

# Presentación de los esfuerzos en los proyectos de estructuras, preparada para el control

España

inopsis

Se expone una forma de presentación de los esfuerzos sobre los extremos de las piezas que facilita su control.

Habitualmente, el control de los esfuerzos se realiza empleando la experiencia y métodos simplificados para detectar errores importantes, y para detectar errores no evidentes se calcula de nuevo la estructura empleando preferentemente un programa distinto del utilizado en el proyecto.

Charles S. Buck, en «Responsibilities from computer aided design», Civil Engineering, ASCE June 1972, recomienda que el propio autor del proyecto disponga al menos de dos tipos de programas para el análisis de la misma estructura, basados en diferentes métodos analíticos con diferentes limitaciones, y considere peligroso aceptar los resultados de un único análisis

porque parezcan correctos.

La preocupación por los errores cometidos en el cálculo con computador se refleja también en las Instrucciones españolas de hormigón armado y de hormigón pretensado, al prescribir que se incluya el nombre del programa, tipo de ordenador y centro de cálculo, método de cálculo utilizado en el programa y bases del mismo y sus posibles simplificaciones. Recomienda además el análisis de los resultados y su comprobación por métodos simplificados.

4. Con el método que presentamos, la confianza en el programa y en los elementos materiales y humanos que le han aplicado se sustituye por un control objetivo que no necesita considerar los métodos ni los medios empleados para la obtención de los resultados que se dan en el proyecto.

Octavio Lobato Díez,  
 Dr. Ingeniero de Caminos  
 y Lcdo. en Ciencias Exactas

451-5

Proponemos la presentación en los proyectos de los esfuerzos sobre los extremos de las piezas, para una carga dada, en una «forma controlable», que permite un control independiente del método de cálculo empleado.

## 1.—Descripción de la «forma controlable» y forma de realización del control

El ejemplo de la figura 1, con cargas verticales, se ha tomado de Fernández Casado «Cálculo de estructuras reticulares», y el de la figura 2, con cargas horizontales, de Cross «Estructuras continuas de hormigón armado».

En un esquema de la estructura se anotan las rigideces y los factores de transmisión.

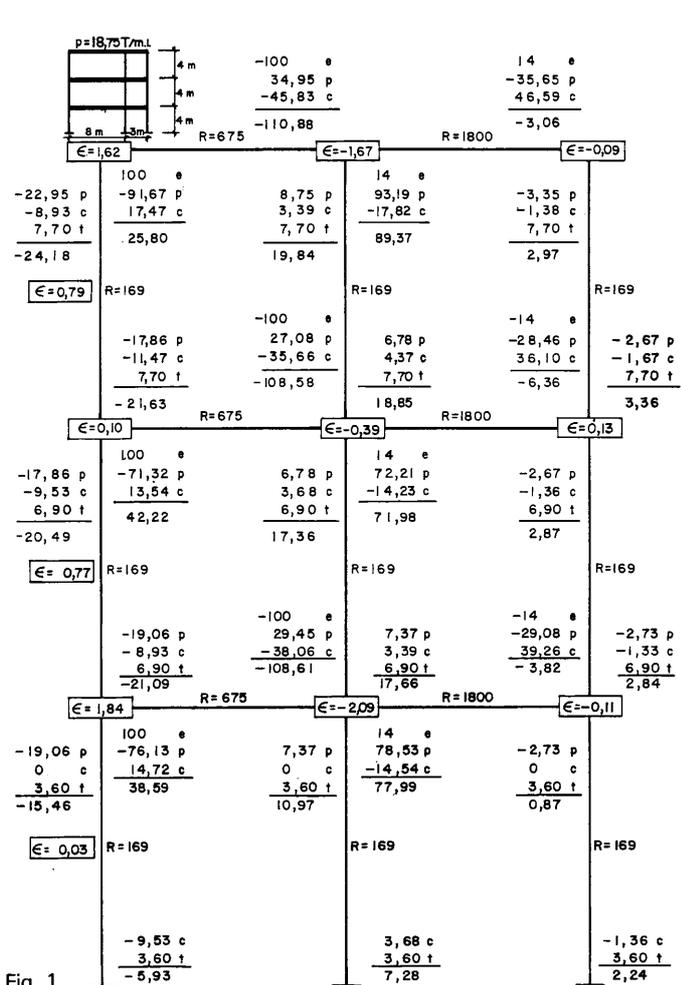


Fig. 1

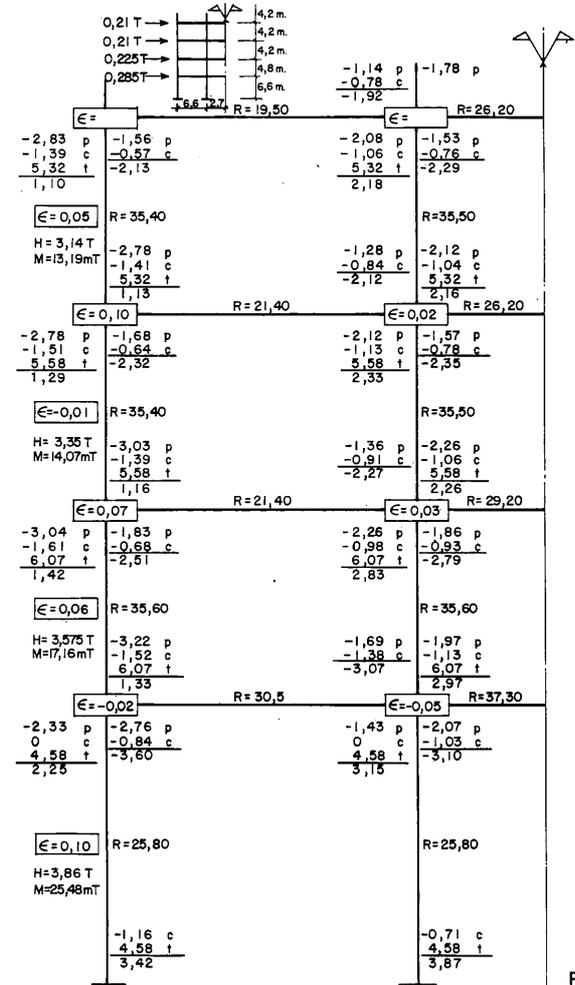


Fig. 2

Se escribe para cada extremo de pieza el momento sobre él descompuesto así:

- 1.º Momento de empotramiento perfecto: **e**.
- 2.º Momento debido al giro del nudo al que pertenece el propio extremo de la pieza: **p**.
- 3.º Momento debido al giro del nudo al que pertenece el extremo contrario de la pieza: **c**.
- 4.º Momento debido a la traslación relativa de los extremos de la pieza: **t**.
- 5.º Momento total, suma de los anteriores.

El control se realiza como sigue:

- a) Comprobación de los momentos de empotramiento perfecto. Es recomendable acompañar en el proyecto su cálculo para facilitar su control.
- b) Comprobación en cada nudo de que los momentos **p** en los extremos de las piezas concurrentes son proporcionales a las rigideces de dichos extremos.
- c) Comprobación en cada pieza de que el momento **c**, en cada uno de sus extremos, es igual al momento **p** en el otro multiplicado por el coeficiente de transmisión.
- d) Comprobación en cada entreplanta de que los momentos **t**, en los extremos de sus pilares, son proporcionales a los valores  $R_A (1 + \beta_{AB})$ , siendo A el extremo con el momento **t**. En el caso de que todos los pilares de la entreplanta sean de sección constante, esto equivale a la proporcionalidad con las rigideces de los pilares.
- e) Comprobación de la suma de momentos (e,p,c,t) en cada extremo de pieza.
- f) Comprobación del equilibrio de cada nudo en momentos y anotación del momento de desequilibrio  $\epsilon = -\sum M$ , siendo M los momentos sobre los extremos de las piezas concurrentes en el nudo.

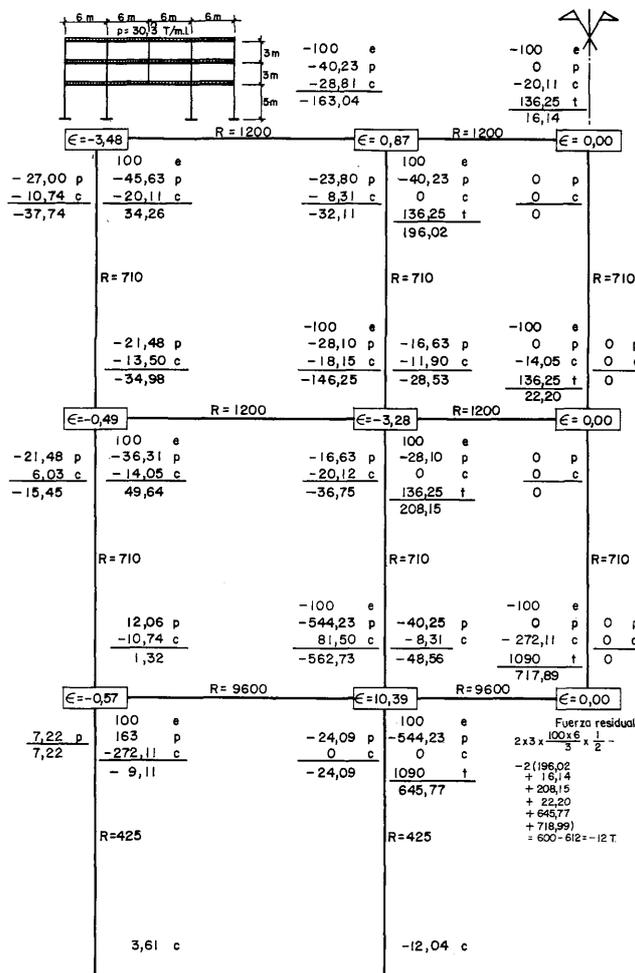


Fig. 3

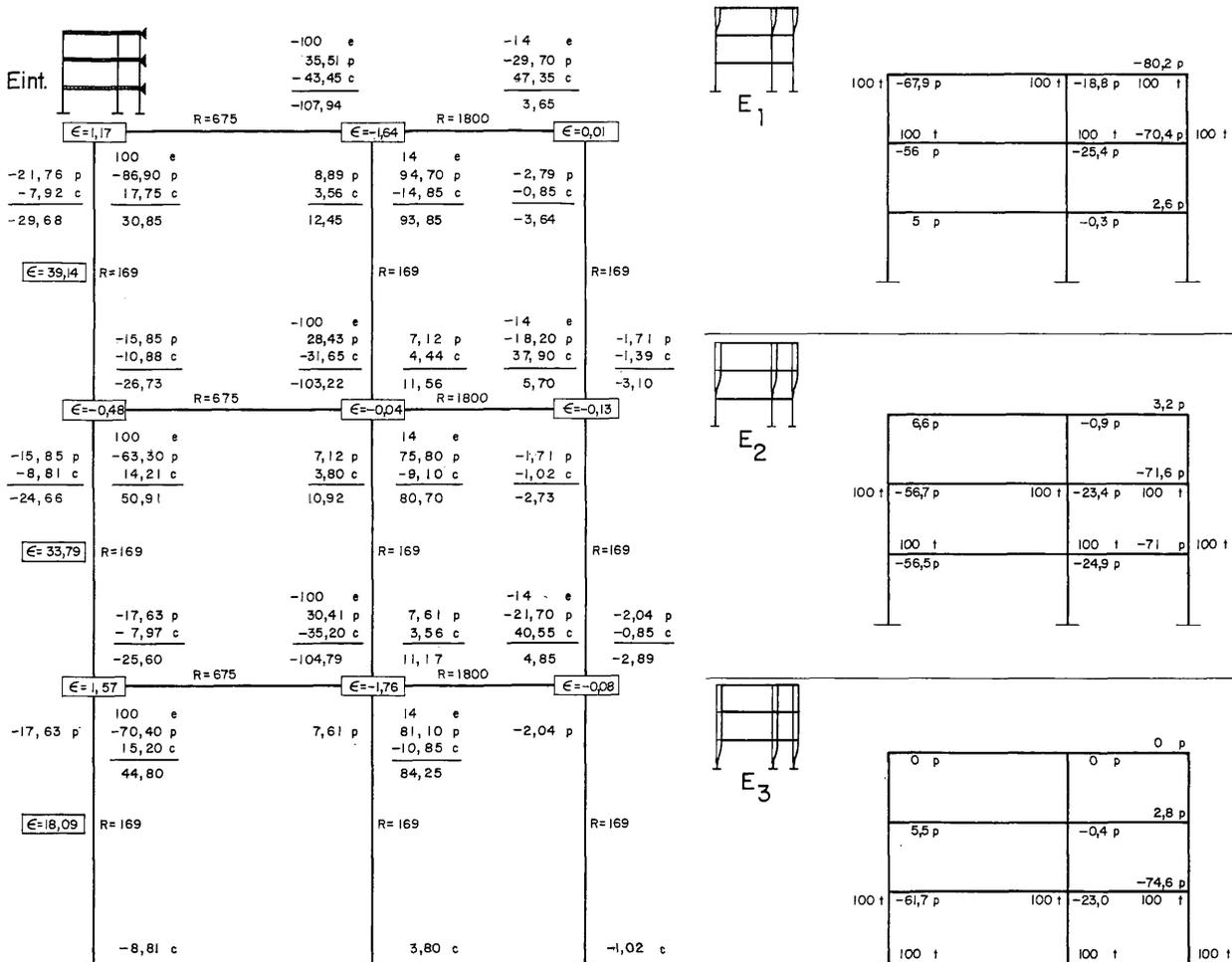


Fig. 4

Fig. 5

- g) Comprobación para cada entreplanta del equilibrio de fuerzas horizontales. En el caso de fuerzas horizontales actuantes, solamente a nivel de plantas, el desequilibrio vale:  $\epsilon = H h - \sum M$ , siendo H la suma de fuerzas horizontales que actúan por encima de la entreplanta y M los momentos sobre los extremos de los pilares de la entreplanta.

Es conveniente que en la «Forma comprobatoria» vengan ya anotados los residuos citados en f) y g) como se aprecia en las figuras 1 y 2.

Si se cumplen las condiciones indicadas en a), b), c), d) y e), y los residuos f) y g) son aceptablemente pequeños, la solución es correcta.

En efecto, las condiciones b), c), d) y e) prueban que los momentos sobre los extremos de las piezas corresponden a un estado de la estructura y las a), f) y g) que ese estado es el que corresponde a las cargas dadas.

En la figura 3 se da un ejemplo (del libro citado de Fernández Casado) que tiene la particularidad de que falta un pilar.

Aparecen momentos t en las vigas con extremos en la vertical de este pilar. Deben añadirse las siguientes comprobaciones:

- h) Comprobación de que los momentos t, en dichas vigas, son proporcionales a los valores  $R_A (1 + \beta_{AB})$ , o sea, en este caso de piezas de sección constante, a las rigideces de las piezas.
- i) Comprobación del equilibrio en fuerzas verticales de la columna del pilar suprimido, según se indica en la figura.

## 2.—Obtención de la forma controlable

2.1. Caso en que el cálculo de la estructura se realiza por resolución de un sistema de ecuaciones en movimientos.

Cuando se calculan los giros y traslaciones de los nudos, por ejemplo por resolución de un sistema de ecuaciones, los momentos  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{c}$ ,  $\mathbf{t}$ , se obtienen por las fórmulas siguientes:

$\uparrow \Delta^+$	$e_B$	$e_A$	$A \rightarrow \Delta^+$	
	$p_B$	$p_A$		$p_A = R_A \varphi_A$
	$c_B$	$c_A$		$c_A = p_B \cdot \beta_{BA}$
	$t_B$	$t_A$		$t_A = \Delta_A - \Delta_B$
A	$e_A$	B		$t_A = \frac{\Delta_A - \Delta_B}{L_{AB}} (R_A + (R\beta)_{AB})$
	$p$			
	$c_A$			
	$t_A$			

2.2. Caso en que el cálculo de la estructura se realiza por el método de Cross.

2.2.1. Nudos intraslacionales (figura 4).

El momento  $\mathbf{p}$  en cada extremo de pieza es igual a la suma de los momentos que resultan sobre dicho extremo en las sucesivas distribuciones.

En efecto, cada distribución en un nudo da los momentos que aparecen sobre los extremos de pieza concurrentes en él al liberarle de la coacción al giro. Por tanto la suma de los momentos que resultan en las sucesivas distribuciones en un extremo de pieza es el momento que toma este extremo al dar al nudo el giro total, o sea, es el momento  $\mathbf{p}$  en dicho extremo. Para simplificar el cálculo y ganar en precisión numérica es conveniente obtener el valor  $\mathbf{p}$  de este modo solamente en el extremo de pieza de mayor rigidez y deducir de él los momentos en los demás extremos por proporcionalidad con las rigideces de estos extremos.

Obtenidos así todos los momentos  $\mathbf{p}$ , los momentos  $\mathbf{c}$  se obtienen multiplicando por los factores de transmisión.

Cuando los nudos sean efectivamente intraslacionales, la forma controlable que así se obtiene es la que se presenta en el proyecto.

2.2.2. Nudos traslacionales.

2.2.2.1. Método indirecto.

Primero se resuelve la estructura con nudos intraslacionales y se comprueba —según se ha visto en el punto anterior— para control del propio proyectista. El estado que así se obtiene le llamaremos  $E_{intr}$  (figura 4).

Para obtener el estado con nudos traslacionales sumamos a éste una combinación lineal de los estados auxiliares  $E_1, E_2, E_3$  (figura 5), cada uno de los cuales se obtiene dando una traslación a una planta junto con toda la parte de estructura situada sobre ella, sin giro de nudos y liberando luego las coacciones empleando el método de Cross para nudos intraslacionales. Así tenemos los momentos  $\mathbf{p}$  en estos estados. Los momentos  $\mathbf{t}$  son los momentos iniciales.

Resolviendo el sistema de tres ecuaciones que expresan para el estado buscando  $E = E_{intr} + \alpha E_1 + \beta E_2 + \gamma E_3$  el equilibrio de fuerzas horizontales en las tres entreplantas resulta  $\alpha = 0,077, \beta = 0,069, \gamma = 0,036$ .

Los momentos  $\mathbf{p}$  y  $\mathbf{t}$ , para el estado  $E$ , son evidentemente los que resultan de aplicar dicha combinación lineal a los de cada uno de los estados.

Así resulta que los momentos  $\mathbf{t}$  son:

$$100\alpha = 77, 100\beta = 69, 100\gamma = 36$$

y que el momento  $\mathbf{p}$ , en el extremo izquierdo de la viga superior izquierda, por ejemplo, vale:

$$-86,9 + (-67,9)\alpha + 6,6\beta + 0\gamma = -91,67$$

Conviene obtener los momentos  $\mathbf{p}$  para simplificar el cálculo y ganar en precisión, calculando mediante dicha combinación lineal solamente el  $\mathbf{p}$  en un extremo de pieza de cada nudo, el de mayor rigidez, y deducir los demás por proporcionalidad.

Los momentos  $\mathbf{c}$  se obtienen a partir de los  $\mathbf{p}$  multiplicando por los factores de transmisión.

De este modo se ha obtenido la forma controlable dada en la figura 1.

### 2.2.2.2. Método directo.

Si se emplea el método directo de Cross, en el cual, además de equilibrar reiteradamente los momentos en los nudos, los cortantes en cada entreplanta se equilibran reiteradamente con las fuerzas horizontales mediante traslaciones dadas al bloque que soportan los pilares de la entreplanta, los momentos  $t$  son la suma de los que resultan en las sucesivas traslaciones.

Para simplificar el cálculo y ganar en precisión conviene hacer esta suma por cada entreplanta sólo en el extremo de un pilar, preferiblemente el que presente mayores valores de  $t$ , y deducir los demás por proporcionalidad.

Los  $p$  y  $c$  se obtienen, como anteriormente, a partir de los momentos que resultan en las distribuciones.

2.2.3. Nos hemos referido a pórticos en los que se suponen despreciables la deformación del terreno de cimentación y las deformaciones axiales de las piezas.

La forma controlable expuesta se amplía fácilmente a estos casos, añadiendo términos correspondientes a los nuevos movimientos.

### 3.—Ventajas de la «forma controlable»

1.<sup>a</sup> Se hace posible el control de los cálculos realizados con computador, que actualmente se encuentra limitado a una estimación de confianza o a una repetición del cálculo con otro programa.

2.<sup>a</sup> En el caso de cálculos realizados manualmente y cuyo control podría realizarse incluyéndolos en el proyecto, se incluirá en su lugar la «forma controlable», mucho más breve y fácil de controlar.

3.<sup>a</sup> El control puede realizarse por técnicos con conocimiento de la teoría de estructuras, pero que no necesitan ser expertos en métodos de cálculo ni tener experiencia sobre el prestigio de los diversos programas y centros de cálculo.

4.<sup>a</sup> Finalmente, la «forma controlable» permite intuir la deformada de la estructura, pues los momentos  $p$  dan los signos de los giros y los  $t$  los de las traslaciones, e incluso pueden calcularse a partir de los valores  $p$ ,  $t$ , los valores de giros y traslaciones empleando las fórmulas dadas anteriormente.



Esta comunicación ha sido presentada al II Congreso Internacional de la European Organization for Quality Control (E.O.Q.C) de noviembre/79.

### résumé

#### PRESENTATION DES EFFORTS DANS LES PROJETS DE STRUCTURES PREPAREES POUR LE CONTROLE — ESPAGNE

Octavio Lobato Díez, Dr. ingénieur des Ponts et Chaussées et licencié ès Sciences Exactes.

1. On expose une manière de présenter les efforts sur les extrémités des pièces, ce qui en facilite le contrôle.
2. Habituellement, le contrôle des efforts est effectué suivant l'expérience et des méthodes simplifiées pour détecter des erreurs importantes. Pour la détection des erreurs non évidentes, on calcule de nouveau la structure par l'emploi, de préférence, d'un programme différent de celui utilisé dans le projet.
3. Charles S. Buck, dans son article «Responsibilities for computer aided design», Civil Engineering, ASCE juin 1972, recommande que le propre auteur du projet dispose au moins de deux types de programmes pour l'analyse de la même structure, basés sur différentes méthodes analytiques avec différentes limitations, et il considère qu'il est dangereux d'accepter les résultats d'une seule analyse pour le fait qu'ils semblent corrects. Le souci des erreurs commises dans le calcul à l'aide du ordinateur se reflète également dans les normes espagnoles sur le béton armé et le béton précontraint lorsqu'elles prescrivent l'inclusion du nom du programme, du type de ordinateur et du centre de calcul, de la méthode de calcul utilisée dans le programme, de ses bases et de ses possibles simplifications. Il est recommandé en plus l'analyse des résultats et leur vérification par des méthodes simplifiées.
4. Avec la méthode ici présentée, la confiance dans le programme et dans les éléments matériels et humains qui lui ont été appliqués est remplacée par un contrôle objectif, pour lequel il ne faut pas considérer les méthodes ni les moyens utilisés pour l'obtention des résultats donnés dans le projet.

### summary

#### STRESS PRESENTATION IN STRUCTURAL DESIGNS PREPARED FOR CHECKING — SPAIN

Octavio Lobato Díez, Dr. in Civil Engineering and Master in Exact Sciences.

1. A new way to present stresses on the ends of load-bearing members to make design checking easier is discussed here.
2. Normally design stresses are checked for major errors on the basis of previous experience and using simplified methods and non-evident errors are detected recalculating the structure preferably using a program different than the one used in the original design.
3. Charles S. Buck recommends in «Responsibilities for Computer aided Design» (Civil Engineering, ASCE, June 1972) that the designer avails himself of at least two different programs to analyse the same structure, each based on a different analytic method and with different limitations and he thinks it dangerous to accept the results of a single analysis just because they seem correct. The concern for possible errors in computer aided calculations is also reflected in the Spanish Standards for Reinforced and Prestressed concrete by providing that the programme name, computer type and computer centre name, calculation method used in the programme, its basis and any simplifications shall be included in the presentation. It also recommends that an analysis of the results should be carried out to verify them through simplified methods.
4. With the method presented here, confidence in the programme and on the material and human resources applying the programme is replaced by an objective control not requiring any consideration of the methods or resources used to obtain the results given in the design documents.

### zusammenfassung

#### DARSTELLUNG DER BELASTUNGEN IN STRUKTURPROJEKTEN FUER PRUEFUNGEN — SPANIEN

Dr. Octavio Lobato Díez, Bauingenieur und Mathematiker

1. Es wird eine Form zur Darstellung der auf die Teilenden ausgeübten Belastungen dargestellt, welche deren Prüfung erleichtert.
2. Normalerweise werden die Belastungen mit erfahrungsmässigen, vereinfachten Methoden geprüft, welche die Feststellung bedeutender Mängel erlauben. Zur Feststellung nicht offensichtlicher Mängel wird erneut die Struktur berechnet, wobei bevorzugt ein Programm Anwendung findet, das sich von dem bei der Planung eingesetzten unterscheidet.
3. Charles S. Buck empfiehlt in «Responsibilities form computer aided design», Civil Engineering, ASCE June 1972, dass der Planner mindestens über zwei Programmarten verfügt, um dieselbe Struktur prüfen zu können. Diese sollen auf unterschiedlichen Versuchsmethoden mit verschiedenen Begrenzungen beruhen. Er hält die Anerkennung der Ergebnisse einer einzigen Untersuchung auf Grund ihrer augenscheinlichen Genauigkeit für gefährlich. Die Besorgnis im Zusammenhang mit Fehlern bei Computerberechnungen ist auch in den spanischen Bestimmungen für Stahl und Spannbeton zu erkennen, denn es werden die Angabe des Programms, der Computerart und Berechnungsstelle, der im Programm verwendeten Berechnungsmethode und die Grundlagen desselben sowie die eventuelle Vereinfachungen gefordert.
4. Bei der hier beschriebenen Methode werden das Vertrauen in das Programm und in die materiellen und menschlichen Elemente durch eine objektive Kontrolle ersetzt, bei der weder die für die Beschaffung der im Projekt angeführten Ergebnisse eingesetzten Methoden, noch die Mittel zu berücksichtigen sind.