

## DIALÉCTICA DEL TRÁNSITO DEL MÉTODO DE LOS ESFUERZOS ADMISIBLES AL MÉTODO EN ROTURA

Benítez Reynoso, Alberto  
Ingeniero Civil, M.Sc., M.E., Ph.D.  
Tarija (Bolivia)  
Docente Departamento de Estructuras  
Universidad Autónoma J.M. Saracho  
al\_be\_rey@hotmail.com  
benitez1@entelnet.bo

### RESUMEN

Indudablemente, el hormigón armado y otros materiales, han evolucionado tanto en la teoría del diseño como en la práctica constructiva. Este artículo se refiere, de manera particular, al hormigón armado y sus métodos de diseño. La historia del diseño de estructuras de hormigón armado demuestra que se han atravesado diferentes momentos, que denotan la evolución en este campo del conocimiento de la Ingeniería Estructural.

El problema se plantea con la pregunta: ¿Cómo interpretar dialécticamente el tránsito del método de los esfuerzos admisibles al método en rotura en el diseño de estructuras de hormigón armado?. Por tanto, el objetivo central de este artículo es "interpretar, de manera dialéctica este tránsito", para lo cual, se usa la metodología materialista dialéctica, siguiendo la lógica de los contrarios y las antinomias.

El resultado principal se expresa en una interpretación dialéctica del tránsito del primero al segundo de los métodos de diseño estructural en hormigón armado, mencionados anteriormente.

La conclusión central se refiere a la gran utilidad de la dialéctica en la interpretación de muchos fenómenos y procesos de la Ingeniería Estructural.

### ABSTRACT

*The reinforced concrete and other materials have changed in the design theory and construction practice. This paper treats on reinforced concrete and its design methods. The history of structures concrete design shows that different moments were passed, that show the evolution in this field of structural engineering.*

*The problem can be stated with the question: "How to interpret dialectically the transit of allowable stress method to rupture method in the design of reinforced concrete structures"?. So, the objective is "to interpret dialectically this transit", for which the materialistic dialectics is used, following the logic of contraries.*

*The main result is expressed in a dialectic interpretation of transit from the first to the second of named structures concrete design.*

*The central conclusion it is related with the great usefulness of dialectics to the interpretation of many phenomena and structural engineering processes.*

## INTRODUCCIÓN

La historia del diseño de las estructuras de hormigón armado muestra que el método de los esfuerzos admisibles ha tenido muchos años de vigencia en los diferentes países del mundo, método expresado en códigos, normas y reglamentos sobre el particular.

Sin embargo, dadas las limitaciones e hipótesis poco aproximadas a la realidad del método de los esfuerzos admisibles, se ha comprobado la necesidad de avanzar hacia métodos más realistas desde el punto de vista científico. En este orden de cosas, con el transcurso de los años se ha impuesto el llamado "método en rotura".

En ese contexto, en problema central que trata este artículo se puede plantear mediante la siguiente pregunta:

¿Cómo interpretar dialécticamente el tránsito del método de los esfuerzos admisibles al método en rotura en el diseño de estructuras de hormigón armado?

Consecuentemente, el objetivo central de este artículo es "interpretar, de manera dialéctica este tránsito", del método de los esfuerzos admisibles al método en rotura, para lo cual, se usa la metodología materialista dialéctica, siguiendo la lógica de los contrarios y las antinomias.

## METODOLOGÍA

Se usa la metodología materialista dialéctica, siguiendo la lógica de los contrarios y las antinomias, que se sintetiza a continuación.

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), además de la expresión *"la dialéctica es la teoría de cómo los contrarios pueden y suelen ser (devienen) idénticos; en qué condiciones son idénticos, al convertirse los unos en los otros, . . ."*<sup>1</sup>, parece que una primera tarea que debe acometer un investigador es el descubrimiento de las antinomias existentes en la realidad que se estudia, o sea, la identificación de los lados opuestos, regularidades o tendencias, que actúan como contrarios dialécticos. Al respecto, Santiesteban y Velásquez<sup>2</sup>, establecen lo siguiente:

- Las antinomias expresan, ante todo, una relación entre los contrarios, es decir, entre las propiedades, aspectos, lados, tendencias, que conforman la naturaleza de los objetos y fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, y que se hallan recíprocamente vinculados en unidad. La antinomia es el nexo que se establece entre los contrarios, es la fuente de todo desarrollo.
- La unidad de los contrarios, especialmente en la Ingeniería Estructural, tiene un carácter relativo y ello depende precisamente de la existencia de la diferencia que caracteriza la naturaleza de los objetos y fenómenos, pero, sin olvidar que a pesar de tener este rasgo, no es posible la existencia de los objetos y fenómenos sin que estos se encuentren en unidad.
- El problema se presenta como una antinomia formada por dos elementos internamente relacionados. Se distinguen dos tipos de contradicciones: internas y externas, que son dos momentos del mismo proceso.
- De ahí que, la primera tarea a ser acometida, será la identificación de las antinomias existentes en la realidad que se estudia (la ingeniería Estructural) o sea, la identificación de los lados opuestos, regularidades o tendencias, que actúan como contrarios dialécticos.

- La identificación de estos elementos por parte del investigador no depende de su voluntad porque los contrarios tienen su existencia fuera e independientemente de la voluntad y la conciencia del que investiga y su reconocimiento está condicionado por el grado de profundidad del conocimiento que sobre esa realidad objetiva ha logrado adquirir el investigador.
- La comprensión de la influencia que ejercen las antinomias internas y externas en el proceso de investigación, exige una reflexión acuciosa. Lo externo tiene su fundamento en la objetiva diferenciación de la realidad. Sin embargo, es importante acotar que el objeto diferenciado no es una cualidad homogénea respecto a sí mismo, con lo cual poseería una estructura cuantitativa. Por el contrario, cualquier objeto de investigación tiene una estructura cualitativa en la que cada uno de sus elementos puede considerarse inagotables e infinitos.
- No todas las antinomias pueden tener igual significación con respecto a la esencia que determina cualitativamente al objeto. En este sentido, las antinomias se pueden clasificar en internas y externas.
- La antinomia externa es la que genera el problema, el estado de discrepancia entre la realidad y las aspiraciones. Ellas solo promueven aspectos aislados o parciales, pero no del objeto como una totalidad integral; en el mismo sentido, aquellos que pueden superarse sin que ello determine la transformación cualitativa de los objetos a los que son inherentes.
- La antinomia interna es la fundamental, es la que es necesaria para resolver el problema. Se revela en las limitaciones de las teorías existentes, en el que se precisa el sesgo epistemológico y la base metodológica que asume el investigador, lo que genera la aparición de una nueva teoría. En consecuencia, las antinomias internas son aquellas que califican y determinan el desarrollo del objeto de investigación y condicionan las externas.
- En la elaboración de las antinomias internas y externas no basta con el conocimiento de sus definiciones abstractas, es necesario penetrar en su sistema de relaciones e interrelaciones y conocer el papel y la función de cada una de ellas, para determinar en qué medida influyen en la existencia y desarrollo del objeto, Hay que tomar en cuenta, además, que las antinomias no se revelan con la misma evidencia e intensidad en las diferentes etapas de existencia de los fenómenos y procesos.
- En este proceso de conocimiento tienen un papel protagónico el método lógico, cuya adecuada aplicación conduce al investigador hasta la antinomia interna. Por cuanto, la función principal en el conjunto de los métodos teóricos consiste en revelar la lógica del desarrollo del objeto, fenómeno o proceso que se investiga, el método histórico juega un rol fundamental, pues, con este método se parte siempre de la relación primera y más simple que existe históricamente; luego, se procede a analizarla. Ya en el solo hecho de tratarse de una relación, está implícito que se estudia separadamente, de donde luego se desprende su relación recíproca y su interacción. Nos encontramos con contradicciones que reclaman una solución. Pero, como aquí no seguimos un proceso discursivo abstracto, que se desarrolla exclusivamente en nuestras cabezas, sino una sucesión real de hechos, estas contradicciones se habrán planteado también en la práctica y en ella habrían encontrado también, probablemente, su solución. Y si estudiamos el carácter de esta solución, veremos que se logra creando una nueva relación, cuyos

dos lados contrapuestos tendremos que desarrollar ahora, y así sucesivamente.

## RESULTADOS

Indudablemente, el hormigón, primero, y, el hormigón armado y pretensado, posteriormente, han revolucionado la teoría, el diseño y la práctica constructiva de estructuras de estos materiales. Nos referiremos, de manera particular, al hormigón armado y sus métodos de diseño. La historia del diseño de estructuras de hormigón armado demuestra que se han atravesado diferentes momentos, que denotan la evolución en este campo particular del conocimiento de la Ingeniería. Pretendemos, a continuación, explicar o interpretar dialécticamente los saltos cualitativos y progresos que se han tenido en este campo.

Hasta no hace muchos años, desde principios del siglo XX y hasta los primeros años de la década de 1960, uno de los métodos de diseño de estructuras de hormigón armado más utilizados en el mundo, era el *método de diseño por esfuerzos admisibles o diseño lineal*, llamado también *método de los esfuerzos de trabajo*. Algunas hipótesis y particularidades de este método son<sup>3,4</sup>:

- Se sustenta en la hipótesis de linealidad, tanto del hormigón como del acero. Es decir, se asume que ambos materiales siguen un comportamiento elástico de acuerdo con la ley de Hooke (región elástica OA del diagrama esfuerzo-deformación unitaria de la figura 1). En resumen, la teoría elástica es el sustento científico del método.
- En este método, se calculan primero las cargas muertas y vivas, llamadas cargas de trabajo o cargas de servicio, que van a ser soportadas. Luego se determina el tamaño (dimensiones de las secciones transversales de los elementos estructurales), de manera que los esfuerzos calculados no excedan de ciertos valores límites admisibles

Ahora, intentemos seguir la lógica dialéctica de los contrarios y las antinomias, tal como se ha expresado en el capítulo de metodología.

En primer lugar, queda absolutamente claro que el acero, solo en la primera parte el diagrama esfuerzo-deformación unitaria (figura 1) se comporta elásticamente. A partir de A, el material se comporta plásticamente (región AB) para luego pasar a la etapa de ruptura o fractura.

En lo que respecta al hormigón, este material no es elástico, de ninguna manera y su diagrama esfuerzo-deformación unitaria (resistencia a la compresión) se parece más al de la figura 2; la curva es aproximadamente recta mientras la carga varía de cero a  $1/3$  a  $1/2$  de la resistencia del hormigón. Más allá de este intervalo no existe linealidad, en absoluto. Asimismo, el hormigón, por las razones anotadas, no tiene un módulo de elasticidad bien definido, su valor varía con las diferentes resistencias, con la edad, el tipo de carga aplicada y las características de sus componentes (cemento y áridos fino y grueso). Adicionalmente, el hormigón no tiene una resistencia a la fluencia plástica bien definida; más bien, las curvas se comportan suavemente hasta sus puntos de ruptura bajo deformaciones unitarias de entre 0.003 y 0.004.

Ante este panorama, siguiendo la lógica dialéctica, identificamos, de manera clara, los siguientes términos dialécticamente contrarios, a saber:

1. Elasticidad y plasticidad;
2. Linealidad y no linealidad.

Las dos parejas de términos, a saber: elasticidad-plasticidad y linealidad-no linealidad, son dialécticamente contrarios, que reflejan una relación tanto interna como externa.

Veamos las características de las antinomias externas, reflejadas en la diferencia entre la realidad y las aspiraciones de mejorar la situación. Esto se puede expresar en algunos elementos y características del *método de diseño por esfuerzos admisibles*, entre los que se citan:

- No toma en cuenta el carácter no lineal del diagrama esfuerzo-deformación unitario, especialmente del hormigón.
- Usa el mismo factor de seguridad tanto para cargas muertas como para cargas vivas.
- No aprovecha ventajosamente la resistencia de los materiales, en particular, los aceros de alta resistencia o se lo hace parcialmente.
- No permite diseños flexibles en relación al porcentaje de acero y las dimensiones o tamaño de las secciones.

Los dos últimos elementos, de los cuatro mencionados, han sido comprobados en la práctica histórico-social concreta, que se refleja en los muchos años de uso del *método de diseño por esfuerzos admisibles*. Es decir, además del método lógico, usamos, como argumento fundamental, el método histórico, el mismo que cuenta el uso y los resultados del método.

Consecuentemente, mediante esta antinomia externa, se evidencia una clara discrepancia entre la realidad y las aspiraciones. Estamos ante la presencia de un problema.

Entonces, se identifica, con elocuencia, la antinomia interna, que se refleja en las limitaciones de la teoría (la teoría elástica) en el *método de diseño por esfuerzos admisibles*.

Surge, por tanto, la necesidad de elaborar una nueva teoría de diseño de estructuras de hormigón armado, que supere las limitaciones de la teoría y aplicación práctica del *método de diseño por esfuerzos admisibles*.

La nueva teoría, debe considerar, evidentemente, las limitaciones de la teoría anterior (que sustenta el *método de diseño por esfuerzos admisibles*), debe superarlas y debe ser más racional. Nombramos, a continuación, algunos aspectos a ser tomados en cuenta por la nueva teoría:

- En primer lugar, las parejas elasticidad-plasticidad y linealidad-no linealidad, deben ser consideradas en su verdadera magnitud, ya que, tanto en la vieja teoría como en la nueva que se pretende, son importantes. Tienen que ver con el sesgo teórico-epistemológico respecto a las hipótesis a ser planteadas en la nueva teoría.
- Siendo consecuentes con lo expresado en el párrafo anterior, la nueva teoría de cálculo o diseño, debe tomar en cuenta la no linealidad del diagrama esfuerzo-deformación unitaria.
- La teoría para el diseño de estructuras de hormigón armado, en consecuencia, debe ser más consistente, más cercana a la realidad y más racional que la anterior.
- Los factores de seguridad a ser utilizados deben ser más realistas, incluso diferenciados, para cargas vivas y para cargas muertas.
- Debe aprovechar más ventajosamente los materiales, de modo que, se obtenga diseños económicos con dimensiones de las secciones y cantidades de acero económicas.

- Debe haber flexibilidad en el diseño de las secciones y sus correspondientes cantidades de acero.

De esta manera, con la interpretación dialéctica que antecede, creemos que surge la teoría y el proceso experimental que sustenta el llamado *método de diseño por resistencia*. Esta teoría y método, ahora no tiene las dificultades y limitaciones del *método de diseño por esfuerzos admisibles*, y, por el contrario, goza de las siguientes características<sup>3,4</sup>:

- Considera y toma en cuenta la no linealidad de la relación entre esfuerzo y deformación unitaria, expresada en el diagrama correspondiente, particularmente en el caso del hormigón.
- Se obtienen mejores estimaciones de la capacidad de carga cuando se aplican las nuevas ecuaciones inherentes al método.
- Se usa una teoría mucho más consistente en el diseño de estructuras de hormigón armado.
- Se usan factores de seguridad más realista; el Ingeniero de estructuras puede con mayor precisión las magnitudes de las cargas vivas, las cargas muertas y las del ambiente. Por eso, el uso de diferentes factores de seguridad en el diseño por resistencia para los tipos de carga es, en definitiva una notable mejoría en el método.
- El método de cálculo y diseño en resistencia aprovecha ventajosamente la resistencia de los materiales, especialmente los aceros de alta resistencia. El resultado se traduce en una mayor economía en las cantidades de acero empleadas y en el tamaño o dimensiones de las secciones transversales de los elementos estructurales.
- En fin, permite diseños más flexibles que el anterior método, en lo que se refiere a grandes secciones con pequeñas cantidades (cuantías) de acero, o bien secciones pequeñas con grandes cantidades de acero.

Dicho todo esto, es decir, analizadas las contradicciones, las antinomias, las limitaciones del método precedente (*diseño por esfuerzos admisibles*), las limitaciones de la teoría que lo sustenta y los problemas que ocasiona cuantitativamente, las diferencias entre lo que se tiene y lo que se pretende, las nuevas investigaciones que propugnan un nuevo método, su teoría y sustento experimental, así como la generación de nuevas ecuaciones, su uso en la práctica social y contrastación, se ha producido con el nuevo método de cálculo y diseño de estructuras de hormigón, sin lugar a dudas y en términos dialécticos un *salto cualitativo*.

Se han diseñado y elaborado, por aproximaciones sucesivas, varios esquemas lógicos que expresan la interpretación dialéctica sintetizada en los párrafos precedentes. De todos estos esquemas, presentamos los dos que reflejan la antinomia externa y la antinomia interna, los mismos se presentan en las figuras 3 y 4, respectivamente.

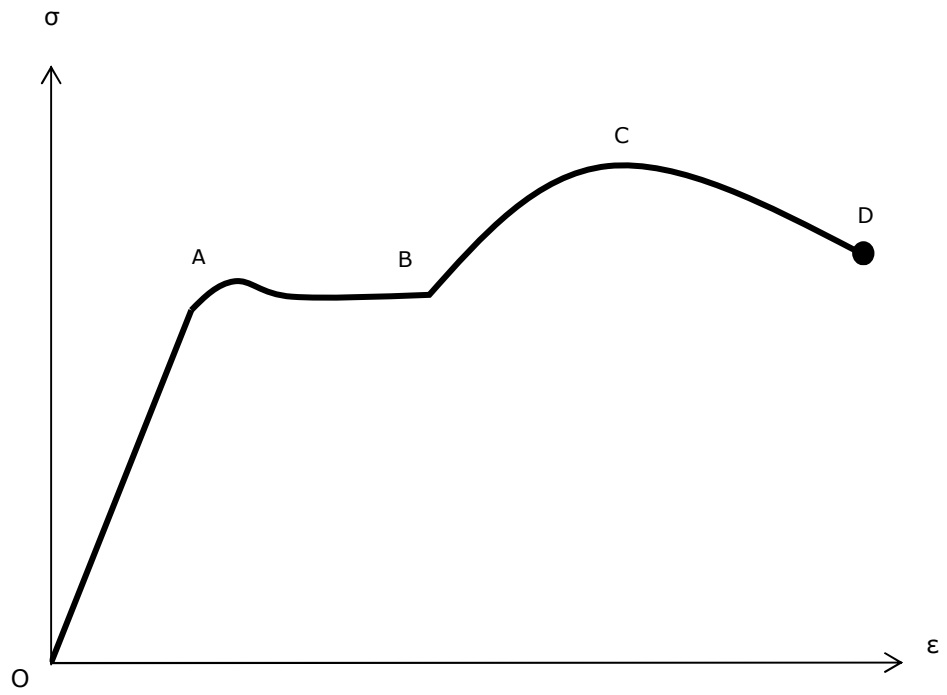


Figura 1: Diagrama esfuerzo-deformación unitaria típico, con límite elástico definido

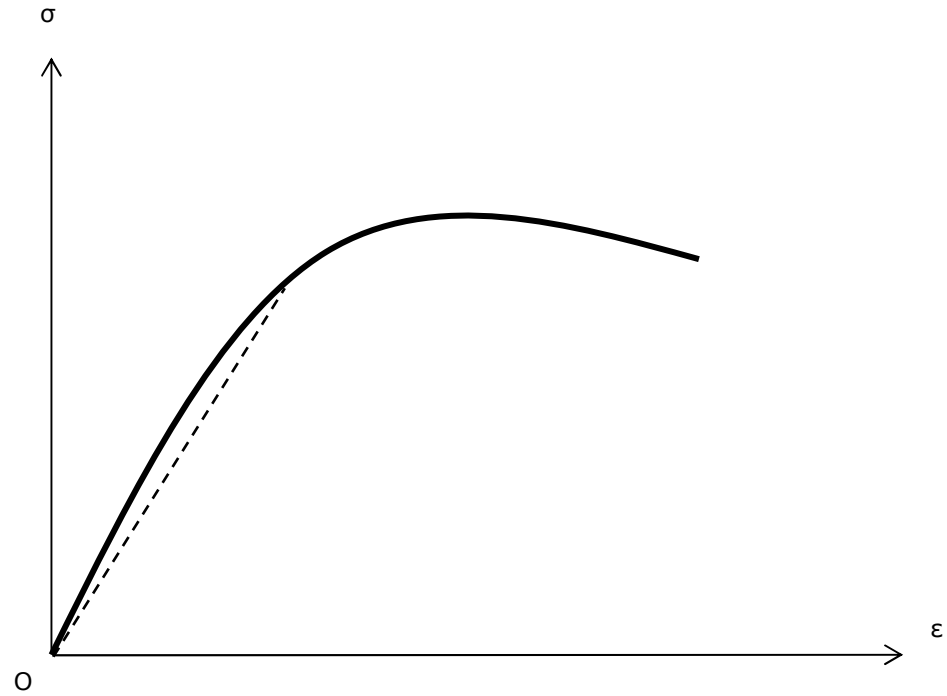


Figura 2: Diagrama esfuerzo-deformación unitaria de un material de comportamiento no lineal

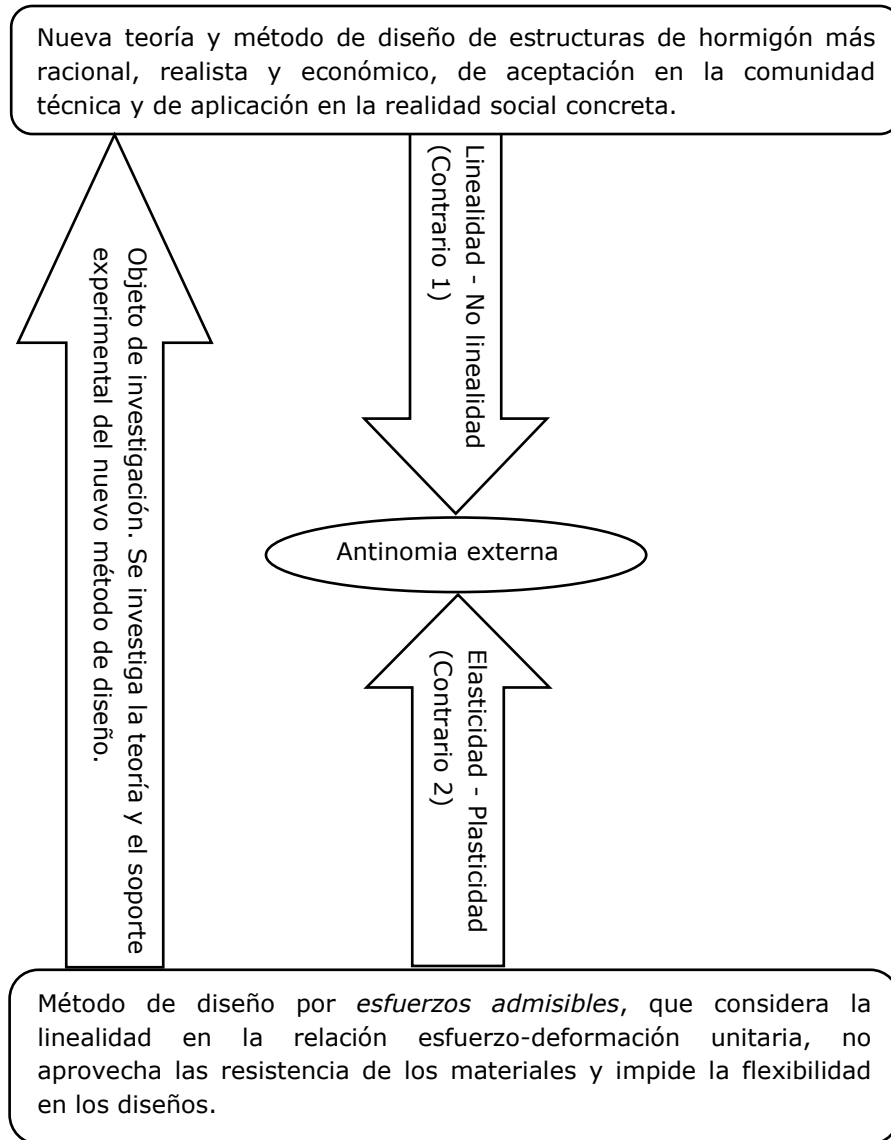


Figura 3: Antinomia externa método de diseño por *esfuerzos admisibles*

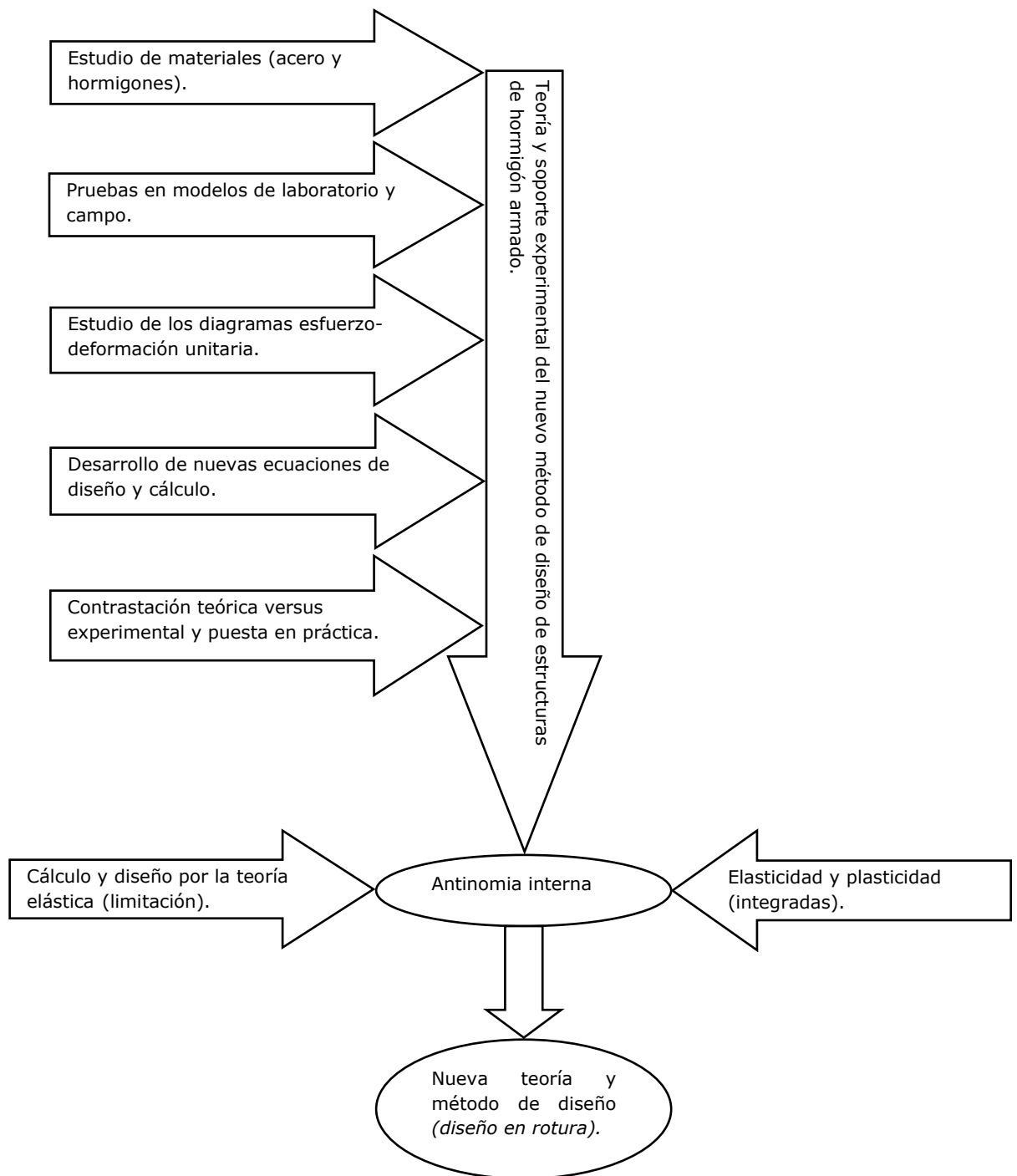


Figura 4: Antinomia interna nuevo método de diseño, *diseño en rotura*

## CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que el método materialista dialéctico, expresado en términos de sus contrarios y antinomias, es de mucha utilidad en la interpretación de los cambios cuantitativos y cualitativos por los que pasa la teoría y los métodos de diseño en el campo del hormigón armado.
- Así como pudo interpretarse dialécticamente el tránsito del método de los esfuerzos admisibles al método en rotura, en estructuras de hormigón armado, muchos fenómenos, principios y funciones de la Ingeniería Estructural pueden ser interpretados siguiendo el mismo camino, es decir, el método materialista dialéctico en sus diferentes vertientes<sup>5</sup>.

## REFERENCIAS

1. Lenin, V.I. (1975). *Materialismo y empiriocriticismo*. Ediciones en lenguas extranjeras, Pekín.
2. Santiesteban, E. y Kenia Velásquez (2011). *La concepción dialéctico-materialista de las antinomias en la investigación científica*. Contribuciones a las ciencias sociales (www.eumed.net).
3. Jiménez, P. et. al (2001). *Hormigón armado*. GG, Barcelona.
4. McCormac (2005). *Diseño de concreto reforzado*. Alfaomega, México.
5. Benítez, A. (2013). *Dialéctica de la Ingeniería Estructural*. Tesis de Doctorado en Ciencias (Ingeniería Estructural). Universidad Nacional Siglo XX - Instituto Internacional de Integración - Convenio Andrés Bello, La Paz.