

La broma de la seguridad

JAVIER LAHUERTA, DR. ARQUITECTO

1. INSEGURIDAD

Los seguros existen porque nada es seguro. Se asegura algo mediante una póliza de seguros, porque ese algo es más o menos inseguro; porque lleva implicado un riesgo que no se puede eludir. Los seguros, a pesar de su nombre, no evitan el riesgo. Si se produce el daño sólo lo compensan en dinero.

Se admitía hasta hace unos cuatro decenios que podíamos construir las estructuras de los edificios con completa seguridad, siempre que siguiéramos con suficiente cuidado en su proyecto las normas establecidas, y en su ejecución las normas y las reglas de buena práctica.

Tampoco esto nos lo creíamos del todo, pues de cuando en cuando aparecían en los periódicos noticias como ésta:

Villatriste. 13 de noviembre de 1927. El ilustre ciudadano Don Fulano de Tal falleció ayer a los 90 años. Estando su familia y amigos reunidos velando el cadáver en el comedor de la casa se oyó un crujido, y se encontraron velándolo en el comedor de la casa de abajo, que está en el entresuelo, gracias a lo cual no bajaron más. Dieciocho asistentes fueron asistidos en la casa de socorro. Los cuarenta y cuatro restantes fueron invitados a tila por una amable familia vecina.

SeSENTA y dos vivos y un difunto constituyen evidentemente una anormal sobrecarga de uso, y todo el mundo vió en esto la causa del hundimiento. Como noticias casi idénticas a ésta, aparecían con frecuencia de 18 ± 6 meses en los periódicos españoles de entonces, nuestra idea de la construcción segura se tambaleaba algo.

2. EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD

Algunos de los que proyectan y construyen estructuras de edificios han estado siempre preocupados por el tema de la seguridad, y por las reglas establecidas para conseguirla, entre las que está como fundamental el empleo de unos

convenientemente **coeficientes de seguridad**. El coeficiente de seguridad es un concepto que debe ser innato en el hombre, o por lo menos que lo emplea de modo subconsciente.

Un hombre optimista que tiene que entrevistarse cada día con cierto Personaje a las 12 y media, y quiere llegar a la cita con puntualidad, hace un cálculo mental como éste: "Con el coche a estas horas en los días malos se tarda veinte minutos en ir de aquí a allí. Para tener en cuenta un anormal atasco del tráfico debo agregar cinco minutos más".

Este inconsciente razonamiento, en la terminología semiprobabilista actual se expresaría así: el lapso característico de desplazamiento es de 20 minutos, lo multiplico por un coeficiente de seguridad por atasco de 1,25 y obtengo el lapso de desplazamiento en valor mayorado de 25 minutos, lo que me va a dar una probabilidad suficientemente baja de llegar con retraso.

Un hombre pesimista, de esos que además de tirantes lleva cinturón para que no se le caigan los pantalones, no se conforma con esto. Su imaginación, basándose en experiencias anteriores, le presenta los siguientes hechos: "Me puedo encontrar un amigo en el portal o en la escalera y perderé cinco minutos. En el domicilio del Personaje suele haber sitio libre para dejar el coche, pero si no lo hubiera tengo que bajar al aparcamiento Z, y esto me requiere cinco minutos. Imprevistos de otro tipo: posible error del reloj, cáscara de plátano, etc., digamos otros cinco minutos más, en total quince minutos". Con este razonamiento sale de casa a las 12 menos diez. En la terminología semiprobabilista ha aplicado un coeficiente de seguridad de valor 2, y el lapso mayorado es de 40 minutos.

La secretaria del Personaje dice que el optimista llega tarde una vez por semana, y que el pesimista se retrasó una vez en diez años. Los efectos de estos retrasos dependen de la capacidad de aguante del Personaje. La secretaria dice que aguantaría el retraso un par de veces al año sin inconveniente. El resultado es que al optimista tuvieron que llamarle la atención, y que el pesimista perdía inútilmente diez minutos diarios, que representa una reducción del 2% en su rendimiento global.

En términos semiprobabilistas lo más conveniente en este caso sería tomar un coeficiente de seguridad de 1,5, que da

lugar a un lapso mayorado de 30 minutos. La razón es que la probabilidad simultánea de todas las causas de retraso que imaginó el pesimista: atasco, amigo, aparcamiento, reloj, plátano, etc., es bajísima, y no se precisa considerarlas simultáneamente.

Ocurre como en los ripios de Don Mendo, en su célebre Venganza, cuando se lamenta de los fracasos en el juego de la siete y media:

Y no llegar da dolor
pues indica que mal tasas,
más ¡ay de ti! si te pasas,
si te pasas es peor.

Por eso el valor del coeficiente de seguridad no debe ser ni grande ni pequeño, sino todo lo contrario.

3. EN LOS ALBORES DE LA CONSTRUCCION

El arte de construir se manifiesta en la Humanidad desde los comienzos de la historia, hace unos 60 siglos; y nos asombra hoy lo que fueron capaces de hacer aquellos hombres que tenían una ciencia, o sea conocimientos, y una técnica o sea medios materiales, muy inferiores a los que poseemos hoy.

La construcción al principio, y durante 58 de los siglos siguientes, se realizó con arcilla cruda o cocida, piedra y madera, y es evidente que tenían reglas de dimensionado que les permitían construir con bastante seguridad. Los eventuales hundimientos se debían achacar a desidia o fraude, porque eran penados con dureza. Hay un testimonio de hace 38 siglos, en un gran bloque de diorita azul encontrado en Susa, antigua capital de Elam, que tiene escrito íntegro el Código civil de Babilonia, compuesto por Hammurabi en 282 artículos, de los que nos interesan los siguientes:

229. Si un constructor construye una casa, pero su obra no es bastante resistente, y luego resulta que la casa que él ha construido se derrumba causando la muerte del propietario de la misma, el constructor será condenado a muerte.

230. Si el derrumbamiento causa la muerte del hijo del dueño, se condenará a muerte al hijo del constructor.

231. Si el interfecto es un esclavo del propietario el constructor deberá indemnizarle con un esclavo del mismo valor.

232. Si el derrumbamiento destruye la propiedad tendrá que pagar todo lo que se destruyó. Es más, por no haber construido la casa en las debidas condiciones de resistencia, de tal manera que se derrumbó, se verá obligado a reedificarla de su propio peculio.

La seguridad para los constructores babilonios de entonces (figura 1), a los que les aplicaba una durísima ley de Talión, no era ninguna broma. Y era asimismo peligroso ser hijo de constructor. Hammurabi no concebía el accidente fortuito. El código influyó evidentemente en la calidad de la construcción, y en los coeficientes de seguridad en una zona que tiene fuerte carácter sísmico. Esta calidad fue alabada siglos después por Herodoto.

Los métodos de dimensionado, reglas empíricas, debieron complicarse cuando con piedra o ladrillo se hicieron arcos y bóvedas que permitían salvar luces mayores que con el sistema adintelado de piedra y madera (figura 2). Estas reglas las transmitía el maestro al discípulo aventajado que sería su sucesor, y debían constituir secretos bien guardados. Se comprende, porque la puesta al día de tales reglas era muy costosa. Su evolución se debía al binomio audacia-fracaso, método que hoy también se emplea con el nombre tanteo-error. Y evidentemente su fracaso era caro en coste material, y en castigo, si se mantenía el que pudiéramos llamar espíritu de Hammurabi.



Fig. 1. Construcción babilónica.

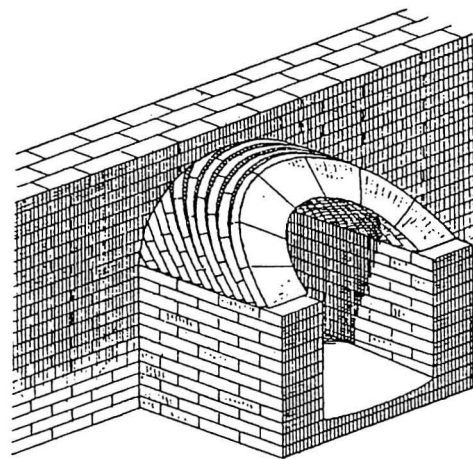


Fig. 2. Bóveda circular realizada sin cimbra.

4. EN LAS EDADES ANTIGUA Y MEDIA

En la época romana el que poseía los métodos de dimensionado se llamaba Pontífice, que literalmente significa el que hace puentes, y por ello se le investía de una magistratura sacerdotal muy elevada. Desapareció el Imperio romano, y los grandes medios materiales que manejaba cuando dominaba el universo conocido, o sea el área mediterránea y alrededores. Los métodos se debieron olvidar algo, pero quedó como el rescoldo. Hacia el siglo X después de Cristo éste fue avivándose y permitió construir iglesias y puentes. Desde el final del siglo XI se construyen las extraordinarias catedrales románicas (figura 3), y puentes más espectaculares.

En España hubo eximios constructores, y entre ellos dos santos importantes: el riojano Santo Domingo de la Calzada, que nació a mitad del siglo XI, y al que los Ingenieros de Caminos veneran como Patrono; y su discípulo el burgalés San Juan de Ortega, cuyo 8.º centenario de su muerte se celebró en 1966, y al que los arquitectos invocan como Copatrono, con Nuestra Señora de Belén en su Huida a Egipto como Patrona.

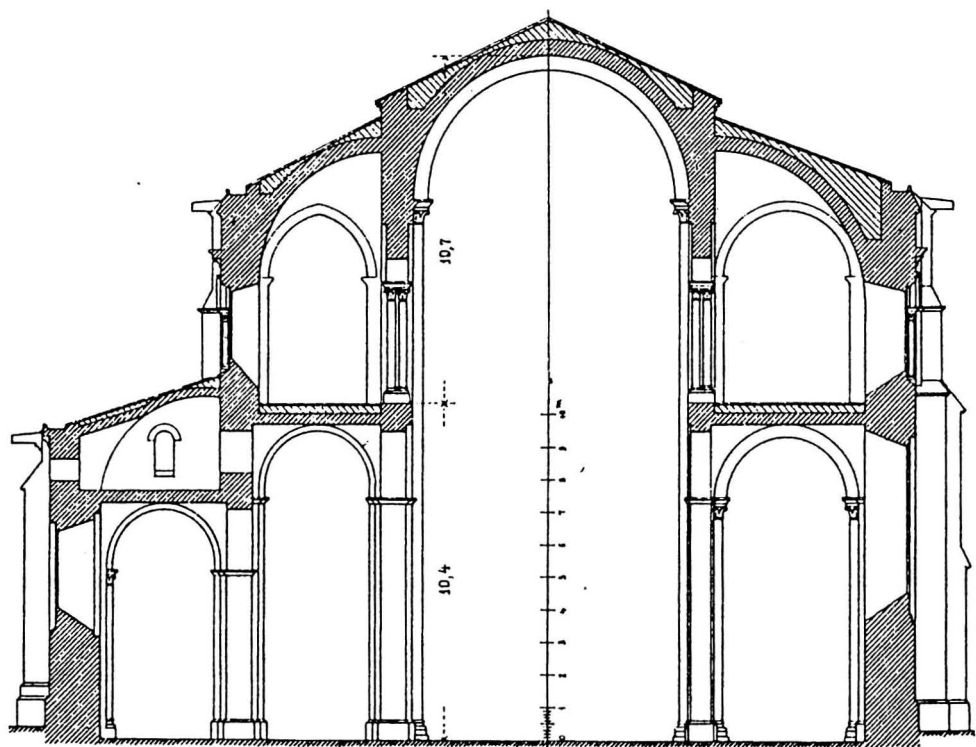


Fig. 3. Sección de una iglesia románica.

A fin del siglo XII constructores excepcionales revolucionaron el sistema constructivo de las catedrales, creando el equilibrio lineal y puntual del gótico (figura 4), y evidentemente tuvieron que redactar nuevos métodos de dimensionado experimentalmente. Documentalmente sabemos que algunas catedrales se hundieron durante su ejecución. Pro-

bablemente por errores de concepción o coeficientes de seguridad escasos.

También, sus constructores, **machios** en latín, **maçons** en francés, **mazoneros** en román paladino, fueron pocos y constituyeron una sociedad cerrada y bastante secreta, de la que se dice que su evolución siguió en la masonería.

5. EN LA EDAD MODERNA

En el siglo XVII fue cuajando la matemática y la física que hoy se emplea. Sus desarrollos teóricos se aplicaron enseguida al comportamiento de los materiales y de los elementos de la construcción: Coulomb, Euler, De Saint Venant, etc. Los métodos de dimensionado evolucionaron. De puramente empíricos pasaron a científico-experimentales. Estos, ampliados y perfeccionados son los que se emplean actualmente.

Todo método de dimensionado exige una formulación teórica y una base experimental. Cada tipo de elemento resistente ha sido repetidamente ensayado por investigadores de distintos países con las diferentes solicitaciones que le sean propias. Suelen publicarse de modo más o menos completo las **premisas** del ensayo: forma, dimensiones y disposiciones del elemento, características de los materiales empleados, modo de aplicar la solicitación, etc., y los **resultados**: deformaciones, fisuración, rotura, etc., en función de la solicitación aplicada. Y se siguen realizando numerosos ensayos de todo aquello que se juzga no suficientemente experimentado.

Un método de cálculo es apropiado cuando sus resultados numéricos concuerdan, con adecuada precisión, con los resultados de los ensayos realizados dentro de su campo de aplicación. Cuando la experimentación mejora, y también cuando varían las características de los materiales que ofrece el mercado, en general mejorando, la concordancia entre los resultados numéricos de su método de cálculo y los experimentales puede no ser adecuada. Se hace necesario estudiar un nuevo método que concuerde mejor.

Así estaban las cosas hasta la segunda guerra mundial. Los países avanzados disponían de Normas que establecían los métodos de dimensionado utilizables y los coeficientes de seguridad que según se creía permitían construir sin riesgo.

6. DETERMINISMO Y PROBABILISMO

Después de la segunda guerra mundial muchos abandonaron la tesis de que se podía construir una estructura con seguridad total. Se fue sustituyendo por la de que el hundimiento no es evitable, pero que se puede construir conociendo la probabilidad de que se produzca y establecer el cálculo con una probabilidad de hundimiento suficientemente pequeña. Los métodos de cálculo basados en la primera tesis, denominados **métodos deterministas**, siguieron sin embargo empleándose, pues los basados en la segunda, a los que se denominó **métodos probabilistas**, estaban todavía por formular.

Han transcurrido treinta años y hoy se duda mucho de que pueda llegarse a tener unos métodos probabilistas puros de cálculo, por las enormes dificultades que presentan las operaciones que han de realizarse, que simplistamente podemos enunciar así:

Enumerar las causas de error que pueden aparecer en el proyecto, ejecución, control, y mantenimiento de una estructura.

Evaluar estocásticamente cada una de las causas de error, es decir, obtener en cada una la función que ligue su magnitud, variable con el tiempo, las coordenadas espaciales, la temperatura, etc., con la probabilidad de ocurrencia durante la redacción del proyecto, la ejecución de la obra, y la vida de la estructura.

Fijar las situaciones de disfunción en que cada elemento de la estructura deja de estar en servicio. Lo que se denomina hoy estados límites últimos o de utilización.

Calcular estadísticamente los estados límites, es decir obtener los valores de cada situación estática, solicitación resistente, deformación limitada, fisuración controlada, etc., que correspondan a una probabilidad de seguridad establecida.

Establecer modelos matemáticos que relacionen todas las variables de las causas de error con las de los estados límites, para obtener una función general que evalúe la probabilidad de fracaso, y nos permita limitarla.

Llevar todo esto hasta el final no sólo no se ha logrado, sino que además se duda fundamentalmente de que pueda hacerse realmente. Al ser humano lo ha creado Dios finito y tiene que aceptar sus limitaciones, sin desanimarse por no ser infinito. Pero no debe dejar de esforzarse y mejorar día a día lo que hace.

Las causas de error y las situaciones de disfunción eran en su mayoría conocidas. Se ha avanzado sin embargo en su conocimiento, y sobre todo se ha iniciado con seriedad esa evaluación estocástica, que en bastantes casos exige muchos años, es muy costosa, y está erizada de dificultades. Hay casos en se duda que pueda evaluarse en términos de probabilidad.

También se ha avanzado mucho en el establecimiento de modelos matemáticos para relacionar varias variables estocásticas. Cuando el número de éstas aumenta se hacen muy complicados y su aplicación requiere un trabajo operativo ingente con ordenadores de gran capacidad, lo que por ahora sólo puede hacerse en trabajos de investigación.

7. SEMIPROBABILISMO

Los métodos deterministas se desechan hoy en teoría, con una unanimidad, que el lenguaje estadístico definiría con fiabilidad superior al 1- 0,1⁴. Es decir que apenas los admite nadie. Pero como aún no tenemos métodos probabilistas, se ha probabilizado todo lo que ha sido posible, y se ha seguido estimando o de-

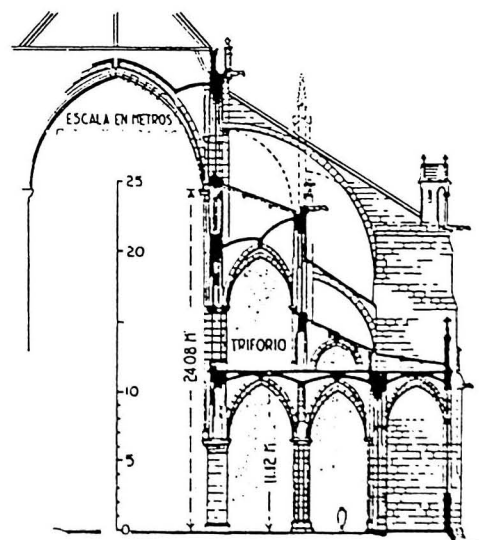
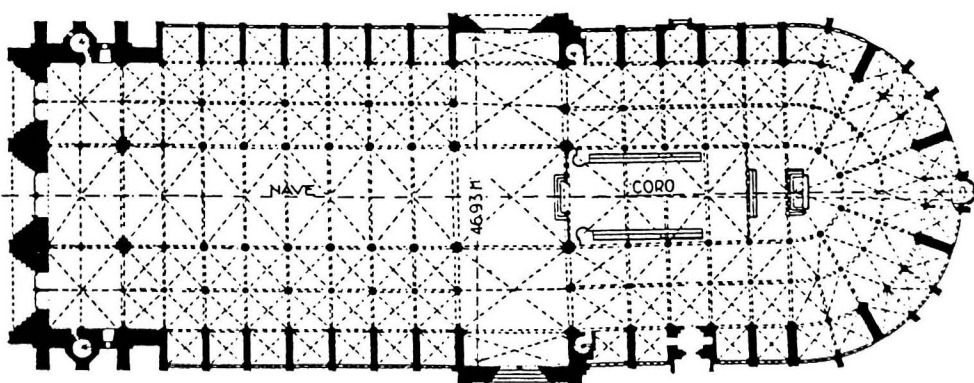


Fig. 4. Sección y planta de una catedral gótica.

terminizando lo demás. Los híbridos resultantes se denominan **métodos semiprobabilistas**.

Híbrido no es peyorativo. La hibridización puede mejorar una especie como pasó con el maíz, o una raza como la nuestra. Incluso puede dar métodos de cálculo mejores. Efectivamente los métodos semiprobabilistas aunque conceptual o teóricamente están lejos de la perfección, han sido unánimemente aceptados, y dan como resultado estructuras que creemos son suficientemente seguras y económicas.

Pero en la práctica ha costado y está costando mucho abandonar los métodos deterministas. El semiprobabilismo va entrando lentamente en las Normas, y fueron precisamente los países técni-

la reaccionar continuando con el método de la edición anterior, basándose en ese artículo que afortunadamente figura al principio de cada Norma, al menos en las españolas, que permiten al usuario apartarse de la norma justificándolo en la Memoria del Proyecto.

8. PRIMERA DIFERENCIA ENTRE DETERMINISMO Y SEMIPROBABILISMO

Una diferencia importante entre los métodos deterministas y los semiprobabilistas está en la definición de los conceptos, y por tanto en los valores, de la resistencia de los materiales y de las ac-

rarse con distribución normal o gaussiana, o mediante otros métodos si su distribución se aparta de ésta. Si no es inferior a la de proyecto, el lote se admite.

Las acciones de servicio se suponen así mismo establecidas en valores característicos, de fiabilidad 0,95 de no ser sobrepasadas en la vida del edificio. Todavía hay que decir se suponen, porque los estudios estadísticos completos y fidedignos para poder establecerlos son aún escasos. El Eurocódigo de acciones no ha sido posible aún redactarlo, probablemente por las ingentes dificultades que presenta.

También aparece aquí como necesario el concepto **vida del edificio**. Casi con generalidad se admite para los edificios de viviendas y muchos otros el valor

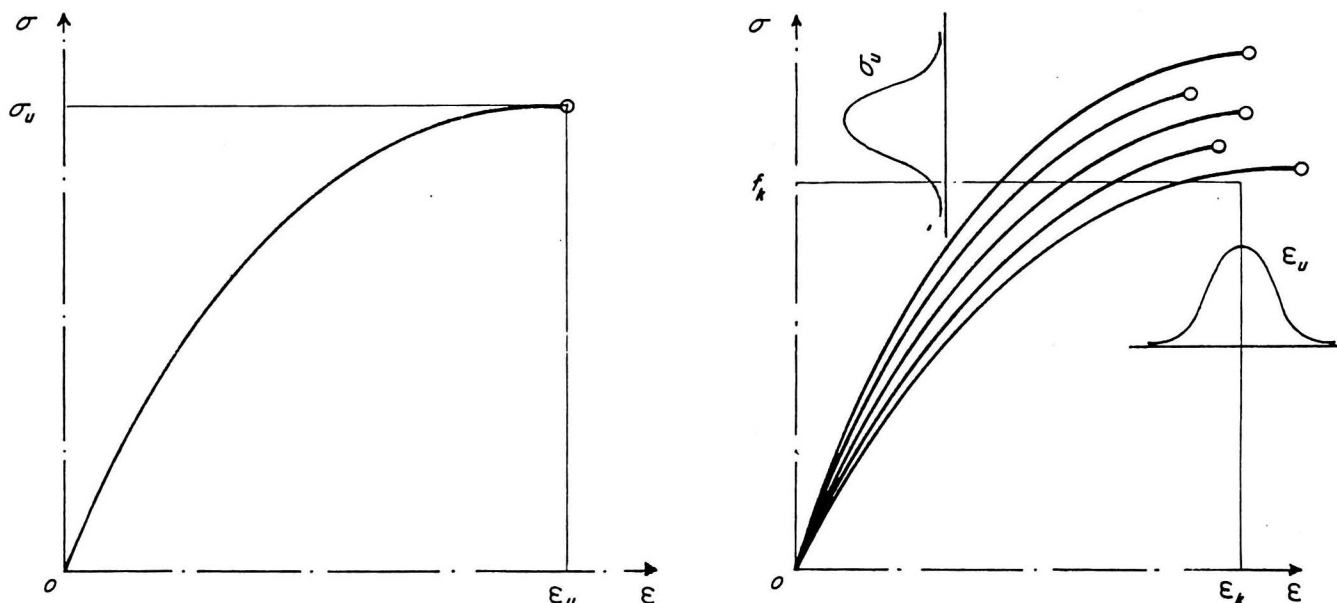


Fig. 5. Diagramas tensión σ dilatación ϵ de un material:
a) Determinista. b) Probabilista.

camente más avanzados, por orden alfabético para no herir susceptibilidades: Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, etc., los que más tardaron en ir expurgando de determinismo sus Normas. Los Eurocódigos, que empezaron a publicarse en 1983, son ya claramente semiprobabilistas.

La nueva edición de una Norma, que se produce después de unos cuantos años de vigencia de la anterior, a veces demasiado pocos, lo que causa tanto trastorno a quienes tenemos que aplicarla en los proyectos, o enseñarla a los alumnos, suele incluir modificaciones de métodos. A veces esto está justificado por la mayor precisión de los resultados. Pero si no se han realizado con el suficiente sentido común, puede ocurrir que tales modificaciones resulten de aplicación tan compleja o difícil que las hace inoperantes, de lo que hay algún ejemplo.

El sentido común de los usuarios sue-

ciones de servicio.

El determinista establece en proyecto la resistencia de un material como un límite σ_n (figura 5 a), que debe ser cumplido por todos los resultados de los ensayos que se realicen en el curso de la obra. Como esto en la práctica tiene dificultades suele admitir alguna tolerancia. Las acciones de servicio se toman de las normas, y eran unos valores establecidos por los expertos que las redactaron, sin especificar en general cómo fueron fijadas.

El semiprobabilista tiene que involucrar en ambos conceptos la probabilidad de cumplimiento, y así se establece la **resistencia de proyecto** como valor característico, es decir, con fiabilidad de 0,95 (figura 5 b). Con los resultados de los ensayos de cada lote se calcula la **resistencia estimada** cuyo valor tenga la probabilidad 0,05 de alcanzarse. Mediante el valor medio y la dispersión de los resultados si éstos pueden conside-

de 50 años. La razón de su necesidad es que el valor de una acción con fiabilidad de 0,95 depende del lapso en que se considere, y aumenta al aumentar éste.

9. SEGUNDA DIFERENCIA

Un método determinista emplea un solo coeficiente de seguridad, y el semiprobabilista dos, que se denominan coeficiente de **minoración** de resistencias, y coeficiente de **ponderación** de acciones.

En un método **determinista** se define en cada material su **resistencia**, σ_n se divide por su **coeficiente de seguridad**, δ y se obtiene su **tensión admisible** (figura 6 a). Se establecen las **acciones de servicio**, y con sus diversas combinaciones se calcula la **solicitación**, y la **tensión de servicio** en cada punto. El dimensionado se acepta si toda tensión

Resistencia del material: σ_u Coeficiente de seguridad: γ TENSION ADMISIBLE: $\bar{\sigma} = \sigma_u / \gamma$ SOLICITACION ADMISIBLE: $\bar{R} = R(\gamma)$	Resistencia de proyecto: f_k Coeficiente de minoración: γ_m RESISTENCIA DE CALCULO: $f_d = f_k / \gamma_m$ SOLICITACION RESISTENTE: $R_d = R(f_d)$
Acciones de servicio: F SOLICITACION DE SERVICIO: $S = S(F)$	Acciones características: F_k Coeficientes de ponderación: γ_f ACCIONES PONDERADAS: $F_d = F_k / \gamma_f$ SOLICITACION PONDERADA: $S_d = S(F_d)$
CONDICION DE SEGURIDAD: $S \leq \bar{R}$	CONDICION DE SEGURIDAD: $S_d \leq R_d$

Fig. 6. Introducción de la seguridad en el método:
 A) Determinista b) Semiprobabilista

de servicio es menor o igual que la correspondiente tensión admisible, y si además se cumplen las condiciones de estabilidad, limitaciones de deformación, etc.

Las normas con métodos deterministas fueron redactadas por personas de grandes conocimientos y experiencia. Como resistencia de cada material eligieron en cada caso la más apropiada, como el límite elástico en el acero, aunque no fuese el valor máximo. El coeficiente de seguridad, aunque de concepto único, tenía multiplicidad de valores adaptados a los tipos materiales, formas de comportamiento, calidades de ejecución, etc., y daban también reglas para las combinaciones de acciones y su efecto más desfavorable, en las que sin mencionarse el concepto de probabilidad, tácitamente estaba incluso en ellas.

Cuando estos métodos fueron aplicados por personas expertas, se construyeron estructuras de gran belleza y audacia y con la requerida seguridad.

En un método **semiprobabilista** se define en cada material su **resistencia**

de proyecto, σ_k se divide por su **coeficiente de minoración** γ_m , y se obtiene su **resistencia de cálculo**. Con las de los materiales que componen cada sección se determina la **solicitación resistente** (figura 6 b).

Se establecen **las acciones características**, se multiplican por sus **coeficientes de ponderación**, y se obtienen las **acciones ponderadas**. Con sus diversas combinaciones, mediante apropiados coeficientes de combinación, se calcula en cada sección la **solicitación ponderada**.

El dimensionado se acepta si en cada sección toda solicitación ponderada es menor o igual que la solicitación resistente, y además se cumplen las condiciones de estabilidad, limitaciones de deformación, etc.

10. TERCERA DIFERENCIA

Los deterministas en teoría admitían comportamiento elástico del material hasta rotura. Así la relación entre la re-

sistencia y la tensión admisible es el coeficiente de seguridad. En la práctica tenían en cuenta de modo tácito muchos comportamientos plásticos.

En la flexión simple o compuesta del hormigón armado, el denominado **método clásico**, que se empleó hasta 1968, mal llamado método elástico por algunos, porque a la elasticidad se mezclaban agrietamiento y agotamiento, consiguió ajustar bastante bien los resultados numéricos con los experimentales mientras se empleó el llamado acero ordinario (figura 7 a).

Hacia 1950 empezaron los aceros a elevar su límite elástico y se corrugaron las barras. El método clásico, dejó de dar resultados concordantes en las barras comprimidas, porque la hipótesis elástica en que se basaba era muy diferente del comportamiento real. Hubo que utilizar un **método anelástico**, elegido entre los muchos que llevaban ya un decenio proponiéndose, y los resultados volvieron a ajustarse (figura 7 b).

Los resultados anelásticos pueden emplearse con los métodos deterministas sólo de modo artificioso. Se crearon estos artificios aunque se emplearon con cierta repugnancia. En cambio en un método semiprobabilista son los lógicos para calcular el valor de la solicitación de agotamiento real, y el de aquella que tenga una probabilidad dada de no alcanzarse, o por lo menos para acercarse a éste, mediante el empleo de los coeficientes de minoración de los materiales.

11. LA PROBABILIDAD DE ROTURA

Los métodos deterministas no consideran esta probabilidad aunque es cierto que de modo indirecto y algo complicado puede llegar a obtenerse.

Los métodos probabilistas tienen que considerar esta probabilidad tanto en la determinación de las acciones ponderadas como en la de las resistencias de cálculo. Los valores que consideran como suficientemente bajos sólo se han mencionado muy tímidamente por años, que suponen puedan ser de 1:1.000 a 1:10.000.

La probabilidad combinada de que una solicitación ponderada sea igual a una solicitación resistente, no es nada fácil de calcular. Parece admitirse que sea de 1:100.000 o menor, si el control de proyecto, de materiales y de ejecución se realiza efectivamente.

Los métodos semiprobabilistas suponen se consigue esto mediante la aplicación de los coeficientes de minoración a las resistencias de los materiales y los coeficientes de ponderación a las acciones de servicio. La probabilidad re-

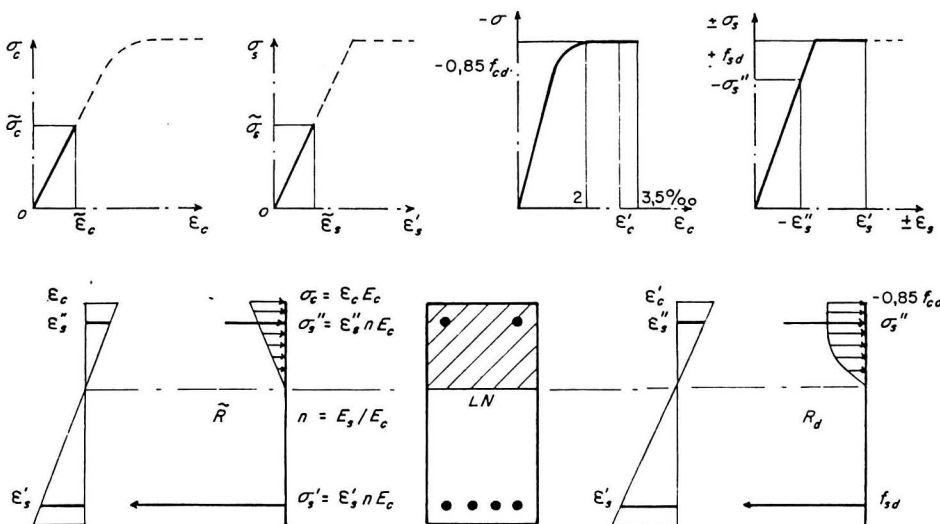


Figura 7. Flexión en el hormigón armado por el método:
 a) Clásico b) Anelástico

al de no alcanzarse una resistencia así minorada, y la de sobrepasarse una acción así ponderada, son por consiguiente valores que no puede decirse que sean calculables.

Si con estos métodos semiprobabilistas se hubiese comenzado a construir, por decirlo así, desde cero, los resultados hubiesen sido muy poco fiables. Pero se llevaban muchos decenios de práctica constructiva en hormigón armado y muchos más con acero laminado. Esto permitió fijar unos coeficientes de seguridad que diesen resultados concordantes con lo que ya se venía haciendo, y que se sabía que daba resultados bastante seguros cuando se hacía bien.

Podemos decir que la probabilidad de rotura de lo que calculamos con los métodos semiprobabilistas se conoce con una aproximación grosera, lo cual ya es bastante, pues antes ni siquiera se estimaba. Pero el valor real de esta probabilidad depende de tantos factores que para cada edificio construido no sabemos si es de 1:1.000 ó 1:100.000.

12. CONCLUSIONES

Actualmente no parece que haya otro camino para conseguir la seguridad, no sólo en la construcción sino en la mayoría de las acciones humanas, que el de establecer métodos o reglas, y seguirlas para que la probabilidad de fracaso se reduzca a límites aceptables.

Por ejemplo, la seguridad en las carreteras. La Jefatura de Tráfico prevé cada fin de semana el número de personas que perderán la vida en accidente. Y las previsiones no suelen diferir mucho de las realidades. Para evitar totalmente que haya accidentes no pueden hacer nada. Para reducir su número, los medios son: carnet de conducir, revisión de los vehículos, limitación de velocidad, empleo de alcoholímetro, sustitución de carreteras por autopistas o al menos autovías, conservación de los firmes, etc.

En la construcción puede hacerse también mucho. Principalmente tres aspectos:

Primero: formar cada vez mejor a los profesionales que redacten los proyectos y dirijan obras. Preparación científica y técnica y además formación moral y humana, no menos importante. No sólo como alumnos en las Escuelas, sino a lo largo de su vida profesional.

Segundo: disponer de normas claras y precisas en las que apoyarse para el buen hacer en los proyectos y en las obras. En España el campo estructural está hoy bastante completo, aunque faltan las geotécnicas y las de madera. Y las que existen deben calificarse de buenas, aunque las estemos constantemente criticando. Y el esfuerzo que se hace para mejorarlas en revisión es importante, aunque también sea criticable.

Tercero: comprobar el cumplimiento de estas Normas. Los buenos profesionales tienen sus mecanismos internos para comprobaciones de lo que van haciendo. No hay órganos oficiales de comprobación, incluso se duda si debe hacerlos. Hay Institutos de control de proyectos, pero por ahora el porcentaje de los proyectos que pasan por ellos es bajísimo. Hay órganos oficiales y homologados de control de obras, y el porcentaje de lo que controlan, especialmente en elementos estructurales, es ya apreciable y va aumentando.

Proyectando y construyendo ya sa-

bemos que la seguridad no es absoluta, que se corre un riesgo, pequeño pero existente. Nuestra eficacia y responsabilidad técnica nos hará poner los medios de control en cada fase que haga que este riesgo sea muy bajo.

Si haciendo las cosas bien nos vemos envueltos en un accidente de obra, que deseo no le ocurra a ninguno de los lectores, al juez pueden presentársele los informes periciales de que nuestro proyecto se ajustaba a las normas, y los archivos de los controles de ejecución que se llevaron a cabo, y no podrá achacarnos imprudencia.

Será más difícil hacerle comprender al juez que la probabilidad de hundimiento es de 1:10.000, y que hemos tenido la mala suerte de ser ese uno entre diez mil. Esa es la broma de la seguridad. Tampoco se quedó satisfecho aquel japonés que compró una tortuga sabiendo que viven mil años y se le murió dos días después. Cuando fue a reclamar al vendedor éste se limitó a decirle: "Mala suerte, probablemente la tortuga cumplió mil años antes de ayer".