DIALÉCTICA DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL; GENERALIZACIÓN

BENÍTEZ REYNOSO Alberto
Ingeniero Civil, M.Sc., M.E., Ph.D.
Ciudad de Tarija (Bolivia)
e-mail: benitez1@entelnet.bo

RESÚMEN

Las leyes de la dialéctica, tal y como fueron concebidas principalmente por Marx y Engels, fueron utilizadas por el autor (Benítez, 2010) para esquematizar una dialéctica de la ingeniería estructural con referencia particular a la resistencia de los materiales. Ahora, se propone una dialéctica de la ingeniería estructural como una generalización.

El **problema** se plantea a través de la siguiente pregunta: ¿Es posible construir una dialéctica de la ingeniería estructural general?.

El **Objetivo** fundamental de este trabajo consiste en "plantear una dialéctica de la ingeniería estructural", generalizando el esquema planteado para la resistencia de los materiales.

La **estrategia metodológica** es de tipo racional y consiste fundamentalmente en las siguientes etapas:

Caracterización general y sintética de la ingeniería estructural.

Revisión breve de las leyes de la dialéctica.

Aplicación de las leyes de la dialéctica a la interpretación de problemas y fenómenos relacionados con el análisis y diseño estructural.

El **resultado** principal se refleja en el planteamiento de una "dialéctica de la ingeniería estructural".

La **conclusión** fundamental radica en la posibilidad real de la aplicación de las leyes de la dialéctica a la ingeniería estructural y su interpretación alternativa.

ABSTRACT

The laws of dialectics (Marx and Engels) were use for the author (Benítez, 2010) to propose a dialectics of structural engineering with particular reference to mechanics of materials. Now, a dialectics of structural engineering as generalization will be proposed..

*The **problem** is: Is it possible to construct a general dialectics structural engineering?.*

*So, the **Objective** is "to sketch or construct a dialectics of structural engineering" as generalization of dialectics of mechanics of materials.*

*The **methodology** is mainly rational and has the following steps:*

Brief characterization of structural engineering.

Brief review of the laws of dialectics.

Applying the laws of dialectics to interpreting problems and phenomena related to structural analysis and design..

*The main **result** is the sketch of "dialectics of structural engineering".*

*The main **conclusion** is the real possibility of the application of the laws of dialectics to the structural engineering and its alternative interpretation.*

INTRODUCCIÓN

El autor [1],[2],[3], caracteriza, de manera sintética, a la ingeniería civil, la ingeniería estructural y la resistencias de los materiales o mecánica de los materiales, incorporando aspectos relativos a las funciones del ingeniero estructural en el ejercicio de la profesión y asuntos de orden académico. Se cuestiona la enseñanza tradicional de la resistencia de los materiales, de las disciplinas que la usan y otras afines, que no toma en cuenta algunos elementos que el autor los considera fundamentales e incorpora como uno de los factores para mejorar la comprensión de la mecánica de materiales y la ingeniería estructural en general. Debe reconocerse que una estructura de ingeniería civil en general y de la ingeniería estructural en particular, si bien como producto terminado es un objeto físico, no lo ha sido así siempre, es decir, ha pasado por un complejo proceso que abarca desde su concepción hasta su materialización final. Se considera que los diferentes momentos por los que transita una estructura son:

a) Contacto con la realidad objetiva, misma que determina la necesidad de resolver un problema mediante una estructura o sistema estructural.
b) El modelo teórico; que consiste en la expresión teórica de un fenómeno relacionado con la resistencia de los materiales. En la teoría de la resistencia de los materiales y disciplinas afines hay muchos fenómenos físicos que pueden expresarse desde el punto de vista teórico (abstracción), por ejemplo, matemáticamente (modelos matemáticos).
c) El modelo físico; que habitualmente consiste en una estructura elemental a escala reducida de un determinado material con el objeto de ser probada en laboratorio y de, este modo, determinar algunas de sus propiedades mecánicas y estudiar su comportamiento. Aquí, no debe confundirse este modelo con la maqueta arquitectónica, que también es un modelo físico pero con características y objetivos diferentes.
d) La estructura real; que es la estructura materializada o construida, en condiciones espaciales y temporales determinadas y con características particulares de acuerdo a los requerimientos de la realidad social objetiva.

Es fundamental aceptar que en la forma clásica de la enseñanza de la ingeniería estructural y la práctica de la profesión, hay un relativo desconocimiento de los aspectos citados, los cuales impiden, entre otras cosas:

- La asimilación y comprensión integral de los principios de esta rama de la ingeniería.
- La construcción apropiada del propio conocimiento, por parte del estudiante e ingeniero, manera dialéctica y sistémica, considerando los citados elementos.
- La formación de habilidades que enfoquen la estructura considerando las particularidades citadas.

En consecuencia, el planteamiento de una “dialéctica de la ingeniería estructural”, usando el método dialéctico, además de interpretar los fenómenos relacionados directamente al análisis, diseño y cálculo de estructuras de una manera alternativa, permite comprender la dinámica, tanto de los conceptos como del objeto de estudio de la ingeniería estructural.

Son pocos los trabajos o investigaciones sobre filosofía de la ingeniería y no existe ninguna referencia particular sobre una *dialéctica de la ingeniería estructural*.

Como trabajos relacionados con la misma problemática se pueden citar los realizados por el autor (Benítez, 2008 y 2005), pero, orientados particularmente a la

resistencia de los materiales y ahora se pretende generalizar la dialéctica hacia toda la ingeniería estructural.
Entre algunos de los aportes fundamentales a la filosofía de la ingeniería y la tecnología, aunque no referidos a la ingeniería estructural y tampoco usando el método dialéctico, se tienen a los realizados por Bunge [4], Cuevas [5],[6], Guy [7] y Mitcham [8].
La dialéctica de la ingeniería estructural pretende ser un aporte a la reflexión, interpretación, explicación y comprensión teórico-filosófica de esta rama de la ingeniería.
La problemática descrita en los párrafos que preceden permite plantear el problema mediante la siguiente pregunta:
¿Cómo construir una dialéctica de la ingeniería estructural, de manera que, permita interpretar y explicar, alternativamente, la "dinámica" del objeto de estudio (estructuras), los fenómenos y funciones más relevantes de esta rama de la ingeniería?.
El objetivo principal del presente artículo es construir una "dialéctica de la ingeniería estructural", partiendo de mecánica o resistencia de los materiales, como ciencia fundamental, y generalizando el planteamiento para toda la ingeniería estructural.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Estado del arte de la filosofía de la ingeniería

La construcción o planteamiento de una *Dialéctica de la Ingeniería Estructural*, constituye la aplicación de una corriente filosófica a una rama de la Ingeniería, cual es la filosofía dialéctica, expresada en un método dialéctico. En consecuencia, si bien, hasta ahora, no existe una *Dialéctica de la Ingeniería Estructural*, es apropiado resaltar las posturas más importantes, relacionadas con la filosofía de la ingeniería.
Así, a continuación se sintetiza la postura de Mitcham [8], respecto a la importancia de la filosofía para la ingeniería. Para este pensador, la filosofía no se ha ocupado lo suficiente de la ingeniería. Expresa que la filosofía es importante para la ingeniería por, al menos, tres razones:

1. Porque los ingenieros deben comprender y defenderse de las críticas filosóficas.
2. La filosofía, particularmente la ética, es importante para ayudar a los ingenieros a enfrentar problemas éticos profesionales.
3. Considerando el carácter filosófico de la ingeniería, la filosofía puede funcionar como un medio para lograr una mayor auto-comprensión de la propia ingeniería.

Si hacemos referencia a nuestra principal pregunta científica:
¿Cómo aplicar la lógica dialéctica de manera que permita interpretar, alternativamente, la "dinámica" del objeto de estudio (estructuras), los fenómenos y funciones más relevantes de la ingeniería estructural?.
Evidentemente, estamos ante un problema que tiene una relación directa con la tercera de las razones que expone Mitcham dentro de la importancia de la filosofía para la ingeniería, es decir, estamos pretendiendo plantear una *Dialéctica de la Ingeniería Estructural*, para comprender mejor e interpretar, de manera alternativa, la ingeniería estructural.
El mencionado pensador comienza afirmando que, en la mayoría de las mentes, filosofía e ingeniería no tiene nada que hacer, la una con la otra. Éstas son consideradas como dos dominios mutuamente excluyentes, como si fuesen dos islas, separadas por un gran cuerpo de agua. El esquema representado en la figura

1 ilustra esta situación. Para algunos miembros de la comunidad de ingenieros, la situación es aún peor. La ingeniería es, tradicionalmente, dividida en diferentes ramas, tales como ingeniería civil, dentro de la cual está la ingeniería estructural, ingeniería mecánica, ingeniería eléctrica, ingeniería química, ingeniería de sistemas, ingeniería de computación, etc. Algo similar pasa con la filosofía, que incluye varias ramas como la lógica, la epistemología, la metafísica, la ética, etc. Representantes de estas áreas de la filosofía, especialmente de la ética, parecen haber montado una serie de cánones para disparar o atacar a algunos dominios del mundo de la ingeniería.

Desde 1960, varios miembros de la comunidad filosófica han estado acusando a los ingenieros sobre la construcción de armas nucleares que pueden destruir la civilización, que construyen sistemas de transporte en contra de la cultura urbana, que diseñan sistemas tecnológicos y de comunicación que permiten controles autoritarios por los gobiernos y empresas privadas, que diseñan computadoras que despersonalizan la vida humana. Los ingenieros, en general, somos criticados por contaminar la naturaleza, por generar gases invernadero, mediante las estructuras y sistemas que diseñamos y construimos. En todo caso, coincidimos con Mitcham, precisamente, para fundamentar su defensa de los ataques filosóficos, la ingeniería y los ingenieros, necesitamos relacionarnos con la filosofía.

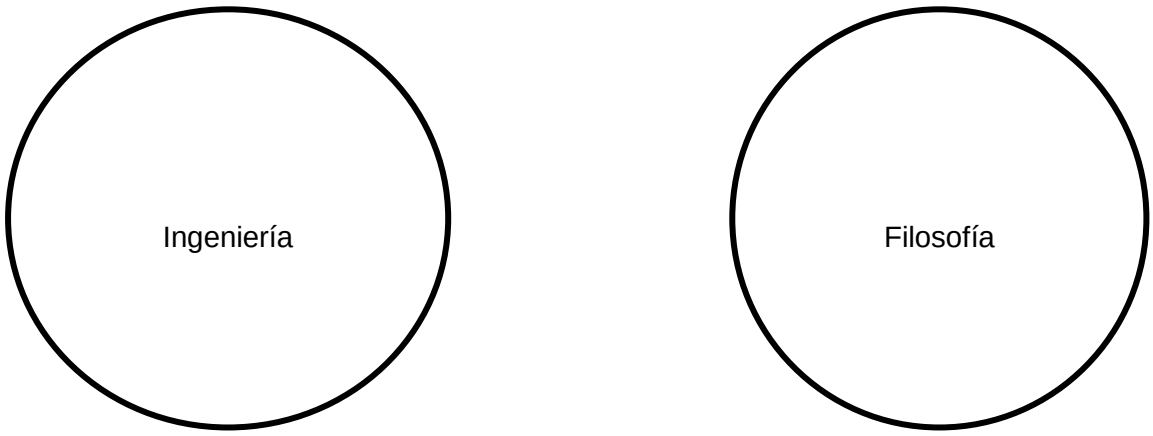

Figura 1: Filosofía e ingeniería y filosofía como dos dominios mutuamente excluyentes (Fuente: Mitcham, 1998)

En segundo lugar, sigue Mitcham, la filosofía es importante para los ingenieros porque éstos no resuelven sus problemas usando únicamente métodos ingenieriles. Por ejemplo, podemos referirnos, inicialmente, a las cuestiones éticas.

Hay muchos problemas relacionados con la ingeniería, que no se pueden resolver con el conocimiento científico y tecnológico solamente. Cuestiones como la seguridad, el riesgo y la protección ambiental, son algunas de la muchas variables que intervienen en este orden de cosas y que condicionan e influyen en la toma de decisiones respecto a los diseños en ingeniería. Por ello, la filosofía, especialmente la ética, es una necesidad interna y práctica de la ingeniería y es reconocida por la comunidad profesional de los ingenieros.

En la tarea de considerar las cuestiones mencionadas, surge una primera reflexión, traducida en una pregunta, con relación a una de las funciones fundamentales del ingeniero, el diseño: ¿Qué entendemos por “mejor diseño”?. Cuando planteamos esta pregunta, evidentemente, estamos incorporando elementos de carácter

filosófico a la ingeniería. Se establece una primera conexión entre la ingeniería y la filosofía, es decir, se construye un puente entre la ingeniería y la filosofía, que transforma el esquema anterior, de dos dominios mutuamente excluyentes, aislados, a otro que puede representarse por el esquema de la figura 2.
Solo mediante el análisis conceptual, la reflexión racional y los modos generales del pensamiento esta cuestión puede ser tratada adecuadamente.
En ese contexto, se han hecho esfuerzos importantes relativos a los tres siguientes elementos:

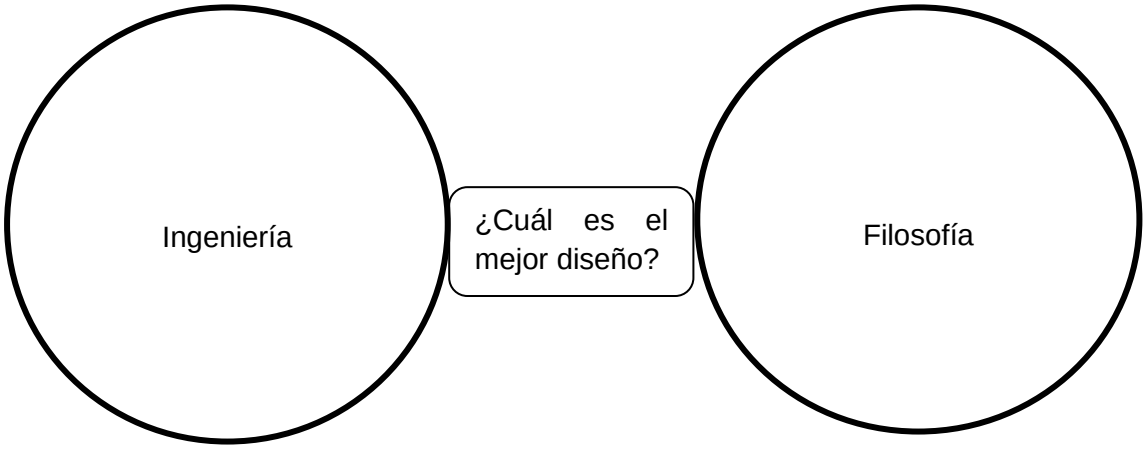

Figura 2: Conexión inicial entre ingeniería y filosofía
(Fuente: Mitcham, 1998)

a) Un análisis conceptual de lo correcto e incorrecto, bueno y malo en la práctica de la ingeniería.
b) Búsqueda de un entendimiento y comprensión profundos de las dimensiones éticas en la experiencia de la ingeniería.
c) Seguimiento de un camino interdisciplinario y cooperativo en el marco de los códigos de ética, procedimientos disciplinares, estrategias para la educación moral y otros.

Pensamos que, adicionalmente, los ingenieros intentamos dar respuesta a muchas preguntas como las siguientes:
¿Cómo mejorar nuestros diseños, haciendo que los mismos sirvan adecuadamente a unos grupos sociales sin causar perjuicios y daños a otros?. ¿Qué métodos y procedimientos de diseño y construcción son los más apropiados para minimizar los riesgos de colapso y maximizar la seguridad de nuestras estructuras y máquinas diseñadas y construidas?. ¿Cómo influye en lo anterior la economía de los grupos sociales, empresas públicas y privadas?. ¿Cómo lograr diseños que minimicen los daños al medio ambiente y preserven los recursos naturales?.
En consecuencia, surgen elementos comunes entre la ingeniería y la filosofía o hay un intersección de ambos, lo que se representa en la figura 3.
Así como los movimientos tectónicos o placas en movimiento, el cual es prácticamente imperceptible, la interacción entre la ingeniería y la filosofía es también lenta y por lo tanto difícil de apreciar, pero hay esa interacción y está en pleno desarrollo, mismo que permite una reconciliación entre la ingeniería y la filosofía.
En consecuencia, hay un carácter filosófico de la ingeniería, que conduce a un conocimiento más profundo de ella y permite responder a las cuestiones planteadas

y otras más. Esta es la tercera razón por la cual es importante la filosofía para la ingeniería y los ingenieros.

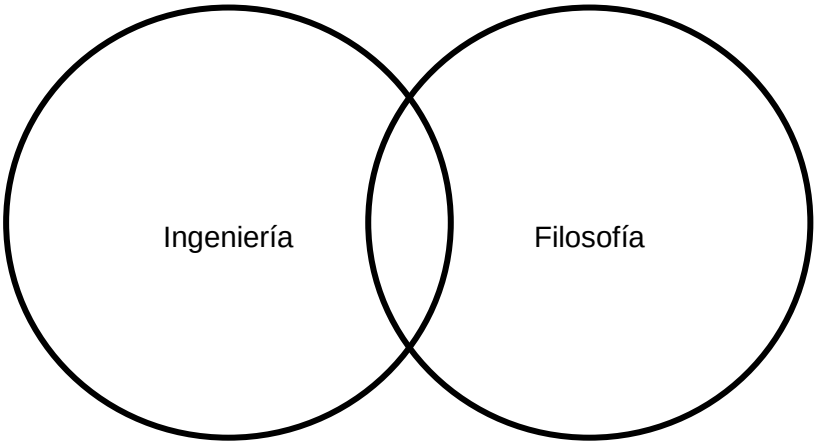

Figura 3: Superposición de Ingeniería y Filosofía
(Fuente: Mitcham, 1998)

Otro teórico que aborda las cuestiones filosóficas y científicas de las tecnologías e ingenierías es Bunge (2006). Para este autor, las tecnologías pueden ser materiales, sociales, cognitivas y generales. Dentro de las tecnologías materiales incluye a las físicas, químicas, bioquímicas y biológicas; a su vez, como parte de las físicas, están la ingeniería civil, la ingeniería eléctrica y otras. Consecuentemente, para este autor, la ingeniería civil y la ingeniería estructural, como parte de ella, es una ingeniería (tecnología) física.
Para Bunge, la investigación tecnológica o la investigación en ingeniería, no difiere de la investigación científica, desde el punto de vista metodológico.
Termina Bunge, su filosofía de la tecnología, refiriéndose a problemas éticos en la tecnología y estableciendo el lugar de la tecnología y, consecuentemente, la ingeniería. Tanto la investigación tecnológica (ingenieril) como la básica, tienen un código de honestidad intelectual.
Adicionalmente a lo que establece Bunge, conviene aclarar que el ingeniero en general y el ingeniero civil (estructural), en particular, transitan por las ciencias puras o básicas como la matemática, la física y la química, crean sus propias ciencias, llamadas ciencias aplicadas o ciencias de la ingeniería como la estática, mecánica de materiales, etc. y son parte fundamental del proceso de producción de bienes y servicios (tecnología).
Mitcham y Bunge coinciden en algo fundamental, que los dominios de la ingeniería y la filosofía, no son aislados, por el contrario, tienen elementos comunes.

Materialismo dialéctico y método dialéctico

El materialismo dialéctico, la filosofía del marxismo, es la concepción del mundo. Como auténticamente científica, como la única filosofía, verdadera, el materialismo dialéctico representa la concepción del mundo, científica y avanzada. El materialismo dialéctico es la ciencia que estudia las relaciones entre la conciencia y el mundo material objetivo, las leyes más generales del movimiento y desarrollo de la naturaleza, de la sociedad y del conocimiento. La filosofía del marxismo se llama

materialismo dialéctico porque constituye la unidad orgánica del materialismo y la dialéctica [9] .
Quisimos comenzar reproduciendo las definiciones anteriores para fijar una posición respecto a la filosofía del conocimiento, ya que, en nuestra opinión, el materialismo dialéctico y su consecuente lógica dialéctica o método dialéctico constituyen la base teórica – conceptual conducente a la construcción de una dialéctica de *una ingeniería estructural*.
Seguidamente, intentamos sintetizar el método dialéctico, tomando como base la literatura relativa a estos temas de orden filosófico [9],[10],[11].
¿Cuál es el método dialéctico?, ¿En qué consiste o cómo es el movimiento racional por el que la Idea se desarrolla?. Para Hegel, el encadenamiento lógico entre los momentos de la realidad -que también llama esencias- consiste en una disposición ternaria tal que dos esencias contrarias se atraen o se implican necesariamente la una a la otra, y de ello resulta la existencia de una tercera, que contiene de modo superior y eminente, la perfección de las dos primeras, después de haberlas superado. Luego, el proceso vuelve a comenzar para esta tercera esencia que implica también otra esencia contraria suya, forma de ambas otra superior y así sucesivamente. Es lo que Hegel llama movimiento “dialéctico” o “especulativo”. Los dos primeros momentos o esencias se corresponden con dos conceptos -equivalentemente dos realidades- frente a frente: **tesis y antítesis**. Pero, ambos se necesitan porque se complementan y por eso se reclaman y se exigen mutuamente, tienden a fundirse y reconciliarse y, al hacerlo, resulta un nuevo concepto -una nueva realidad- que comprende los conceptos -las realidades- anteriores en un tercer término, más rico que los dos anteriores. Es la **síntesis**. Esta a su vez se hará tesis, porque a ella, por ser también limitada, se le opondrá una negación o antítesis; de ambas surgirá una nueva síntesis y así sucesivamente. Se puede decir que la tríada tesis-antítesis-síntesis significa una acción que es suprimir-conservar-elevar, de forma que el término resultante de la acción es más rico que los anteriores y los conserva elevados después de negarlos. Así pues, nada se pierde; todo se conserva y se sublima. La dialéctica de Hegel es, sin duda, el intento más grandioso que se ha hecho nunca de extender el principio de conservación de la energía a todos los campos de la realidad.
Invirtiendo la postura de Hegel, Marx construye una dialéctica en torno a la materia (no a la idea), cuya finalidad no es la simple teorización y justificación de la realidad, sino su transformación revolucionaria. Así como Marx había buscado las leyes que explican la historia humana (materialismo histórico), Engels busca las leyes generales que dan inteligibilidad a las ciencias de la naturaleza (materialismo dialéctico). Para Engels no basta concebir la dialéctica, como se hace a veces, diciendo que consiste en la tríada: tesis-antítesis-síntesis. La dialéctica se fundamenta en tres leyes, elaboradas por Engels en su materialismo dialéctico y que pueden enunciarse de la siguiente manera:

- **Ley del paso de la cantidad a la cualidad y viceversa**

En la naturaleza y de un modo claramente establecido para cada caso singular, los cambios cualitativos sólo pueden producirse mediante la adición o sustracción cuantitativas de materia o de movimiento. Es decir, una adición o una sustracción cuantitativa y continua de elementos a una realidad dada, llega a un determinado umbral; si por una nueva adición o sustracción cuantitativa se pasa esa frontera, se produce otro cuerpo con propiedades cualitativas distintas del anterior.

- **Ley de la penetración de los contrarios o ley de la unidad o lucha de opuestos o ley de los contrarios**

Tres principales sentidos, distintos y complementarios, se han hallado en Hegel del término "contradicción"; el distinguirlos adecuadamente ayuda a comprender a Hegel y, por consiguiente a Marx y Engels:

- En primer lugar, la expresión hegeliana "toda cosa en sí misma es contradictoria" significa que toda cosa exige la existencia de su contrario, entendida esta palabra únicamente como algo que relacionado con ella, pero no es ella. Es evidente que toda cosa (todo concepto), limitado, por el hecho de serlo, nos está remitiendo a otra cosa que no es ella, que en ese sentido la "niega", es su limitación, su negación, su contrario. Aquí el sentido de la palabra contradicción se amplía y se puede considerar que nos habla de desunión de lo que si estuviera unido significaría una plenitud superior, de lo que por lo mismo tiende a una reconciliación. Mientras ésta no se verifica, se da una alienación en cada uno de los dos términos, en el doble sentido de desposesión y alejamiento de uno con respecto al otro. El momento de superación será la aparición de un tercer término en que estos contrarios se reconcilian y sintetizan.
- Un segundo sentido de la palabra "contradicción" viene a completar el primero. Ese término "contradicción". Hegel no se conforma con ver las cosas separadas, las ve enfrentadas en oposición y en lucha la una con la otra. La separación se hace hostilidad. La alienación tiene ahora sentido peyorativo. La negación mutua de los términos es activa y agresiva, aunque esta hostilidad no es sino un momento previo que se completa con el de la resolución final, en la que los contrarios se identifican. La razón de esta pugna estaría en que cada cosa tiende al infinito y es obstaculizada por su contraria.
- El tercer sentido de "contradicción" es más general y designa el hecho de que una cosa es esencialmente, por su ser y en su ser mismo, relativa a otra cosa sin la cual la primera carece de sentido. "Contradicción" sería así la relación constitutiva recíproca entre dos términos. Ninguna cosa es nada si se la ve aislada de las demás, "abstraída" del conjunto. Sólo en su relación con las otras alcanza significación, o, mejor aún, cada cosa queda constituida por su relación con las demás. Por eso, en la síntesis como tal, cuando se "resuelve" o "supera" la "contradicción" es donde la relación se verifica con más profundidad. La síntesis sería así no solo la unión de los contrarios sino la unión de identidad y de "contradicción". O mejor el encuentro del fundamento en la relación misma. Así pues, la expresión hegeliana "toda cosa en sí misma es contradictoria", significa de manera general que toda cosa (todo concepto) está limitada-negada-alienada-hostigada-relacionada con otra y que esta limitación-negación-alienación-hostilidad-relación tiende a superarse en un tercer término en el que las dos se subliman y sintetizan, luego vuelve a comenzar el proceso.

- **Ley de la negación de la negación**

Cuando Hegel habla de los tres momentos de la dialéctica usa raras veces los términos tesis-antítesis-síntesis. Utiliza con mucha más frecuencia los más expresivos de afirmación, negación y negación de la negación. Engels dice, refiriéndose a Legal, que la negación de la negación "figura como la ley fundamental que preside la estructura de todo el sistema". En realidad es Engels, no Hegel, el

que enuncia este mecanismo como una ley. Pero sí es cierto que ella explica e ilumina bien el mecanismo de la dialéctica, al menos en una de sus formas más importantes, en la forma más dinámica e histórica de la dialéctica. Por sí mismo es claro que, en la forma más dinámica de la dialéctica, la antítesis es la negación de la tesis y la síntesis es la negación de la antítesis, es decir, negación de la negación. Es claro también que en la dialéctica hegeliana, el resultado final, la negación de la negación o síntesis, no es la tesis inicial, sino un término superior y más perfecto que los dos anteriores. Esta formulación es típicamente especulativa, es decir, una interpretación ideal, categorial de la realidad concreta.

Partidarios y detractores de la dialéctica

Al referirnos a Einstein [12],[13], respecto a su concepción sobre el mundo real o concreto y el mundo de las ideas o abstracto, se puede establecer lo siguiente:

- La realidad natural existe independientemente de la existencia de los hombres.
- El pensamiento lógico (formal) se limita a establecer la conexión de conceptos y preposiciones entre sí según reglas fijas o rígidas.
- El pensamiento, los conceptos y proposiciones (lo abstracto) tiene sentido cuando se establece una conexión con lo sensorial, con el mundo real, con lo concreto. Es el grado de esta conexión la que hace la diferencia entre la verdad científica y la especulación.
- Si además, tomamos en cuenta que, en el ámbito científico, Einstein cuestiona la Mecánica Clásica con su Teoría de la Relatividad, estamos en condiciones de afirmar que para este físico teórico, ninguna verdad científica es eterna. En consecuencia es partidario de la dinámica del pensamiento, del movimiento de las ideas y de la realidad concreta.
- En suma, considerando estos elementos, los principios fundamentales y categorías principales de la lógica dialéctica o método materialista dialéctico, estamos en condiciones de afirmar que Einstein era un dialéctico no declarado.

También, hay una dialéctica post marxista. en particular, Lenin dedicó especial atención al problema de la correlación de la lógica, la teoría del conocimiento y la dialéctica. Puede afirmarse, sin lugar a dudas, que este problema ha constituido el eje de todas sus reflexiones filosóficas, que una otra vez vuelve a él, formulando siempre de manera más clara y precisa su comprensión y solución [14].

La dialéctica es, según la concepción de los representantes del materiaismo dialéctico, no solamente Lógica, sino al mismo tiempo, Epistemología, tal como ya lo había afirmado Lenin: *Dialéctica, Lógica y Epistemología designan la misma cosa*. Sin embargo, según Kedrov (Rod, 1977), Lenin no quiso afirmar la identidad de *Dialéctica, Lógica y Epistemología*, sino su unidad. Kedrov refuerza este concepto mencionando *unidad inseparable* y la considera basada en la unidad inseparable del proceso de conocimiento mismo, a saber, "por la coincidencia del sujeto y del objeto en el punto extremo del conocimiento, cuando se verifica y confirma la corrección de los resultados del conocimiento por la praxis". Además, la teoría del conocimiento tiene la tarea de establecer la relación de dialéctica objetiva (leyes dialécticas del mundo externo) y de la dialéctica subjetiva (leyes dialécticas del pensamiento, con las que tiene que ver la lógica dialéctica). La relación misma de Dialéctica, Lógica y Epistemología, es dialéctica.

Finalmente, así como hay muchos partidarios de la dialéctica, que la usan y aplican para fines científicos y filosóficos, también hay detractores de esta corriente filosófica que la critican implacablemente.

Karl Popper [15] se dedicó a criticar a varios pensadores, pero, sin duda alguna, fue implacable con Karl Marx. Esta es una de las razones de la "popularidad" de Popper. En casi todos sus trabajos, Pooper se dedicó a desarrollar sendas críticas en contra del pensamiento de Marx. Estas críticas son de diferente nivel o "calibre" filosófico, desde trabajos como ¿Qué es la dialéctica? hasta libros completos. A decir de muchos autores parece que el libro *La sociedad abierta y sus enemigos* concentra lo esencial del ataque más frontal de Popper al Marxismo.
También, Bunge (2006), entre otras críticas, califica a las leyes de la dialéctica como *hipótesis muy generales* acerca del devenir, en particular del desarrollo socio-histórico. Estas hipótesis, más o menos precisas, no constituyen un método, esto es, un procedimiento para hacer o estudiar algo. Constituyen una doctrina. A decir de este autor, no hay método dialéctico, sino más bien un enfoque dialéctico de problemas, teóricos y prácticos, consistente en presuponer la ontología dialéctica e intentar encajar en ella los objetos de interés.
Al estudiar a Kuhn [16], coincidimos con Fuentes [17], quien establece que con la teoría de Kuhn se ataca (directa o indirectamente) a la teoría materialista dialéctica.

Síntesis y postura personal

En el marco de los elementos del estado del arte sobre la filosofía de la ingeniería descrito y considerando los elementos teóricos más importantes de la dialéctica sintetizados en los párrafos precedentes, podemos precisar lo siguiente:

- Se ha podido establecer dos aspectos importantes, a saber: la filosofía de la ingeniería, si bien es necesaria, aún no se ha desarrollado completamente y, no existe una dialéctica de la ingeniería estructural.
- Los filósofos han comenzado a considerar los problemas planteados por la ingeniería y los ingenieros se han involucrado en la filosofía de sus problemas.
- Un aspecto importante, que puede ser de utilidad para nuestros objetivos, es el hecho de que Marx asume de Hegel que la realidad no es estática, sino dinámica y cambiante. Así también es el objeto de estudio de la ingeniería estructural, es decir, las estructuras.
- La noción más general de movimiento debe entenderse como cambio. Es decir, no todo movimiento es puramente mecánico; hay otras formas de movimiento no reductibles al movimiento mecánico.
- Como el pensamiento es un reflejo de la realidad y la realidad es dinámica (cambiante), también el pensamiento es móvil, dinámico y dialéctico.
- Hegel formula las citadas leyes como estructuras del pensamiento ideal, en tanto que, Marx y Engels creen encontrarlas en la realidad material.
- Parece que, el significado de contradicción, es el que ha quedado más subrayado en las concepciones filosóficas de la dialéctica.
- La unidad de la teoría con la práctica, que enfatiza el marxismo, es un aspecto fundamental a tener en cuenta, considerando las transformaciones, la dinámica, la dialéctica de las estructuras mecánicas desde que son concebidas mentalmente (teoría) hasta que se materializan en la realidad (práctica).
- El método dialéctico, que se resume en las llamadas leyes de la dialéctica y en la tríada tesis-antítesis-síntesis, además de las categorías lógicas de la dialéctica, son los que, en muchos casos, podría permitir explicar e interpretar, de manera alternativa, varios aspectos relativos al comportamiento, transformaciones (movimiento) y contradicciones de los diferentes fenómenos y elementos de la ingeniería estructural.

- Lo mismo puede decirse de las tres leyes de la dialéctica formuladas por Engels, es decir, estas permitirían, igualmente, interpretar el "movimiento" de las citadas estructuras, tanto conceptualmente como en la realidad.
- Más allá de las pretensiones de orden científico que sobre la dialéctica tienen sus partidarios, sin exagerar sobre el particular y tratando de no caer en el dogmatismo, nos limitaremos a usar y aplicar aquellos elementos, conceptos, leyes y categorías de la dialéctica, que nos permitan alcanzar el objetivo principal diseñado, cual es el de proponer una *dialéctica de la ingeniería estructural*.
- Un hecho motivador, respecto al uso de la dialéctica en el campo de las ciencias de la ingeniería, es el pensamiento de varios científicos que, como Einstein, caracterizan el pensamiento científico como la conexión entre el mundo de las ideas y el mundo de los fenómenos, esto quiere decir la unidad entre lo abstracto pensado y lo concreto sensorial.
- Entre Einstein, Popper, Bunge, Kuhn y otros, con relación a la concepción de la ciencia, su método y su filosofía, dada la estatura del primero, respecto de los otros, nos inclinamos por la filosofía científica de Einstein, la cual está más cerca de la lógica dialéctica que de la lógica formal.
- Sin ignorarlos, hacemos abstracción de los puntos de vista de los detractores de la dialéctica y nos concentramos en sus elementos que nos son útiles.

METODOLOGÍA

La estrategia metodológica, en la elaboración de este artículo ha consistido en:

- Revisión exhaustiva y síntesis del materialismo dialéctico, el método dialéctico, sus leyes y categorías principales, considerando, también, a los críticos o detractores del materialismo dialéctico o de la dialéctica.
- Identificación de aquellos elementos (leyes, proposiciones, categorías, etc.) que se pueden aplicar al estudio dialéctico de la ingeniería estructural para interpretar o explicar esta rama de la ingeniería, de una manera alternativa a las existentes.
- Revisión de los aspectos históricos más relevantes que permiten comprender el desarrollo de la ingeniería estructural y proyectar su futuro, con énfasis particular en la mecánica de los materiales. Es decir, se usa el método histórico. No se olvide que *"el pensamiento humano es un fenómeno histórico, que supone la sucesión de los conocimientos de generación en generación y, en consecuencia, la posibilidad de fijarlos con los recursos de la lengua. El conocimiento del mundo, de un individuo, es mediatizado en todos los sentidos a través del conocimiento del mundo por toda la humanidad. El pensamiento del hombre moderno es producto de la historia y sus peculiaridades específicas se formaron históricamente sobre la base del desarrollo de la práctica social, la cual también es un fenómeno histórico"* (Spirkin, 1969). Por razones de limitaciones de extensión del artículo, no se incorpora al mismo el análisis histórico referido.
- Aplicación del método y las leyes de la dialéctica a la interpretación y explicación de varios fenómenos, elementos y problemas relacionados con el análisis y diseño en ingeniería estructural, que representa una dialéctica de la ingeniería estructural, usándose, en consecuencia, el método racional.
- Posteriormente, se plantea una dialéctica que tiene que ver con los elementos más generales de la ingeniería estructural, por ejemplo, su definición, sus funciones y tareas fundamentales en la sociedad y otros. En la tarea de construir la dialéctica de la ingeniería estructural, en consecuencia, además de usar el análisis y la síntesis, se emplean también los métodos inductivo y deductivo.

- En esta estrategia, se aplican las leyes de la dialéctica y se consideran sus categorías, aquellas que son pertinentes a nuestro estudio.

RESULTADOS: DIALÉCTICA DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

a) Identificación de algunos elementos y sus contrarios

Considerando la expresión hegeliana *"toda cosa en sí misma es contradictoria"* y los otros conceptos relativos a segunda ley de la dialéctica (penetración de los contrarios), se han identificado, de la ingeniería estructural, algunos objetos, términos o conceptos y sus contrarios, que se listan en el cuadro No. 1, parte de los cuales serán analizados desde el punto de vista dialéctico.

b) Dialéctica de algunos elementos y fenómenos específicos

Estructuras estáticamente determinadas e indeterminadas.- Para todos los ingenieros de estructuras es conocido que una de las clasificaciones de las mismas establece que pueden ser estáticamente determinadas (isostáticas) y estáticamente indeterminadas (hiperestáticas). En las estructuras estáticamente determinadas, las reacciones de vínculo son obtenidas empleando únicamente las ecuaciones que reflejan las condiciones de equilibrio del cuerpo rígido o ecuaciones de la estática, en tanto que, para las estructuras estáticamente indeterminadas, si bien las condiciones de equilibrio son necesarias, ya no son suficientes a tiempo de calcular las reacciones de vínculos, por ello, se recurre a ecuaciones adicionales que nos proporcionan otras ciencias de la ingeniería como la resistencia de materiales y la teoría de la elasticidad. Veamos esto desde el punto de vista dialéctico:
El tipo de estructura estáticamente determinada o estáticamente indeterminada es una cualidad o calidad de estructura, pero, esta calidad está afectada por la cantidad, concretamente por la cantidad de reacciones de vínculo o incógnitas a calcular, en consecuencia, por la cantidad de ecuaciones a resolver.

Cuadro No. 1
Conceptos, objetos y contrarios en la ingeniería estructural

No.	Concepto u objeto	Contrario
1	Positivo	Negativo
2	Estática	Dinámica
3	Carga estática	Carga dinámica
4	Acción	Reacción
5	Fuerza	Resistencia
6	Liso	Rugoso
7	Sólido rígido (ideal)	Sólido deformable (real)
8	Tracción axil	Compresión axil
9	Tracción por flexión	Compresión por flexión
10	Columna corta	Columna larga o esbelta
11	Momento de flexión positivo	Momento de flexión negativo
12	Estáticamente determinado	Estáticamente indeterminado
13	Estabilidad	Inestabilidad
14	Rigidez	Flexibilidad
15	Fuerzas o esfuerzos externos	Fuerzas o esfuerzos internos

16	Trabajo de fuerzas exteriores	Trabajo de fuerzas interiores
17	Pequeñas deformaciones	Grandes deformaciones
18	Acortamiento (deformación)	Alargamiento (deformación)
19	Grandes luces	Pequeñas luces
20	Homogéneo	Heterogéneo
21	Isotrópico	Anisotrópico
22	Elasticidad	Plasticidad
23	Modelación (abstracción)	Realidad (concreción)
24	Subdimensionado	Sobredimensionado
25	Seguridad	Falla
26	Diseño	Análisis
27	Diseño seguro	Diseño inseguro
28	Riesgo absoluto	Seguridad absoluta
28	Diseño económico	Diseño antieconómico
30	Falla frágil	Falla dúctil
31	Elasticidad	Plasticidad
32	Empuje activo	Empuje pasivo
33	Métodos gráficos	Métodos analíticos
34	Empírico	Racional
35	Abstracto	Concreto
36	Teoría	Práctica
37	Análisis	Síntesis
38	Cantidad	Cualidad
39	Finito	Infinito
40	Diferencial	Integral

Por tanto, este es un claro ejemplo de la interpretación del fenómeno usando la una de las leyes de la dialéctica, el paso de la cantidad a la cualidad y viceversa. En síntesis, si se tienen, en el plano, tres reacciones a calcular, las ecuaciones de la estática son suficientes; en el momento en que se adiciona una reacción más, estamos modificando la cantidad y transformando la estructura en otra cualidad (estáticamente indeterminada). Este mismo análisis puede hacerse empleando conceptos que son equivalentes al de determinación o indeterminación de las estructuras como son las condiciones de borde y los grados de libertad.

El diagrama esfuerzo (σ) - deformación unitaria (ε).- A partir del siglo XVIII (Timoshenko, 1983) la mecánica de los materiales tiende a fundamentar sus principios y leyes sobre la base de ensayos de laboratorio, para lo cual se comienzan a construir diferentes y especiales equipos y aparatos. Es, a partir de entonces, que se comienza a profundizar en el concepto de esfuerzo y deformación y, por lo tanto, en la construcción del llamado "diagrama esfuerzo (σ) – deformación unitaria (ε)".

Este diagrama permite estudiar el comportamiento de un determinado material, sometido a un tipo de esfuerzo e incrementando el mismo, hasta que colapsa o falla. El mismo diagrama permite a los ingenieros estudiar el comportamiento elástico de los materiales según la ley de Hooke que establece que: "los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones". La figura 4 muestra el diagrama esfuerzo –

deformación unitaria, típico de una barra de acero sometida a un esfuerzo de tracción. En este diagrama se pueden identificar las siguientes regiones o fases:

1. Región elástica (OA); en la cual, el material se comporta elásticamente, es decir, sigue la ley de Hooke. Como puede apreciarse, esta fase está identificada con una relación lineal, una línea recta que parte del origen del sistema de coordenadas. El punto final de esta línea recta se denomina límite de proporcionalidad. Si se incrementa ligeramente el esfuerzo, el material comienza a comportarse "no elásticamente" e, inmediatamente después del límite de proporcionalidad se tiene el llamado límite elástico.
2. Comienza, entonces, región de "fluencia" (AB) con el llamado esfuerzo de fluencia. En esta región, se puede percibir claramente que, a pesar de que el esfuerzo no aumenta, el material se sigue deformando (fluye). El material ya no se comporta elásticamente, sino, tiene un comportamiento plástico.
3. Si se aumenta el esfuerzo, el material va a seguir comportándose plásticamente hasta que alcanza el esfuerzo máximo y finalmente se fractura o rompe (esfuerzo de rotura), es la región BC.

Sobre las bases de este diagrama, consecuencia de una prueba de laboratorio, el ingeniero selecciona las dimensiones (dimensiona o diseña) un elemento sometido a un esfuerzo de tracción. Imagínese un elemento (barra), sometido a una determinada fuerza de tracción y que pertenece a un sistema estructural más complejo, por ejemplo un reticulado. Intentemos interpretar dialécticamente los principios que regulan el proceso de diseño de la sección transversal de esa barra.

- Si se seleccionan las dimensiones de la sección transversal del citado elemento de modo que se produzcan esfuerzos muy pequeños (en la región elástica), no se estará aprovechando adecuadamente la resistencia del material, aunque las dimensiones ofrezcan seguridad.
- Por el contrario, si las dimensiones del elemento son seleccionadas de manera que se produzcan esfuerzos muy grandes, por ejemplo en la región de fluencia o más allá de ella, existe el riesgo de que con pequeños incrementos de carga o esfuerzo, el elemento llegue a la ruptura.
- Por lo dicho en los dos párrafos precedentes, el ingeniero ha creado los llamados factores de seguridad, que permiten dimensionar o diseñar los elementos estructurales bajo el concepto de esfuerzos admisibles. Todo esto, en términos de la dialéctica, se puede interpretar de la siguiente manera:
    - ✓ Tesis: Diseño seguro (no económico).
    - ✓ Antítesis: Diseño inseguro (económico).
    - ✓ Síntesis: Si se usa el criterio de los esfuerzos admisibles, se tiene un diseño seguro que aprovecha "racionalmente" la resistencia del material.

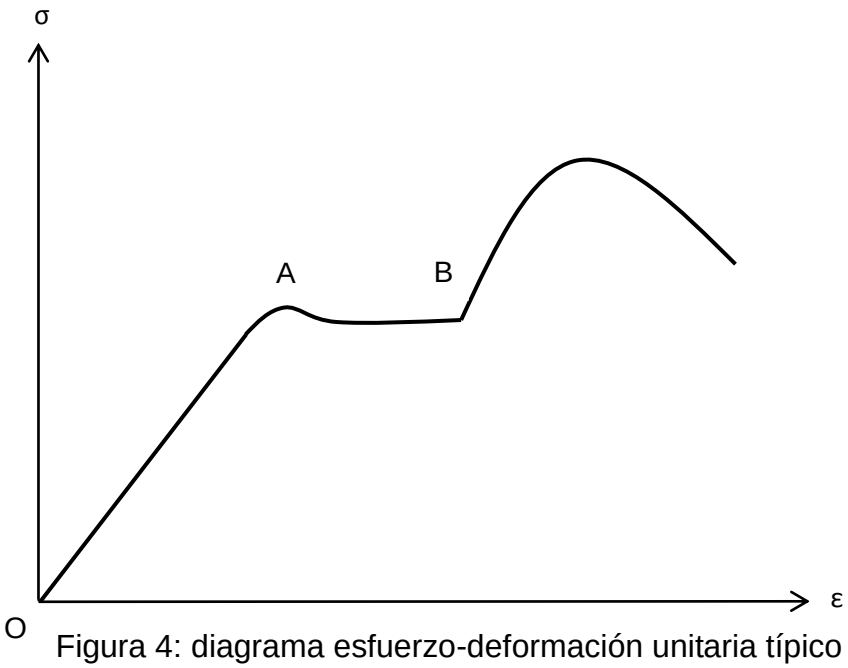

Figura 4: diagrama esfuerzo-deformación unitaria típico

Expresado de otro modo, también dialécticamente, no se podría hablar de un diseño seguro si no habría (en la mente del ingeniero y en la realidad) un diseño inseguro. Es decir, los dos términos son opuestos, contrarios, pero, se necesitan el uno al otro y aparece un tercer término o concepto que "funde" a los dos primeros, que los reconcilia y que es superior a los mismos, que puede llamarse diseño óptimo.

El diseño de secciones desde el punto de vista dialéctico.- Generalmente, las dimensiones longitudinales de los elementos estructurales están condicionadas por características arquitectónicas, en cambio, las dimensiones de las secciones transversales obedecen específicamente al diseño o dimensionado estructural, entendiéndose como tal al proceso mediante el cual se determinan las dimensiones de la sección transversal conociendo las cargas actuantes y las propiedades mecánicas de los materiales.
Considérese un elemento estructural homogéneo e isotrópico, sometido a un tipo especial de esfuerzo, la flexión pura. Este elemento se conoce en la mecánica de los materiales como viga. Situémonos, además, en el problema de diseño o cálculo de las dimensiones de la sección transversal del citado elemento, que está sometido a un tipo de carga.
La selección de las dimensiones tiene como base a la ecuación de la flexión pura:

$$\sigma = (My)/I \qquad (1)$$

Siendo:
σ = esfuerzo de flexión en el elemento, que se expresa en unidades de fuerza/unidades de superficie o longitud al cuadrado (F/L^2);
M = momento de flexión (máximo), expresado en unidades de fuerza x unidades de longitud (F.L);
y = distancia desde el eje neutro de la sección transversal hasta la fibra más alejada del mismo, ya sea en tracción o en compresión, expresada en unidades de longitud (L);

I = momento de inercia de la sección transversal del elemento, expresado en unidades de longitud a la cuarta potencia (L^4).
Como se sabe, el momento de inercia (I) es la propiedad mecánica que determina las dimensiones de la sección transversal del elemento.
En términos de la dialéctica, definamos al momento de inercia como la **cantidad** en el elemento. Por otra parte, la **cualidad**, la expresamos en términos de la resistencia a la flexión o aquel esfuerzo de flexión que es capaz de soportar con determinadas dimensiones o momento de inercia.
Establecemos que, la cualidad (resistencia del elemento estructural, expresada como esfuerzo de flexión) es una función de la cantidad (dimensiones de la sección transversal, expresadas como momento de inercia).
O, dialécticamente: "si se quiere modificar la cualidad del elemento (resistencia o esfuerzo) necesariamente se debe cambiar la cantidad del mismo (momento de inercia)".
Análogamente y a la inversa, "la cantidad (momento de Inercia) del elemento sólo es posible de modificarse alterando la calidad del mismo (resistencia)".
Se puede demostrar que esta ley (de la dialéctica) es aplicable al diseño y análisis de los elementos estructurales sometidos a cualquier tipo de esfuerzo en la ingeniería estructural.

Los elementos estructurales y su transformación dialéctica.- Consideremos un elemento estructural, una barra, sometido a una carga que produce un esfuerzo combinado de flexión más compresión. Las columnas o vigas-columna en los sistemas estructurales son un ejemplo. Se puede representar gráficamente este elemento, bajo las condiciones de carga dichas, como en la figura 5, en la cual:

P = fuerza de compresión;
M = momento de flexión.

Este es un elemento sometido a un esfuerzo combinado de flexión más compresión, es decir, para su cálculo, diseño y análisis deben usarse adecuadamente los criterios y ecuaciones que rigen tanto la flexión como la compresión (principio de superposición). Sin embargo:

- Si el momento flector M se hace igual a cero y se mantiene el valor de P diferente de cero, es decir, si se cambia la **cantidad** de carga en el elemento, éste se convierte en otro, con propiedades diferentes al original. El elemento ya no es el mismo y, por lo tanto, habrá cambiado también su **cualidad**. Se transforma en una columna sometida solamente a compresión (compresión pura) y, para el análisis y diseño de un elemento bajo estas condiciones se usan sólo los criterios y ecuaciones que rigen el diseño a la compresión pura. Para expresarlo en términos dialécticos: una **adición o una sustracción cuantitativa** de carga en el elemento, llega a un determinado umbral; si por una nueva adición o sustracción cuantitativa se pasa (o iguala) esa frontera, se produce otro cuerpo con propiedades **cualitativas distintas del anterior**.

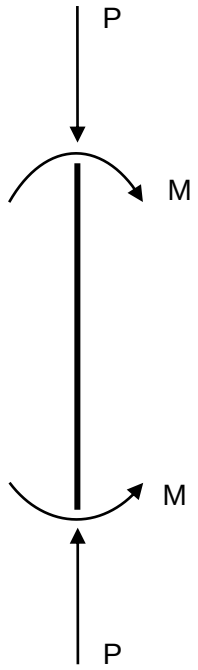

Figura 5: Elemento sometido a compresión más flexión

- Análogamente, si se hace P = 0, es decir si se produce una sustracción **cuantitativa** de la carga de compresión, hasta llegar al umbral (cero), se produce otro elemento con una **cualidad** diferente, una viga sometida solamente a flexión pura. Consecuentemente, sus peculiaridades son diferentes del original y, por lo tanto, los criterios y ecuaciones que regulan el análisis y diseño son también otros.

La generalización también es posible si se tiene un elemento sometido a una combinación de cargas más compleja.

Dialéctica en las deformaciones de las estructuras.- Es fácil probar que la tríada tesis-antítesis-síntesis se puede plantear para las deformaciones, las cuales siempre se verifican cuando se diseña un elemento estructural:
Tesis: deformación nula (ideal).
Antítesis: deformación excesiva (no nula, real).
Síntesis: deformación admisible.

Dialéctica de las fallas en el hormigón armado.- Es sabido que el hormigón es un material que tiene una resistencia importante a la compresión simple, en tanto que, su resistencia a la tracción es prácticamente despreciable. Por esta razón, para superar esta deficiencia, en ciertas estructuras, en las que se tienen esfuerzos de tracción y compresión, de manera simultánea, se utiliza el acero, como refuerzo del hormigón, que absorba los esfuerzos de tracción, denominándose, este material compuesto, hormigón armado. En una viga, simplemente apoyada en sus dos extremos, sometida a flexión pura, se distingue:

- Un eje neutro, que no soporta ni esfuerzos de tracción ni de compresión.
- Un conjunto de fibras, situadas por encima de la llamada superficie neutra, que están sometidas a compresión por flexión.

- Otro conjunto de fibras, situadas por debajo de la superficie neutra, sometidas a tracción por flexión.

En consecuencia, en el ejemplo que nos ocupa, el acero, situado debajo de la superficie neutra absorberá los esfuerzos de tracción y el hormigón los de compresión.

La teoría del hormigón armado ha definido tres tipos de fallas, a saber:

- Falla frágil o falla por insuficiencia resistente del hormigón.
- Falla dúctil por insuficiencia de la sección transversal del acero de refuerzo.
- Falla balanceada, para lo cual se recomienda una cuantía balanceada del acero de refuerzo.

En términos dialécticos:

- Tesis: falla dúctil.
- Antítesis: falla frágil.
- Síntesis: falla balanceada.

Los códigos y normas de construcción, formulan expresiones y recomendaciones con vistas a lograr un equilibrio o síntesis desde el punto de vista dialéctico.

Los estados límites desde una perspectiva dialéctica.- Al igual que en el caso de los esfuerzos admisibles, que corresponde al segundo caso analizado (diagrama esfuerzo - deformación unitaria), es posible plantear una interpretación dialéctica del criterio de los estados límites, muy usado actualmente en el análisis y diseño de estructuras.

El análisis y la síntesis en el método de los elementos finitos.- El método de los elementos finitos, dadas sus características [19], es el ejemplo más claro de cómo la ingeniería estructural utiliza el análisis y la síntesis, términos dialécticamente opuestos.

c) Reglas generales de la dialéctica de la ingeniería estructural

Definición de la ingeniería estructural.- Antes de plantear algunas reglas de la dialéctica de la ingeniería estructural, vamos a precisar una definición de la misma en términos de la triada tesis - antítesis - síntesis:

- La ingeniería estructural es el conjunto de ciencias y arte que tienen como objeto de estudio el análisis, diseño y construcción de estructuras simples y sistemas estructurales complejos, tales como edificios, puentes, presas, etc., así como los materiales que componen los mismos, logrando seguridad a costo mínimo **(tesis).**
- La ingeniería estructural es el conjunto de ciencias y arte mediante los cuales un grupo particular de seres humanos diseñan y construyen estructuras que afectan negativamente a la naturaleza y contaminan el planeta, de manera que se hace inútil y dañino para la vida humana **(antítesis).**
- La ingeniería estructural es el conjunto de ciencias y arte que tienen como objeto de estudio el análisis, diseño y construcción de estructuras simples y sistemas estructurales complejos, tales como edificios, puentes, presas, etc., así como los materiales que componen los mismos, logrando seguridad a costo mínimo, destinados a satisfacer las demandas de las sociedades actuales, preservando las necesidades de las sociedades futuras y minimizando las afectaciones al medio ambiente y los recursos naturales **(síntesis).**

A continuación planteamos algunas reglas que, juntamente con la definición dialéctica anterior, representan la síntesis de la dialéctica de la ingeniería estructural, misma que apenas pretende constituirse en una pauta filosófica que puede ser enriquecida, profundizada y mejorada permanentemente, tal y como lo establecen las propias leyes de la dialéctica, cuando se refieren a la dinámica del pensamiento.

Regla 1.- La ingeniería tiene como función principal la transformación de lo abstracto pensado (ideas, filosofías de diseño, modelos matemáticos, etc.) en lo concreto sensible (estructuras materiales construidas destinadas a cumplir una función determinada).

Regla 2.- Las matemáticas, en sus diferentes niveles, son uno de los instrumentos que utiliza el ingeniero de estructuras para la abstracción de los fenómenos de la realidad objetiva.

Regla 3.- El diseño de las estructuras es un proceso de aproximaciones sucesivas e interactivo. Esta interacción consiste en la relación permanente y dinámica entre la realidad sensible y la abstracción pensada y, en esta relación, el objeto de estudio (las estructuras simples y sistemas estructurales complejos) se somete a "movimientos" continuos o cambios en ambos niveles, es decir, abstracción y concreción. En la medida que esta interacción y dinámica sean apropiadamente consideradas, el diseño tendrá el éxito esperado.

Regla 4.- Los modelos físicos (maquetas, estructuras a escala reducida o de laboratorio y otros análogos), modelos gráficos (planos), memorias de cálculo y otros elementos, son los instrumentos que permiten el tránsito adecuado de lo abstracto pensado a lo concreto sensible.

Regla 5.- Los códigos y normas de diseño y construcción de estructuras de diferentes materiales representan filosofías de diseño, constituyen un equilibrio entre los extremos dialécticos de la ingeniería estructural y representan una síntesis, fundamentada empírica y racionalmente. Por ello, deben considerarse, prudentemente, como criterios de análisis y diseño que deben adecuarse a la realidad objetiva en cada caso.

Regla 6.- La ingeniería estructural representa una síntesis entre lo empírico y lo racional, puesto que se nutre de ambas corrientes del pensamiento científico. Las dos corrientes permiten, a la ingeniería estructural, la transformación de lo abstracto pensado en lo concreto sensible.

CONCLUSIONES

- Se ha construido una dialéctica de la ingeniería estructural como una generalización de la dialéctica de la resistencia de los materiales esquematizada anteriormente. En consecuencia, el objetivo ha sido alcanzado.
- La dialéctica de la ingeniería estructural construida debe concebirse como una formulación inicial, dinámica, con posibilidades de ser mejorada y profundizada a la luz de nuevos estudios, análisis y posteriores trabajos.
- Se comprueba la utilidad de la dialéctica, reflejada en sus tres leyes y la triada tesis-antítesis-síntesis, en la interpretación de muchos fenómenos, funciones y elementos de la ingeniería estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Benítez, A. (2008). *Filosofía de la ingeniería estructural; una aproximación.* XX Jornadas argentinas de ingeniería estructural, Buenos Aires.
2. Benítez, A. (2008). *Dialéctica de la ingeniería estructural con particular referencia a la resistencia de los materiales*. XX Jornadas argentinas de ingeniería estructural, Buenos Aires.
3. Benítez, A. (2005). *Modelo didáctico para la asignatura "mecánica de materiales" a partir de la teoría de la actividad y de la dialéctica de las estructuras mecánicas elementales*. Tesis de M.Sc., Universidad de La Habana y Universidad Autónoma J.M. Saracho, Tarija (Bolivia).
4. Bunge, M. (2006). *Epistemología.* Siglo XXI, Madrid.
5. Cuevas, A. (2005). *A model-based approach to technological theories.* Tecnné: Research in Philosophy and Technology, USA.
6. Cuevas, A. (2003). *Las ciencias ingenieriles como "ciencias para la aplicación"; el caso de la resistencia de materiales.* Argumentos de la razón técnica, 2003.
7. Guy, K. (2006). *Philosophy of engineering*. The Royal Academy of Engineering, U.K.
8. Mitcham, C. (1998). *The importance of philosophy to engineering.* Teorema, Vol. XVII/3.
9. Spirkin, A.G. (1969). *Materialismo dialéctico y lógica dialéctica.* Editorial Grijalbo, México.
10. Rod, W. (1977). *La filosofía dialéctica moderna*. Ediciones Universidad de Navarra, S.A-, Pamplona.
11. Valverde, C. (1979). *El materialismo dialéctico*. Espasa – Calpe, S.A., Madrid.
12. Einstein, A. (2003). *Notas autobiográficas.* Alianza Editorial, Madrid.
13. Einstein A. y L. Infeld (2002). *La física, aventura del pensamiento.* Editorial Losada, Buenos Aires.
14. Iliénkov, E.V. (1984). *Lógica dialéctica; ensayos sobre historia y teoría.* Editorial de ciencias sociales, La Habana.
15. Popper, K. (1991). *Conjeturas y refutaciones.* Paidós, Barcelona.
16. Kuhn, T. (2002). *La estructura de las revoluciones científicas.* Fondo de Cultura Económica, México.
17. Fuentes, M. (1996). *El materialismo dialéctico y los paradigmas de Kuhn. (*www.robertexto.com).
18. Zienkiewicz, O.C. y Taylor, R.L. (2004). *El método de los elementos finitos, Vol. I, II y III.* CIMNE, Barcelona.

BENÍTEZ REYNOSO Albert - Ingeniero Civil, M.Sc., M.E., Ph.D

- Ingeniero Civil, Máster en Ciencias, Magíster en Ingeniería, Doctor (Ph.D.) por la Universidad de Sevilla.
- Más de 25 años de experiencia como docente universitario (grado y posgrado) y consultor de estudios y proyectos.
- Decano de la Facultad de Ciencias y Tecnología (1992-1994) y Vicerrector (1994-1997) de la Universidad Autónoma J.M. Saracho de Tarija (Bolivia).
- Miembro Titular de la Academia Panamericana de Ingeniería y de varias organizaciones profesionales, científicas y académicas.