

209  
286



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA

ESTUDIO ESTADISTICO DE IMPERFECCIONES GEOMETRICAS EN

COLUMNAS DE CONCRETO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

JOSE MARIA VILLANUEVA PEREZ SANDI

MEXICO D.F.

ENERO

1985



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | INTRODUCCION                                    | 1  |
| 1.1 | <i>Objetivo</i>                                 |    |
| 1.2 | <i>Generalidades</i>                            |    |
| 1.3 | <i>Estudios realizados sobre el tema</i>        |    |
| 2.  | DESCRIPCION DE LAS MEDICIONES EFECTUADAS        | 6  |
| 2.1 | <i>Generalidades</i>                            |    |
| 2.2 | <i>Medición de desplomes</i>                    |    |
| 2.3 | <i>Medición de secciones transversales</i>      |    |
| 2.4 | <i>Medición de claros entre columnas</i>        |    |
| 2.5 | <i>Medición de recubrimientos</i>               |    |
| 3.  | ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS RECABADOS     | 18 |
| 3.1 | <i>Generalidades</i>                            |    |
| 3.2 | <i>Desplomes</i>                                |    |
| 3.3 | <i>Secciones transversales</i>                  |    |
| 3.4 | <i>Claros entre ejes de columnas</i>            |    |
| 3.5 | <i>Recubrimientos del refuerzo longitudinal</i> |    |
| 4.  | CONCLUSIONES Y COMENTARIOS                      | 31 |
| 4.1 | <i>Desplomes</i>                                |    |
| 4.2 | <i>Secciones transversales</i>                  |    |
| 4.3 | <i>Claros entre columnas</i>                    |    |
| 4.4 | <i>Recubrimientos</i>                           |    |
| 4.5 | <i>Consideraciones finales</i>                  |    |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 5. | RECONOCIMIENTO                                  | 43 |
| 6. | REFERENCIAS                                     | 44 |
|    | TABLAS  | 46 |
|    | FIGURAS   | 68 |
|    | APENDICE (Pruebas $\chi^2$ de bondad de ajuste) | 82 |

## 1. INTRODUCCION

### 1.1 *Objetivo*

Cuando se llevan a cabo estudios de confiabilidad estructural, es necesario tomar en cuenta dos fuentes de incertidumbre que se deben a los factores externos o solicitaciones, que convencionalmente se designan como "acciones", y a los factores internos, convencionalmente llamados "resistencias". Las incertidumbres de éstas últimas provienen de tres fuentes: (a) imperfecciones geométricas, (b) variabilidad en las propiedades de los materiales, y (c) limitaciones en los modelos teóricos utilizados para predecir las resistencias.

El estudio que aquí se presenta se refiere solamente a los factores internos (resistencias), limitándose al análisis de las imperfecciones geométricas en estructuras de concreto

reforzado colado "in situ". Para esto, se seleccionaron dos edificios en etapa de construcción en el Distrito Federal y se realizaron mediciones en columnas, con el objeto de ampliar la información existente al respecto, de acumular datos que puedan ser útiles en estudios de confiabilidad y para establecer criterios realistas para tolerancias geométricas; para esto último se formularon modelos estadísticos de las imperfecciones estudiadas.

## 1.2 Generalidades

Las imperfecciones geométricas son variaciones inevitables tanto en las dimensiones como en la forma y posición de una estructura o elemento estructural con respecto a los planos de proyecto, y se deben a la combinación de diversas causas que pueden ser básicamente de dos tipos:

Las que resultan del proceso y de la actividad constructivos, y que dependen esencialmente de la calidad de la mano de obra y del equipo empleados; y las que provienen de las características propias de los materiales y de la estructura misma, como por ejemplo, movimientos por cambios de humedad y temperatura, deformaciones inmediatas, etc.

Para que las imperfecciones de una estructura no afecten su seguridad ni su funcionamiento, es conveniente tener datos sobre estas variaciones con objeto de determinar tolerancias adecuadas.

Las imperfecciones geométricas están consideradas tanto implícitamente como explícitamente en los reglamentos de construcción. Las estipulaciones implícitas están dadas por los factores de seguridad (básicamente factores de reducción de resistencia  $F_R$ ). Las explícitas son especificaciones directas en la revisión de estados límite (como por ejemplo, reducción de las dimensiones cuando éstas son menores de 20 cm) y de tolerancias, como es el caso de la sección 10.6 de las normas complementarias del reglamento del D.F. para estructuras de concreto.

En el caso de columnas sujetas a compresión, el efecto de las posibles imperfecciones se toma en cuenta al considerar una excentricidad accidental de la carga; esta especificación corresponde al caso de consideraciones explícitas.

Hay ocasiones en que los reglamentos permiten reducciones en las imperfecciones de diseño, esto sucede cuando se tiene una mano de obra de alta calidad, porque supuestamente se asegura un mejor trabajo en la construcción.

### 1.3 Estudios realizados sobre el tema

La naturaleza aleatoria de estas imperfecciones permite utilizar la Probabilidad y la Estadística para analizar los datos recabados. Se han realizado en el extranjero algunas investigaciones al respecto y se han encontrado ciertos ajustes en los conjuntos de datos de imperfecciones geométricas a

distribuciones de Probabilidad teóricas.

Conolly y Brown (ref 2) encontraron que los peraltes y los recubrimientos de losas pueden ser representados con una distribución con medias iguales a los valores nominales. Los peraltes en trabes se ajustaron a una distribución lognormal con medias iguales a los valores nominales. Basados en estos modelos probabilísticos hicieron una simulación de resistencia a flexión en trabes; se observó que por el efecto combinado de la posición de las barras de refuerzo y dimensiones de las trabes, el momento último llega a reducirse de manera que el margen que ofrece el factor de resistencia  $F_R = 0.9$  queda ocupado por los efectos mencionados, sin tomar en cuenta otros factores variables como pueden ser el área de refuerzo y los esfuerzos resistentes del acero y del concreto.

E Rosenblueth (ref 3) sugiere tomar como variable aleatoria la relación entre la dimensión real y la dimensión nominal. Johnson (ref 4), trabajando con diferencias entre la dimensión real y la nominal encontró que en losas la distribución de peraltes efectivos era prácticamente normal, con media cero para el refuerzo del lecho inferior y con media aproximadamente de 0.9 cm menor al valor nominal, en el lecho superior. En ambos lechos la desviación estándar fue de 1 cm.

Basado en otras observaciones, en tolerancias de construcción y en su propio criterio, Allen (ref 8) asigna al peralte



efectivo del lecho inferior una distribución normal con media  $d$  y desviación estándar de  $0.5 \text{ cm} + 0.025 d$ , siendo  $d$  el peralte efectivo nominal. Para el ancho de trabes,  $b$ , Allen asigna una distribución normal con media igual al valor nominal y desviación estándar de  $0.32 \text{ cm}$ . La misma distribución de probabilidades se puede aplicar a las dimensiones transversales de columnas.

## 2. DESCRIPCION DE LAS MEDICIONES EFECTUADAS

### 2.1 *Generalidades*

Como se mencionó en el primer capítulo, se seleccionaron dos edificios en etapa constructiva dentro del Distrito Federal y de fácil acceso, ya que era necesario visitarlos frecuentemente. Ambos son edificios de oficinas con estructuración semejante: entrepisos a base de columnas y sistema de piso a base de losas aligeradas.

Estas construcciones, que no se pueden considerar dentro de la categoría de edificios altos, puesto que tienen cuatro y cinco niveles respectivamente, son de una calidad constructiva que se puede calificar de buena, por la supervisión y el control que supuestamente se llevaron durante el proceso constructivo.

Los elementos estructurales en los que se realizaron mediciones fueron únicamente las columnas; esto obedece a varias razones: la primera es por facilidad de medición; además, no se contó con un aparato para medir espesores de losas; por último, se consideró que en las columnas la falla es más indeseable que en sistemas de piso, por lo que merecen mayor atención.

Las imperfecciones geométricas consideradas también estuvieron en función de la facilidad de medición y los instrumentos disponibles. Dichas imperfecciones fueron: (a) Falta de verticalidad de las columnas (que en adelante se designará por "desplomes"). (b) Dimensiones de las secciones transversales. (c) Claros entre ejes de columnas y (d) Posición del acero de refuerzo longitudinal (recubrimientos). Los aparatos de medición y la metodología seguida se describen a continuación:

2.2 *Medición de desplomes*

a) Aparatos de medición

Para medir los desplomes de las columnas se utilizó un tránsito, un vernier ordinario con aproximación de una décima de milímetro y una cinta métrica de tres metros de longitud con una aproximación de un milímetro.

b) Metodología

Se ubicó un punto arbitrario A (fig 1) en la parte superior

de la columna, cercano al paño; con el tránsito se observó este punto de modo que quedara contenido en el hilo vertical de la retícula. A continuación se movió el anteojo en dirección vertical de modo que se observara la parte inferior de la columna. En seguida se marcó otro punto B en la columna, haciendo que coincidiera también con el plano vertical definido por el hilo vertical de la retícula. Ubicados ambos puntos, se midieron las distancias de cada uno de ellos al paño de la columna. Esta medición se realizó con un vernier y una placa rígida apoyada en el paño de la columna (fig 2) para poder evitar el problema ocasionado por el chaflán de la columna.

Por último se midió la distancia vertical "h" correspondiente a la distancia entre los puntos A y B con la cinta métrica.

La pendiente del ángulo formado por el eje de la columna con la vertical se calculó del siguiente modo

$$s = \left( \frac{a - b}{h} \right) 100 \quad (1)$$

donde a y b son las distancias de los puntos A y B al paño de la columna respectivamente:

h = distancia vertical entre A y B

s = pendiente del desplome, en por ciento

Este procedimiento se llevó a cabo en dos caras perpendiculares de cada columna con objeto de registrar los componentes

del desplome en dos direcciones ortogonales.

Considerando que los desplomes constituyen una variable con signo algebraico, se adoptó una convención de signos arbitraria basada en la planta de columnas de cada edificio. Sin embargo, es interesante hacer notar que según la manera en que sean definidos los ejes de referencia para estas mediciones, se obtendrán unos u otros resultados al hacer un análisis estadístico de estos datos. En otras palabras, una variación en la convención de signos de los desplomes producirá a su vez, una variación en los histogramas o en los estadísticos correspondientes.

En la primera obra visitada cuya planta de columnas se indica en la fig 3 se consideraron tres casos:

- Analizar todos los desplomes considerando su valor absoluto.
- Analizar los desplomes asociando ejes de referencia orientados en la misma dirección y sentido para todas las columnas.
- Analizar los desplomes asociando ejes de referencia orientados en la misma dirección para todas las columnas de distintos ejes constructivos (fig 4).

En la segunda obra, cuya planta de columnas se indica en la fig 5, se consideró la siguiente convención de signos: considerar como ejes de referencia los paralelos a las caras de las columnas (que aproximadamente son norte-sur y este-oeste)

y considerar positivos los desplomes dirigidos hacia el norte y hacia el este.

La precisión de las mediciones resultó de hasta una décima de milímetro en las medidas con vernier (valores de a y b) y de un milímetro en las medidas con cinta (valores de h), pudiendo existir errores causados principalmente por la falta de horizontalidad al colocar el vernier sobre la columna, o falta de verticalidad de la cinta debida al componente de desplome perpendicular a la que se medía; sin embargo, teniendo cuidado al colocar el vernier y considerando que los desplomes son pequeños, se pueden despreciar estos errores.

Para los valores de la pendiente del desplome, se trabajó con por cientos utilizando tres decimales, es decir un total de cuatro cifras significativas para desplomes mayores de 1% y tres cifras significativas para desplomes menores de este valor.

### 2.3 *Medición de secciones transversales*

#### a) Aparatos de medición

La medición de las secciones transversales de las columnas se llevó a cabo por medio de un marco de referencia fabricado especialmente para tal efecto, un nivel de burbuja horizontal y un vernier ordinario con aproximación de una décima de milímetro.

El marco de referencia (fig 6) consiste en un par de escuadras de aluminio en sección "L" que se pueden acoplar formando un anillo rectangular alrededor de la columna, fijándolo por medio de cuñas de madera para efectuar las mediciones.

Este marco tiene la desventaja de no ser tan rígido como uno de acero, pero tiene la ventaja de ser muy ligero y por tanto, manejable, cosa que es deseable por las dificultades que ofrece el moverse dentro de una obra en construcción.

La principal deformación sufrida por el marco es por torsiones ocasionadas por el empuje de las cuñas al fijar el marco a las columnas, pero estas deformaciones no afectan la forma del marco en la dirección en que se realizan las mediciones.

#### b) Metodología

Se realizaron mediciones en dos secciones de cada columna (con algunas excepciones debido a que en algunas columnas ya se había colado un pretil que impedía la colocación del marco de referencia); las secciones correspondían a la parte inferior y a la parte media de la columna.

Colocado el marco alrededor de la columna se nivelaba para que quedase horizontal, moviendo las cuñas hasta que la burbuja del nivel indicara la posición correcta del marco (fig 7).

En cada sección en la que se realizaron mediciones se tomaron

doce lecturas de vernier, las cuales permitieron obtener 6 datos de las dimensiones de las secciones transversales por cada sección considerada, tres por cada lado de la columna, que en la figura 8 están denotadas por  $X_I$ ,  $X_{II}$  y  $X_{III}$  para la dirección  $x$  y  $Y_I$ ,  $Y_{II}$  y  $Y_{III}$  para la dirección  $y$ .

La lectura del vernier corresponde a la distancia desde el extremo exterior del marco hasta el paño de la columna; estas distancias están indicadas en la figura 8 por:

$$x_i, i = 1,6$$

$$y_i, i = 1,6$$

Los anchos de las escuadras del marco están denotadas por  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  y  $e_4$ , y aunque nominalmente son iguales (puesto que corresponden al mismo tipo de sección "L"), se observó que los anchos variaban en cada componente del marco y por ello se tuvo que establecer un ancho diferente en cada caso.

Las longitudes  $X$  e  $Y$  indican la distancia entre los extremos interiores del marco.

A partir de las longitudes anteriores pueden calcularse las dimensiones de la sección transversal con las siguientes expresiones:

$$x_I = X + e_2 + e_4 - (x_1 + x_4) \tag{2}$$

$$x_{II} = X + e_2 + e_4 - (x_2 + x_5)$$



$$\begin{aligned}
 x_{III} &= X + e_2 + e_4 - (x_3 + x_6) \\
 y_I &= Y + e_1 + e_3 - (y_1 + y_4) \\
 y_{II} &= Y + e_1 + e_3 - (y_2 + y_5) \\
 y_{III} &= Y + e_2 + e_3 - (y_3 + y_6)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

En la fig 9 se muestran dos distintos tipos de escuadras; en el caso (a) se tienen ranuras de longitud considerable, en el caso (b) se tienen orificios aislados. En un principio se pensó utilizar un marco con ambas escuadras ranuradas, con objeto de poder adaptar dicho marco a columnas con cualquier combinación de sección transversal; sin embargo, se tuvieron dificultades para colocar el marco, pues en cada ocasión en que se colocaba el marco había que comprobar con una escuadra la perpendicularidad en las uniones, además de la necesidad de registrar los valores de X e Y. Por esta causa se prefirió dejar sólo una escuadra ranurada y la otra se cambió por una con perforaciones aisladas, para fijar los valores X e Y y no tener que verificar la perpendicularidad en cada medición.

En el momento de obtener los valores fijos X e Y se observó también que, por defectos en la fabricación de las escuadras, el marco no satisfacía la perpendicularidad en las uniones rígidas, y para no fabricar un nuevo marco, se hicieron las mediciones suponiendo perpendicularidad y haciendo las correcciones en las expresiones (2).

Aunque las lecturas del vernier, así como el procesamiento de los datos, se realizaron con una aproximación de una décima de milímetro, la precisión de las mediciones es confiable al medio milímetro o al milímetro, debido a que las longitudes X e Y se hicieron con cinta métrica de un milímetro de aproximación.

#### 2.4 *Medición de claros entre columnas*

##### a) Aparato de medición

Para medir los claros entre ejes de columnas se utilizó solamente una cinta de acero de 30 m de longitud, con aproximación de un milímetro.

##### b) Metodología

La medición de claros fue muy sencilla; dos personas tensaban la cinta y una tercera vigilaba la horizontalidad de la misma.

En la primera obra se facilitó mucho el procedimiento de medición debido a que las columnas, que son de sección cuadrada, están giradas 45 grados respecto a los ejes constructivos (fig 3); de este modo, las mediciones se efectuaron sobre las aristas de las columnas.

Se midieron claros en ambas direcciones de la estructura; en la dirección en que se forman marcos de una sola cruzja las dimensiones nominales son de 10.35 m; en la dirección perpendicular son claros de 5.40 m.

En la segunda obra las columnas están orientadas en la misma dirección de los ejes constructivos; por tal razón se midieron las distancias entre paños interiores; para obtener las distancias entre ejes (que nominalmente son 7.20 m) se sumaron a estas mediciones los valores nominales de la sección de la columna en esa dirección; este procedimiento lleva a cierto error en la medición, pero se puede justificar considerando que no existe una variación muy grande entre las dimensiones de secciones reales y las nominales, que en esta obra son de 40 x 80 cm.

Respecto a los errores sistemáticos que se tienen en medidas con cinta, se despreció el error por temperatura, puesto que no se tuvieron temperaturas extremosas en el momento de efectuar las mediciones; en cuanto a los errores por catenaria y por tensión, se llevó a cabo una corrección, pues la combinación de ambos errores llevó a variaciones hasta de medio centímetro en 10 metros de longitud; este valor es del orden de magnitud de las variaciones esperadas en el análisis estadístico.

## 2.5 *Medición de recubrimientos*

### a) Aparato de medición

Para medir los recubrimientos se utilizó un "pacómetro" modelo "C4952"; este instrumento mide las perturbaciones del campo magnético generadas por la proximidad de un material

magnético. La magnitud de las perturbaciones es indicada por una aguja medidor ubicada en una carátula con escala graduada.

Este medidor de recubrimientos no está restringido a armados de varillas, sino que puede ser usado para detectar cualquier material magnético.

La fig 10 muestra al medidor de recubrimientos; el probador se coloca en el elemento estructural cuyo recubrimiento se desea medir; en la caja se registra la lectura de la escala marcada por la aguja.

#### b) Metodología

El procedimiento que se siguió para obtener una lectura en el medidor de recubrimientos es el siguiente:

Se coloca el probador sobre el paño conservando la dirección arriba mencionada, pudiéndose observar que la aguja de la carátula marca diversas lecturas a medida que el probador es desplazado en ambos sentidos (fig 11).

Se registra el recubrimiento mínimo que es el que corresponde a la máxima lectura en la carátula.

Por medio de la calibración del aparato se lleva a cabo la transformación de lecturas de carátula a mediciones en unidades de longitud.

La calibración del aparato se llevó a cabo reproduciendo en forma aproximada los armados de las columnas de la estructura real. Con bloques de concreto y madera de varios espesores se pudieron construir las curvas de calibración mostradas en las figs 12 a 15. Se construyeron varias curvas debido a que existe variación en ellas según el diámetro de varilla que se está midiendo en el laboratorio y los estribos transversales.

Los valores de los recubrimientos obtenidos de estas curvas están dados en centímetros y para el análisis estadístico se utilizó una aproximación de un milímetro, aunque los errores que se cometen pueden llegar en ocasiones hasta dos milímetros.

### 3. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS RECABADOS

#### 3.1 *Generalidades*

En este capítulo se presentan los datos recopilados en las obras así como su análisis estadístico, dentro del cual se puede incluir lo siguiente:

- Cálculo de estadísticos (básicamente media y desviación estándar, y en ocasiones, coeficiente de asimetría).
- Contrastes de hipótesis entre varianzas (prueba "F") en algunos casos, para agregar diversas muestras en una sola población.
- Construcción de histogramas, en los grupos de datos en que por su cantidad es posible hacerlo.
- Determinación de distribuciones de probabilidad teóricas

asociadas a los histogramas y pruebas  $\chi^2$  de bondad de ajuste. (Las pruebas  $\chi^2$  se muestran en el apéndice).

Tanto para las pruebas "F" del análisis de la varianza como para las pruebas  $\chi^2$  de bondad de ajuste, se adoptó un nivel de significación de 5%.

En adelante se designarán como edificios A y B al primero y segundo edificios visitados, respectivamente.

### 3.2 Desplomes

Como se explicó en el capítulo II, se midieron desplomes en dos direcciones perpendiculares, obteniéndose 124 datos en el edificio A y en el edificio B, por ser de menor tamaño, sólo 44.

Conviene aclarar que estos desplomes están asociados con falta de verticalidad en las columnas y no con deformaciones por curvatura inicial o de otro tipo.

En la tabla 1 se muestran los desplomes de las columnas del edificio A en ambas direcciones para la primera convención de signos algebraicos descrita en el capítulo anterior. Usando la segunda convención de signos se obtendría otro conjunto de datos, con estadísticos distintos.

En la tabla 2 se muestran los desplomes del edificio B en el cual sólo se consideró una convención de signos.

En la tabla 1 los datos están clasificados por niveles, en tanto que en la tabla 2 están clasificados por desplomes en la dirección de la cara y corte de la columna. Para cada tabla, se buscó agregar los datos en una sola población, para lo cual se hicieron pruebas F comparando las varianzas mayor y menor de cada tabla.

La prueba F, que consiste en un contraste de hipótesis de igualdad entre dos varianzas, arrojó como resultado que para los casos de las tablas 1 y 2, no había diferencias significativas, y por tanto, para cada tabla se agruparon los datos en una población.

En el caso de los datos correspondientes a la segunda convención de signos en el edificio A, el resultado de la prueba indicó que los datos no eran susceptibles de agruparse. Sin embargo, dado que el estadístico utilizado en la prueba no quedó muy lejos de la zona de aceptación para el nivel de significación fijado, se agruparon los datos únicamente con fines comparativos.

Los estadísticos de cada caso con los datos agrupados se resumen a continuación:



| TABLA | $\bar{x}(\%)$ | s(%)   | n   | Figura | Edificio |
|-------|---------------|--------|-----|--------|----------|
| 1     | 0.0138        | 0.4176 | 124 | 16     | A        |
| 2     | 0.0769        | 0.4920 | 44  | 18     | B        |
| -     | 0.3212        | 0.2819 | 124 | 17     | A        |

El tercer renglón se refiere a la segunda convención de signos en el edificio A. En las figuras 16 a 18 se muestran los histogramas correspondientes. Estos histogramas se ajustan a una distribución normal. Las líneas continuas corresponden al histograma de datos observados y las líneas discontinuas al histograma de la distribución teórica.

Considerando los desplomes en valor absoluto se obtienen histogramas como los de las figuras 19 y 20, con los siguientes estadísticos:

| Figura | Edificio | $\bar{X}(\%)$ | s(%)   | v      | n   |
|--------|----------|---------------|--------|--------|-----|
| 19     | A        | 0.3573        | 0.2346 | 0.6565 | 124 |
| 20     | B        | 0.4260        | 0.2578 | 0.6052 | 44  |

Se puede observar que estos histogramas están muy lejos de poder ajustarse a una distribución normal; por esa razón se buscó una distribución de probabilidad que se ajustara satisfactoriamente a los histogramas; se encontró que la distribución gamma, cuya función densidad es

$$f_x(x) = \frac{\lambda^K x^{K-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(K)} \quad x \geq 0$$

donde  $\lambda$  y  $K$  son los parámetros de la distribución y  $\Gamma(K)$  es la función gamma completa, es una distribución susceptible de ajustarse, ya que está definida para valores mayores o iguales a cero y porque para valores grandes del coeficiente de variación presenta un sesgo grande.

Con los valores de la media  $m_x$  y la desviación estándar  $\sigma_x$  de la tabla arriba mostrada se pueden obtener los parámetros de la distribución con las relaciones siguientes

$$\frac{\sigma_x}{m_x} = \frac{1}{\sqrt{K}} \quad \lambda = \frac{K}{m_x}$$

Para el histograma de la figura 19 se obtiene

$$K = 2.3202$$

$$\lambda = 6.49$$

y para el histograma de la figura 20

$$K = 2.7302$$

$$\lambda = 6.40$$

### 3.3 Secciones transversales

Las secciones transversales de las columnas del edificio A son de 60 x 60 cm nominales y en el edificio B, de 40 x 80 cm.

En ambos edificios se hicieron mediciones en dos secciones de cada una de las columnas elegidas, una superior y otra inferior. De los tres datos obtenidos por cada sección y por cada dirección, se hizo un promedio aritmético con objeto de determinar un valor más representativo de la dimensión, que fue el que se tomó como variable de estudio. Las tablas 3 y 4 muestran los datos sin promediar y promediados, respectivamente, para el edificio A.

Con los datos de la tabla 4 se calcularon los estadísticos agrupando las columnas por nivel; en la tabla 5 se muestra un resumen de estadísticos. La separación por secciones se refiere a las secciones superior e inferior de la columna explicada en el párrafo de arriba.

Se realizaron pruebas F para determinar cuáles datos se podían agrupar en una población, y se obtuvo que, a excepción del primer nivel del edificio, se podían agrupar los datos tanto por nivel como por secciones (superior e inferior).

Con los datos agrupados se construyó el histograma que se muestra en la fig 21a, y que resultó bimodal, lo que seguramente se debe al hecho de que se trata de columnas de sección cuadrada en donde se mezclaron los datos de las dos direcciones.

Si se supone que este histograma es la superposición de otros dos distribuidos normalmente, se puede intentar separarlos en

cada una de sus componentes por el método numérico propuesto por C G Bhattacharya, y que se describe con detalle en la ref 6.

Este es un método aproximado que consiste en graficar el incremento del logaritmo decimal de las frecuencias del histograma contra las marcas de clase, y en ajustar a una recta aquellos puntos que se aproximen a una recta con pendiente negativa. (Ver tabla 6 y fig 21b). Entonces, la media  $\mu_r$  y la varianza  $\sigma_r^2$  de la "r" ésima componente están dados por

$$\mu_r = \lambda_r + \frac{h}{2}$$

$$\sigma_r^2 = dhctg\theta_r/b - h^2/12$$

donde

$\lambda_r$  = abcisa al origen de la "r" ésima recta

$\theta_r$  = ángulo de inclinación de la recta "r" ésima

(con respecto a la dirección negativa del eje de las abcisas)

h = dimensión del intervalo de clase

$\frac{d}{b}$  = escala relativa entre las ordenadas y las abcisas

Para determinar el porcentaje  $p_i$  en que cada componente participa en la mezcla se usa la expresión

$$P_i = \frac{\sum N_i}{\sum N_{ij}}$$

donde

$$N_{ij} = \frac{\sum f_j}{\sum P_j}$$

$j$  = índice asociado a cada barra del histograma

$f_j$  = frecuencia observada en el intervalo de clases "j"

$$P_j = P\left(\hat{x} + \frac{h}{2}\right) - P\left(\hat{x} - \frac{h}{2}\right)$$

$\hat{x}$  = marca de clase

Aplicando este método al histograma de la fig 21 se obtiene que, en efecto, se trata de dos distribuciones normales con las siguientes características:

| Distribución | $\bar{X}$ (cm) | s(cm) | Porcentaje de la participación en la mezcla |
|--------------|----------------|-------|---|
| 1            | 59.46          | 0.482 | 48%   |
| 2            | 60.51          | 0.456 | 52%   |

Para el edificio B se siguió el mismo criterio de promediar las ternas de datos. En las tablas 7 y 8 se muestran los datos sin promediar y promediados, respectivamente.

En la tabla 9 se muestra un resumen de los estadísticos por nivel y por sección. En este caso también se realizaron pruebas F para agrupar en una sola población; el único grupo de datos que no se agregó, según los resultados de la prueba F fue el correspondiente al segundo nivel, en el caso del lado

largo. Para el lado del lado corto la prueba F indicó que sí era posible agrupar en una sola población los datos de todos los niveles.

Con los datos agrupados se construyeron los histogramas de las figuras 22 y 23.

El histograma del lado largo muestra bastante simetría, por lo que se le pudo ajustar una distribución normal, con media 80.23 cm y desviación estándar de 0.208 cm.

El histograma del lado corto muestra cierta asimetría por lo cual se intentó ajustar una distribución lognormal, y una lognormal trasladada, siendo esta última la que mejor se ajustó.

Los estadísticos de este histograma resultaron tener los siguientes valores: media, 39.54 cm; desviación estándar, 0.382 cm y coeficiente de asimetría "g", 1.1342. Este último estadístico es necesario calcularlo para determinar el parámetro de traslación "a" de la distribución.

Los parámetros de la distribución lognormal trasladada se obtienen en base a las siguientes relaciones:

$$m_y^3 - \frac{3\sigma_y m_y^2}{g} - \frac{\sigma_y^3}{g} = 0$$

$$a = m_x - m_y$$

$$\sigma_z^2 = \ln \left[ \left( \frac{\sigma_y}{m_y} \right)^2 + 1 \right]$$

$$m_z = \ln(m_y) - \frac{\sigma_z^2}{2}$$

donde

$x$  = variable aleatoria asociada a los datos originales

$y = x - a$

$z = \ln y$ , la cual se distribuye normalmente

$m_x$  y  $\sigma_x$  son, respectivamente, la media y la desviación estándar de la distribución de la variable aleatoria  $x$

$m_y$  y  $\sigma_y$  idem de la variable aleatoria  $y$

$m_z$  y  $\sigma_z$  idem de la variable aleatoria  $z$

Aplicando estas relaciones a los estadísticos arriba mencionados, se obtiene

$$m_y = 1.055 \text{ cm}$$

$$\sigma_y = \sigma_x = 0.382 \text{ cm}$$

$$a = 38.49 \text{ cm}$$

$$m_z = -0.00806$$

$$\sigma_z^2 = 0.123$$

### 3.4 Claros entre ejes de columnas

En el edificio A se tienen dos tipos de claros: el largo con dimensión nominal de 10.35 m y el corto, perpendicular al primero, con una longitud nominal de 5.40 m (fig 4).

En ambos casos se calcularon los estadísticos en cada nivel (tabla 12) y se realizó una prueba "F" con objeto de agrupar en una sola población. Para el claro corto la prueba indicó

que no era posible agrupar en una sola población pues para los distintos niveles las varianzas no eran significativamente iguales.

Para el claro largo la prueba "F" de varianza dio como resultado la posibilidad de agrupar los datos de los diversos niveles en una sola población. Con los datos agrupados se construyó el histograma de la fig 26 el cual se ajusta a una distribución normal con media de 10.314 m y desviación estándar de 0.0301 m.

Los claros del edificio B tienen valores nominales de 7.20 m en ambas direcciones y también se realizó una prueba F cuyo resultado indicó la posibilidad de agrupar en una sola población, la cual tiene una media de 7.19 m con desviación estándar de 0.046 m. Sin embargo, no se pudo construir un histograma satisfactorio debido a la dispersión de los datos.

Las tablas 10 y 11 muestran la totalidad de los datos de claros en ambos edificios.

### 3.5 *Recubrimientos del refuerzo longitudinal*

Los recubrimientos del refuerzo longitudinal, en el edificio A tienen valores nominales de 4 cm en todas las columnas, obteniéndose doce datos por sección, que suman en total 1128 datos.

En la tabla 13 se muestran los datos de recubrimientos en los



distintos niveles y en cada columna del edificio A.

En el edificio B el valor nominal del recubrimiento se definió en los planos igual al mayor diámetro de las varilla, el cual es de 3.18 cm (1 1/4) de pulgada), y en total se recabaron 256 datos.

En la tabla 14 se muestran los datos de los recubrimientos en los distintos niveles y en cada columna del edificio B.

Para ambos casos se efectuó la multicitada prueba F, con objeto de determinar los datos susceptibles de agruparse en una sola población, y el resultado de la prueba indicó que en cada uno de los casos las varianzas sí son significativamente iguales y por tanto, en cada edificio se agruparon los datos correspondientes a cada nivel.

Con los datos agrupados se construyeron los histogramas de las figuras 24 y 25, y además se calcularon los estadísticos correspondientes, que se muestran a continuación:

| Edificio | $\bar{x}$ (cm) | s(cm) | n    | Figura |
|----------|----------------|-------|------|--------|
| A        | 4.47           | 1.046 | 1128 | 24     |
| B        | 4.63           | 1.065 | 256  | 25     |

El histograma del edificio A muestra una concentración de datos en dos de las barras centrales, lo cual hace imposible un ajuste satisfactorio a alguna distribución teórica usual.

El histograma del edificio B muestra una forma más cercana a la de las distribuciones comunmente usadas. Sin embargo, una de las barras de la cola superior se dispara respecto a la tendencia general del histograma. Para poder hacer el ajuste de este histograma a una distribución teórica de modo que pase la prueba "ji cuadrada" se recurrió a un artificio que consiste en juntar los datos del intervalo que interesa con los del intervalo siguiente, reduciendo a la mitad la altura de la barra resultante.

Con el histograma modificado se logró hacer un ajuste a una distribución lognormal con parámetros:

$$m_z = 1.502$$

$$\sigma_z^2 = 0.0616$$

donde  $m_z$  y  $\sigma_z^2$  representan la media y la varianza de la variable  $z = \ln x$  siendo  $x$  la variable aleatoria asociada a los datos originales.

#### 4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En el capítulo anterior se realizó un análisis estadístico de los datos recabados, que consistió en obtener distribuciones de probabilidad teóricas de las imperfecciones estudiadas. A continuación se comentarán los resultados a los que se llegó, comparándolos con los resultados que se describen en el capítulo 1, y se harán algunos comentarios sobre la validez de los datos y su posible utilización en estudios futuros.

##### 4.1 Desplomes

En el caso de los desplomes con signos algebraicos se obtuvieron histogramas con distribución normal. El hecho de considerar signos algebraicos en la medición de los desplomes da una idea de las excentricidades de las cargas sobre las

columnas, puesto que si la media es distinta de cero, significará que los desplomes tienden a ser en el mismo sentido, y en consecuencia, podría pensarse que es posible que las excentricidades tiendan a acumularse en las columnas de los entresijos inferiores (fig 27a). En cambio, si la media tiende a cero, es factible pensar que las orientaciones de los desplomes tienen distintos sentidos y por lo tanto las excentricidades no aumentan en forma acumulativa, sino que en cada nivel, la excentricidad debida al desplome se deberá, aproximadamente a la excentricidad propia de cada columna (fig 27b).

En los histogramas de las figuras 16 y 18 se observa que la media es razonablemente cercana a cero, lo cual corresponde al segundo caso arriba mencionado, que era de esperarse, ya que no hay razón para pensar que las columnas estén desplomadas con alguna tendencia hacia algún sentido en particular.

Los reglamentos especifican diversos valores de las excentricidades accidentales; estos valores se basan, entre otras cosas, en que se consideran inclinaciones (desplomes) del 0.7% en columnas arriostradas (ref 12, p 343). Los histogramas de las figuras 19 y 20, contruidos con valores absolutos, tienen medias del orden de la mitad de este valor y los valores máximos apenas sobrepasan el 1%. Estos histogramas son semejantes a los que obtuvieron Ahlgreen y Ringvall (1969) y Noborn y Olson (1970), (ref 7 pp 78-80). Sin embargo, no se pueden comparar cuantitativamente pues en estos histogramas

se registran los desplomes en milímetros para diversas alturas de columnas y en este trabajo los desplomes están medidos en porcentajes.

La distribución teórica que se ajustó a estos histogramas fue una distribución gamma, que estrictamente no corresponde al tipo de fenómeno observado, ya que la función densidad de probabilidad de una distribución gamma parte del origen, y en nuestro caso los histogramas tienen una densidad de probabilidad diferente de cero en el punto de abscisa cero; sin embargo, lo que interesa más es la cola derecha de la distribución; por tanto, se considera aceptable una distribución gamma.

#### 4.2 Secciones transversales

Se estudiaron dos tipos de secciones transversales: las primeras, cuadradas, con sección nominal de 60 x 60 cm; las segundas, rectangulares con sección nominal de 40 x 80 cm. Se tienen, pues, cuatro poblaciones en estudio, ya que como se vio en el capítulo tercero, en las columnas de sección cuadrada se tienen en realidad dos poblaciones mezcladas, lo cual seguramente se debe a la forma en que fueron cimbradas las columnas.

Las dimensiones transversales de las columnas intervienen directamente en la resistencia de éstas, ya que el área de la sección es una de las principales propiedades geométricas

que contribuyen a la resistencia a compresión de las columnas. En el caso de columnas sujetas a flexión, la dimensión de las secciones transversales define conjuntamente con los recubrimientos, al peralte efectivo "d", que también es una variable importante en la resistencia a flexión de las secciones.

La variable aleatoria que se consideró en el análisis estadístico fue el promedio de las tres mediciones en cada sección y en cada dirección de la columna. Con este criterio, se tiene que cuando se calculan los estadísticos correspondientes, la media no varía, en relación a los estadísticos que se obtendrían sin hacer el promedio arriba mencionado; sin embargo, la dispersión se reduce por razones obvias. No obstante, se siguió este criterio para el análisis estadístico, porque es una práctica común.

De las cuatro poblaciones que se estudiaron, tres resultaron con distribución normal, lo cual era de esperarse, ya que es aceptable pensar que la variable de estudio tiene propiedades aditivas, por tratarse de medidas de longitud.

La cuarta población correspondiente a las secciones transversales del lado corto del edificio B, se ajustó a una distribución lognormal trasladada. El hecho de que no se haya ajustado a una distribución normal, quizá se deba al tamaño de las poblaciones, que en general, no es grande; por el tipo

de fenómeno y los resultados obtenidos en las otras poblaciones, puede pensarse que también en este caso la distribución correspondiente es normal, lo cual muy posiblemente se hubiere verificado si se hubiera recopilado un mayor número de datos.

A continuación se muestran los estadísticos obtenidos en este caso:

| Edificio | $\bar{X}$ (cm) | s (cm) |
|----------|----------------|--------|
| A        | 59.46          | 0.482  |
| A        | 60.51          | 0.456  |
| B        | 80.23          | 0.208  |
| B        | 39.54          | 0.382  |

Se puede observar que, curiosamente, a medida que aumenta el valor nominal aumenta también el valor de la media con relación a dicho valor nominal; además, como puede observarse en las tablas 5 y 9, los valores de los estadísticos obtenidos en el primer nivel, específicamente la desviación estándar, son significativamente diferentes del resto de los niveles, lo cual probablemente se deba a que las condiciones de la obra ofrezcan mayores dificultades en niveles superiores.

Comparando con las distribuciones propuestas por Allen, citadas en la sección 1.3, en los que asigna una media igual al valor nominal y desviación estándar de 0.32 cm, los resultados

aquí obtenidos difieren en aproximadamente 0.5 cm respecto al valor nominal y las desviaciones estándar tienden a ser un poco mayores de la propuesta por Allen.

El Reglamento del DF propone que las tolerancia en las secciones transversales sean tales que no excedan la dimensión de proyecto "t" en  $1 \text{ cm} + 0.05 t$ , ni queden abajo de ellas en más de  $0.3 \text{ cm} + 0.03 t$ . Esto lleva a los siguientes intervalos de dimensiones:

En secciones de 40 cm

$$38.5 \leq t \leq 43 \quad (\text{cm})$$

En secciones de 60 cm

$$57.9 \leq t \leq 64 \quad (\text{cm})$$

En secciones de 80 cm

$$77.3 \leq t \leq 85 \quad (\text{cm})$$

Observando los conjuntos de datos, se concluye que ninguno de ellos queda fuera de las tolerancias especificadas.

#### 4.3 Claros entre columnas

Los claros entre columnas constituyen una variable cuyas imperfecciones, combinadas con los desplomes, pueden constituir un factor importante que contribuye a aumentar las excentricidades en las cargas sobre las columnas. Adicionalmente a los efectos directos que producen las variaciones de los claros sobre las columnas, sucede que estas variaciones también



afectan a las trabes o al sistema de piso que se tenga, modificándose tanto el diagrama de momentos flexionantes isostáticos de la trabe como su rigidez a flexión; estas variaciones afectan indirectamente al diagrama de momentos de las columnas, pues al modificarse la rigidez de las trabes, se modifica la distribución de los momentos.

Se midieron tres tipos de claros con dimensiones nominales de 10.35 m y 5.40 m, en el edificio A y de 7.20 en el edificio B.

Se calcularon los estadísticos para cada conjunto de datos, pudiéndose observar que los valores de la media tienden a ser menores que los valores nominales. Las desviaciones estándar varían entre 2 cm y 3 cm; estos valores no son aceptables según especifican las tolerancias del reglamento; éste no se refiere directamente a longitudes de claros, sino a falta de alineamiento y variación de la posición de las columnas respecto a los ejes constructivos; para estos casos el reglamento especifica  $1 \text{ cm} + 2\%$  de la dimensión de la sección transversal de la columna paralela a la desviación, como tolerancia.

Para los claros de 10.35 m de valor nominal se construyó el histograma de la fig 26 que se encontró con distribución normal con media 10.31 m y desviación estándar de 3 cm; es decir, que la media es 4 cm menor al valor nominal. Si a esto se añaden los efectos de la dispersión, serán de esperarse

valores de claros que sobrepasen incluso las tolerancias propuestas por Birkeland y Westhoff (ref 5) que especifican una máxima variación entre la separación de ejes de 2 pulgadas (5 cm). Hay que hacer notar que Birkeland y Westhoff se basaron en observaciones en un edificio representativo de alta calidad constructiva.

Aunque solo se construyó un histograma, es de esperarse, como en el caso de las secciones transversales, que los demás claros también se distribuyan normalmente, por tratarse de medidas de longitud.

#### 4.4 Recubrimientos

Los recubrimientos del refuerzo longitudinal constituyen una variable de interés, pues como se mencionó en 4.2, al considerarlos conjuntamente con las dimensiones de la sección transversal, se define el peralte efectivo "d" que es un parámetro importante en el cálculo de la resistencia a flexión. Por otro lado, los recubrimientos influyen en las condiciones de servicio de la estructura, pues de ellos dependerá el grado de agrietamiento que pudiera presentarse en los elementos estructurales, aunque en columnas el agrietamiento tiende a reducirse por los niveles de carga a que están sujetas.

En el edificio A el recubrimiento nominal es de 4 cm y la media de los datos obtenidos fue de 4.47 cm, es decir resultó ser casi un 12% mayor que el nominal. En el edificio B la

media, con valor de 4,63 cm resultó ser un 45% mayor que el nominal.

Resultados obtenidos por Mendoza et al (ref 13) confirman que los recubrimientos tienden a ser mayores que los nominales, ya que en dicho estudio los recubrimientos observados fueron de 3.7 cm en columnas y 3.8 cm en trabes, contra un valor nominal de 2.5 cm en ambos casos; es decir los recubrimientos fueron aproximadamente 50% mayores que los nominales.

La desviación estándar en el estudio de Mendoza et al resultó ser del orden de 0.3 cm, en cambio aquí se obtuvieron valores de aproximadamente 1 cm es decir que la dispersión aquí resultó notablemente mayor.

De los dos histogramas que se construyeron (uno para el edificio A y otro para el B) fue el segundo el que se logró ajustar a una distribución lognormal, como se mencionó en 3.5 (fig 25). Aunque el histograma de la fig 24 no se ajustó satisfactoriamente a ninguna distribución teórica puede pensarse que, por tratarse del mismo fenómeno del que corresponde al histograma de la fig 25, su distribución también es lognormal.

El reglamento de construcciones del DF especifica que la posición de acero de refuerzo en columnas será tal que no reduzca el peralte efectivo "d" en más de  $0.3 \text{ cm} + 0.03 d$  ni reduzca el recubrimiento en más de 0.5 cm siendo d la mínima

dimensión de la sección transversal.

Para columnas de 60 cm estas tolerancias llevarían a un recubrimiento máximo de  $4 + 0.3 + 0.03 (60) = 6.1$  cm y un mínimo de 3.5 cm; para columnas de 40 x 80 cm, el recubrimiento máximo sería de  $3.18 + 0.3 + 0.03 (40) = 4.7$  cm y un mínimo de 2.7 cm aproximadamente. Se puede observar que en ambos edificios los recubrimientos observados se salen de las tolerancias en un gran número de casos. En el edificio A esto sucede para exceso y defecto de recubrimiento; en el edificio B predomina el exceso de recubrimiento.

#### 4.5 Consideraciones finales

Respecto a la validez de los datos recabados, hay que considerar dos factores: en primer lugar, los edificios en que se efectuaron las mediciones se pueden considerar de una calidad de construcción superior a la media en el Distrito Federal, ya que fueron realizadas por compañías constructoras calificadas y con una supervisión técnica por parte de la institución contratante. En segundo lugar, por el hecho de haber hecho observaciones en solo dos edificios, el número de datos es relativamente reducido, lo cual no es deseable desde el punto de vista estadístico.

Como se mencionó en la sección 1.1 se pretende que los datos que aquí se presentan con su procesamiento estadístico sean útiles en diversos estudios de confiabilidad, tolerancias, etc.

Una de las posibles aplicaciones de los datos es la determinación de los factores de reducción de resistencia para diversas acciones; esto puede hacerse de tres modos principalmente: el primero sería determinando la distribución de probabilidad de las variables que intervienen y operando con la distribución conjunta de probabilidad de sus variables derivadas, pero la complejidad de los desarrollos matemáticos y la dificultad para obtener soluciones generales hacen preferible recurrir a otros procedimientos.

El segundo método sería el que se utilizó para la elaboración de los criterios de diseño estructural del proyecto del reglamento de construcciones del DF; éste es un método probabilístico aproximado cuyo planteamiento se basa en describir las variables que intervienen en el diseño por medio de dos parámetros, uno el que mide el valor medio, o esperado, de la variable y otro que ofrece una medida de su variabilidad o incertidumbre. A través de relaciones aproximadas entre estas variables se determina el factor de seguridad de la estructura. Sin embargo, un defecto de este procedimiento es el hecho de que no toma en cuenta toda la información disponible acerca de la distribución de probabilidad de las variables.

El tercer procedimiento es aquél en el que serían más útiles los resultados de este estudio y consiste en llevar una simulación de las resistencias por métodos de Montecarlo y obtener una distribución empírica de las resistencias, que a su

vez, podría ajustarse a una distribución teórica. Naturalmente que sería necesario añadir información sobre las distribuciones de las propiedades del acero y el concreto para poder desarrollar este método. El defecto que adolece este método sería que, a diferencia del anterior, los resultados que se obtuvieran no serían generales a no ser que las variables aleatorias con que se trabajara fueran porcentajes de valores nominales.

## 5- RECONOCIMIENTO

Quiero agradecer a todas aquellas personas e instituciones, en especial al Instituto de Ingeniería de la UNAM, que con su ayuda permitieron la realización de este trabajo.

## 6. REFERENCIAS

1. "Diseño y construcción de estructuras de concreto", normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones del DF publ 401, Instituto de Ingeniería 1977
2. Connolly, J y Brown, D "Construction tolerances in reinforced concrete beam/joists". ACI Journal, vol 73 No 51 nov 1976
3. Bresler, B "Reinforced concrete Engineering" cap 7 por E Rosenblueth, J Wiley, 1974 NY
4. Johnson, A I "Strength, safety and economical dimensions of structures". Bull Div of Bldng statics and structl Engrg of de Royal Inst of Techn, No 12 Stockholm, 1953 ,
5. Birkeland, P y Westhoff, L "Dimensional tolerances in tall



- concrete buildings" ACI Journal, vol 68, No 53 ago 1971
6. Bhattacharya, C G, "A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components". Biometrics, mar 1967
  7. Fiorato, A E "Geometric imperfections in concrete structures". National Swedish Building Research, 1973
  8. Allen, D E "Probabilistic study of reinforced concrete in bending", Technicall paper No 311 NRC Division of Building Research, Ottawa 1970
  9. Benjamin, J y Cornell, C "Probabilidad y estadística en Ingeniería civil" ed Mc Graw Hill, 1981
  10. Mac Gregor, J "Load an resistance factors for concrete design" ACI Journal, vol 80, No 72, jul-ago 1983
  11. Meli, R, "Bases para los criterios de diseño estructural del proyecto del Reglamento de construcciones para el DF" abr-jun 1976, vol 46 No 2 Revista Ingeniería
  12. "Monograph on planning and design of tall Buildings", vol CB, cap 8. Council on tall Buildings & Urban Habitat ASCE. Bethlehem, Pennsylvania, 1978 pp 340-344
  13. Mendoza, C, Andrade, A y Valenzuela, F "Variación de las dimensiones y de la posición del acero de refuerzo en las estructuras de concreto". Informe interno, Instituto de Ingeniería, 1975

TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1. Desplomes en el edificio "A" (primera convención de signos)

| Primer nivel |        | Primer nivel |        | Primer nivel |        | Segundo nivel |        |
|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|---------------|--------|
| Columna      | S*     | Columna      | S      | Columna      | S      | Columna       | S      |
| 1            | 0.000  | 21           | +0.246 | 41           | +0.098 | 55            | -0.244 |
| 2            | 0.000  | 22           | -0.212 | 42           | -0.293 | 56            | +0.935 |
| 3            | -0.389 | 23           | +0.049 | 43           | +0.291 | 57            | +0.403 |
| 4            | +0.394 | 24           | -0.453 | 44           | -0.340 | 58            | -0.516 |
| 5            | +0.408 | 25           | +0.081 | 45           | +0.743 | 59            | +0.340 |
| 6            | -0.274 | 26           | -0.174 | 46           | -0.505 | 60            | -0.242 |
| 7            | +0.307 | 27           | +0.211 | 47           | +0.755 | 61            | -0.135 |
| 8            | -0.108 | 28           | -0.127 | 48           | -0.237 | 62            | +0.393 |
| 9            | -0.395 | 29           | +0.726 | 49           | +0.065 | 63            | -0.052 |
| 10           | +0.444 | 30           | -0.249 | 50           | -0.591 | 64            | -0.006 |
| 11           | -0.309 | 31           | +0.277 | 51           | +0.511 | 65            | -0.697 |
| 12           | +0.287 | 32           | -0.409 | 52           | -0.513 | 66            | -0.660 |
| 13           | -0.415 | 33           | +0.221 | 53           | +0.225 | 67            | +0.327 |
| 14           | -0.531 | 34           | -0.269 | 54           | -0.092 | 68            | +0.300 |
| 15           | +0.091 | 35           | +0.244 |              |        | 69            | +0.844 |
| 16           | -0.341 | 36           | -0.134 |              |        | 70            | -0.021 |
| 17           | +0.309 | 37           | +0.035 |              |        | 71            | -0.118 |
| 18           | -0.455 | 38           | -0.664 |              |        | 72            | +0.121 |
| 19           | +0.104 | 39           | -0.039 |              |        | 73            | +0.333 |
| 20           | -0.191 | 40           | -0.339 |              |        | 74            | +0.233 |

| Tercer nivel |        | Cuarto nivel |        | Quinto nivel |        |
|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| Columna      | S      | Columna      | S      | Columna      | S      |
| 75           | -0.575 | 95           | -0.767 | 115          | -0.429 |
| 76           | +0.266 | 96           | +0.556 | 116          | -0.430 |
| 77           | +0.385 | 97           | -0.204 | 117          | -0.726 |
| 78           | +0.178 | 98           | +0.582 | 118          | +0.239 |
| 79           | +0.727 | 99           | -0.447 | 119          | +0.542 |
| 80           | -0.214 | 100          | -0.026 | 120          | -0.516 |
| 81           | -0.383 | 101          | +0.211 | 121          | +0.973 |
| 82           | -0.405 | 102          | -0.572 | 122          | -0.312 |
| 83           | +0.366 | 103          | +0.392 | 123          | +0.158 |
| 84           | +1.135 | 104          | -0.053 | 124          | +0.780 |
| 85           | +0.034 | 105          | +0.019 |              |        |
| 86           | -0.602 | 106          | +0.221 |              |        |
| 87           | -0.062 | 107          | +0.231 |              |        |
| 88           | +0.480 | 108          | -0.232 |              |        |
| 89           | +0.413 | 109          | +0.602 |              |        |
| 90           | +0.256 | 110          | +0.194 |              |        |
| 91           | -0.307 | 111          | -0.694 |              |        |
| 92           | -0.645 | 112          | +0.511 |              |        |
| 93           | +0.099 | 113          | -0.457 |              |        |
| 94           | +0.346 | 114          | +0.261 |              |        |

\* Desplome, en porciento

TABLA 2. Desplomes en el edificio B

| Columna | S*     | Cara<br>** |
|---------|--------|------------|
| 1       | +0.597 | C          |
| 2       | +0.481 | C          |
| 3       | +0.248 | L          |
| 4       | +0.420 | L          |
| 5       | +0.740 | C          |
| 6       | +0.450 | C          |
| 7       | +0.333 | C          |
| 8       | +0.098 | C          |
| 9       | +0.455 | C          |
| 10      | -0.539 | C          |
| 11      | +0.391 | L          |
| 12      | +0.114 | L          |
| 13      | -0.593 | L          |
| 14      | -0.263 | L          |
| 15      | -0.266 | L          |
| 16      | +0.016 | L          |
| 17      | +0.792 | C          |
| 18      | -0.725 | C          |
| 19      | -0.180 | C          |
| 20      | +0.331 | C          |
| 21      | -1.167 | C          |
| 22      | +1.025 | C          |

| Columna | S      | Cara<br>** |
|---------|--------|------------|
| 23      | +0.587 | L          |
| 24      | -0.257 | L          |
| 25      | +0.441 | C          |
| 26      | -0.466 | C          |
| 27      | +0.668 | L          |
| 28      | +0.158 | L          |
| 29      | -0.337 | L          |
| 30      | -0.383 | L          |
| 31      | -0.228 | L          |
| 32      | -0.319 | L          |
| 33      | +0.927 | C          |
| 34      | -0.005 | C          |
| 35      | -0.517 | C          |
| 36      | -0.120 | C          |
| 37      | +0.244 | C          |
| 38      | -0.244 | C          |
| 39      | +0.490 | L          |
| 40      | +0.231 | L          |
| 41      | +0.135 | L          |
| 42      | +0.693 | L          |
| 43      | -0.634 | L          |
| 44      | -0.437 | L          |

\* Desplome, en porciento

\*\* C = en la dirección de la cara corta  
L = idem cara larga

TÁBLA 3. Secciones transversales de columnas, en cm (edificio A)

Las filas 1 y 2 corresponden a las secciones superior e inferior, respectivamente. En cada caso identifica la columna de que se trata por medio de la nomenclatura de ejes constructivos. Los tres primeros valores de cada fila corresponden a  $X_I$ ,  $X_{II}$  y  $X_{III}$ , y los tres últimos a  $Y_I$ ,  $Y_{II}$  y  $Y_{III}$  (ver fig 8)

|         |       | 1      | 2      | 1      | 2      | 1      | 2      | 1      | 2      | 1      | 2      |       |
|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| PRIMER  |       | 16 D   |        | 20 F   |        | 23 C   |        | 16 E   |        | 17 D   |        |       |
|         |       | 60.25  | 59.12  | 59.755 | 60.385 | 59.725 | 59.495 | 60.095 | 60.235 | 59.875 | 59.835 |       |
|         |       | 60.26  | 59.28  | 60.415 | 60.405 | 59.715 | 59.325 | 60.235 | 60.495 | 60.135 | 60.185 |       |
|         |       | 60.62  | 59.32  | 60.175 | 60.225 | 59.635 | 59.405 | 60.035 | 60.095 | 59.855 | 60.355 |       |
|         |       | 59.57  | 60.115 | 59.74  | 59.78  | 60.36  | 60.43  | 59.84  | 60.09  | 60.005 | 60.47  |       |
|         |       | 59.935 | 60.025 | 60.00  | 60.01  | 60.44  | 60.30  | 60.12  | 60.25  | 60.275 | 60.24  |       |
|         |       | 59.81  | 60.135 | 59.50  | 59.89  | 60.33  | 60.16  | 60.05  | 60.19  | 59.955 | 59.60  |       |
|         | NIVEL |        | 18 E   |        | 18 C   |        |        |        |        |        |        |       |
|         |       |        | 59.93  | 59.59  | 59.805 | 59.945 |        |        |        |        |        |       |
|         |       |        | 59.82  | 59.50  | 60.035 | 60.085 |        |        |        |        |        |       |
|         |       | 59.99  | 60.08  | 59.715 | 59.885 |        |        |        |        |        |        |       |
|         |       | 59.94  | 60.25  | 59.76  | 59.90  |        |        |        |        |        |        |       |
|         |       | 60.07  | 60.22  | 59.82  | 59.75  |        |        |        |        |        |        |       |
|         |       | 60.00  | 60.17  | 60.22  | 60.12  |        |        |        |        |        |        |       |
| SEGUNDO |       | 19 E   |        | 17 E   |        | 20 F   |        | 15 E   |        | 21 E   |        |       |
|         |       | 60.68  | 59.69  | 60.07  | 60.13  | 60.075 | 60.10  | 59.20  | 59.19  | 59.685 | 59.99  |       |
|         |       | 60.29  | 60.21  | 60.18  | 60.73  | 60.325 | 60.21  | 60.09  | 59.57  | 59.445 | 59.91  |       |
|         |       | 59.20  | 59.99  | 60.43  | 60.59  | 60.145 | 60.16  | 60.19  | 59.93  | 59.825 | 59.84  |       |
|         |       | 60.70  | 60.35  | 59.96  | 59.87  | 59.155 | 59.495 | 60.58  | 60.51  | 60.015 | 59.875 |       |
|         |       | 60.69  | 60.43  | 60.13  | 60.08  | 59.165 | 59.825 | 60.39  | 60.47  | 59.795 | 59.935 |       |
|         |       | 60.55  | 60.29  | 59.65  | 60.04  | 59.115 | 59.855 | 60.31  | 60.40  | 59.505 | 59.815 |       |
|         | NIVEL |        | 15 E   |        | 15 F   |        | 16 F   |        | 20 F   |        | 22 C   |       |
|         |       |        | 59.07  | 59.07  | 59.765 | 59.945 | 59.15  | 57.91  | 59.26  | 59.27  | 58.87  | 58.76 |
|         |       |        | 59.78  | 59.60  | 60.295 | 60.125 | 59.49  | 59.41  | 59.72  | 59.67  | 59.28  | 58.89 |
|         |       |        | 59.97  | 59.92  | 59.695 | 60.145 | 59.80  | 59.87  | 59.79  | 59.70  | 59.59  | 59.30 |
|         |       |        | 61.18  | 61.28  | 60.475 | 60.565 | 60.59  | 60.53  | 60.92  | 60.87  | 61.83  | 61.44 |
|         |       |        | 61.11  | 60.86  | 60.515 | 60.465 | 60.73  | 60.75  | 60.74  | 60.78  | 61.46  | 61.15 |
|         |       |        | 60.81  | 60.61  | 60.205 | 60.185 | 60.23  | 60.40  | 60.21  | 60.32  | 60.73  | 60.72 |
|         | NIVEL |        | 17 D   |        | 19 C   |        | 21 D   |        |        |        |        |       |
|         |       |        | 58.44  | 58.49  | 59.06  | 59.06  | 59.10  | 59.14  |        |        |        |       |
|         |       |        | 58.97  | 58.84  | 59.26  | 59.05  | 59.41  | 59.18  |        |        |        |       |
|         |       | 59.38  | 59.00  | 59.53  | 59.55  | 59.60  | 59.57  |        |        |        |        |       |
|         |       | 61.22  | 61.12  | 60.60  | 60.83  | 60.58  | 60.59  |        |        |        |        |       |
|         |       | 61.19  | 60.92  | 60.74  | 60.52  | 60.68  | 60.72  |        |        |        |        |       |
|         |       | 60.70  | 60.40  | 59.97  | 60.14  | 60.12  | 60.09  |        |        |        |        |       |

TABLA 3. Continuación

|                 | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TERCER          | 16 E  |       | 21 E  |       | 17 E  |       | 18 C  |       | 18 F  |       |
|                 | 58.47 | 58.57 | 59.26 | 59.28 | 58.81 | 58.79 | 59.19 | 59.01 | 59.28 | 59.19 |
|                 | 58.78 | 58.83 | 59.99 | 59.81 | 59.26 | 59.00 | 59.54 | 59.53 | 59.64 | 59.13 |
|                 | 58.90 | 59.16 | 59.88 | 59.86 | 59.28 | 59.28 | 59.59 | 59.52 | 59.80 | 59.62 |
|                 | 60.97 | 60.98 | 60.50 | 60.62 | 61.20 | 60.92 | 61.14 | 61.19 | 60.66 | 60.67 |
|                 | 60.77 | 60.74 | 60.83 | 60.46 | 60.57 | 60.28 | 60.79 | 60.86 | 60.40 | 60.45 |
|                 | 60.60 | 60.53 | 60.31 | 60.16 | 60.59 | 60.41 | 60.72 | 60.45 | 60.10 | 60.02 |
| NIVEL           | 23 D  |       | 19 F  |       | 20 C  |       | 21 C  |       |       |       |
|                 | 58.46 | 58.36 | 59.14 | 59.13 | 59.20 | 59.18 | 59.45 | 59.27 |       |       |
|                 | 58.67 | 58.60 | 59.40 | 59.31 | 59.45 | 59.22 | 59.95 | 59.65 |       |       |
|                 | 59.03 | 58.82 | 59.63 | 59.71 | 59.95 | 59.78 | 60.00 | 59.87 |       |       |
|                 | 61.00 | 61.05 | 60.46 | 60.87 | 60.66 | 60.54 | 61.11 | 61.02 |       |       |
|                 | 60.81 | 60.65 | 60.83 | 60.77 | 60.69 | 60.74 | 61.03 | 60.68 |       |       |
|                 | 60.46 | 60.45 | 60.02 | 59.75 | 60.42 | 60.23 | 60.43 | 60.30 |       |       |
| CUARTO          | 15 E  |       | 15 F  |       | 20 F  |       | 17 D  |       | 21 E  |       |
|                 | 59.54 | 59.24 | 59.36 | 59.15 | 59.35 | 59.41 | 59.27 | 59.27 | 58.64 | 58.54 |
|                 | 59.86 | 59.28 | 59.47 | 59.57 | 59.81 | 59.77 | 59.85 | 59.53 | 59.03 | 58.78 |
|                 | 60.03 | 59.74 | 59.63 | 59.83 | 59.67 | 59.75 | 59.96 | 59.86 | 58.81 | 58.93 |
|                 | 60.89 | 60.79 | 60.10 | 60.01 | 61.22 | 60.79 | 61.06 | 60.74 | 61.02 | 61.06 |
|                 | 60.80 | 60.54 | 60.67 | 60.43 | 60.84 | 60.01 | 61.13 | 60.67 | 60.88 | 61.03 |
|                 | 60.14 | 59.75 | 60.43 | 60.30 | 60.34 | 59.95 | 60.48 | 60.24 | 60.55 | 60.56 |
| NIVEL           | 17 C  |       | 17 E  |       | 22 D  |       | 21 C  |       | 20 D  |       |
|                 | 59.04 | 59.01 | 58.33 | 58.64 | 59.13 | 59.06 | 58.48 | 58.55 | 59.00 | 59.04 |
|                 | 59.83 | 58.44 | 58.86 | 59.29 | 59.71 | 59.48 | 59.08 | 59.09 | 59.06 | 58.97 |
|                 | 59.30 | 59.43 | 59.21 | 59.51 | 59.48 | 59.57 | 59.21 | 59.19 | 59.60 | 59.49 |
|                 | 60.86 | 60.70 | 61.61 | 61.09 | 60.24 | 60.29 | 61.00 | 60.94 | 60.78 | 60.56 |
|                 | 60.65 | 60.65 | 60.98 | 60.96 | 60.27 | 60.22 | 60.93 | 60.62 | 60.50 | 60.39 |
|                 | 60.44 | 60.48 | 60.64 | 60.59 | 59.98 | 60.00 | 60.49 | 60.38 | 60.39 | 60.18 |
| QUINTO<br>NIVEL | 18 C  |       | 19 C  |       | 21 C  |       | 21 D  |       | 22 D  |       |
|                 | 59.26 | 59.43 | 59.23 | 59.27 | 59.26 | 59.27 | 59.34 | 59.24 | 58.27 | 58.68 |
|                 | 59.84 | 59.74 | 59.35 | 59.21 | 59.83 | 59.65 | 59.37 | 59.02 | 58.95 | 58.99 |
|                 | 59.92 | 60.01 | 59.61 | 59.73 | 59.96 | 59.98 | 59.57 | 59.61 | 59.10 | 59.13 |
|                 | 60.56 | 60.46 | 60.64 | 60.62 | 61.09 | 60.72 | 60.53 | 60.53 | 60.84 | 60.95 |
|                 | 60.38 | 60.12 | 60.59 | 60.74 | 60.93 | 60.53 | 60.62 | 60.73 | 60.29 | 60.41 |
|                 | 59.67 | 59.28 | 60.00 | 59.96 | 60.12 | 59.43 | 60.28 | 60.34 | 60.36 | 60.34 |

TABLA 4. Secciones transversales de columnas (edificio A)  
 El significado de las filas 1 y 2 se explica en la tabla 3. El renglón superior indica el promedio de  $X_I$ ,  $X_{II}$  y  $X_{III}$  en tanto que el inferior indica el promedio de  $Y_I$ ,  $Y_{II}$  y  $Y_{III}$  (ver tabla 3)

|               |      | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    | 1    | 2    |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PRIMER NIVEL  |      | 16 D |      | 16 E |      | 20 F |      | 23 C |      | 17 D |      |
|               |      | 60.4 | 59.2 | 60.1 | 60.3 | 60.1 | 60.3 | 59.7 | 59.4 | 60.0 | 60.1 |
|               |      | 59.8 | 60.1 | 60.0 | 60.2 | 59.7 | 59.9 | 60.4 | 60.3 | 60.1 | 60.1 |
|               |      | 18 E |      | 18 C |      |      |      |      |      |      |      |
|               | 59.9 | 59.7 | 59.9 | 60.0 |      |      |      |      |      |      |      |
|               | 60.0 | 60.2 | 59.9 | 59.9 |      |      |      |      |      |      |      |
| SEGUNDO NIVEL |      | 19 E |      | 15 F |      | 22 C |      | 20 F |      | 16 F |      |
|               |      | 60.1 | 60.0 | 59.6 | 59.5 | 59.2 | 59.0 | 60.2 | 60.2 | 59.5 | 59.1 |
|               |      | 60.6 | 60.4 | 61.0 | 60.9 | 61.3 | 61.1 | 59.1 | 59.7 | 60.5 | 60.6 |
|               |      | 21 E |      | 20 F |      | 15 F |      | 17 D |      | 17 E |      |
|               |      | 59.7 | 59.9 | 59.6 | 59.5 | 59.9 | 60.1 | 58.9 | 58.8 | 60.2 | 60.5 |
|               |      | 59.8 | 59.9 | 60.6 | 60.7 | 60.4 | 60.4 | 61.0 | 60.8 | 59.9 | 60.0 |
|               | 19 C |      | 15 E |      | 21 D |      |      |      |      |      |      |
|               | 59.3 | 59.2 | 59.8 | 59.6 | 59.4 | 59.3 |      |      |      |      |      |
|               | 60.4 | 60.5 | 60.4 | 60.5 | 60.5 | 60.5 |      |      |      |      |      |
| TERCER NIVEL  |      | 16 E |      | 18 C |      | 17 E |      | 23 D |      | 18 F |      |
|               |      | 58.7 | 58.9 | 59.4 | 59.4 | 59.1 | 59.0 | 58.7 | 58.6 | 59.6 | 59.3 |
|               |      | 60.8 | 60.8 | 60.9 | 60.8 | 60.8 | 60.5 | 60.8 | 60.7 | 60.4 | 60.4 |
|               |      | 20 C |      | 19 F |      | 21 C |      | 21 E |      |      |      |
|               | 59.5 | 59.4 | 59.4 | 59.4 | 59.8 | 59.6 | 59.7 | 59.7 |      |      |      |
|               | 60.6 | 60.5 | 60.4 | 60.5 | 60.9 | 60.7 | 60.5 | 60.4 |      |      |      |
| CUARTO NIVEL  |      | 15 E |      | 15 F |      | 20 F |      | 17 D |      | 21 E |      |
|               |      | 59.8 | 59.4 | 59.5 | 59.5 | 59.6 | 59.6 | 59.7 | 59.6 | 58.8 | 58.8 |
|               |      | 60.6 | 60.4 | 60.4 | 60.2 | 60.8 | 60.3 | 60.9 | 60.6 | 60.8 | 60.9 |
|               |      | 17 C |      | 17 E |      | 22 D |      | 21 C |      | 20 D |      |
|               | 59.4 | 59.0 | 58.8 | 59.1 | 59.4 | 59.4 | 59.2 | 59.2 | 58.9 | 58.9 |      |
|               | 60.7 | 60.6 | 61.1 | 60.9 | 60.2 | 60.2 | 60.6 | 60.4 | 60.8 | 60.6 |      |
| QUINTO NIVEL  |      | 19 C |      | 18 C |      | 21 C |      | 21 D |      | 22 D |      |
|               |      | 59.4 | 59.4 | 59.7 | 59.7 | 59.7 | 59.6 | 59.4 | 59.3 | 58.8 | 58.9 |
|               | 60.4 | 60.4 | 60.2 | 60.0 | 60.7 | 60.2 | 60.5 | 60.5 | 60.5 | 60.6 |      |

TABLA 5. Secciones transversales de columnas (edificio A)  
(Resumen de estadísticos)

| NIVEL | SECCION 1      |        |        |    | SECCION 2      |        |        |    |
|-------|----------------|--------|--------|----|----------------|--------|--------|----|
|       | $\bar{x}$ (cm) | S (cm) | v      | n  | $\bar{x}$ (cm) | S (cm) | v      | n  |
| I     | 60.0           | 0.2148 | 0.0036 | 14 | 60.0           | 0.3378 | 0.0056 | 14 |
| II    | 60.0           | 0.6235 | 0.0104 | 26 | 60.0           | 0.6328 | 0.0105 | 26 |
| III   | 60.0           | 0.7639 | 0.0127 | 18 | 59.9           | 0.7361 | 0.0123 | 18 |
| IV    | 60.0           | 0.7726 | 0.0129 | 20 | 59.9           | 0.6993 | 0.0117 | 20 |
| V     | 59.9           | 0.6219 | 0.0104 | 10 | 59.9           | 0.5700 | 0.0095 | 10 |



TABLA 6. Descomposición de dos poblaciones con distribución normal mezcladas.

6.a Cálculo de las ordenadas de la gráfica de la fig 21.b

| Marca de clase | f  | log f | $\Delta \log f$ |
|----------------|----|-------|-----------------|
| 58.55          | 1  | 0     | 0.845           |
| 58.75          | 7  | 0.845 | 0.058           |
| 58.95          | 8  | 0.903 | 0.138           |
| 59.15          | 11 | 1.041 | 0.105           |
| 59.35          | 14 | 1.146 | 0.030           |
| 59.55          | 15 | 1.176 | -0.097          |
| 59.75          | 12 | 1.079 | -0.234          |
| 59.95          | 7  | 0.845 | 0.155           |
| 60.15          | 10 | 1.000 | 0.204           |
| 60.35          | 16 | 1.204 | 0.138           |
| 60.55          | 22 | 1.342 | -0.196          |
| 60.75          | 14 | 1.146 | -0.243          |
| 60.95          | 8  | 0.903 | -0.602          |
| 61.15          | 2  | 0.301 | -0.301          |
| 61.35          | 1  | 0     | -               |

6.b Cálculo de porcentajes de distribución

| Distribución 1: $\mu=59.46$ cm<br>$\sigma=0.482$ cm |        |        |    |
|---|--------|--------|----|
| x   | FDA    | $P_j$  | f  |
| 58.65   | 0.0464 | 0.0564 | 7  |
| 58.85   | 0.1028 | 0.0947 | 8  |
| 59.05   | 0.1975 | 0.1340 | 10 |
| 59.25   | 0.3315 | 0.1602 | 14 |
| 59.45   | 0.4917 | 0.1616 | 15 |
| 59.65   | 0.6533 | 0.1375 | 12 |
| 59.85   | 0.7908 |        |    |

| Distribución 2: $\mu=60.41$ cm<br>$\sigma=0.456$ cm |        |        |    |
|---|--------|--------|----|
| x   | FDA    | $P_j$  | f  |
| 60.05   | 0.2149 | 0.1479 | 10 |
| 60.25   | 0.3628 | 0.1922 | 16 |
| 60.45   | 0.5350 | 0.1657 | 22 |
| 60.65   | 0.7007 | 0.1320 | 14 |
| 60.85   | 0.8327 | 0.0871 | 8  |
| 61.05   | 0.9198 | 0.0475 | 2  |
| 61.25   | 0.9673 |        |    |

$$\Sigma P_j = 0.744$$

$$\Sigma f = 67$$

$$N_1 = 90$$

$$P_1 = \frac{90}{90 + 96} = 0.48$$

$$\Sigma P_j = 0.7524$$

$$\Sigma f = 72$$

$$N_2 = 96$$

$$P_2 = \frac{96}{90 + 96} = 0.52$$

TABLA 7. Secciones transversales de columnas en cm, (edificio B)  
 Esta tabla se interpreta de la misma forma que la tabla 3.

|         |       | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SEGUNDO |       | L 3   |       | D 7   |       | E 7   |       | H 10  |       | E 10  |       |
|         |       | 39.78 | 39.92 | 39.21 | 39.38 | 39.27 | 40.33 |       | 39.95 |       | 39.53 |
|         |       | 39.57 | 39.96 | 39.54 | 39.47 | 39.94 | 39.41 |       | 39.68 |       | 39.64 |
|         |       | 39.68 | 39.79 | 39.30 | 39.23 | 39.21 | 37.59 |       | 39.72 |       | 39.28 |
|         |       | 79.93 | 79.87 | 80.09 | 80.06 | 80.11 | 79.96 |       | 80.18 |       | 79.97 |
|         |       | 80.11 | 80.09 | 80.15 | 80.03 | 80.39 | 80.03 |       | 80.00 |       | 80.12 |
|         |       | 80.29 | 80.21 | 79.99 | 79.97 | 80.24 | 80.07 |       | 79.73 |       | 80.15 |
| NIVEL   |       | C 7   |       | N 4   |       | N 5   |       | D 10  |       | N 3   |       |
|         |       |       | 39.27 |       | 39.68 |       | 39.01 |       | 39.06 |       | 39.19 |
|         |       |       | 39.85 |       | 39.48 |       | 39.61 |       | 39.56 |       | 39.40 |
|         |       |       | 39.23 |       | 39.10 |       | 39.20 |       | 38.98 |       | 39.02 |
|         |       |       | 79.97 |       | 80.00 |       | 79.76 |       | 80.01 |       | 79.81 |
|         |       |       | 79.99 |       | 80.05 |       | 79.90 |       | 80.22 |       | 79.88 |
|         |       |       | 79.81 |       | 80.11 |       | 79.65 |       | 80.09 |       | 79.91 |
| TERCER  |       | E 7   |       | D 7   |       | C 10  |       | H 7   |       | N 5   |       |
|         |       | 39.45 | 39.20 | 39.25 | 39.30 | 40.12 | 39.71 | 40.26 | 40.16 | 39.25 | 39.23 |
|         |       | 40.02 | 39.49 | 39.52 | 39.55 | 40.37 | 40.23 | 40.71 | 40.53 | 39.61 | 39.58 |
|         |       | 39.30 | 39.14 | 38.88 | 39.08 | 39.95 | 40.21 | 40.12 | 40.10 | 39.59 | 39.59 |
|         |       | 80.18 | 80.16 | 80.25 | 80.36 | 80.28 | 80.02 | 80.40 | 80.36 | 80.25 | 80.07 |
|         |       | 80.36 | 80.34 | 80.36 | 80.54 | 80.38 | 80.10 | 80.58 | 80.39 | 80.13 | 80.21 |
|         |       | 80.37 | 80.32 | 80.24 | 80.23 | 80.39 | 80.00 | 80.38 | 80.16 | 80.02 | 80.12 |
| NIVEL   |       | D 10  |       | E 10  |       | C 7   |       | N 3   |       | H 10  |       |
|         |       | 39.13 | 39.31 | 38.87 | 39.23 | 39.22 | 39.06 | 39.64 | 39.11 | 39.78 | 39.80 |
|         |       | 39.70 | 39.77 | 39.23 | 39.37 | 39.73 | 39.44 | 39.93 | 39.45 | 39.95 | 39.76 |
|         |       | 39.52 | 39.41 | 39.17 | 39.27 | 38.81 | 38.91 | 39.91 | 39.47 | 39.02 | 39.26 |
|         |       | 80.26 | 80.24 | 80.19 | 80.08 | 80.08 | 80.05 | 80.38 | 80.05 | 80.28 | 80.19 |
|         |       | 80.19 | 80.30 | 80.09 | 80.18 | 80.16 | 80.21 | 80.34 | 79.40 | 80.45 | 80.39 |
|         |       | 80.14 | 80.34 | 80.04 | 80.15 | 80.02 | 80.16 | 80.21 | 80.05 | 80.47 | 80.33 |
|         | L 5   |       | N 4   |       | L 3   |       |       |       |       |       |       |
|         | 39.45 | 39.36 | 39.22 | 39.28 | 40.08 | 40.16 |       |       |       |       |       |
|         | 39.43 | 39.32 | 39.40 | 39.44 | 40.23 | 40.40 |       |       |       |       |       |
|         | 38.97 | 38.99 | 39.01 | 39.18 | 39.78 | 39.98 |       |       |       |       |       |
|         | 80.17 | 80.02 | 80.10 | 80.21 | 79.83 | 79.95 |       |       |       |       |       |
|         | 80.26 | 80.29 | 80.15 | 80.38 | 79.73 | 79.78 |       |       |       |       |       |
|         | 80.22 | 80.17 | 80.07 | 80.13 | 79.59 | 79.71 |       |       |       |       |       |

TABLA 7. Continuación

|        | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2     |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CUARTO | L 3   |       | D 10  |       | D 7   |       | C 10  |       | E 7   |       |
|        | 39.41 | 39.42 | 40.75 | 40.32 | 39.45 | 39.45 | 40.53 | 40.28 | 39.32 | 38.88 |
|        | 39.68 | 39.88 | 41.25 | 40.49 | 40.19 | 39.61 | 40.90 | 40.35 | 39.70 | 39.12 |
|        | 39.79 | 39.28 | 40.52 | 40.07 | 39.76 | 39.26 | 40.29 | 39.99 | 39.64 | 39.25 |
|        | 80.01 | 80.15 | 80.30 | 79.93 | 80.51 | 80.61 | 79.94 | 79.78 | 80.27 | 79.97 |
|        | 80.13 | 80.42 | 80.39 | 79.90 | 80.80 | 80.79 | 80.04 | 79.73 | 80.42 | 80.04 |
|        | 80.14 | 80.27 | 80.05 | 79.66 | 80.56 | 80.45 | 79.79 | 79.56 | 80.34 | 80.19 |
|        | E 10  |       | C 7   |       | H 10  |       | H 7   |       | N 4   |       |
|        | 38.74 | 38.90 | 39.57 | 38.97 | 39.70 | 39.61 | 39.04 | 39.20 | 39.82 | 39.18 |
|        | 39.19 | 39.37 | 40.18 | 39.44 | 39.80 | 39.33 | 39.73 | 40.65 | 40.03 | 39.29 |
| 38.78  | 38.93 | 39.37 | 38.95 | 39.42 | 38.98 | 39.62 | 39.59 | 39.69 | 39.46 |       |
| 80.22  | 80.43 | 80.66 | 80.51 | 80.41 | 80.18 | 80.38 | 80.39 | 80.16 | 80.12 |       |
| 80.33  | 80.62 | 80.77 | 80.61 | 80.50 | 80.17 | 80.40 | 80.66 | 80.31 | 80.20 |       |
| 80.17  | 80.39 | 80.51 | 80.41 | 80.40 | 80.25 | 80.28 | 80.24 | 80.29 | 80.17 |       |
| NIVEL  | N 3   |       | L 3   |       | N 5   |       | L 5   |       | L 4   |       |
|        | 39.70 | 39.40 | 39.41 | 39.42 | 39.54 | 39.23 | 39.37 | 39.26 | 39.32 | 39.25 |
|        | 39.86 | 39.27 | 39.68 | 39.88 | 39.64 | 38.99 | 39.72 | 39.57 | 39.70 | 39.59 |
|        | 39.31 | 38.90 | 39.79 | 39.28 | 39.51 | 38.86 | 39.15 | 39.37 | 39.47 | 39.28 |
|        | 80.43 | 80.17 | 80.01 | 80.15 | 80.33 | 80.18 | 80.33 | 80.42 | 80.31 | 80.48 |
|        | 80.53 | 80.19 | 80.13 | 80.42 | 80.44 | 80.16 | 80.57 | 80.60 | 80.36 | 80.61 |
|        | 80.43 | 80.22 | 80.14 | 80.27 | 80.26 | 80.05 | 79.86 | 80.37 | 80.24 | 80.35 |

TABLA 8. Secciones transversales de columnas (edificio B)  
 La interpretación de esta tabla es igual a la de la  
 tabla 4.

|              |              | 1            | 2             | 1            | 2            | 1            | 2            | 1            | 2            | 1            | 2            |
|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| SEGUNDO      | NIVEL        | L 3          |               | N 3          |              | N 4          |              | N 5          |              | H 10         |              |
|              |              | 39.7<br>80.1 | 39.89<br>80.1 |              | 39.2<br>79.9 |              | 39.4<br>80.0 |              | 39.3<br>79.8 |              | 39.8<br>80.0 |
|              | E 10         |              | D 10          |              | D 7          |              | C 7          |              | E 7          |              |              |
|              |              | 39.5<br>80.1 |               | 39.2<br>80.1 | 39.4<br>80.1 | 39.4<br>80.0 |              | 39.5<br>79.9 | 39.5<br>80.2 | 39.1<br>80.0 |              |
| TERCER       | NIVEL        | E 7          |               | E 10         |              | H 7          |              | C 7          |              | C 10         |              |
|              |              | 39.6<br>80.3 | 39.3<br>80.3  | 39.1<br>80.1 | 39.3<br>80.1 | 40.4<br>80.4 | 40.3<br>80.3 | 39.3<br>80.1 | 39.1<br>80.1 | 40.1<br>80.3 | 40.0<br>80.0 |
|              |              | D 10         |               | D 7          |              | N 5          |              | L 5          |              | L 3          |              |
|              | 39.4<br>80.2 | 39.5<br>80.3 | 39.2<br>80.3  | 39.3<br>80.4 | 39.5<br>80.1 | 39.5<br>80.1 | 39.3<br>80.2 | 39.2<br>80.2 | 40.0<br>79.7 | 40.2<br>79.9 |              |
|              | H 10         |              | N 4           |              | N 3          |              |              |              |              |              |              |
|              | 39.6<br>80.4 | 39.6<br>80.3 | 39.2<br>80.1  | 39.3<br>80.2 | 39.8<br>80.3 | 39.3<br>79.8 |              |              |              |              |              |
| CUARTO       | NIVEL        | L 3          |               | C 7          |              | C 10         |              | E 7          |              | D 10         |              |
|              |              | 39.6<br>80.1 | 39.5<br>80.3  | 39.7<br>80.6 | 39.1<br>80.5 | 40.6<br>79.9 | 40.2<br>79.7 | 39.6<br>80.3 | 39.1<br>80.1 | 40.8<br>80.2 | 40.3<br>79.8 |
|              |              | E 10         |               | D 7          |              | H 10         |              | H 7          |              | L 4          |              |
|              | 38.9<br>80.2 | 39.1<br>80.5 | 39.8<br>80.6  | 39.4<br>80.6 | 39.6<br>80.4 | 39.3<br>80.2 | 39.5<br>80.4 | 39.8<br>80.4 | 39.5<br>80.3 | 39.4<br>80.5 |              |
|              | L 3          |              | L 5           |              | N 3          |              | N 5          |              | N 4          |              |              |
| 39.6<br>80.1 | 39.5<br>80.3 | 39.4<br>80.3 | 39.4<br>80.5  | 39.6<br>80.5 | 39.2<br>80.2 | 39.6<br>80.3 | 39.0<br>80.1 | 39.8<br>80.3 | 39.3<br>80.2 |              |              |

TABLA 9. Secciones transversales de columnas (edificio B)  
(Resumen de estadísticas).

| NIVEL | LADO  | SECCION 1      |        |        |    | SECCION 2      |        |        |    |
|-------|-------|----------------|--------|--------|----|----------------|--------|--------|----|
|       |       | $\bar{x}$ (cm) | S (cm) | v      | n  | $\bar{x}$ (cm) | S (cm) | v      | n  |
| II    | corto | -              | -      | -      | -  | 39.4           | 0.2564 | 0.0065 | 10 |
| II    | largo | -              | -      | -      | -  | 80.0           | 0.0994 | 0.0012 | 10 |
| III   | corto | 39.6           | 0.3961 | 0.0100 | 13 | 39.5           | 0.3903 | 0.0099 | 13 |
| III   | largo | 80.2           | 0.1841 | 0.0023 | 13 | 80.2           | 0.1761 | 0.0022 | 13 |
| IV    | corto | 39.7           | 0.4559 | 0.0115 | 15 | 39.4           | 0.3869 | 0.0098 | 15 |
| IV    | largo | 80.3           | 0.1890 | 0.0024 | 15 | 80.3           | 0.2613 | 0.0033 | 15 |

TABLA 10. Claros entre ejes de columnas (en metros)

CLARO CORTO

| Primer nivel | Segundo nivel |       | Tercer nivel |       | Cuarto nivel |       | Quinto nivel |       |
|--------------|---------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|              | 5.408         | 5.400 | 5.37         | 5.420 | 5.415        | 5.395 | 5.410        | 5.415 |
| 5.389        | 5.410         | 5.40  | 5.362        | 5.405 | 5.410        | 5.395 | 5.360        | 5.415 |
| 5.406        | 5.405         | 5.39  | 5.385        | 5.390 | 5.42         | 5.390 | 5.420        | 5.36  |
| 5.440        | 5.385         | 5.425 | 5.435        | 5.400 | 5.345        | 5.395 | 5.405        | 5.395 |
| 5.365        | 5.390         | 5.380 | 5.410        | 5.410 | 5.410        | 5.42  | 5.40         | 5.445 |
| 5.417        | 5.40          | 5.395 | 5.375        | 5.410 | 5.420        | 5.38  | 5.37         | 5.385 |
| 5.403        | 5.41          | 5.415 | 5.405        | 5.390 | 5.460        | 5.42  | 5.485        | 5.39  |
| 5.665        | 5.39          | 5.385 | 5.405        | 5.395 | 5.360        | 5.38  | 5.345        | 5.39  |
| 5.200        | 5.37          | 5.425 | 5.390        | 5.415 | 5.470        | 5.43  | 5.485        | 5.44  |
| 5.424        | 5.425         | 5.365 | 5.430        | 5.420 | 5.395        | 5.400 | 5.380        | 5.400 |
| 5.388        | 5.42          | 5.440 | 5.360        | 5.385 | 5.400        |       | 5.415        |       |
| 5.412        | 5.375         | 5.395 | 5.445        | 5.40  | 5.445        |       | 5.410        |       |
| 5.391        | 5.425         | 5.405 | 5.405        | 5.395 | 5.390        |       | 5.400        |       |
| 5.715        | 5.385         | 5.430 | 5.395        | 5.415 | 5.425        |       | 5.395        |       |
|              | 5.420         | 5.430 | 5.435        | 5.415 | 5.395        |       | 5.400        |       |

CLARO LARGO

| Primer nivel | Segundo nivel | Tercer nivel | Cuarto nivel | Quinto nivel |
|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 10.321       | 10.331        | 10.311       | 10.286       | 10.306       |
| 10.316       | 10.311        | 10.306       | 10.346       | 10.266       |
| 10.326       | 10.316        | 10.341       | 10.321       | 10.306       |
| 10.356       | 10.331        | 10.341       | 10.331       | 10.296       |
| 10.356       | 10.281        | 10.326       | 10.316       | 10.306       |
| 10.381       | 10.321        | 10.311       | 10.316       | 10.296       |
| 10.356       | 10.341        | 10.341       | 10.281       | 10.316       |
| 10.356       | 10.326        | 10.346       | 10.261       | 10.296       |
| 10.331       | 10.316        | 10.316       | 10.266       | 10.306       |
| 10.351       | 10.326        | 10.306       | 10.266       | 10.251       |
|              | 10.326        | 10.276       | 10.246       | 10.296       |
|              | 10.346        | 10.311       | 10.326       | 10.261       |
|              | 10.351        | 10.311       | 10.281       | 10.251       |
|              | 10.346        | 10.276       | 10.306       | 10.276       |
|              | 10.336        | 10.321       | 10.261       | 10.321       |
|              | 10.356        | 10.306       |              |              |
|              | 10.366        | 10.346       |              |              |
|              | 10.346        | 10.296       |              |              |

TABLA 11. Claros entre ejes de columnas (en metros)

| Segundo nivel | Tercer nivel | Cuarto nivel |
|---------------|--------------|--------------|
| 7.195         | 7.195        | 7.195        |
| 7.195         | 7.195        | 7.20         |
| 7.21          | 7.205        | 7.195        |
| 7.01          | 7.015        | 7.205        |
| 7.19          | 7.185        | 7.18         |
| 7.215         | 7.205        | 7.20         |
| 7.215         | 7.205        | 7.20         |
| 7.22          | 7.21         | 6.995        |
| 7.205         | 7.21         | 7.20         |
| 7.20          | 7.195        | 7.195        |
| 7.015         | 7.205        | 7.195        |
| 7.20          | 7.205        | 7.195        |
| 7.20          | 7.185        | 7.21         |
| 7.195         | 7.17         | 7.205        |
| 7.195         | 7.165        | 7.165        |
| 7.20          | 7.205        | 7.15         |
| 7.20          | 7.20         | 7.21         |
| 7.20          | 7.21         | 7.195        |
| 7.195         | 7.20         | 7.21         |
| 7.215         | 7.20         | 7.195        |
| 7.23          | 7.195        | 7.20         |
| 7.215         | 7.205        | 7.20         |
| 7.195         | 7.20         | 7.20         |

TABLA 12. Claros a ejes de columnas

| EDIFICIO | NIVEL | $\bar{x}$<br>(m) | S<br>(m) | v      | n  | Nominal<br>(m) |
|----------|-------|------------------|----------|--------|----|----------------|
| A        | I     | 5.430            | 0.1243   | 0.0229 | 14 | 5.40           |
|          | I     | 10.345           | 0.0205   | 0.0019 | 10 | 10.35          |
|          | II    | 5.402            | 0.0204   | 0.0038 | 30 | 5.40           |
|          | II    | 10.332           | 0.0197   | 0.0019 | 18 | 10.35          |
|          | III   | 5.404            | 0.0199   | 0.0037 | 30 | 5.40           |
|          | III   | 10.316           | 0.0214   | 0.0021 | 18 | 10.35          |
|          | IV    | 5.406            | 0.0279   | 0.0052 | 25 | 5.40           |
|          | IV    | 10.294           | 0.0309   | 0.0030 | 15 | 10.35          |
|          | V     | 5.404            | 0.0335   | 0.0062 | 25 | 5.40           |
|          | V     | 10.290           | 0.0231   | 0.0022 | 15 | 10.35          |
| B        | II    | 7.187            | 0.0561   | 0.0078 | 23 | 7.20           |
|          | III   | 7.190            | 0.0399   | 0.0055 | 23 | 7.20           |
|          | IV    | 7.187            | 0.0440   | 0.0061 | 23 | 7.20           |



TABLA 13. Recubrimientos en columnas, en cm (edificio A)  
 Las filas 1 y 2 se refieren a las secciones superior e inferior de la columna, respectivamente.

|  |      | 1   |     | 2   |  |  |
|--|------|-----|-----|-----|--|--|
| P<br>r<br>i<br>m<br>e<br>r<br><br>n<br>i<br>v<br>e<br>l      | 16 D |     |     |     |  |  |
|  | 4.3  | 4.6 | 4.4 | 3.8 |  |  |
|  | 3.1  | 3.9 | 3.8 | 4.3 |  |  |
|  | 4.1  | 4.4 | 4.3 | 4.5 |  |  |
|  | 4.1  | 4.1 | 4.8 | 5.3 |  |  |
|  | 3.9  | 3.6 | 3.9 | 4.1 |  |  |
|  | 5.1  | 3.6 | 6.0 | 2.5 |  |  |
|  | 23 C |     |     |     |  |  |
|  | 5.7  | 4.0 | 4.1 | 4.6 |  |  |
|  | 6.6  | 3.7 | 6.6 | 4.2 |  |  |
| 6.4  | 3.9  | 7.1 | 4.4 |     |  |  |
| 4.5  | 4.6  | 4.8 | 5.1 |     |  |  |
| 2.8  | 4.3  | 3.0 | 4.3 |     |  |  |
| 2.8  | 5.4  | 3.6 | 6.2 |     |  |  |
| 20 F   |      |     |     |     |  |  |
| 3.3  | 4.4  | 3.9 | 4.7 |     |  |  |
| 2.5  | 4.5  | 4.2 | 4.2 |     |  |  |
| 3.6  | 4.3  | 4.7 | 4.7 |     |  |  |
| 6.2  | 4.9  | 6.6 | 5.8 |     |  |  |
| 4.0  | 4.0  | 5.3 | 4.2 |     |  |  |
| 5.1  | 5.3  | 5.3 | 5.0 |     |  |  |
| 18 E   |      |     |     |     |  |  |
| 4.8  | 4.6  | 4.8 | 6.2 |     |  |  |
| 3.0  | 3.5  | 4.9 | 5.2 |     |  |  |
| 5.2  | 4.4  | 6.0 | 5.4 |     |  |  |
| 4.1  | 4.1  | 5.4 | 4.0 |     |  |  |
| 3.2  | 3.5  | 4.1 | 3.3 |     |  |  |
| 3.4  | 3.7  | 4.3 | 3.6 |     |  |  |
| S<br>e<br>g<br>u<br>n<br>d<br>o<br><br>n<br>i<br>v<br>e<br>l | 20 F |     |     |     |  |  |
|  | 4.6  | 3.9 | 5.4 | 4.1 |  |  |
|  | 4.0  | 4.0 | 4.6 | 3.7 |  |  |
|  | 4.3  | 4.2 | 5.3 | 4.4 |  |  |
|  | 3.4  | 4.6 | 3.9 | 5.4 |  |  |
|  | 3.2  | 3.1 | 3.7 | 4.2 |  |  |
|  | 4.0  | 4.3 | 4.3 | 3.7 |  |  |
|  | 17 D |     |     |     |  |  |
|  | 3.7  | 4.7 | 4.3 | 5.2 |  |  |
|  | 2.7  | 3.7 | 3.7 | 4.2 |  |  |
| 4.4  | 4.4  | 4.7 | 3.5 |     |  |  |
| 5.6  | 3.7  | 6.5 | 4.6 |     |  |  |
| 4.3  | 1.9  | 4.6 | 6.4 |     |  |  |
| 4.4  | 4.0  | 6.0 | 7.2 |     |  |  |
| 18 F   |      |     |     |     |  |  |
| 4.0  | 3.5  | 4.1 | 4.5 |     |  |  |
| 2.2  | 4.0  | 4.2 | 4.1 |     |  |  |
| 5.3  | 3.9  | 6.0 | 4.4 |     |  |  |
| 5.4  | 4.5  | 6.7 | 6.9 |     |  |  |
| 3.7  | 4.3  | 4.9 | 6.0 |     |  |  |
| 4.4  | 4.9  | 4.7 | 6.0 |     |  |  |
| 16 E   |      |     |     |     |  |  |
| 4.6  | 5.6  | 4.4 | 7.0 |     |  |  |
| 3.5  | 4.2  | 4.3 | 6.0 |     |  |  |
| 5.0  | 4.6  | 5.1 | 5.2 |     |  |  |
| 3.9  | 3.6  | 5.6 | 3.9 |     |  |  |
| 3.7  | 3.4  | 5.4 | 3.7 |     |  |  |
| 4.4  | 4.8  | 5.3 | 5.6 |     |  |  |
| 19 E   |      |     |     |     |  |  |
| 5.5  | 3.8  | 4.5 | 3.1 |     |  |  |
| 4.9  | 3.2  | 3.6 | 1.9 |     |  |  |
| 6.1  | 4.5  | 5.4 | 3.9 |     |  |  |
| 4.3  | 6.4  | 4.2 | 5.7 |     |  |  |
| 3.8  | 6.4  | 2.9 | 4.7 |     |  |  |
| 3.4  | 5.1  | 1.7 | 4.7 |     |  |  |
| 21 E   |      |     |     |     |  |  |
| 3.9  | 4.1  | 3.0 | 3.6 |     |  |  |
| 4.3  | 2.5  | 3.3 | 2.4 |     |  |  |
| 5.9  | 3.1  | 4.8 | 3.0 |     |  |  |
| 5.4  | 6.0  | 4.9 | 4.6 |     |  |  |
| 4.2  | 4.9  | 3.7 | 3.8 |     |  |  |
| 3.7  | 6.5  | 2.7 | 5.6 |     |  |  |

TABLA 13. Continuación

|                                 |      | 1   |     | 2   |  |  |
|---------------------------------|------|-----|-----|-----|--|--|
| S<br>e<br>g<br>u<br>n<br>d<br>o | 15 F |     |     |     |  |  |
|                                 | 6.6  | 4.1 | 4.0 | 2.7 |  |  |
|                                 | 4.1  | 6.0 | 4.1 | 3.8 |  |  |
|                                 | 5.3  | 4.4 | 3.9 | 3.4 |  |  |
|                                 | 4.1  | 5.8 | 3.1 | 4.8 |  |  |
|                                 | 4.3  | 3.8 | 3.7 | 4.3 |  |  |
|                                 | 6.4  | 4.1 | 4.0 | 4.5 |  |  |
|                                 | 15 E |     |     |     |  |  |
|                                 | 4.3  | 5.6 | 4.2 | 4.8 |  |  |
|                                 | 4.1  | 4.3 | 4.2 | 4.5 |  |  |
|                                 | 6.0  | 4.3 | 5.2 | 4.5 |  |  |
|                                 | 4.6  | 4.1 | 4.9 | 4.6 |  |  |
|                                 | 3.8  | 4.3 | 4.7 | 4.8 |  |  |
|                                 | 4.0  | 5.9 | 4.4 | 5.8 |  |  |
|                                 | 16 F |     |     |     |  |  |
|                                 | 4.2  | 4.7 | 4.6 | 5.4 |  |  |
|                                 | 4.0  | 4.1 | 4.4 | 3.9 |  |  |
|                                 | 5.2  | 4.4 | 5.8 | 4.3 |  |  |
| 5.5                             | 4.4  | 5.8 | 5.7 |     |  |  |
| 3.1                             | 4.6  | 5.4 | 4.6 |     |  |  |
| 4.1                             | 5.8  | 4.4 | 5.6 |     |  |  |
| 17 D                            |      |     |     |     |  |  |
| 5.6                             | 3.7  | 6.1 | 4.2 |     |  |  |
| 4.6                             | 4.0  | 4.5 | 3.8 |     |  |  |
| 4.6                             | 4.6  | 4.5 | 4.3 |     |  |  |
| 4.2                             | 4.5  | 3.7 | 4.1 |     |  |  |
| 4.0                             | 4.4  | 4.0 | 4.3 |     |  |  |
| 4.7                             | 5.2  | 4.6 | 4.1 |     |  |  |
| 21 D                            |      |     |     |     |  |  |
| 4.5                             | 6.2  | 4.8 | 7.1 |     |  |  |
| 3.9                             | 4.4  | 3.9 | 6.2 |     |  |  |
| 3.6                             | 4.5  | 4.3 | 5.8 |     |  |  |
| 4.3                             | 3.4  | 4.7 | 3.6 |     |  |  |
| 4.4                             | 3.3  | 6.0 | 4.2 |     |  |  |
| 6.1                             | 3.9  | 6.0 | 4.4 |     |  |  |

|                                 |      | 1   |     | 2   |  |  |
|---------------------------------|------|-----|-----|-----|--|--|
| S<br>e<br>g<br>u<br>n<br>d<br>o | 17 E |     |     |     |  |  |
|                                 | 3.9  | 3.9 | 3.1 | 2.3 |  |  |
|                                 | 4.2  | 2.6 | 3.4 | 1.9 |  |  |
|                                 | 4.8  | 1.5 | 3.6 | 1.7 |  |  |
|                                 | 5.9  | 6.9 | 5.6 | 5.9 |  |  |
|                                 | 4.0  | 7.4 | 4.2 | 6.1 |  |  |
|                                 | 5.6  | 8.1 | 4.5 | 7.3 |  |  |
|                                 | 15 F |     |     |     |  |  |
|                                 | 6.5  | 2.6 | 6.4 | 3.4 |  |  |
|                                 | 4.1  | 4.0 | 5.0 | 4.0 |  |  |
|                                 | 4.0  | 4.8 | 4.2 | 5.6 |  |  |
|                                 | 3.6  | 5.8 | 3.5 | 4.4 |  |  |
|                                 | 3.8  | 4.4 | 4.0 | 3.0 |  |  |
|                                 | 5.8  | 4.3 | 6.1 | 3.2 |  |  |
|                                 | 20 F |     |     |     |  |  |
|                                 | 6.0  | 4.2 | 5.4 | 4.4 |  |  |
|                                 | 4.7  | 4.0 | 4.9 | 4.0 |  |  |
|                                 | 5.0  | 4.8 | 5.7 | 4.5 |  |  |
| 3.2                             | 5.3  | 4.3 | 5.4 |     |  |  |
| 3.0                             | 4.1  | 4.0 | 4.5 |     |  |  |
| 4.3                             | 4.4  | 4.2 | 4.7 |     |  |  |
| 19 C                            |      |     |     |     |  |  |
| 4.1                             | 4.7  | 3.8 | 4.8 |     |  |  |
| 3.9                             | 4.2  | 3.6 | 3.9 |     |  |  |
| 4.6                             | 4.4  | 4.3 | 4.3 |     |  |  |
| 4.4                             | 4.7  | 4.9 | 4.8 |     |  |  |
| 4.6                             | 4.9  | 4.5 | 5.6 |     |  |  |
| 5.0                             | 4.8  | 4.6 | 4.8 |     |  |  |
| 22 C                            |      |     |     |     |  |  |
| 4.1                             | 4.9  | 1.8 | 4.4 |     |  |  |
| 4.1                             | 4.1  | 3.3 | 3.6 |     |  |  |
| 4.9                             | 4.8  | 4.4 | 4.5 |     |  |  |
| 7.2                             | 4.8  | 6.7 | 4.4 |     |  |  |
| 6.4                             | 4.6  | 5.5 | 3.9 |     |  |  |
| 5.9                             | 4.6  | 5.8 | 5.3 |     |  |  |

TABLA 13. Continuación

|               |      | 1   | 2   |     |  |
|---------------|------|-----|-----|-----|--|
| SEGUNDO NIVEL | 17 F |     |     |     |  |
|               | 4.5  | 6.0 | 5.5 | 5.9 |  |
|               | 4.1  | 5.7 | 5.6 | 6.0 |  |
|               | 4.4  | 5.8 | 4.8 | 5.9 |  |
|               | 3.7  | 3.5 | 3.6 | 4.4 |  |
|               | 4.5  | 3.0 | 3.0 | 3.4 |  |
|               | 5.1  | 3.8 | 3.9 | 4.4 |  |

|               |      | 1   | 2   |     |  |
|---------------|------|-----|-----|-----|--|
| SEGUNDO NIVEL | 21 C |     |     |     |  |
|               | 4.4  | 6.4 | 4.2 | 6.5 |  |
|               | 4.0  | 5.9 | 2.4 | 5.4 |  |
|               | 4.4  | 6.4 | 4.3 | 4.5 |  |
|               | 6.4  | 4.5 | 6.6 | 3.9 |  |
|               | 6.8  | 4.2 | 4.9 | 4.0 |  |
|               | 6.4  | 4.5 | 6.1 | 4.5 |  |

|              |      |     |     |     |
|--------------|------|-----|-----|-----|
| TERCER NIVEL | 16 E |     |     |     |
|              | 4.5  | 5.8 | 4.7 | 6.1 |
|              | 4.0  | 4.2 | 4.3 | 4.3 |
|              | 5.3  | 4.6 | 4.5 | 4.5 |
|              | 4.7  | 3.8 | 4.3 | 3.2 |
|              | 3.8  | 3.7 | 3.3 | 3.1 |
|              | 4.3  | 4.4 | 4.1 | 4.3 |
|              | 18 F |     |     |     |
|              | 4.1  | 6.4 | 4.5 | 6.6 |
|              | 2.6  | 5.4 | 3.8 | 5.9 |
|              | 3.2  | 6.2 | 3.7 | 6.6 |
|              | 4.4  | 3.0 | 4.9 | 4.0 |
|              | 4.3  | 3.0 | 4.2 | 3.2 |
|              | 6.1  | 4.0 | 6.0 | 4.0 |
|              | 21 E |     |     |     |
|              | 1.0  | 6.7 | 2.6 | 7.1 |
|              | 3.3  | 4.5 | 3.2 | 5.3 |
|              | 4.7  | 4.1 | 4.6 | 4.1 |
|              | 6.4  | 2.6 | 6.4 | 3.2 |
|              | 4.2  | 3.7 | 3.8 | 3.8 |
|              | 3.8  | 6.0 | 4.3 | 5.8 |
|              | 20 C |     |     |     |
|              | 6.4  | 3.7 | 5.8 | 3.6 |
|              | 5.0  | 3.9 | 4.4 | 3.8 |
|              | 3.9  | 4.5 | 3.9 | 4.5 |
|              | 2.9  | 6.1 | 2.3 | 5.1 |
|              | 3.8  | 4.5 | 3.8 | 4.2 |
|              | 5.3  | 4.2 | 5.0 | 3.7 |

|              |      |     |     |     |
|--------------|------|-----|-----|-----|
| TERCER NIVEL | 17 E |     |     |     |
|              | 3.2  | 6.9 | 2.8 | 6.8 |
|              | 3.8  | 4.9 | 3.8 | 4.4 |
|              | 5.4  | 4.6 | 5.9 | 5.1 |
|              | 6.4  | 0.9 | 6.4 | 1.9 |
|              | 4.2  | 1.4 | 4.6 | 3.2 |
|              | 3.3  | 4.1 | 4.3 | 4.3 |
|              | 19 F |     |     |     |
|              | 5.3  | 6.9 | 6.1 | 6.7 |
|              | 4.4  | 6.1 | 4.5 | 5.3 |
|              | 4.6  | 5.8 | 4.4 | 5.3 |
|              | 4.4  | 3.0 | 3.0 | 3.6 |
|              | 3.8  | 3.0 | 4.0 | 3.3 |
|              | 4.5  | 4.4 | 4.6 | 4.5 |
|              | 18 C |     |     |     |
|              | 5.2  | 4.2 | 5.9 | 4.2 |
|              | 4.6  | 4.0 | 4.4 | 3.8 |
|              | 4.7  | 4.4 | 5.6 | 4.6 |
|              | 3.9  | 4.7 | 4.1 | 5.7 |
|              | 3.1  | 4.0 | 4.0 | 4.3 |
|              | 4.0  | 5.1 | 4.5 | 4.9 |
|              | 23 D |     |     |     |
|              | 4.5  | 3.6 | 3.7 | 3.6 |
|              | 4.3  | 2.8 | 3.7 | 2.9 |
|              | 4.6  | 2.7 | 4.2 | 2.6 |
|              | 4.6  | 4.7 | 4.4 | 4.8 |
|              | 4.0  | 5.6 | 4.2 | 5.0 |
|              | 4.5  | 6.2 | 4.5 | 6.0 |

TABLA 13. Continuación

|              |      | 1   |     | 2   |     |  |
|--------------|------|-----|-----|-----|-----|--|
| TERCER NIVEL | 21 C |     |     |     |     |  |
|              |      | 5.9 | 4.5 | 5.9 | 4.4 |  |
|              |      | 5.1 | 4.4 | 4.8 | 3.9 |  |
|              |      | 4.3 | 5.9 | 4.3 | 4.9 |  |
|              |      | 2.3 | 4.5 | 2.9 | 5.3 |  |
|              |      | 2.9 | 3.9 | 3.3 | 4.3 |  |
|              |      | 4.9 | 3.6 | 4.4 | 4.3 |  |
| CUARTO NIVEL | 15 E |     |     |     |     |  |
|              |      | 3.6 | 6.4 | 2.7 | 5.3 |  |
|              |      | 4.5 | 5.2 | 3.8 | 4.2 |  |
|              |      | 6.8 | 4.3 | 6.2 | 4.3 |  |
|              |      | 6.0 | 3.9 | 6.0 | 4.1 |  |
|              |      | 4.2 | 4.2 | 4.3 | 3.8 |  |
|              |      | 2.4 | 6.0 | 2.9 | 5.3 |  |
|              | 21 E |     |     |     |     |  |
|              |      | 6.5 | 2.7 | 6.0 | 2.6 |  |
|              |      | 5.5 | 4.0 | 5.6 | 3.7 |  |
|              |      | 4.4 | 5.6 | 4.2 | 5.3 |  |
|              |      | 3.5 | 6.7 | 3.0 | 6.7 |  |
|              |      | 4.3 | 4.3 | 4.0 | 4.4 |  |
|              |      | 5.5 | 3.6 | 4.5 | 3.5 |  |
|              | 15 F |     |     |     |     |  |
|              |      | 4.3 | 5.9 | 4.4 | 4.6 |  |
|              |      | 5.5 | 4.0 | 5.3 | 3.9 |  |
|              |      | 6.3 | 4.0 | 6.1 | 4.0 |  |
|              |      | 5.2 | 4.7 | 4.2 | 4.6 |  |
|              |      | 4.5 | 6.0 | 4.2 | 5.1 |  |
|              |      | 4.0 | 6.4 | 3.8 | 5.7 |  |
|              | 17 C |     |     |     |     |  |
|              |      | 4.4 | 4.8 | 4.2 | 4.5 |  |
|              |      | 3.3 | 4.4 | 3.3 | 4.3 |  |
|              |      | 2.4 | 4.8 | 2.5 | 4.5 |  |
|              |      | 4.7 | 4.3 | 4.3 | 4.4 |  |
|              |      | 4.9 | 4.0 | 4.7 | 3.8 |  |
|              |      | 6.4 | 4.1 | 5.8 | 4.2 |  |
| CUARTO NIVEL | 20 D |     |     |     |     |  |
|              |      | 4.8 | 4.1 | 5.1 | 2.6 |  |
|              |      | 4.0 | 4.5 | 3.7 | 4.1 |  |
|              |      | 4.1 | 6.0 | 3.7 | 4.5 |  |
|              |      | 4.3 | 6.0 | 4.4 | 4.3 |  |
|              |      | 5.6 | 4.8 | 5.4 | 3.8 |  |
|              |      | 6.8 | 4.2 | 6.5 | 2.5 |  |
|              | 20 F |     |     |     |     |  |
|              |      | 4.5 | 6.2 | 4.0 | 5.9 |  |
|              |      | 4.2 | 5.3 | 4.0 | 4.5 |  |
|              |      | 4.6 | 4.7 | 4.4 | 4.7 |  |
|              |      | 4.8 | 3.9 | 4.4 | 3.8 |  |
|              |      | 4.9 | 3.7 | 4.2 | 3.2 |  |
|              |      | 4.7 | 4.4 | 3.7 | 4.2 |  |
|              | 17 F |     |     |     |     |  |
|              |      | 4.9 | 4.5 | 4.3 | 4.4 |  |
|              |      | 3.5 | 3.7 | 3.8 | 3.8 |  |
|              |      | 3.7 | 3.4 | 4.0 | 3.9 |  |
|              |      | 4.4 | 4.3 | 4.5 | 4.8 |  |
|              |      | 5.9 | 4.2 | 5.6 | 4.5 |  |
|              |      | 5.9 | 6.2 | 5.8 | 5.3 |  |
|              | 17 D |     |     |     |     |  |
|              |      | 6.0 | 3.4 | 5.4 | 3.5 |  |
|              |      | 4.3 | 3.7 | 4.3 | 3.8 |  |
|              |      | 4.1 | 5.6 | 4.3 | 5.8 |  |
|              |      | 4.0 | 6.1 | 3.7 | 6.1 |  |
|              |      | 4.3 | 4.4 | 4.2 | 4.4 |  |
|              |      | 5.5 | 4.2 | 4.5 | 3.9 |  |
| 22 D         |      |     |     |     |     |  |
|              | 4.4  | 4.9 | 4.4 | 5.3 |     |  |
|              | 3.5  | 4.8 | 4.0 | 5.2 |     |  |
|              | 2.7  | 4.9 | 4.1 | 5.5 |     |  |
|              | 4.2  | 3.9 | 4.0 | 4.0 |     |  |
|              | 4.1  | 3.3 | 4.2 | 3.0 |     |  |
|              | 4.6  | 3.9 | 4.5 | 3.4 |     |  |

TABLA 13. Continuación

|                 |      | 1   | 2   |     |  |
|-----------------|------|-----|-----|-----|--|
| CUARTO<br>NIVEL | 20 D |     |     |     |  |
|                 | 3.6  | 4.9 | 3.8 | 4.3 |  |
|                 | 3.7  | 4.3 | 3.8 | 4.1 |  |
|                 | 4.6  | 4.3 | 4.7 | 4.3 |  |
|                 | 5.4  | 3.7 | 4.0 | 4.3 |  |
|                 | 4.0  | 4.0 | 3.9 | 3.7 |  |
|                 | 4.3  | 4.4 | 4.7 | 4.1 |  |

|                 |      | 1   | 2   |     |  |
|-----------------|------|-----|-----|-----|--|
| CUARTO<br>NIVEL | 21 C |     |     |     |  |
|                 | 4.7  | 5.3 | 2.9 | 4.8 |  |
|                 | 5.4  | 3.7 | 4.2 | 3.7 |  |
|                 | 5.6  | 3.9 | 4.6 | 3.0 |  |
|                 | 4.4  | 3.9 | 3.8 | 3.4 |  |
|                 | 3.8  | 4.2 | 3.3 | 3.8 |  |
|                 | 3.9  | 6.0 | 3.7 | 4.9 |  |

| QUINTO<br>NIVEL | 19 C |     |     |     |  |
|-----------------|------|-----|-----|-----|--|
|                 | 3.2  | 6.4 | 3.9 | 6.9 |  |
|                 | 3.8  | 4.1 | 4.5 | 6.6 |  |
|                 | 4.9  | 4.3 | 6.2 | 4.4 |  |
|                 | 4.9  | 2.4 | 5.1 | 2.5 |  |
|                 | 4.2  | 2.5 | 3.0 | 3.4 |  |
|                 | 3.5  | 3.7 | 2.7 | 4.3 |  |
|                 | 21 D |     |     |     |  |
|                 | 4.8  | 4.0 | 4.7 | 3.7 |  |
|                 | 6.1  | 4.0 | 5.4 | 3.7 |  |
|                 | 5.9  | 4.0 | 5.3 | 4.2 |  |
|                 | 4.0  | 6.0 | 4.0 | 6.2 |  |
|                 | 3.0  | 5.8 | 4.0 | 6.6 |  |
|                 | 3.6  | 4.6 | 4.1 | 4.7 |  |
|                 | 21 C |     |     |     |  |
|                 | 4.3  | 4.2 | 4.0 | 4.3 |  |
|                 | 5.1  | 3.5 | 1.3 | 3.0 |  |
|                 | 5.9  | 2.4 | 4.5 | 3.0 |  |
|                 | 4.4  | 4.4 | 4.3 | 4.8 |  |
| 3.9             | 7.0  | 4.4 | 5.7 |     |  |
| 1.2             | 7.0  | 1.8 | 6.4 |     |  |

| QUINTO<br>NIVEL | 18 C |     |     |     |  |
|-----------------|------|-----|-----|-----|--|
|                 | 4.3  | 4.6 | 4.2 | 4.1 |  |
|                 | 4.3  | 5.6 | 3.8 | 5.2 |  |
|                 | 4.4  | 4.1 | 4.2 | 4.3 |  |
|                 | 4.3  | 4.6 | 4.1 | 4.3 |  |
|                 | 4.3  | 4.7 | 3.7 | 4.0 |  |
|                 | 4.6  | 7.1 | 4.6 | 4.8 |  |
|                 | 22 D |     |     |     |  |
|                 | 4.1  | 2.5 | 4.7 | 3.2 |  |
|                 | 2.7  | 3.4 | 3.0 | 4.0 |  |
|                 | 1.0  | 4.1 | 1.1 | 4.0 |  |
|                 | 4.2  | 5.5 | 4.3 | 5.9 |  |
|                 | 7.1  | 4.1 | 5.7 | 4.3 |  |
|                 | 7.1  | 4.1 | 6.4 | 4.3 |  |

TABLA 14. Recubrimientos en columnas, en cm (Edificio B).

PRIMER NIVEL

| C O L U M N A S |     |     |     |      |      |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| L 6             | N 6 | D 7 | C 7 | D 10 | E 10 | N 3 | N 2 |
| 6.5             | 4.7 | 3.7 | 2.0 | 4.2  | 4.9  | 4.2 | 6.3 |
| 4.9             | 4.1 | 3.7 | 3.0 | 4.9  | 5.1  | 3.7 | 4.7 |
| 4.6             | 4.1 | 3.9 | 3.6 | 4.6  | 4.7  | 3.4 | 4.2 |
| 5.1             | 3.7 | 3.3 | 3.7 | 4.9  | 4.8  | 4.1 | 3.8 |
| 4.3             | 2.8 | 6.2 | 5.8 | 4.0  | 3.7  | 6.2 | 4.3 |
| 4.3             | 5.5 | 6.3 | 5.5 | 3.2  | 4.1  | 1.6 | 4.7 |
| 4.3             | 5.8 | 6.3 | 5.4 | 3.9  | 4.3  | 6.2 | 4.5 |
| 5.3             | 6.0 | 6.3 | 4.3 | 3.5  | 4.1  | 6.3 | 6.3 |

SEGUNDO NIVEL

| C O L U M N A S |     |     |      |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| L 3             | E 7 | N 5 | H 10 | L 4 | D 7 | C 7 | N 3 |
| 3.2             | 4.6 | 2.8 | 5.5  | 4.1 | 3.9 | 3.9 | 5.4 |
| 3.5             | 6.6 | 3.4 | 5.7  | 3.5 | 4.7 | 5.4 | 5.5 |
| 3.9             | 7.3 | 3.5 | 4.6  | 3.9 | 4.8 | 6.3 | 4.9 |
| 4.7             | 7.1 | 4.7 | 6.5  | 3.8 | 4.8 | 4.9 | 4.9 |
| 6.7             | 3.7 | 6.6 | 3.8  | 6.0 | 4.7 | 4.2 | 4.2 |
| 5.1             | 3.9 | 5.8 | 3.8  | 5.5 | 4.3 | 4.2 | 3.9 |
| 4.7             | 3.3 | 4.5 | 3.7  | 5.5 | 4.3 | 4.3 | 4.0 |
| 4.9             | 2.5 | 4.6 | 3.3  | 6.3 | 3.5 | 4.3 | 4.3 |

TERCER NIVEL

| C O L U M N A S |     |     |     |     |     |      |      |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| L 5             | L 4 | N 4 | N 5 | D 7 | E 7 | E 10 | H 10 |
| 6.6             | 4.5 | 5.9 | 4.7 | 2.0 | 4.0 | 3.7  | 6.3  |
| 6.2             | 6.7 | 5.8 | 4.9 | 2.9 | 3.9 | 4.6  | 3.3  |
| 6.3             | 7.5 | 4.3 | 5.4 | 4.8 | 4.0 | 4.1  | 7.3  |
| 5.5             | 6.5 | 3.6 | 6.5 | 4.8 | 3.3 | 4.5  | 7.4  |
| 3.9             | 4.5 | 4.1 | 4.5 | 6.6 | 4.4 | 6.2  | 2.7  |
| 3.6             | 4.1 | 4.9 | 4.5 | 5.2 | 4.1 | 4.8  | 1.6  |
| 4.2             | 4.0 | 6.5 | 4.1 | 4.6 | 4.6 | 4.8  | 3.2  |
| 4.3             | 3.5 | 7.1 | 4.2 | 4.8 | 3.9 | 4.6  | 3.2  |

TABLA 14. Continuación

CUARTO NIVEL

| C O L U M N A S |     |     |     |     |      |      |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|
| L 4             | L 3 | N 3 | N 4 | L 5 | N 10 | D 10 | D 7 |
| 5.7             | 4.2 | 4.3 | 6.0 | 4.4 | 2.7  | 4.5  | 5.4 |
| 4.6             | 4.7 | 5.4 | 6.0 | 5.9 | 4.1  | 4.7  | 7.0 |
| 4.3             | 5.2 | 4.5 | 4.9 | 4.5 | 4.6  | 4.9  | 7.2 |
| 3.7             | 5.2 | 5.5 | 6.3 | 1.3 | 6.0  | 6.2  | 7.6 |
| 3.9             | 2.2 | 3.5 | 3.9 | 3.6 | 6.7  | 4.6  | 5.4 |
| 4.5             | 4.8 | 3.5 | 3.7 | 2.6 | 6.3  | 4.1  | 4.3 |
| 5.5             | 4.8 | 3.4 | 3.9 | 4.5 | 5.4  | 3.5  | 3.3 |
| 5.2             | 4.1 | 3.5 | 3.5 | 4.6 | 3.7  | 2.7  | 3.0 |

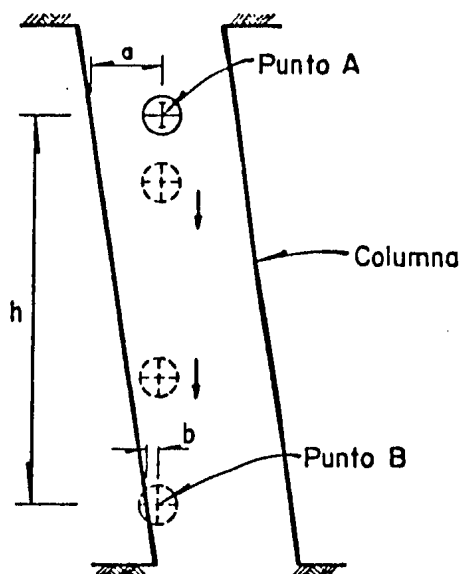


Fig 1. Ilustración del método para medir desplomes en columnas

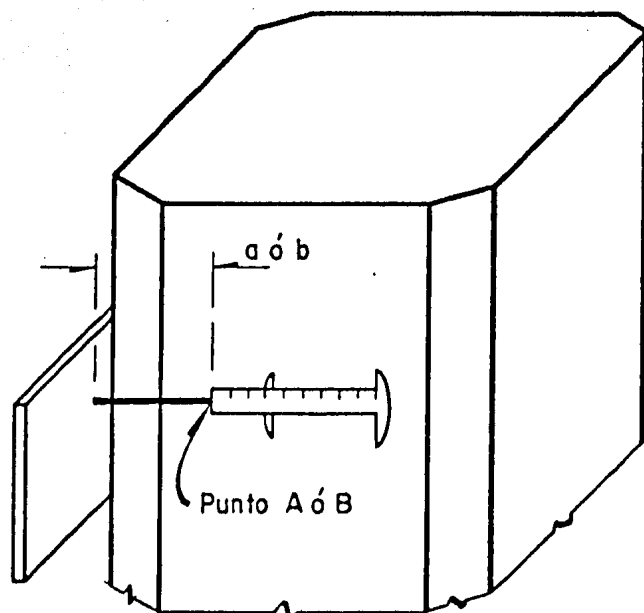


Fig 2. Utilización de una placa rígida para medir las distancias  $a$  y  $b$  evitando el problema del chaflán de las columnas



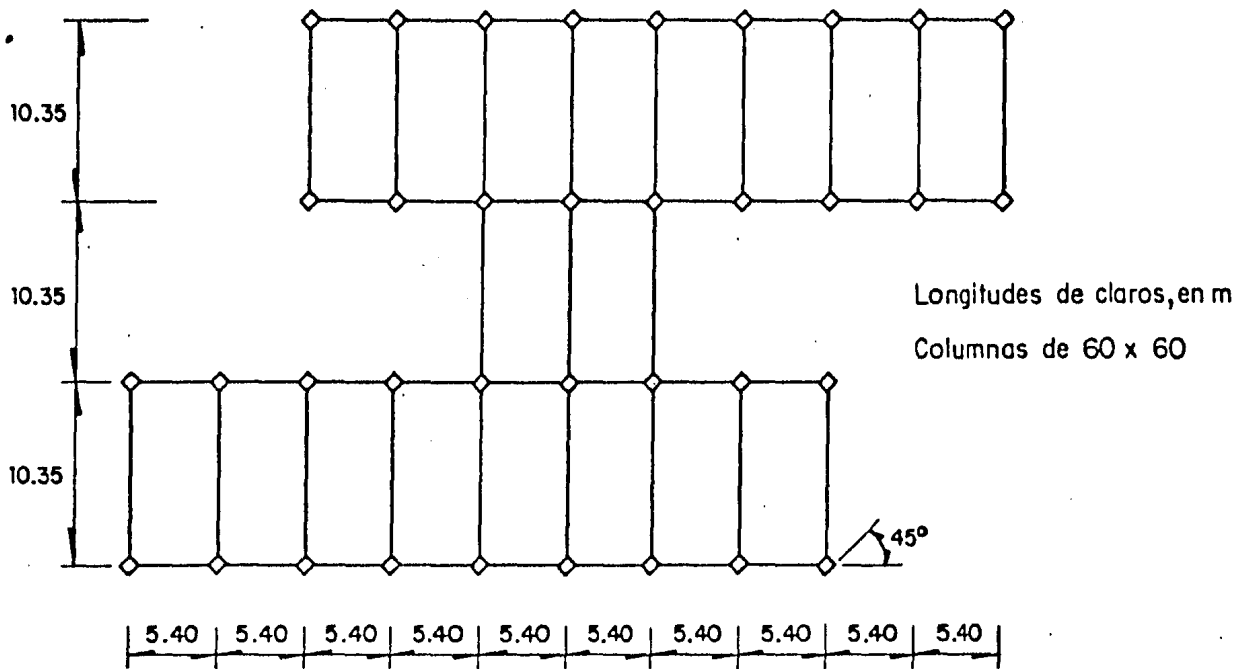


Fig 3. Croquis de la planta típica de los edificios de las oficinas administrativas de la UNAM

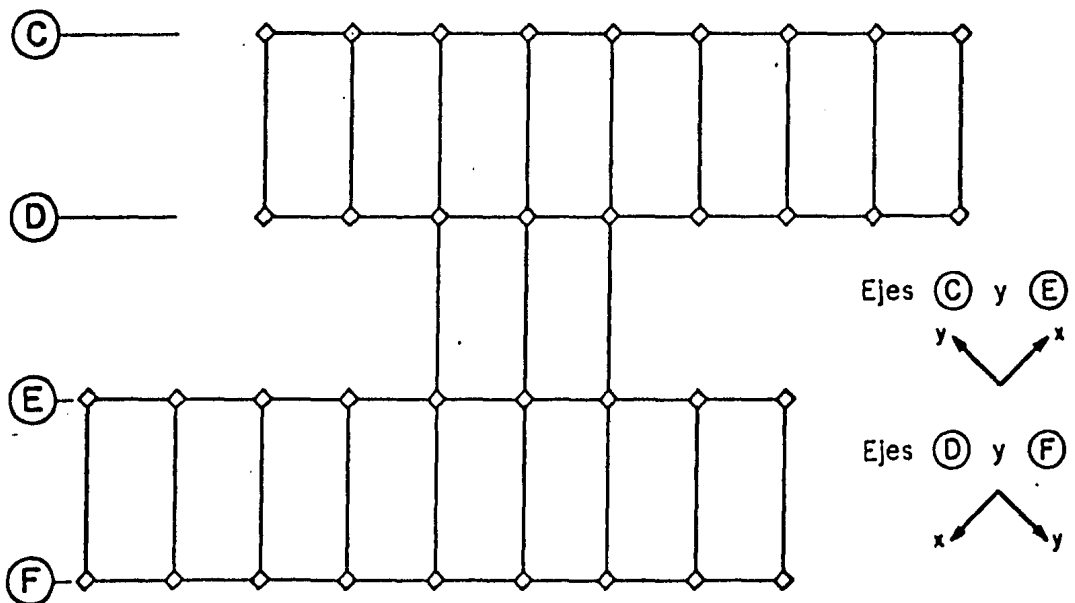


Fig 4. Convención de signos modificando los ejes de referencia según los ejes constructivos



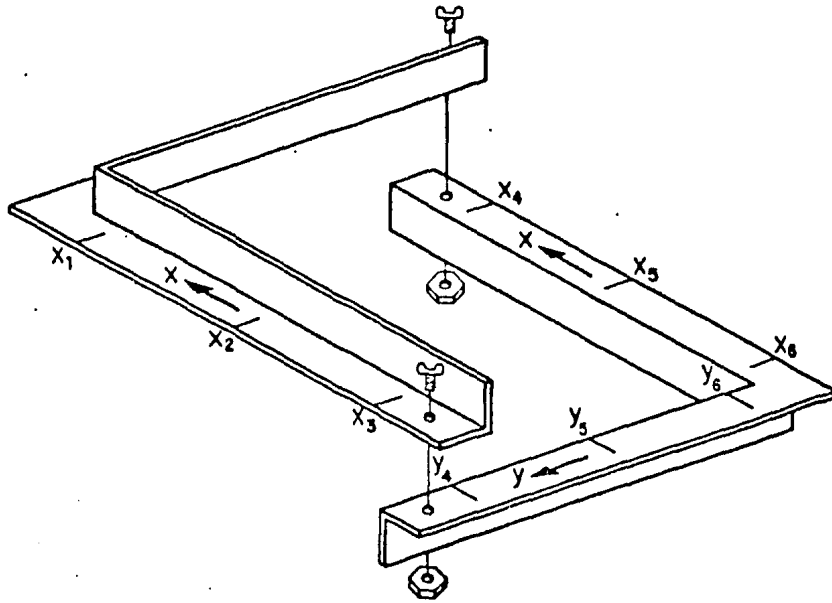


Fig 6. Marco de referencia para medición de secciones transversales

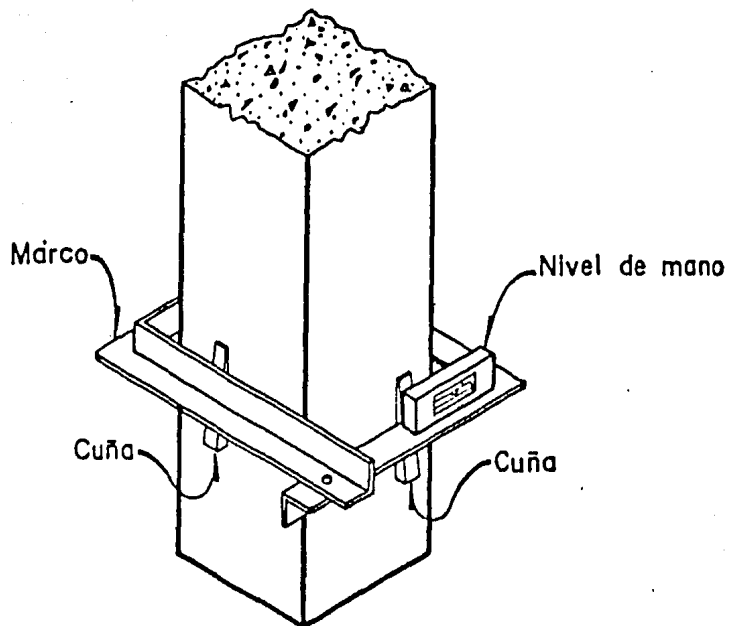


Fig 7. Colocación del marco de referencia

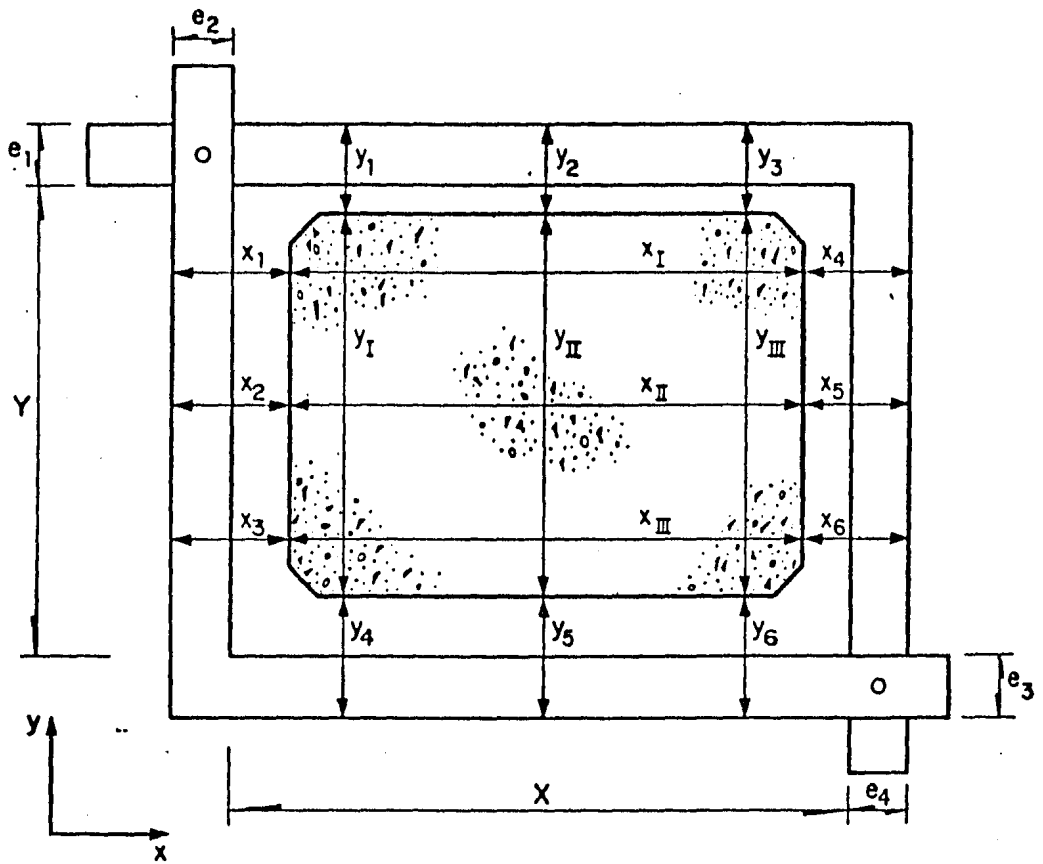
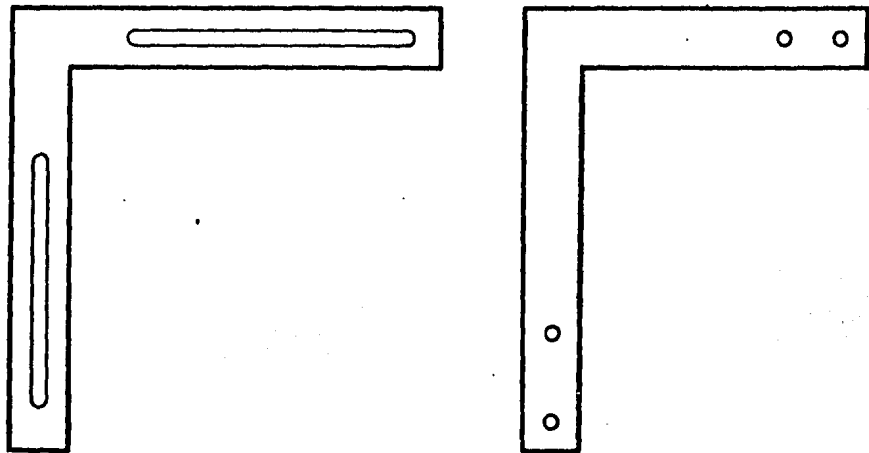


Fig 8. Longitudes involucradas en la medición de secciones transversales



a) con ranuras corridas

b) con perforaciones aisladas

Fig 9. Escuadras utilizadas para construir el marco de referencia

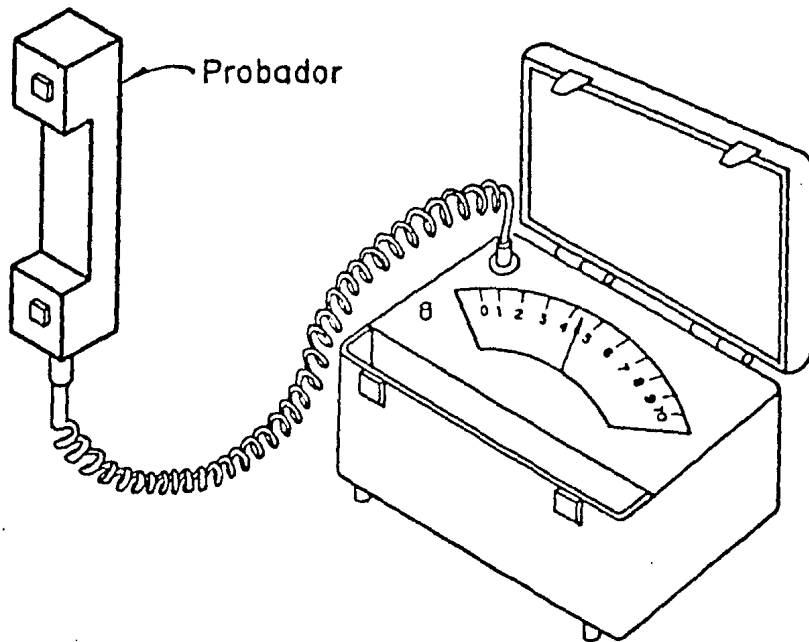


Fig 10. Medidor de recubrimientos

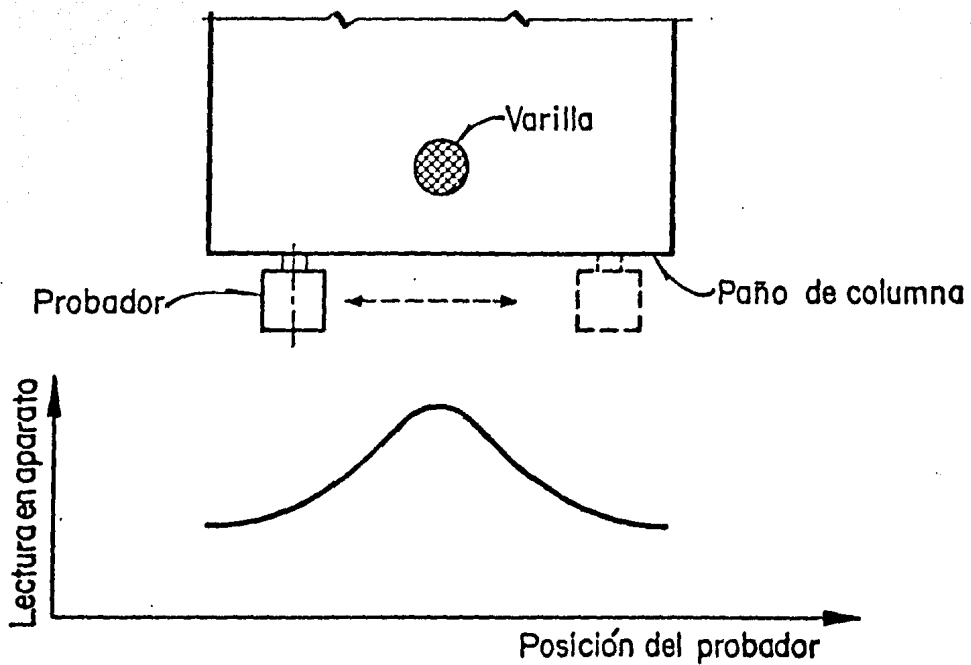


Fig 11

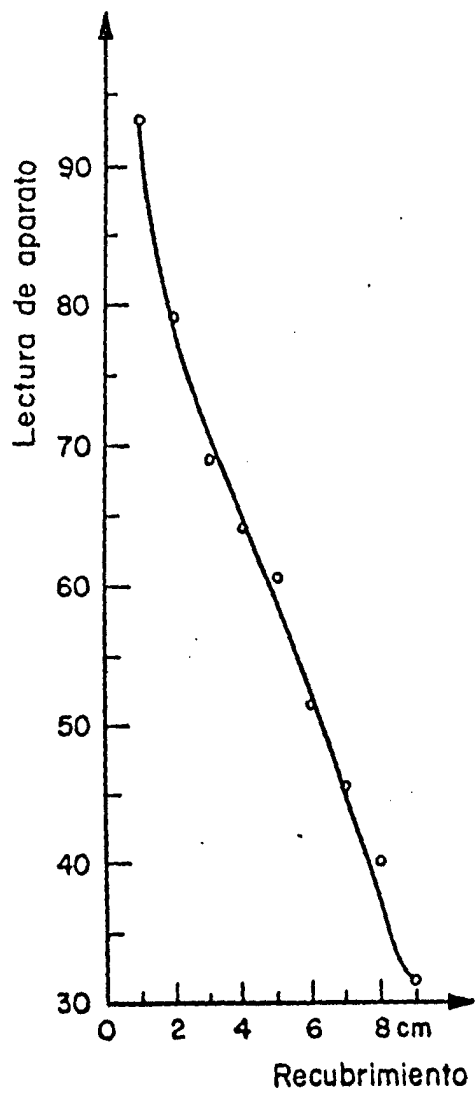


Fig 12

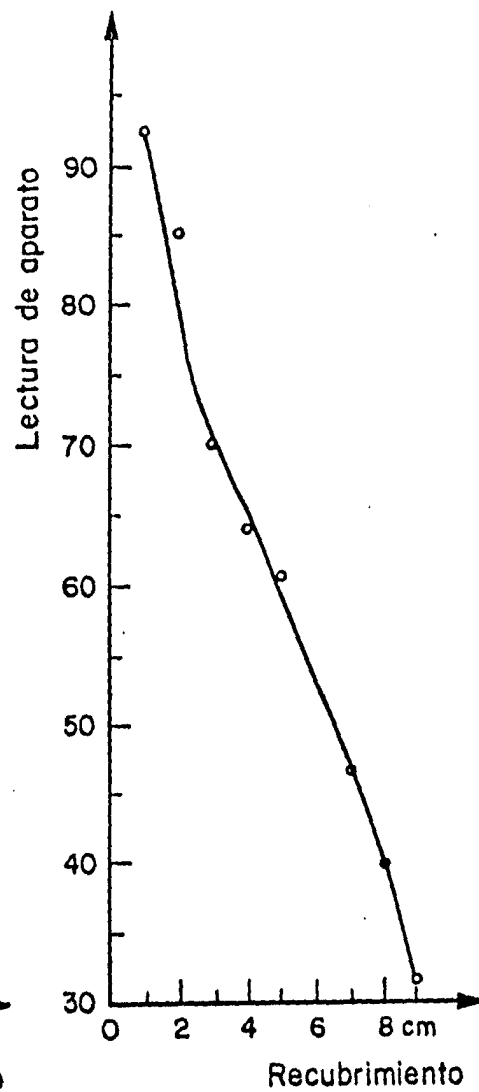


Fig 13

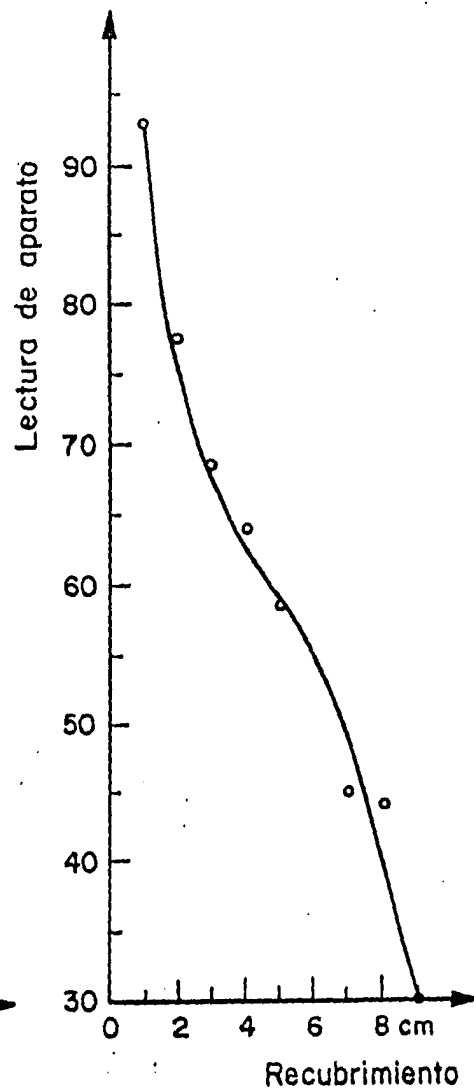


Fig 14

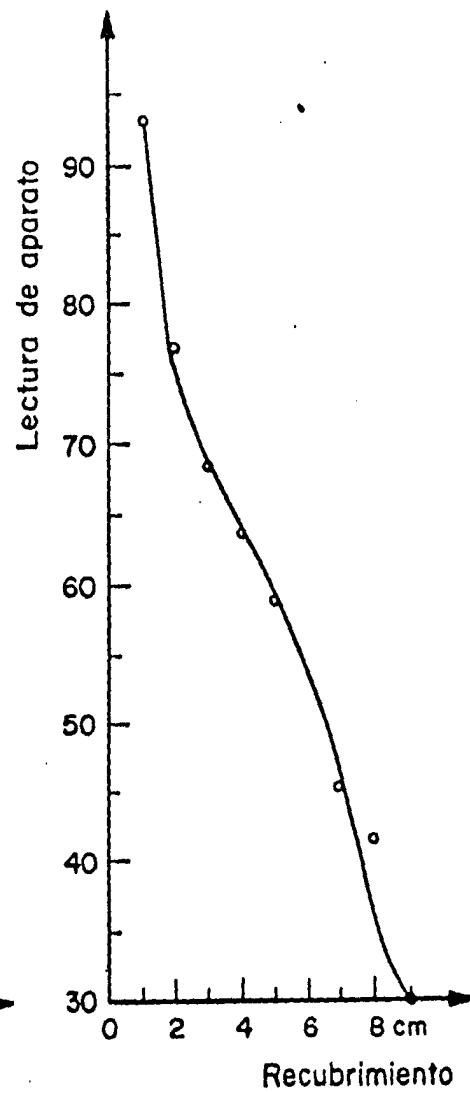


Fig 15

Curvas típicas de calibración del pacómetro

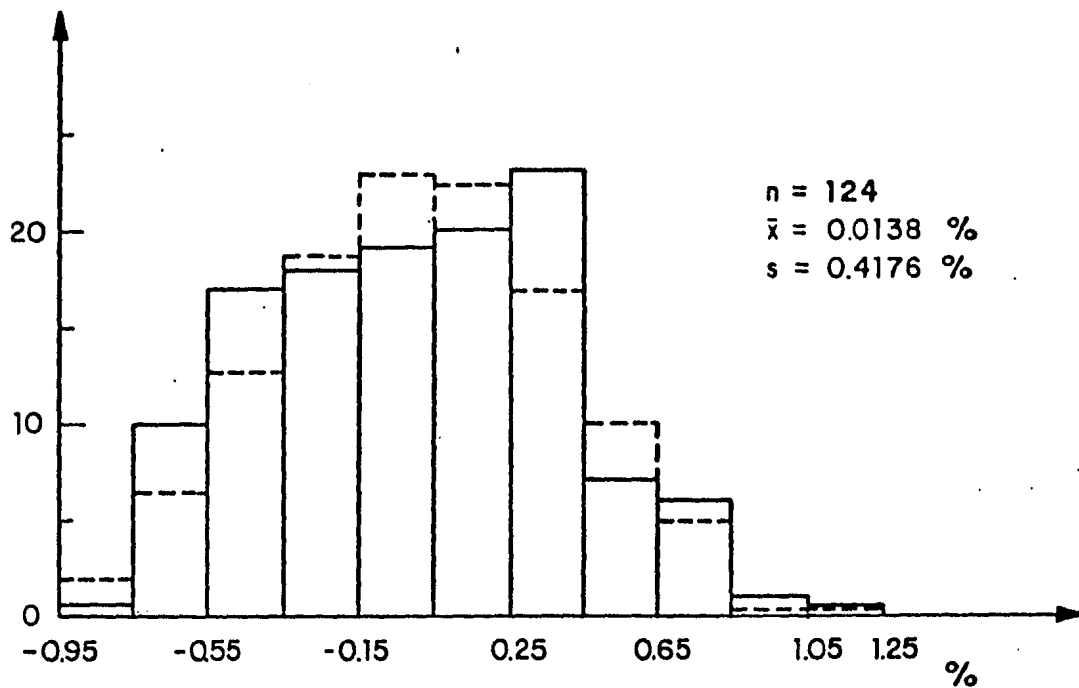


Fig 16 Histograma de los desplomes en el edificio A Primera convención de signos

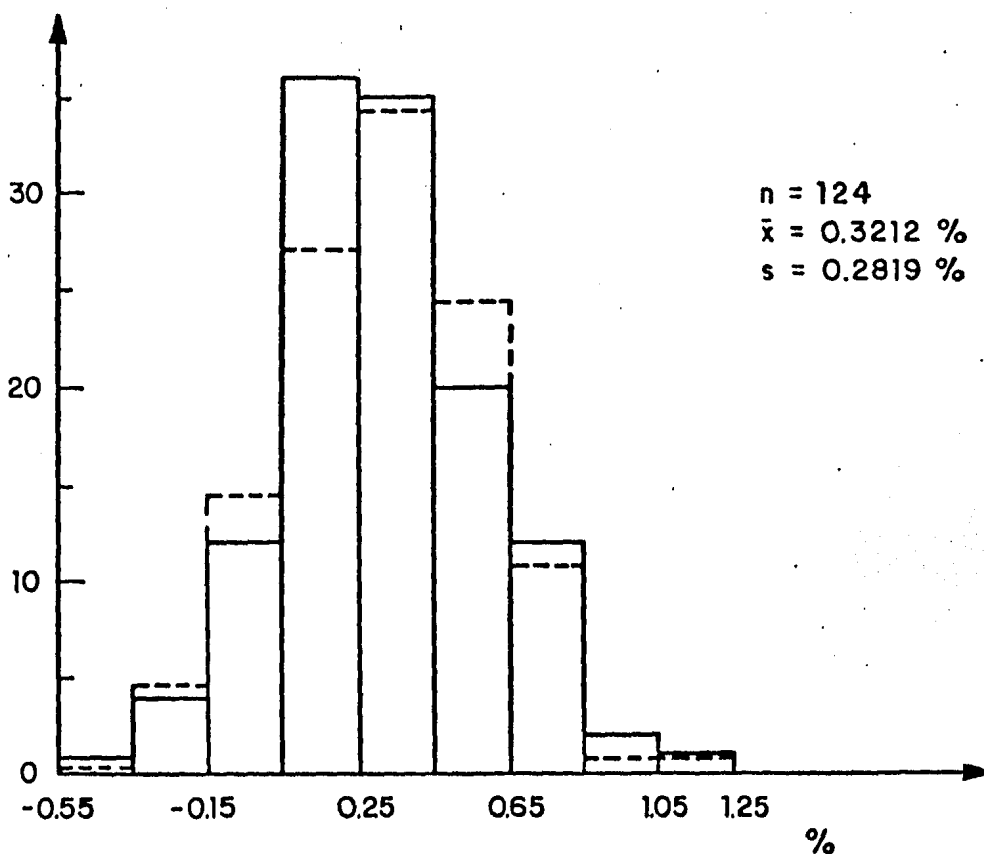


Fig 17 Histograma de los desplomes en el edificio A Segunda convención

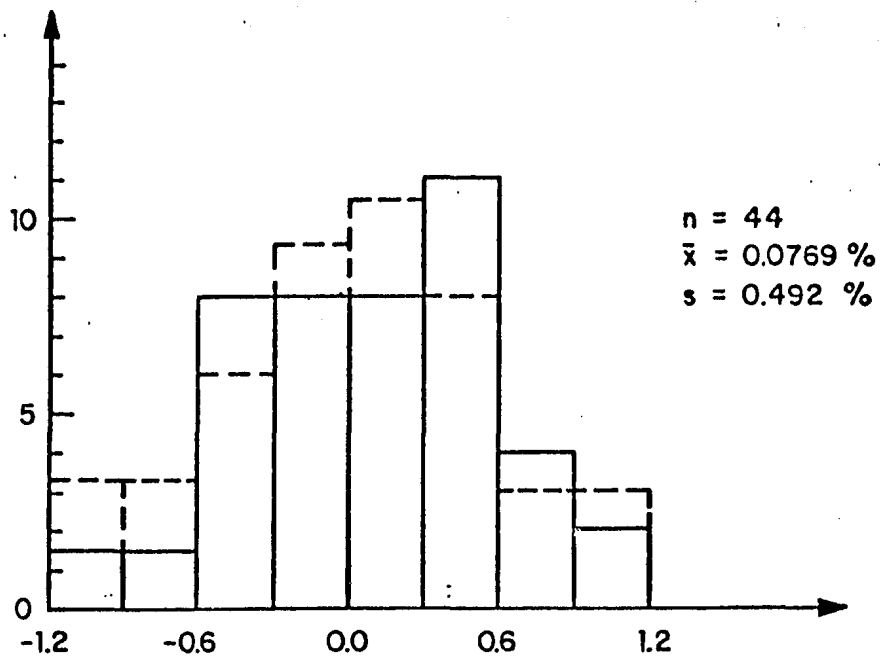


Fig 18 Histograma de los desplomes del edificio B, considerando signos algebraicos



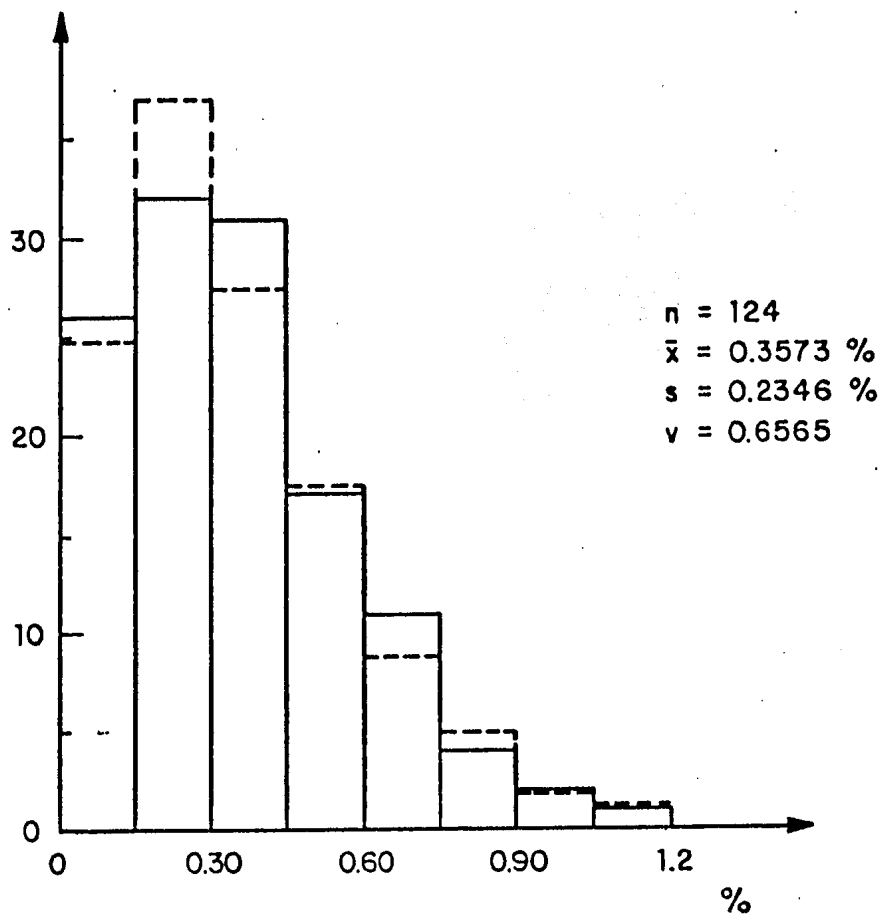


Fig 19 Histograma de los desplomes del edificio A en valor absoluto

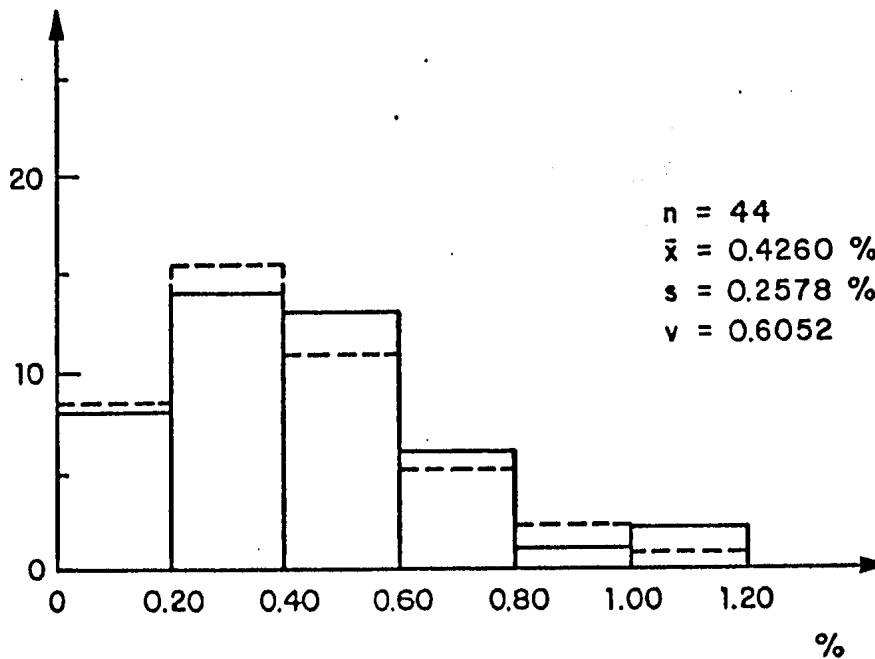
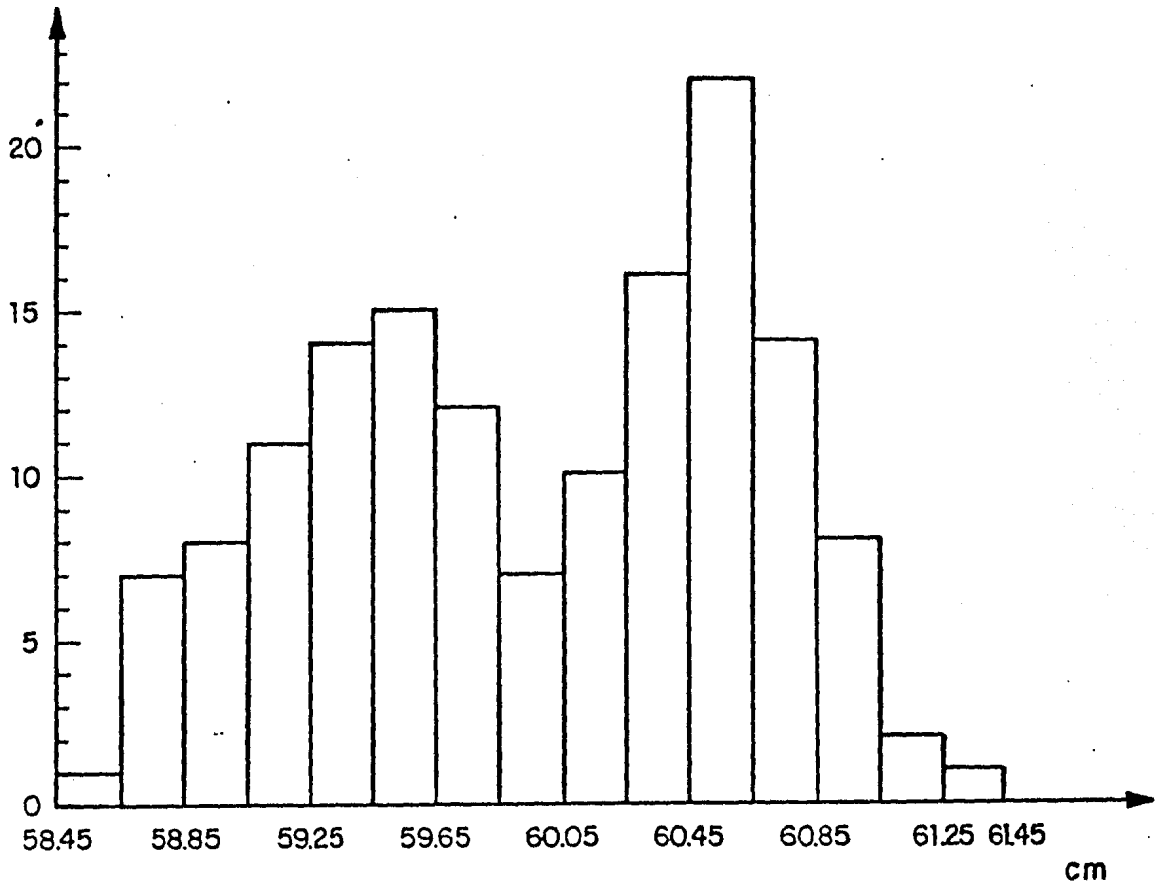
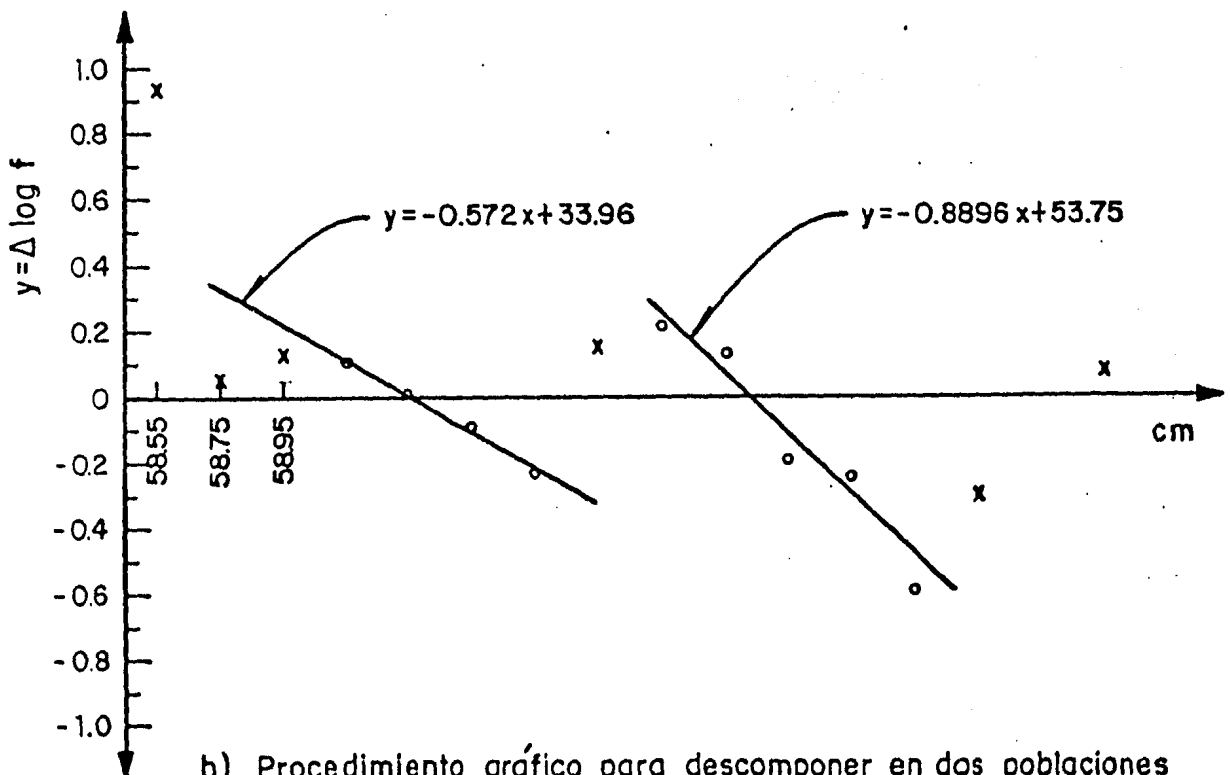


Fig 20 Histograma de los desplomes del edificio B en valor absoluto



a) Histograma bimodal



b) Procedimiento gráfico para descomponer en dos poblaciones normalmente distribuidas

Fig 21 Secciones transversales del edificio A

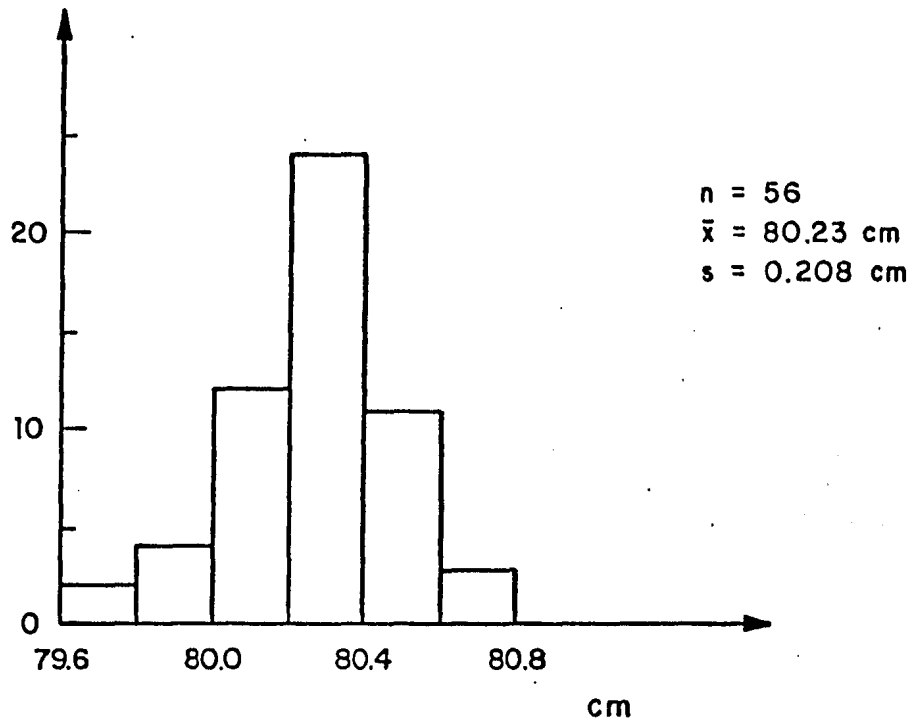


Fig 22 Histograma de las secciones transversales del edificio B (lado largo)

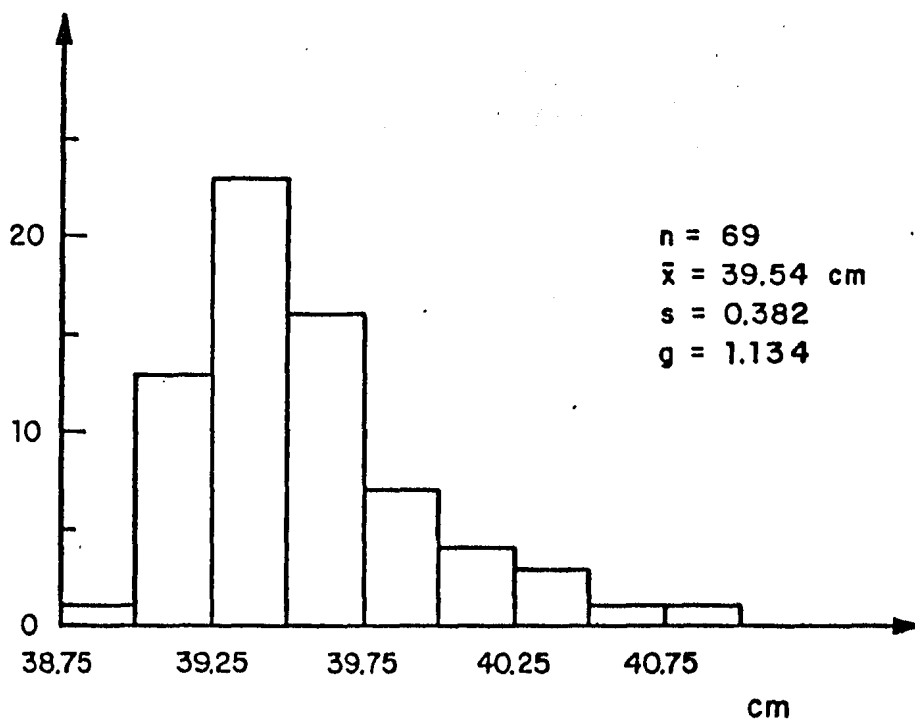


Fig 23 Histograma de las secciones transversales del edificio B (lado corto)

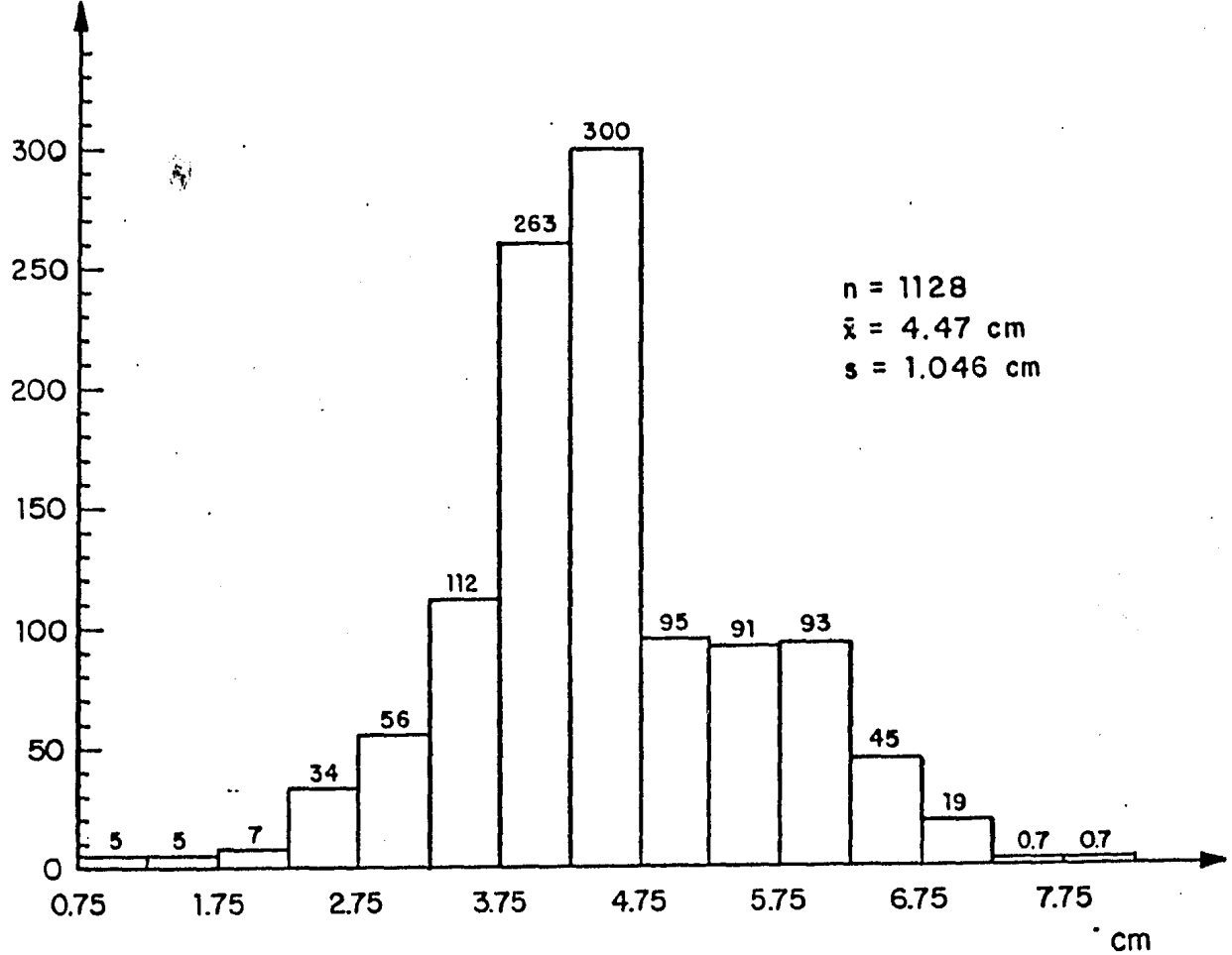


Fig 24 Histograma de recubrimientos del edificio A

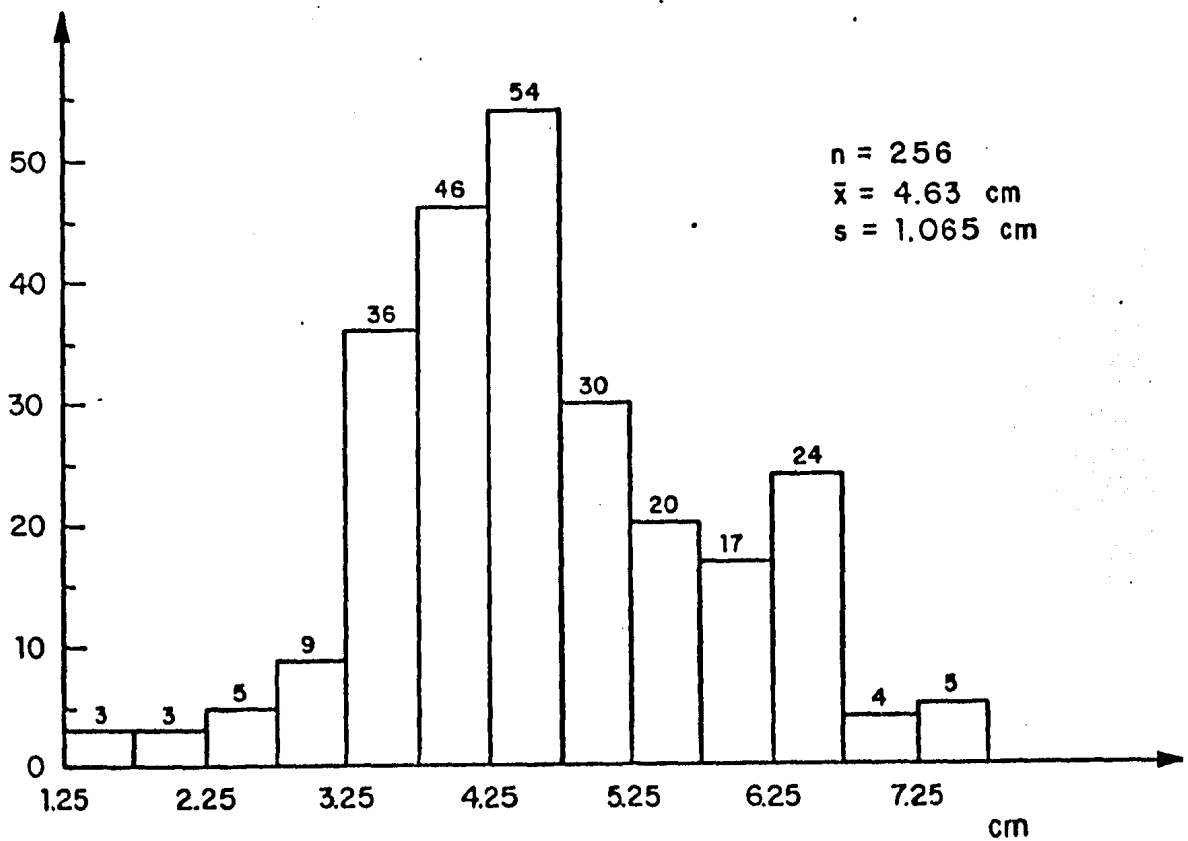


Fig 25 Histograma de recubrimientos del edificio B

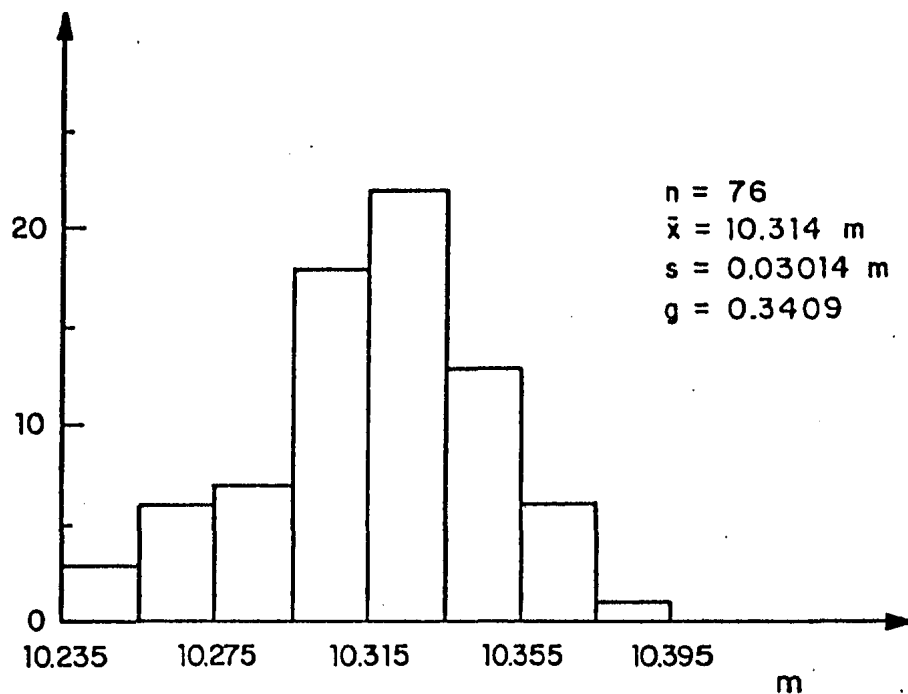
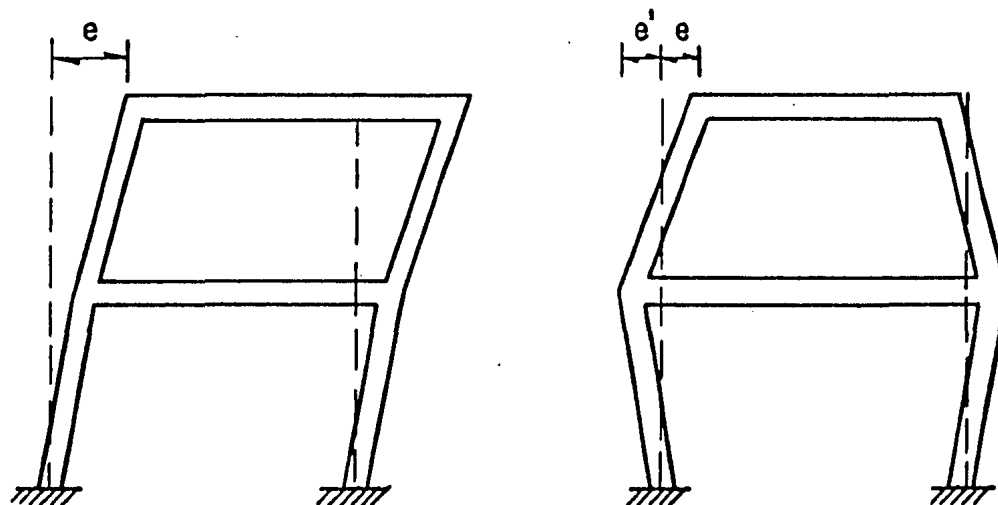


Fig 26 Histograma de los claros entre columnas (edificio A claro largo )



a) Las columnas están desplomadas en el mismo sentido ( caso desfavorable )

b) Las columnas están desplomadas en sentidos distintos ( caso favorable )

Fig 27 Efectos de los desplomes en columnas

## APENDICE

Pruebas "ji cuadrada" de bondad de ajuste para los histogramas de las figuras 16 a 26.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas "ji cuadrada" correspondientes a los histogramas de las figuras 16 a 26; se incluye una comparación de las frecuencias esperadas ( $f_e$ ) y observadas ( $f_o$ ). En el recuadro del lado derecho se registra el tipo de distribución que se está ajustando, el valor de "ji cuadrada" calculado, el número de grados de libertad  $\nu$  y el valor de "ji cuadrada" contra el que se compara, éste último corresponde a un nivel de significación del 5%.

Histograma de la fig 16

| x         | $f_e$ | $f_o$ |
|-----------|-------|-------|
| $-\infty$ |       |       |
| -0.55     | 10.97 | 11    |
|           | 12.81 | 17    |
| -0.35     | 19.29 | 18    |
| -0.15     | 23.20 | 19    |
| 0.05      | 22.28 | 20    |
| 0.25      | 17.08 | 23    |
| 0.45      | 10.45 | 7     |
| 0.65      | 7.91  | 9     |
| $\infty$  |       |       |

Distribución normal

|                    |
|--------------------|
| $\chi^2 = 5.80$    |
| $\nu = 5$          |
| $\chi^2_5 = 11.07$ |

Histograma de la fig 17

| x         | $f_e$ | $f_o$ |
|-----------|-------|-------|
| $-\infty$ |       |       |
|           | 5.86  | 6     |
| -0.15     |       |       |
|           | 14.97 | 12    |
| 0.05      |       |       |
|           | 28.78 | 36    |
| 0.25      |       |       |
|           | 34.22 | 35    |
| 0.45      |       |       |
|           | 25.06 | 20    |
| 0.65      |       |       |
|           | 15.10 | 15    |
| $\infty$  |       |       |

Distribución normal

$$\chi^2 = 3.44$$

$$v = 3$$

$$\chi^2_3 = 7.815$$

Histograma de la fig 18

| x         | $f_e$ | $f_o$ |
|-----------|-------|-------|
| $-\infty$ |       |       |
|           | 9.71  | 9.5   |
| -0.30     |       |       |
|           | 9.49  | 8     |
| 0         |       |       |
|           | 10.43 | 8     |
| 0.30      |       |       |
|           | 8.00  | 11    |
| 0.60      |       |       |
|           | 6.36  | 6     |
| $\infty$  |       |       |

Distribución normal

$$\chi^2 = 1.955$$

$$v = 2$$

$$\chi^2_2 = 5.99$$



Histograma de la fig 19

| x        | $f_e$ | $f_o$ |
|----------|-------|-------|
| 0        | 24.80 | 26    |
| 0.15     | 37.20 | 32    |
| 0.30     | 27.28 | 31    |
| 0.45     | 17.36 | 17    |
| 0.60     | 8.68  | 11    |
| 0.75     | 8.68  | 7     |
| $\infty$ |       |       |

Distribución gamma

$$\chi^2 = 2.24$$

$$v = 3$$

$$\chi^2_3 = 7.81$$

Histograma de la fig 20

| x        | $f_e$ | $f_o$ |
|----------|-------|-------|
| 0        | 8.36  | 8     |
| 0.20     | 15.4  | 14    |
| 0.40     | 11.00 | 13    |
| 0.60     | 9.24  | 9     |
| $\infty$ |       |       |

Distribución gamma

$$\chi^2 = 0.512$$

$$v = 1$$

$$\chi^2_1 = 3.84$$

Histograma de la fig 22

| x         | $f_e$ | $f_o$ |
|-----------|-------|-------|
| $-\infty$ |       |       |
|           | 7.52  | 6     |
| 80.0      | 17.27 | 12    |
| 80.2      | 19.62 | 24    |
| 80.4      | 9.48  | 11    |
| 80.6      | 2.10  | 3     |
| $\infty$  |       |       |

Distribución normal

$$\chi^2 = 3.51$$

$$v = 2$$

$$\chi^2_2 = 5.99$$

Histograma de la fig 23

| x     | $f_e$ | $f_o$ |
|-------|-------|-------|
| 38.75 | 15.59 | 14    |
| 39.25 | 20.43 | 23    |
| 39.50 | 15.93 | 16    |
| 39.75 | 9.10  | 7     |
| 40.00 | 4.42  | 4     |
| 40.25 | 3.24  | 5     |
| 41.00 |       |       |

Distribución lognormal  
trasladada

$$\chi^2 = 1.97$$

$$v = 2$$

$$\chi^2_2 = 5.99$$

Histograma de la fig 25

Distribución lognormal

| x    | $f_e$ | $f_o$ |
|------|-------|-------|
| 1.25 | 6.14  | 11    |
| 2.75 | 53.63 | 45    |
| 3.75 | 45.62 | 46    |
| 4.25 | 45.36 | 54    |
| 4.75 | 37.40 | 30    |
| 5.25 | 26.88 | 20    |
| 5.75 | 17.48 | 17    |
| 6.25 | 16.59 | 14    |
| 7.25 | 3.30  | 5     |
| 7.75 |       |       |

|                    |
|--------------------|
| $\chi^2 = 11.37$   |
| $\nu = 6$          |
| $\chi^2_6 = 12.59$ |

Histograma de la fig 26

Distribución normal

| x      | f <sub>e</sub> | f <sub>o</sub> |
|--------|----------------|----------------|
| - ∞    |                |                |
|        | 7.40           | 9              |
| 10.275 |                |                |
|        | 12.61          | 7              |
| 10.295 |                |                |
|        | 18.91          | 18             |
| 10.315 |                |                |
|        | 18.54          | 22             |
| 10.335 |                |                |
|        | 11.90          | 13             |
| 10.355 |                |                |
|        | 6.64           | 7              |
| ∞      |                |                |

|  |
|--|
| $\chi^2 = 3.69$<br><br>$v = 3$<br><br>$\chi^2_3 = 7.815$ |
|--|