opciones gráficas editor Ltda. 2007.
- Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería, ASIBEL. "Declaración de Valparaíso" sobre Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Iberoamericano. Bogotá D C. ARFO Editores e Impresores Ltda. 2016
- Braslavsky, C. (2012). Competencias y educación. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/education/>
- Boccardo, R. (2006). *Creatividad en la ingeniería de diseño*. Venezuela: Editorial Equinoccio, Universidad Simón Bolívar.
- Camacho, A., Arenas, A., y Duque, M. (2012) *Diseño en Ingeniería: una posible visión para la evaluación*. Bogotá, D. C.: ACOFI.
- Torres, G. (2013). Diseño de productos. Recuperado de <http://goodesgoesheaven.blogspot.com/>
- Committee on Engineering Design Theory and Methodology. (1991). *Improving Engineering Design: Designing for Competitive Advantage*. Washington.
- Conference of the American Society for Engineering Education.
- Contreras, J. (2011). Formación de competencias: tendencias y desafíos en el siglo XXI. (Julio/Diciembre). *Universitas* 15, p. 109-138

- 
- Council of competitiveness. (2004). *Innovate America: Thriving in a World of Challenge and Change*, National Innovation Initiative.
- Crain, R., Denny, D., Calkins, D., & Gentili, K. (1995). Establishing engineering design competencies for freshman/sophomore students. Artículo presentado en 1995.
- Crawley, E., Malmqvist, J., Lucas, W., & Brouder, D. (2011, June 20-23). The CDIO Syllabus v2.0: An Updated Statement of Goals for Engineering Education. Artículo presentado en la Séptima Conferencia Internacional CDIO, DTU, Copenhagen.
- Cross, N. (2009). "Preguntas para: Nigel Cross". *Revista Roiman invierno*, 83-85.
- Cross, N. (1999). *Métodos de diseño. Estrategias para el diseño de productos*: Limusa Wiley.
- Davis, D., Gentili, K., Trevisan, M., & Calkins, D. (2002). Engineering Design Assessment Processes and Scoring Scales for Program Improvement and Accountability. (April 201). *Journal of engineering education*, pp. 211-221.
- Díaz, F. (2006). *Enseñanza situada*. México: McGraw-Hill. 126-132.
- Dym, C., & Little, P. (2002). *El proceso de Diseño en Ingeniería: Cómo Desarrollar Soluciones Efectivas*. México: Limusa Wiley
- Dym, C., Agogino, A., Eris, O., & Leifer, L. (2005, January). Engineering Design Thinking, teaching, and learning. *Journal of engineering education*, p103-120.
- García, M., Alcaide, J., Gomez, T. (2010). *Fundamentos del Diseño en la Ingeniería*. Ed Limusa.
- Guilford. J.P. (1977). *La Naturaleza de la Inteligencia Humana*. Argentina: Editorial PAIDOS.

- 
- Giesecke, F.E. (2006). *Dibujo y comunicación gráfica*. (3ra Ed.). Pearson Educación. En (pp. 6-10).
- Herrington, J y Herrington, A. (1998). Evaluación auténtica y multimedia ¿de qué manera los estudiantes responden a un modelo de evaluación auténtica?”. *Higher Education*
- NAE. (2004). The Engineer of 2020: Visions of Engineering in the New Century. *National Academy of Engineering*. 17(3), 305-322. Recuperado de [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=10999](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=10999) Research and development
- Torres Charry, Giovanni. Diseño de Productos Diseño en Ingeniería. <http://goodesgoesheaven.blogspot.com/>
- Wiggings, G. (1990). “The case for authentic assessment. Practical Assessment, Research and Evaluation”, 2(2). Recuperado de <http://ericae.net/getvn.asp?v=2&n=2>.
- Yániz, C. y Villardón, L. (2006). Planificar desde competencias para promover el aprendizaje. Bilbao: Mensajero.



La educación  
es de todos

Mineducación