

## **SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO DE EDIFICIOS SEGÚN INPRES-CIRSOC 103.**

P. M. Bellés <sup>1,2</sup>, H. J. Marcos <sup>1</sup>, S. L. González <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Sur, Depto. de Ingeniería. 8000, Bahía Blanca, Argentina.

<sup>2</sup> CIC, Poviancia de Buenos Aires, Argentina.

e-mail [pbelles@criba.edu.ar](mailto:pbelles@criba.edu.ar)

### **RESUMEN**

La mayoría de los códigos vigentes permiten realizar el análisis sísmico de estructuras resistentes de las construcciones, empleando el concepto de fuerzas estáticas equivalentes aplicado a sistemas con un grado de libertad. En particular el Reglamento INPRES-CIRSOC 103 [1], propone el uso de este método simplificado para estructuras que reúnen determinadas características de regularidad en planta y elevación. En la Publicación Técnica N°16 de INPRES [2] se incluye el desarrollo de un ejemplo numérico de cálculo destinado a orientar a los usuarios del mencionado reglamento hacia una correcta interpretación de las prescripciones del mismo.

En este trabajo se presentan diferentes configuraciones estructurales y de carga para el pórtico del ejemplo mencionado. Se analiza la influencia de los muros de relleno de mampostería en el cálculo de los esfuerzos. También se estudian modelos de elementos finitos de la estructura con las cargas propuestas en el código, con y sin muros de mampostería. Se realiza una comparación de los resultados obtenidos.

### **ABSTRACT**

Most of the present standard building codes allow performing the seismic analysis of earthquake resistant structures using the equivalent static method applied to single degree off freedom systems. In particular, INPRES-CIRSOC 103 [1] proposes the use of this simplified method for buildings meeting certain regularity criteria. In the Technical Publication N°16 of INPRES [2], a numerical example is developed with the purpose of orienting the code users to a correct interpretation of its indications.

In the present paper various different structural models and load cases are presented for the mentioned example. The influence of masonry infill walls in the calculus of internal forces is analyzed. Also finite element models and loads proposed by the code are studied, with and without masonry infill walls. The results obtained for the different models are compared.

### **INTRODUCCIÓN**

Para el análisis sísmico de estructuras resistentes, el reglamento INPRES-CIRSOC 103 [1], propone métodos basados el concepto de fuerzas estáticas equivalentes aplicado a sistemas con un grado de libertad. La aplicación de este criterio depende de las características de regularidad en planta y elevación de la estructura.

Nos referiremos muy brevemente a este aspecto del problema dado que el objetivo de este trabajo no es la evaluación de las fuerzas sísmicas sino la evaluación de los esfuerzos resultantes en la estructura bajo la acción de las mismas. Debido a que el método estático que se aplica es un procedimiento aproximado que se basa fundamentalmente en la forma modal asociada al primer modo de vibración

de la estructura, el Reglamento establece limitaciones de aplicación de manera de controlar la influencia de los modos superiores de vibración en la respuesta estructural a la excitación sísmica. Las limitaciones están relacionadas básicamente con el período fundamental y con la altura total del edificio en relación con su destino, funciones y la zona sísmica de emplazamiento.

En la Publicación Técnica N°16 de INPRES [2] se incluye el desarrollo de un ejemplo numérico de cálculo destinado a orientar a los usuarios del Reglamento INPRES-CIRSOC 103[1] hacia una correcta interpretación de las prescripciones del mismo. Los resultados que se presentan en la publicación mencionada corresponden a la aplicación de un método clásico de rigidez para resolver la estructura con las cargas sísmicas y gravitatorias especificadas por el código.

Con el objeto de estudiar de qué manera influye la presencia de los muros de relleno de mampostería en el cálculo de los esfuerzos, se estudiaron diferentes modelos estructurales. El más sencillo y también de aceptación más generalizada, consiste en modelar el efecto del relleno de mampostería con una biela diagonal. También se analizan modelos de elementos finitos que reproducen la estructura y las cargas propuestas en el código, con y sin muros de mampostería.

### DESCRIPCIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

En [2] se desarrolla el cálculo de un edificio típico destinado a viviendas que consta de cuatro niveles y estructurado mediante pórticos de hormigón armado sismorresistente convencional dispuestos según ambas direcciones principales del edificio. Algunos pórticos poseen vanos rellenos con mampostería de ladrillos cerámicos macizos de 0.20 m de espesor, desde el nivel de fundación hasta el nivel extremo superior. En la Figura 1-a se muestra la planta de la estructura y en la Figura 1-b una vista lateral donde se indican las dimensiones transversales de vigas y columnas (expresadas en cm), las alturas entre pisos y la separación entre ejes de columnas (en metros).

Los datos generales consignados en relación con las prescripciones reglamentarias, son: zona sísmica 4, suelo de fundación tipo II, por su destino y funciones el edificio corresponde al grupo B. Los materiales: hormigón H-17 ( $\beta_R=14 \text{ MN/m}^2$ ) y acero ADN-420 ( $\beta_S=420 \text{ MN/m}^2$ ).

Se estudiaron tres modelos estructurales: a) El pórtico sin muros de relleno; b) El pórtico con los muros de relleno de mampostería reemplazados por bielas diagonales y c) El pórtico con los muros de relleno de mampostería.

En el modelo (b), la diagonal equivalente que idealiza el muro confinado tiene rigidez únicamente en compresión. Para el cálculo de la misma se propone utilizar un módulo de elasticidad y un espesor iguales a los del muro, con un ancho ideal  $W_0$  dado por la fórmula:

$W_0 = (0.35 + 0.022 \lambda)h$ ; donde  $h$ : es la altura del tablero entre ejes y  $\lambda$ : es un parámetro adimensional basado en las rigideces de tablero y marco, que se calcula con:

$$\lambda = E_{\text{horm}} \times A_{\text{horm}} / G_{\text{muro}} \times A_{\text{muro}}$$

Para nuestro ejemplo, el valor promedio adoptado es  $W_0 = 1.45$  para todas las diagonales del pórtico analizado, obteniéndose como área equivalente de la diagonal  $A = 0,29 \text{ m}^2$ .

El módulo de elasticidad del muro es:  $E_{\text{muro}} = 2000000 \text{ KN/m}^2$  según Reglamento INPRES-CIRSOC 103 [1] con  $G_{\text{muro}} = 0,3 E_{\text{muro}}$ . El módulo de elasticidad del hormigón es:  $E_{\text{horm}} = 27500000 \text{ KN/m}^2$ .

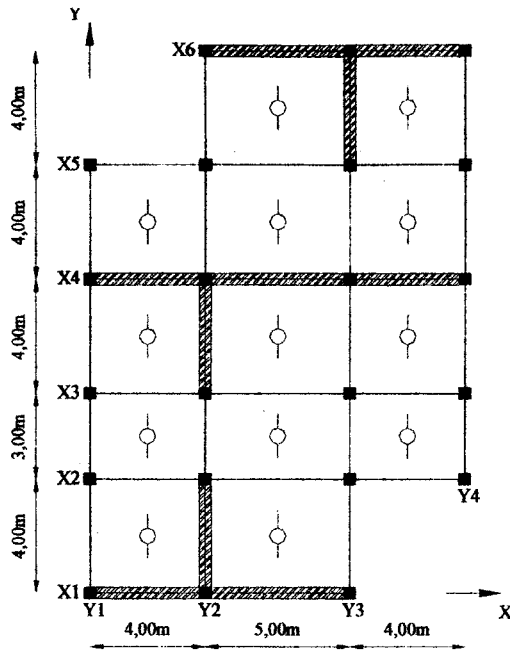


Figura 1-a

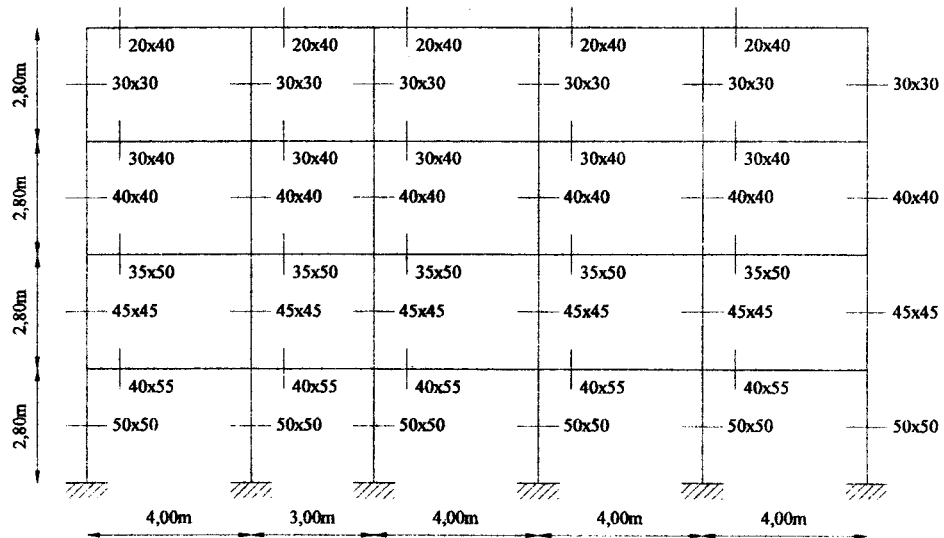


Figura 1-b

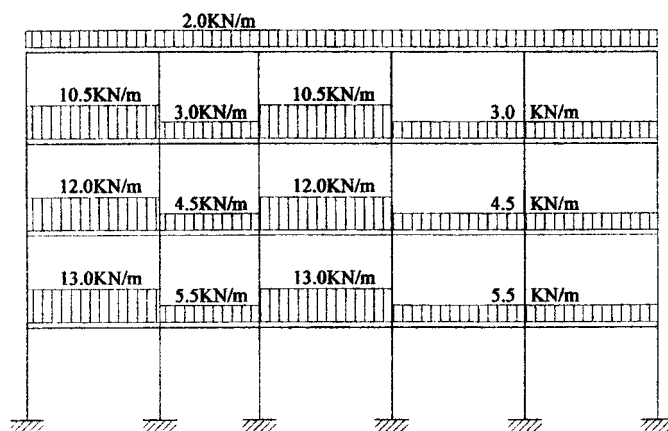


Figura 2-a

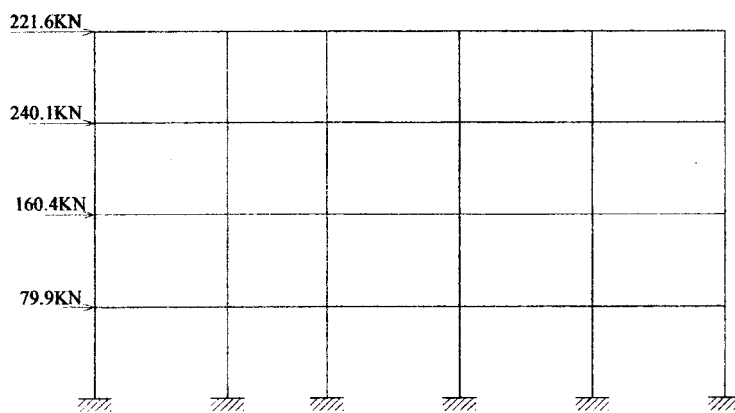


Figura 2-b

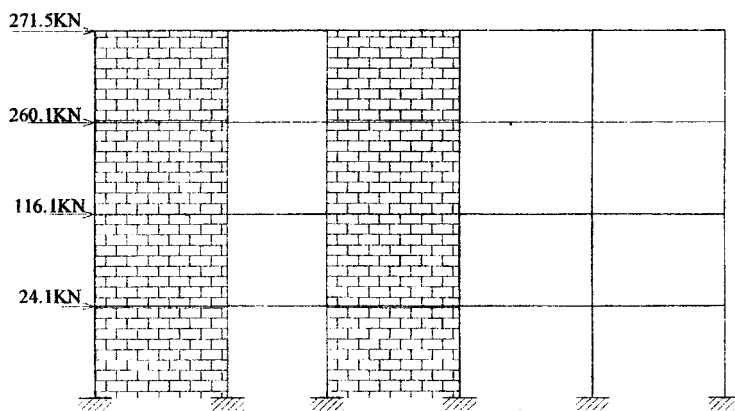


Figura 2-c

## ESTADOS DE CARGA

Las cargas de diseño sísmico fueron estimadas calculando el centro de rigidez sin considerar los tabiques de mampostería. La ubicación del centro de rigidez se modifica si se incluyen los mismos, originando un desplazamiento de dicho centro y también cambia la rigidez lateral de la estructura. En consecuencia, si se consideraran los muros se produciría una distribución diferente de las fuerzas sísmicas laterales.

Usualmente, los efectos de las cargas laterales en el plano de las paredes y los de las cargas transversales se evalúan por separado. Aquí consideraremos las cargas laterales, según el siguiente detalle: I) Cargas gravitatorias de la Figura 2-a; II) Cargas sísmicas sin muros de la Figura 2-b y III) Cargas sísmicas con muros de la ver Figura 2-c.

## MÉTODOS DE CÁLCULO

Se adoptaron dos importantes simplificaciones aceptadas por la mayoría de los códigos modernos: cargas estáticas equivalentes y análisis lineal de esfuerzos. En primer lugar, se realizó el cálculo de esfuerzos mediante un programa que utiliza el método matricial clásico de rigidez (EPBR-UNS).

Además, se utilizó el programa general de elementos finitos ALGOR [3], empleando el módulo de análisis estático lineal. En este caso, la utilización de un programa de elementos finitos de uso general tiene por finalidad el cálculo lineal de esfuerzos. Se pretende obtener resultados comparables con los del método clásico de rigidez empleado en el reglamento, con la ventaja de incluir de un modo sencillo los muros de mampostería en el análisis con elementos finitos. En un análisis más ajustado a la realidad debería considerarse el comportamiento no lineal de la mampostería. Es muy importante hacer notar, además, que cuando se pretende evaluar la respuesta sísmica estructural, es necesario el empleo de programas específicos para ese fin.

## RESULTADOS

Los resultados de los esfuerzos internos (normal, corte y momento flector) que se presentan en la Publicación Técnica N°16 de INPRES [2], corresponden a uno de los pórticos del edificio, indicado como Y2 en la planta de la Figura 1-a. En particular se estudia un nudo viga-columna de dicho pórtico cuya ubicación se indica en la Figura 3-a. La convención de signos adoptada para los resultados de esfuerzos en el nudo es la que corresponde a la Figura 3-b. Los elementos estructurales que concurren al nudo son: la viga, la columna inferior y la columna superior.

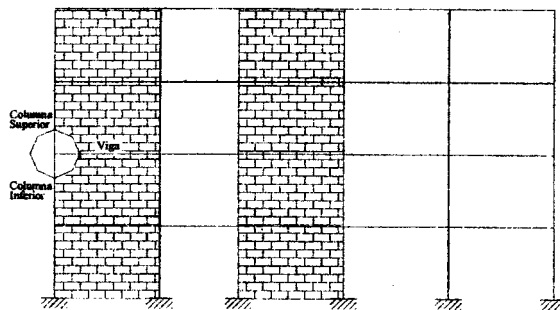


Figura 3-a

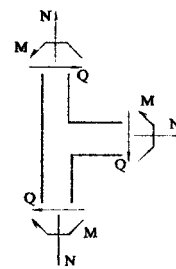


Figura 3-b

Los valores de los esfuerzos en los elementos mencionados, para las diferentes configuraciones que se analizaron, se consignan en las tablas que se describen a continuación:

Tabla 1: Corresponde al pórtico con las cargas gravitatorias de la Figura 2-a sin considerar la presencia de los muros de relleno de mampostería. Los valores para cada uno de los esfuerzos, en las distintas columnas de la tabla son los siguientes: EPBR: Resultados del programa EPBR-UNS (método de rigidez); MEF: Resultados del método de elementos finitos (programa Algor) y Ref. [2]: Resultados de la Publicación Técnica N°16 de INPRES.

Se puede observar que el esfuerzo normal de la viga, despreciado en [2] tiene valores que son bajos comparados con los otros esfuerzos. Consecuentemente, lo mismo puede decirse de las variaciones en el esfuerzo de corte en las columnas que concurren al nudo.

Tabla 1

PORTICO SIN MUROS CON CARGAS GRAVITATORIAS									
Elemento Estructural	Esfuerzos internos								
	Normal [KN]			Corte [KN]			Momento [KNm]		
	EPBR	MEF	REF[2]	EPBR	MEF	REF[2]	EPBR	MEF	REF[2]
Columna Superior	-24,60	-24,60	-24,60	-5,50	-5,65	-5,50	6,60	6,92	6,60
Columna Inferior	-48,40	-48,32	-48,40	-5,20	-4,04	-5,10	-7,40	-6,71	-7,30
Viga	0,30	1,61	-	23,80	23,72	23,80	-14,00	-13,63	-13,90

Tabla 2: Corresponde al pórtico con las cargas gravitatorias de la Figura 2-a, y con bielas diagonales para tener en cuenta la influencia de los muros de relleno de mampostería. En este caso se comparan los valores de EPBR con Algor. Puede verse que para este tipo de sollicitación, las bielas diagonales no trabajan en forma significativa y por lo tanto, los esfuerzos en el resto de los elementos estructurales permanecen prácticamente iguales a los que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 2

PORTICO CON DIAGONAL Y CARGAS GRAVITATORIAS							
Elemento Estructural	Esfuerzos internos						
	Normal [KN]		Corte [KN]		Momento [KNm]		
	EPBR	MEF	EPBR	MEF	EPBR	MEF	
Columna Superior	-24,80	-24,79	-5,60	-5,76	6,70	7,06	
Columna Inferior	-48,50	-48,46	-5,30	-4,18	-7,50	-6,85	
Viga	0,60	1,85	23,90	23,85	-14,30	-13,91	
Diagonal	-0,30	-0,33	-	-	-	-	

Tabla 3: Corresponde al pórtico sin muros, bajo la acción de las cargas sísmicas indicadas en la Figura 2-b. Se observa que para este tipo de sollicitación, el valor del esfuerzo normal de la viga que está despreciado en [2], es de orden de magnitud similar al mismo esfuerzo en el resto de los elementos concurrentes al nudo que se estudia.

En este caso se comparan los resultados de EPBR, REF[2] y MEF.

Tabla 3

PORTICO SIN MUROS CON CARGAS SISMICAS									
Elemento Estructural	Esfuerzos internos								
	Normal [KN]			Corte [KN]			Momento [KNm]		
	EPBR	MEF	REF[2]	EPBR	MEF	REF[2]	EPBR	MEF	REF[2]
Columna Superior	65,90	65,13	64,50	52,40	52,86	51,30	-81,10	-83,85	80,20
Columna Inferior	150,00	139,80	142,90	77,80	81,17	70,50	99,20	77,66	87,70
Viga	-135,00	-132,10	-	-84,00	-74,66	-78,40	180,30	161,50	168,00

Tabla 4: Pórtico con elementos diagonales para tener en cuenta la presencia de los muros de relleno. Las cargas sísmicas son las de la Figura 2-c. Los valores de los esfuerzos fueron calculados con EPBR y Algor. La máxima diferencia entre los resultados obtenidos por ambos métodos, alcanza aproximadamente un 30%.

Tabla 4

PORTICO CON DIAGONAL Y CARGAS SISMICAS							
Elemento Estructural	Esfuerzos internos						
	Normal [KN]		Corte [KN]		Momento [KNm]		
	EPBR	MEF	EPBR	MEF	EPBR	MEF	
Columna Superior	219,80	219,20	20,30	20,12	-29,00	-28,84	
Columna Inferior	368,40	345,70	33,30	41,98	42,80	41,80	
Viga	63,50	41,43	-32,00	-31,51	71,90	70,64	
Diagonal	-203,30	-165,60	-	-	-	-	

Tabla 5: Corresponde al pórtico con muros de relleno. La utilización de elementos estructurales de mampostería en los programas de cálculo con elementos finitos, es un tema que aún está en discusión entre los especialistas. Sin embargo, la posibilidad que tiene el MEF de describir el comportamiento mecánico de este material, permite lograr resultados que no son posibles de obtener por otras vías de análisis. En este campo, el MEF debe ser usado muy cuidadosamente, y los resultados obtenidos requieren controles más estrictos que con otras clases de materiales.

Las diferencias más significativas se evidencian en el aumento de los esfuerzos de corte y disminución de momentos flectores.

Tabla 5

PORTICO CON MUROS DE RELLENO						
Elemento Estructural	Esfuerzos internos con MEF					
	CARGAS GRAVIT.			CARGAS SISMICAS		
	N [KN]	Q [KN]	M [KN]	N [KN]	Q [KN]	M [KN]
Columna Superior	-28,18	-0,30	0,63	248,00	-1,64	-1,57
Columna Inferior	-38,06	0,06	-0,69	292,60	1,72	-1,07
Viga	1,25	6,51	-1,32	-108,60	-1,48	0,50

### CONCLUSIONES

De toda las fases que componen un proceso de diseño y análisis estructural, el primer paso se refiere al modelo adoptado para la estructura y fundación, materiales y dimensiones iniciales. Es la etapa más creativa del proceso y exige comprender los tipos de acciones a los cuales estará sometida la estructura y su comportamiento bajo las cargas resultantes. Frecuentemente, en estructuras aperticadas de hormigón armado se utilizan tabiques de relleno o de separación de ambientes. Por lo general, dichos tabiques no son considerados elementos estructurales y tampoco se analiza su influencia en el diseño de los elementos adyacentes de hormigón armado. Sin embargo, no considerar la influencia de la mampostería puede ser motivo de una estimación incorrecta de las cargas de diseño sísmico y también de un diseño inapropiado de las columnas y vigas de hormigón armado. La mampostería es un material no homogéneo, de alta variabilidad y por lo tanto de difícil caracterización. Además, la interacción entre el marco de hormigón armado y el relleno es compleja. En tales casos, la aplicación de técnicas numéricas utilizando códigos de elementos finitos constituye un interesante complemento de los diversos procedimientos analíticos y experimentales. A pesar de que se dispone de abundante bibliografía, no existen conclusiones definitivas sobre este tema que conduzcan a una metodología simple, segura y de aplicación práctica.

### AGRADECIMIENTOS

P. Bellés es investigadora de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. H. Marcos ha sido beneficiado con una beca de la Secretaría General de Ciencia y Tecnología de la UNS para el proyecto de investigación "Acciones de sismo y viento sobre viviendas y estructuras: simulaciones numéricas con elementos finitos".

### REFERENCIAS

- [1] *Reglamento INPRES-CIRSOC 103*. Departamento de Ediciones del INTI, Buenos Aires. Edición agosto 1991. Impresión abril 1996.
- [2] Amado, J y Barros, E. *Publicación Técnica N°16: Diseño Sismorresistente de Estructuras Aperticadas de Hormigón Armado (1991)*, INPRES-CIRSOC 103. Impresión marzo de 1993. San Juan.
- [3] *ALGOR Version 12.04. Professional Mech/VE. Linear Stress and Dynamics*. Pittsburg, Pennsylvania, EEUU. Algor Inc., 2000.
- [4] Lafuente, M y Genatios, C. *Consideraciones sobre el comportamiento sismorresistente de estructuras de paredes de mampostería con marcos de concreto armado*. Boletín Técnico del IMME, Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela. Vol.36 N°2, Julio 1998.
- [5] Bazán Zurita, E., *Muros de Mampostería ante cargas laterales*. Estudios Analíticos, Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería, UNAM. México D.F. (1980)
- [6] Beskos, D.E., Anagnostopoulos, S.A. *Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures*. A handbook. Computational Mechanics Publications. (1997).