

# PROCEDIMIENTO TECNICO PARA LA EVALUACION DE LAS CONDICIONES ESTRUCTURALES DE UN EDIFICIO SINIESTRADO: Estudio de Caso

Dr. Servio Tulio de la Cruz Cháidez, MI Manuel Alberto Rodríguez Esparza y  
MI Víctor Hernández Jacobo

## Resumen

Este trabajo presenta el procedimiento para dictaminar las condiciones estructurales en las que se encuentra el inmueble utilizado como bodega por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, el cual fue dañado como consecuencia de un incendio. Para llevar a cabo los ensayos se realizó un muestreo de los materiales que conforman la estructura principal del edificio. Las muestras se ensayaron en el laboratorio de materiales de la institución. Para identificar las propiedades mecánicas de elementos que no fueron susceptibles de muestreo, se realizaron pruebas inductivas. Con la información de campo y los resultados de laboratorio, se realizó el dictamen correspondiente.

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes

El 3 de abril de 2009 el Departamento de Bomberos del H. Ayuntamiento de Ciudad Juárez, Chihuahua, recibió un reporte de incendio (DGEPC 2009), el cual ocurrió en el domicilio ubicado en la calle Profesor Aguirre Laredo, No. 6715-D, casi esquina con la Avenida Tecnológico de la Colonia Sub-Centro Urbano, en Ciudad Juárez, Chihuahua, México (Fig. 1). El inmueble dañado era utilizado como bodega por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

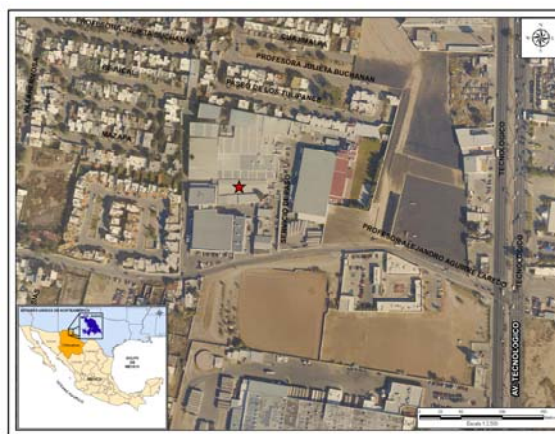
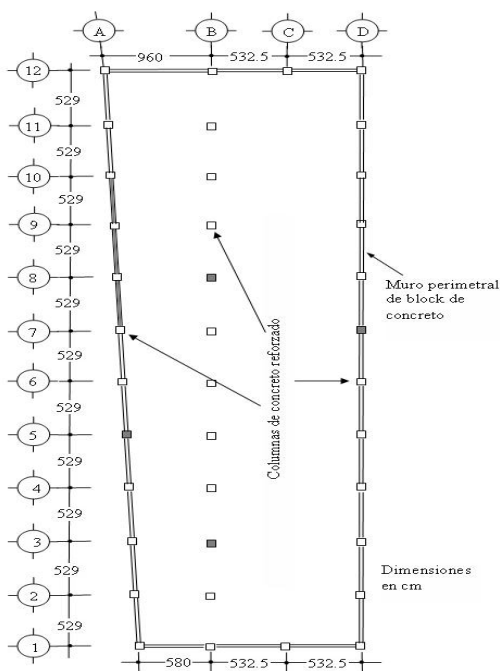


Figura 1 Localización del lugar del incendio

(UACJ). En un área de 1080 m<sup>2</sup> de la estructura referida (Fig. 2), se almacenaban diversos artículos, propiedad de la UACJ (Fig. 3).



**Figura 2** Planta del área de almacén (bodega 'D')

Otra superficie del mismo lugar con un área aproximada de 58 m<sup>2</sup> se usaba como área de oficinas. Los muros perimetrales del inmueble están formados por bloques de concreto; la cubierta de la bodega era de madera laminada, soportada por armaduras (cabrillas), apoyadas a su vez sobre columnas de concreto reforzado; en una zona de la bodega se encontraba un mezzanine (entrepiso) con piso terminado de madera, entre los ejes A y B, y ejes 1 a 12 (Fig. 2). Este mezzanine descansaba sobre largueros de alma abierta (joists), que a su vez estaban apoyados en columnas de concreto reforzado.

Con el objeto de evaluar y dictaminar los elementos estructurales que

aparentemente no fueron destruidos por el siniestro, se solicitó al Laboratorio de Materiales de la UACJ que realizara pruebas que permitieran conocer las condiciones en las que se encuentra dicho inmueble.



**Figura 3** Artículos diversos almacenados en la bodega 'D'

## 1.2 Objetivo General

Determinar las condiciones estructurales actuales de la bodega 'D' del Almacén General de la UACJ.

## 1.3 Objetivos Específicos

Inspección visual preliminar en el sitio del siniestro.

Muestreo y ensayo de columnas de carga y bloques de concreto de muros perimetrales.

Muestreo y ensayo de varillas de acero que quedaron expuesto durante el siniestro.

## 2. Metodología

Los trabajos requeridos para el dictamen de las condiciones estructurales en las que se encuentra el inmueble utilizado por la UACJ, se desarrollaron de la siguiente manera:

Para una inspección visual, se visitó el lugar. Durante la visita, se aprovechó para señalar los elementos que se consideraron representativos para que el personal del Laboratorio de Materiales realizara el muestreo correspondiente. Una vez que se llevó a cabo el retiro de escombros y la limpieza general de la estructura (Fig. 4), se procedió con los trabajos de muestreo, los cuales consistieron en toma de ejemplares representativos de las diferentes partes que quedaron en pie del inmueble, como: muros perimetrales y

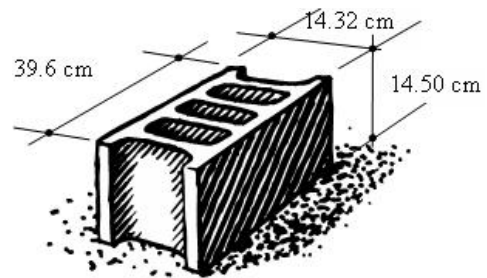


**Figura 4** Escombros como consecuencia del siniestro

columnas. Después del muestreo, se llevaron a cabo las operaciones de envase y transporte.

Con el apoyo de cincel de acero tipo paleta de 6 in de largo y marro de bola de acero de 4 lb, se extrajeron 5 muestras de bloques de concreto de los muros localizados sobre el eje A, entre los ejes 7-8, 8-9 y 9-10 (Fig. 2), conforme a lo establecido en la Norma 10-2.2 (B) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT 1981). Para tal efecto se procedió a retirar la junta de mortero que une los bloques, procurando no fracturar los mismos.

Las dimensiones promedio de las muestras extraídas se muestran en la Fig. 5. Una vez que se obtuvieron las piezas se trasladaron al laboratorio, donde se prepararon para el ensaye correspondiente.



**Figura 5** Dimensiones promedio de un bloque de concreto hidráulico de un muro

Esta preparación consistió en proporcionar a los bloques de concreto una superficie uniforme para que al momento del ensaye la carga aplicada se distribuyera uniformemente. Para esto, a ambas secciones de contacto se recubrieron con una ligera capa de mortero de yeso, con un molde hecho a base de placas de acero inoxidable, no deformable. Ya cabeceado por ambos lados y siguiendo los criterios establecidos en la Norma 10-2.4 C (SCT 1981), cada espécimen se sometió a la etapa de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión. Para esto se utilizó una máquina universal marca Forney, modelo LT-900-2 (Figuras 6 y 7).



Figura 6 Bloques cabeceados

El proceso para determinar las condiciones en las que se encuentra el concreto que integra las columnas que soportaban el inmueble consistió en un método parcialmente destructivo. Esta metodología

consistió en obtener corazones (muestras) mediante el barrenado en las columnas.



Figura 7 Bloque colocado en la máquina de prueba

Dicho muestreo se llevó a cabo siguiendo las indicaciones de las normas de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM 2004). Con los corazones obtenidos se tuvo la oportunidad de estimar la resistencia a la compresión del concreto,  $f'_c$ . Las columnas que se seleccionaron para ser barrenadas, fueron las siguientes: A-6, A-7, B-2, B-5, B-11, D-4, D-7 y D-10 (Fig. 2). En la Fig. 8 se muestra el proceso de extracción de corazones en el sitio. Los corazones midieron en promedio, 15 cm de altura y 7 cm de diámetro. Para el barrenado se utilizó un taladro equipado con una broca hueca de acero de pared delgada, con la sección de corte impregnada con diamante. Durante los muestreos se tomaron las siguientes consideraciones para garantizar la efectividad de los mismos: la altura del

corazón debe ser 2 veces el diámetro, el espécimen debe estar libre de acero de refuerzo, y no presentará fisuras, grietas, golpes o fallas internas. Una vez en el laboratorio, se determinaron las características generales de cada espécimen: dimensiones (largo, diámetro) y peso.



**Figura 8** Proceso de extracción de núcleos (corazones) de las

Previo al ensaye de carga, al igual que los bloques, ambos extremos del corazón deben ser perpendiculares a su eje longitudinal. Para complementar este requisito y garantizar que la carga que se le aplicó al espécimen fuera uniformemente distribuida, ambos extremos del corazón se cabecearon (se pulieron ambos extremos y se les colocó una capa de azufre) siguiendo lo establecido en la norma NOM-C-109 (DOF 2006). Una vez lista la probeta, se llevó a la máquina de pruebas Forney modelo LT-900-2 para la aplicación de la

carga (Fig. 9), conforme a lo establecido en la norma ASTM, 2005.



**Figura 9** Prueba de compresión de un corazón, usando la máquina universal

De una forma indirecta, usando un esclerómetro marca Forney tipo N-34, se obtuvo la resistencia a compresión,  $f'_c$ , de todas las columnas de la planta mostrada en la figura 3 y de la dala de cerramiento (Fig. 10). Para el uso adecuado de este dispositivo, se siguió el procedimiento indicado en las normas ASTM, 1998.



**Figura 10** Uso del esclerómetro para obtener el esfuerzo  $f'_c$  de las columnas y de la dala de cerramiento

Para determinar las características físicas y el esfuerzo de fluencia  $f_y$  de las barras longitudinales de acero, se siguieron los métodos convencionales establecidos en la norma ASTM, 2008. Para evitar más daños a la estructura, el muestreo se realizó en las columnas que presentaban acero expuesto, el cual se identificó en las estructuras B-2 y B-7 (Fig. 2) de donde se obtuvieron muestras de 60 cm de longitud, en promedio, para ser ensayadas a tensión. Para la obtención de éstas se requirió de un equipo de corte.

En el laboratorio, utilizando equipo menor se determinaron las características físicas de las barras de refuerzo: peso por metro lineal, sección transversal y propiedades de corrugación. Previo a la prueba de ruptura a cada una de las varillas, partiendo del centro de éstas, se midió una franja de 20 cm, la cual fue utilizada como punto de referencia para conocer el porcentaje de alargamiento del acero muestreado.

Luego, se procedió a probar cada uno de los especímenes en la máquina de pruebas Forney modelo LT-900-2 (Fig. 11).



Figura 11 Ensayo de tensión de una varilla de acero

Para determinar la geometría y el diámetro del armado de las columnas, se seleccionaron las columnas A-5, B-3, B-8 y D-7 (Fig. 2), y se empleó equipo menor, como flexómetro y vernier. Para este proceso se siguieron criterios y cuidados que garantizaran los trabajos realizados (Fig. 12).

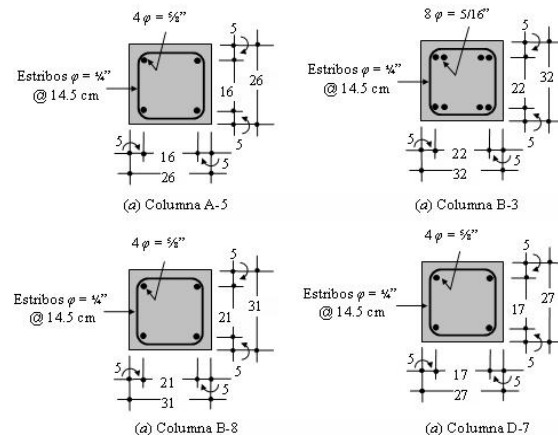


Figura 12 Geometría y detalles del refuerzo de las columnas

La información recabada de las diferentes pruebas realizadas, tanto destructivas como no destructivas, fue analizada de la siguiente manera: La capacidad a compresión de las columnas, se determinó en conformidad con la

especificación del Instituto del Concreto Americano (ACI 2005), para lo cual se usó la siguiente expresión:

$$\varphi_c P_n = \varphi_c \times 0.80 \times [0.85 \times f'_c \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}], \quad (1)$$

donde:

$\varphi_c$  es el factor de resistencia a la compresión; en este caso, es igual a 0.65 para columnas con estribos rectangulares,

$P_n$  es la carga nominal resistente a la compresión de la sección, en kg,

$f'_c$  es la resistencia a la compresión del concreto, obtenida en el laboratorio (150 kg/cm<sup>2</sup>),

$A_g$  es el área de la sección rectangular, en cm<sup>2</sup>,

$f_y$  es el límite de fluencia del acero de refuerzo, obtenido en el laboratorio (4283 kg/cm<sup>2</sup>),

$A_{st}$  es el área de la sección transversal de las barras longitudinales, en cm<sup>2</sup>

Los resultados anteriores se verificaron utilizando el programa de computadora 'Concrete Analysis and Design' (CONCAD, por sus siglas en inglés) de James K. Nelson (McCormac 2005).

### 3. Resultados

De la visita al sitio se observó lo siguiente: la madera de la cubierta y el mezzanine se consumieron en su totalidad. Como la estructura de acero fue sometida a altas temperaturas, se produjeron grandes

deformaciones en los elementos metálicos (Fig. 13), y en consecuencia, la resistencia de dichos elementos se redujo (Gaylord, Gaylord y Stallmeyer 1997). Las columnas de concreto presentaron daños superficiales en el recubrimiento del acero de refuerzo.



**Figura 13** Deformaciones de estructura de acero

Los muros de bloque no presentan daños estructurales. Los pisos de concreto no sufrieron daños. Por otra parte, en el área de oficinas se observó que únicamente la techumbre de madera presenta daños en los plafones (Fig. 14).



**Figura 14** Daños en los plafones de la zona de oficinas

De los resultados del laboratorio de materiales se concluye que el esfuerzo de compresión soportado por los bloques del muro perimetral, fue, en promedio, de  $89 \text{ kg/m}^2$ , como se puede ver en la Tabla 1. La resistencia a compresión,  $f'_c$ , de los núcleos de concreto extraídos de las columnas, se registran en la Tabla 2. Estos datos se han tomado del reporte del laboratorio. Para obtener un  $f'_c$  promedio, se calculó una media recortada con los datos de la Tabla 2, eliminando los valores extremos. Así,  $f'_c = (146.01 + 152.97 + 148.18 + 178.82 + 146.68 + 133.55)/6 = 151.035 \text{ kg/cm}^2$ . Se usó, para los cálculos posteriores,  $f'_c = 150 \text{ kg/cm}^2$ .



Muestra	Ensaye	Descripción	Sección		Área Bruta (cm <sup>2</sup> )	Área Neta (cm <sup>2</sup> )	Carga en (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
			Largo (cm)	Ancho (cm)				
'001	'001	Eje A entre Col. 8 y 9	40.00	14.50	580.0	312.0	23,731	76.06
'002	'002	Eje A entre Col. 7 y 8	39.00	14.30	557.7	292.7		*
'003	'003	Eje A entre Col. 9 y 10	41.00	14.20	582.2	312.2	28,090	89.97
'003	'004	Eje A entre Col. 9 y 10	40.00	14.10	564.0	299.0		*
'003	'005	Eje A entre Col. 9 y 10	38.00	14.50	551.0	289.0	29,012	100.39

Observaciones: El material fue muestreado de los muros perimetrales existentes, para esto se utilizó un marro y un cincel, durante el proceso varios ensayos se desmoronaron en el intento.  
\* El ensaye no fue posible ser sometido a la prueba, debido a que se desmoronó, durante el proceso de cabeceo.

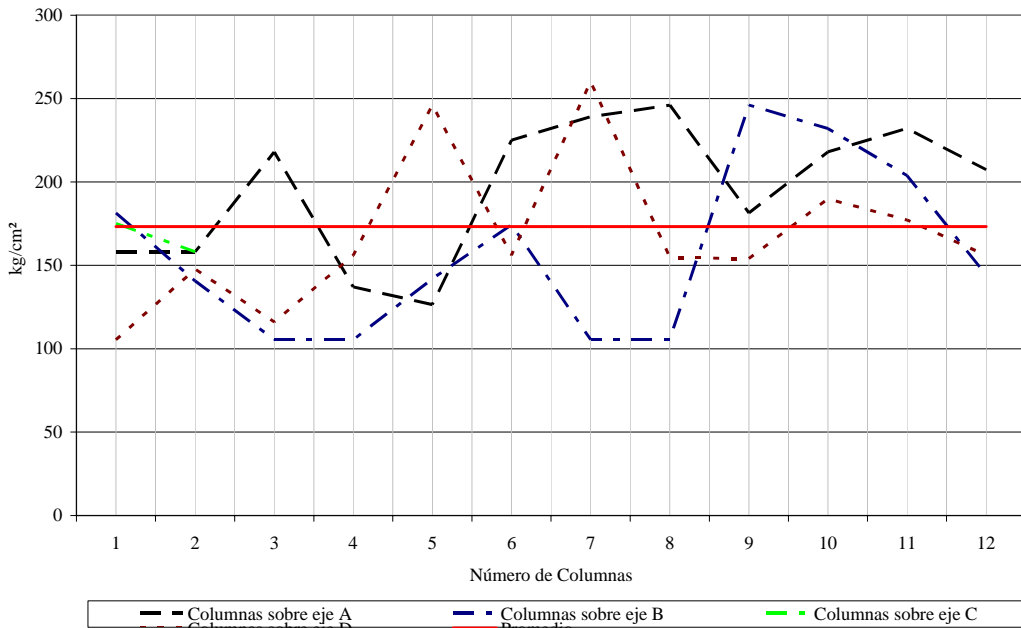
**Tabla 1** Esfuerzos de compresión en los bloques de concreto hidráulico de muros perimetrales

Columna	Resistencia a la Compresión, $f'_c$ , del Corazón (kg/cm <sup>2</sup> )
A-6	186.96
A-7	146.01
B-2	152.97
B-5	148.18
B-11	178.82
D-4	146.68
D-7	112.64
D-10	133.55

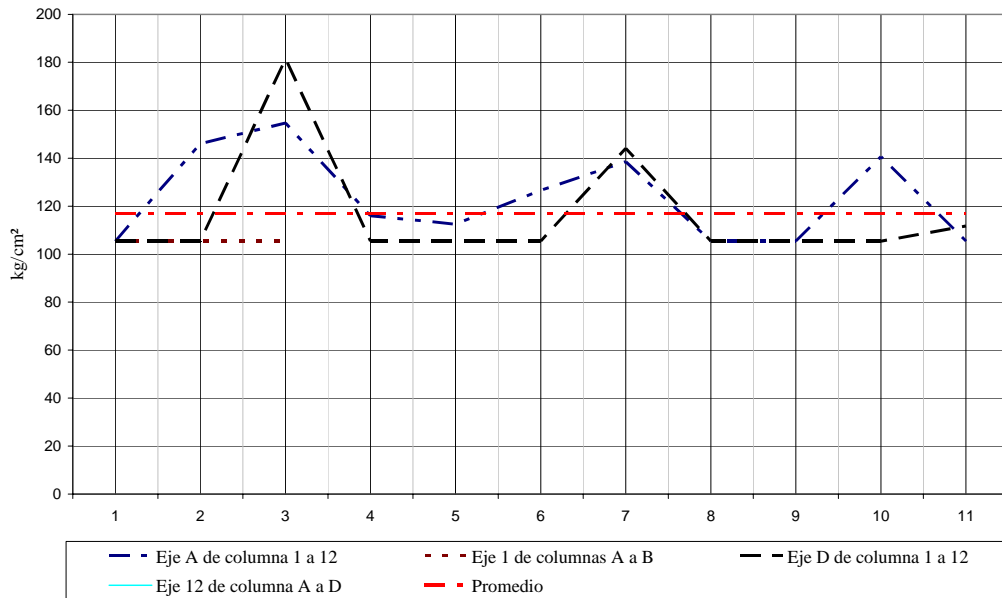
**Tabla 2** Resistencia de los corazones de las columnas

Es relevante notar que el  $f'_c$  de las columnas, obtenido en el laboratorio, es muy similar al que se obtuvo de manera indirecta, usando el esclerómetro ( $f'_c = 173$  kg/cm<sup>2</sup>), de acuerdo al promedio, obtenido de los datos de campo, y que se muestra en la gráfica de la Fig. 15.

Por otra parte, la resistencia a la compresión del concreto de las dalas, obtenida con el esclerómetro, es del orden de 117 kg/cm<sup>2</sup> en promedio, según los valores de la gráfica de la Fig. 16.



**Figura 15** Esfuerzo de compresión en las columnas de concreto, usando el esclerómetro



**Figura 16** Esfuerzo de compresión en la dala de concreto, usando el esclerómetro

El esfuerzo de fluencia  $f_y$  de las barras longitudinales de acero de las diferentes columnas fue 4285, 4484, 4297 y 4371 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo al reporte del

laboratorio (Tabla 3). Se usó un valor  $f_y = 4283$  kg/cm<sup>2</sup>, un poco abajo del promedio, 4359 kg/cm<sup>2</sup>, para los cálculos.

MUESTRA No.	ENSAYE	PESO POR METRO LINEAL kg/m	ÁREA cm <sup>2</sup>	LÍMITE ELÁSTICO kg/cm <sup>2</sup>	ESFUERZO MÁXIMO kg/cm <sup>2</sup>	ALARGAMIENTO %	CORRUGACIONES		
							ALTURA mm	ANCHO mm	SEPARACIÓN mm
'004 COLUMNA B7	'006	1.621	2.011	4,285	7,040	13.50	0.600	4.000	7.400
	'007	1.618	1.961	4,484	7,420	14.00	0.700	3.500	7.000
'005 COLUMNA B2	'008	1.638	2.011	4,297	7,028	12.22	0.120	4.600	8.500
	'009	1.694	2.061	4,371	7,179	11.90	0.185	4.300	8.200
PROMEDIO		1.694	2.061	4,359	7,167				

**Tabla 3** Esfuerzo de fluencia  $f_y$  de las barras de acero de las columnas B-7 y B2

Entonces, sustituyendo  $f'_c = 150$  kg/cm<sup>2</sup> y  $f_y = 4283$  kg/cm<sup>2</sup> en la Ec. (1), se obtuvo la capacidad de carga axial,  $\phi_c P_n$ , para las columnas representativas A-5, B-3, B-8 y D-7. En la Tabla 4 se registra el valor de  $\phi_c P_n$  (capacidad a la compresión) para cada columna. También en esta tabla se registra la carga última y el momento último, suponiendo que existe una excentricidad del orden de 6 cm, medida desde el centro de la columna, en alguna dirección paralela a alguno de los lados de la misma. Como se puede observar en la Tabla 4, la capacidad mínima a la compresión es del orden de 60000 kg. Ahora, si se elige un factor promedio de carga de 1.50 (ACI 2005) las cargas axiales

de servicio (cargas muertas + cargas vivas) no deben exceder de  $60000/1.5 = 40000$  kg, por columna. Para excentricidades del orden de 6 cm, la carga axial máxima de servicio (carga muerta + carga viva) no debe ser mayor que  $0.75(40000) = 30000$  kg. Lo anterior se puede corroborar con los diagramas de interacción, elaborados para las columnas A-5, B-3, B-8 y D-7, y mostrados en la Figura 17. Estos diagramas se obtuvieron usando el programa 'CONCAD' (McCormac 2005).

Columna	Sección (cm×cm)	Criterio de Diseño	Capacidad a la Compresión (kg)*	Compresión (kg)/ Flexión (kg·m)**
A-5	26×26	Columna corta	57169	42877/2573
B-3	32×32	Columna corta	78466	58850/3531
B-8	31×31	Columna corta	74611	55958/3357
D-7	27×27	Columna corta	60412	45309/2719

Tabla 4 Capacidad de carga de las columnas

\*Se ha considerado conveniente tomar un 92% de la capacidad de carga  $\phi_c P_n$

\*\*Se ha tomado una excentricidad de 6 cm, paralela a alguna de las caras de la columna

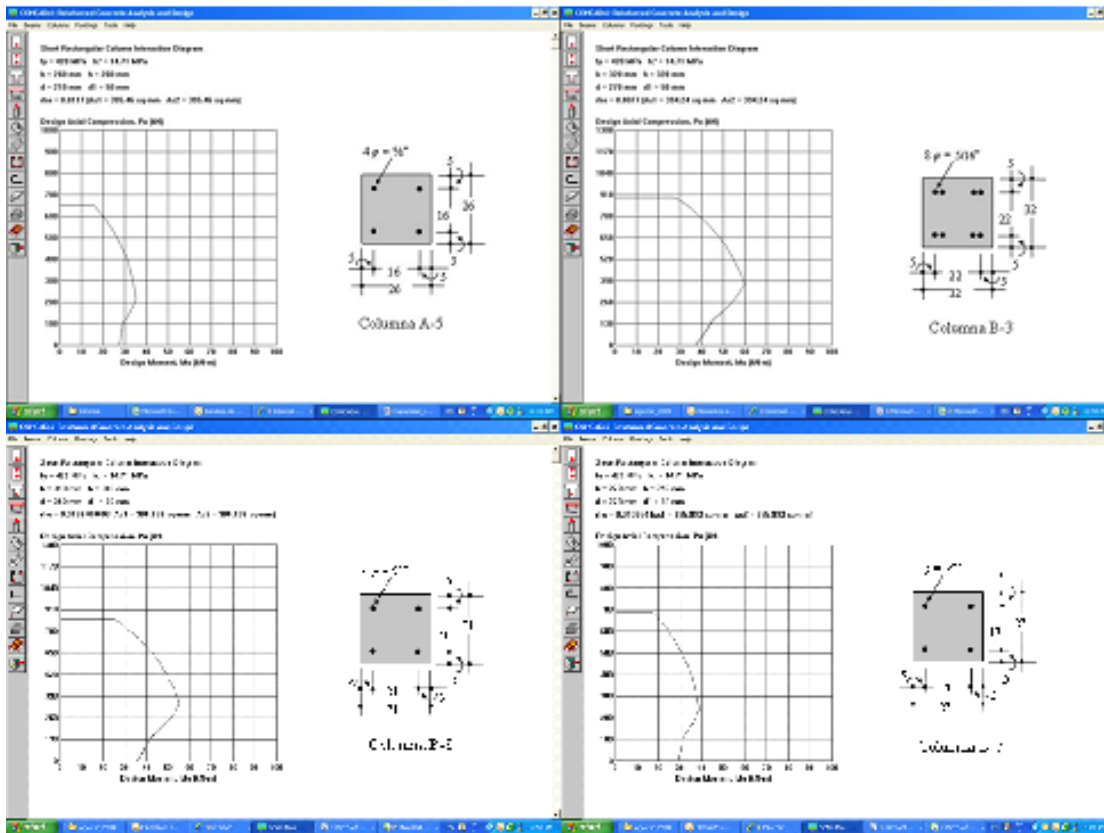


Figura 17 Diagramas de interacción de las columnas A-5, B-3, B-8 y D-7

#### 4. Conclusiones

La techumbre y la estructura del mezzanine, ambas de madera, se consumieron por completo. En cuanto a la estructura metálica (armaduras) que soportaba el mezzanine, se observó que sufrió grandes deformaciones. En lo relativo a las columnas de concreto reforzado, no se observan fallas relevantes en estas, o en el refuerzo de las mismas. El 90% de los corazones ensayados en el laboratorio tuvieron una resistencia a la compresión del orden de  $150 \text{ kg/cm}^2$  o mayor, lo que permite concluir que esta resistencia es adecuada para realizar los cálculos de nuevas estructuras de entrepiso y cubierta. El acero de refuerzo de las columnas no sufrió pérdida alguna de resistencia, pues el límite de fluencia obtenido en el laboratorio, del orden de  $4300 \text{ kg/cm}^2$ , sobrepasa el valor comercial de  $4200 \text{ kg/cm}^2$  para el acero A42. Se determinó que las columnas de la bodega pueden soportar cargas axiales de servicio del orden de  $40000 \text{ kg}$  (carga total: carga muerta + carga viva), aun cuando las columnas de secciones más grandes ( $32 \times 32 \text{ cm}$ ) pueden soportar un 25% más de carga ( $50000 \text{ kg}$  en total). Si hay excentricidades de  $6 \text{ cm}$  como máximo en alguna dirección de las caras de alguna columna, ésta puede resistir cargas de compresión del orden de

$30000 \text{ kg}$ , lo cual resulta en un momento de flexión igual a  $1800 \text{ kg}\cdot\text{m}$ . Para excentricidades mayores a  $6 \text{ cm}$ , la capacidad a compresión se reduce conforme a lo indicado en los diagramas mostrados en la Figura 17. Por lo anterior, se concluye que las columnas pueden reutilizarse, siempre y cuando no se excedan los valores de carga axial, ni de carga axial + compresión, obtenidos en los resultados

En cuanto a los muros perimetrales de bloque de concreto hidráulico, se destacan las siguientes características: no hay fallas relevantes en los muros, sólo hay desprendimiento de recubrimientos; las dimensiones de los bloques se ajustan a la clasificación indicada en las normas de la SCT (2007). La resistencia a la compresión de los bloques,  $89 \text{ kg/cm}^2$ , obtenida en el laboratorio, se encuentra entre los valores promedio aceptados, que son del orden de  $70$  a  $210 \text{ kg/m}^2$  (Hendry, Sinha y Davies 2004).

Por otra parte, en la dala de cerramiento perimetral no se observaron grietas o fallas relevantes, la resistencia a la compresión del concreto de las dalas, obtenido indirectamente, es del orden de  $120 \text{ kg/cm}^2$ . Los muros de bloque de concreto hidráulico y la dala perimetral se pueden re-utilizar, siempre y cuando las cargas de la nueva

estructura no se apoyen directamente en el muro perimetral. Es decir, el muro perimetral no debe usarse como muro de carga.

Por último, es recomendable diseñar una nueva estructura de cubierta y de entrepiso (mezzanine), siguiendo las especificaciones de seguridad y servicio que se señalen en el reglamento de construcción local (H. Ayuntamiento de Juárez 2004).

## Referencias

American Concrete Institute (ACI), 2005, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentarios (ACI 318R-05), EUA.

ASTM, 1998, C 805-97, 'Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete', Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, EUA.

ASTM, 2004, C42/C42M-04, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete, ASTM International, EUA.

ASTM, 2005, C39 / C39M - 05e2, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, EUA.

ASTM, 2008, C749 – 08, Standard Test Method for Tensile Stress-Strain of Carbon and Graphite, ASTM International, EUA.

Dirección General de Ecología y Protección Civil (DGEPC), 2009, Expediente BPC/01-09, Oficio 166, Informe en Incendio de Bodega, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

Diario Oficial de la Federación (DOF), 2006, Norma Mexicana NMX-C-109-ONNCCE-2004, Industria de la construcción-Concreto-Cabeceo de especímenes cilíndricos, México, D. F.

Gaylord, Jr., E. H., Gaylord, Ch. N., y Stallmeyer, J. E., 1997, Structural Engineering Handbook, MacGraw-Hill, 4ª edición, EUA.

H. Ayuntamiento de Ciudad Juárez, 2004, Reglamento de Construcción del Municipio de Juárez, Chihuahua, H. Ayuntamiento de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chih., México.

Hendry, A.W., Sinha, B.P., y Davies, S.R., 2004, Design of Masonry Structures, E & FN Spon, 3ª edición.

McCormac, Jack C., 2005, Diseño de Concreto Reforzado, Alfaomega, 5ª edición, México, D. F.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 1981, Normas de Construcción, Muestreo y Pruebas de Materiales, Parte Primera, México, D. F., Prima México, Volumen IX, pp. 465-472

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), 2007, N•CMT•2•03•001/07, CMT. Características de los Materiales, México, D.F.