

II. INVESTIGACION PRIMARIA DE LOS DAÑOS

Inmediatamente de ocurrir el sismo surge la necesidad de evaluar la magnitud de los daños y reunir todos los antecedentes necesarios para decidir las medidas de emergencia a tomar y las tareas de investigación posteriores. Todo esto requiere tiempo, el cual no abunda en esas circunstancias. Es preciso pues establecer una metodología adecuada que permita operar rápida y eficientemente.

A. Metodología para una primera inspección

Aunque cada inspección enfrenta un caso particular, siempre hay factores comunes que pueden ser aprovechados para tratar de sistematizar el proceso. La primera revisión de daños aporta una valiosa información para las decisiones posteriores y ocupa el mismo o menor tiempo si ella está sujeta a un programa claro y racional en vez de ser improvisada.

Las instrucciones que se incluyen pretenden servir de orientación al personal de inspección a cargo de reunir los datos que servirán de base para la intervención posterior que será realizada por profesionales de mayor experiencia y con más conocimiento de los aspectos teóricos, de las técnicas constructivas y de los reglamentos existentes, quienes son los que han de sintetizar la información y tomar las decisiones de acuerdo con los recursos disponibles. A continuación se destacan algunos aspectos que se consideran más importantes aunque, obviamente, queda un amplio campo para instrucciones especiales de acuerdo con las circunstancias de cada caso.

Es básico y necesario que los inspectores o revisores sean competentes en la materia y tengan instrucciones claras sobre qué tienen que observar y cómo producir su informe. Además, es muy importante que se delimiten las funciones de estos investigadores, tanto en el sentido geográfico o de ubicación como en su autoridad para dar instrucciones o tomar decisiones respecto a los daños inspeccionados.

La información reunida debe ser presentada en forma simple, completa y uniforme, lo que hace necesario en primer lugar uniformar la terminología. Son usuales en estos casos las expresiones y su significado que se ofrecen a continuación.

Daño: alteración de los materiales o elementos de una construcción con una disminución significativa de la seguridad de la estructura o pérdida de su funcionalidad.

Desacierto, equivocación: no acertar; obrar sin aciertos; tomar una cosa por otra; dar origen a consecuencias inevitables (causas conscientes, tolerables y previsibles) o a consecuencias imprevisibles (sismo mayor).

Falta, yerro: delito cometido por ignorancia o malicia; defecto en el obrar; desprovisto de rectitud; imperfección; deficiencia; incumplimiento; omisión; olvido; falla; hay diferencias entre la construcción existente y la que debería haberse construido, según las normas y prácticas vigentes.

Fisura, grieta: partiduras o hendiduras en un elemento constructivo. Se debe indicar su extensión y el peligro que representan para el comportamiento de la estructura.

Colapso: destrucción parcial o total del elemento que significa la imposibilidad total de cumplir su función estructural. En el colapso parcial el elemento no abandona significativamente su posición original y no pierde la totalidad de su capacidad de servicio.

1. Posibles causas de los daños

Una forma de sistematizar la investigación de daños está en el análisis de la estructura según los diferentes factores que pueden explicar el daño. La siguiente lista de factores incluye problemas propios del proyecto, de la ejecución y del uso de la estructura. Será conveniente revisar y adaptar esta lista al caso específico en estudio.

a) Errores de concepción

- i) Tipo estructural inadecuado con respecto al suelo de fundación: no se hizo inspección previa del suelo; el diseño de las fundaciones es equivocado; hay discordancia entre la rigidez estructural y el tipo de suelo.
- ii) Materiales mal elegidos: por rigidez; por duración; por peso; por incompatibilidad con otros materiales.
- iii) Mala disposición de elementos resistentes: anclajes y empalmes mal dispuestos; ángulos entrantes y variaciones bruscas de sección; falta de secciones resistentes necesarias en alguna dirección.
- iv) Disposiciones equivocadas de elementos no resistentes: ubicación no prevista para los elementos no resistentes; inestabilidad de los elementos no resistentes.
- v) Protección insuficiente de los elementos resistentes: recubrimiento insuficiente; desagües y drenajes mal dispuestos o insuficientes.
- vi) Equivocaciones o errores en la evaluación de solicitaciones: desacuerdo en la estimación de las sobrecargas; efectos de retracción y fluencia no considerados; tensiones tangenciales no previstas.
- vii) Equivocaciones o errores en el proceso de cálculo.
- viii) Mala transmisión de la idea de proyecto: defectos en el dibujo; especificaciones vagas e incompletas.

b) Defectos de los materiales de construcción

- i) Propiedades y características: resistencias mecánicas; resistencias al ambiente y al uso.
- ii) Defectos del material: impurezas; sensibilidad del material a errores o equivocaciones; incompatibilidad con otros materiales; fragilidad.

c) Defectos de ejecución

- i) Calidad geométrica: desniveles y desplomes; deformaciones y desplazamientos.
- ii) Equipos, herramientas y maquinarias: rendimientos en desacuerdo con el proceso previsto; incumplimiento de tolerancias.
- iii) Errores de operación: incumplimiento de especificaciones; defectos en la compactación y curados de los hormigones; mala confección de las juntas de hormigonado, desencofrados prematuros o bruscos; armaduras sucias o mal ubicadas; mala confección de las uniones clavadas en madera; soldaduras mal confeccionadas.

d) Uso de la estructura

- i) Alteraciones de la estructura: eliminación o agregado de elementos; alteración de secciones; cambio de destino; falta de mantenimiento de la estructura; introducción de elementos que degradan la estructura o no estaban previstos en el diseño original (corrosión, erosión).
- ii) Alteraciones de contornos: excavaciones; nuevas construcciones.

2. Antecedentes de la estructura

Siempre que se investiga una estructura es conveniente reunir el mayor número posible de antecedentes históricos de la construcción, para lo cual se propone la recopilación de algunos datos mediante un cuestionario, que pueden ser necesarios según los diferentes factores que se analicen.

Este cuestionario está destinado a recoger la opinión de profesionales y las observaciones de los usuarios. En cada caso se suprimirán los datos que se consideren innecesarios.

a) Diseño

- i) ¿Quiénes diseñaron la obra? (Ingeniero, arquitecto, asesores.)
- ii) ¿Qué investigaciones y antecedentes previos de diseños se tuvieron en cuenta?
- iii) ¿Qué dificultades hubo en el diseño?
- iv) ¿Es posible obtener la memoria de cálculo?
- v) ¿Se pueden obtener los planos estructurales, arquitectónicos, de instalaciones y de detalles?
- vi) ¿Se tienen las especificaciones técnicas?
- vii) ¿Qué uso tenía el terreno antes de la construcción?
- viii) ¿Qué origen atribuyen los diseñadores a los daños investigados?

b) Construcción

- i) ¿Quién construyó la obra?
- ii) ¿En qué fecha y época del año?
- iii) ¿Quién inspeccionó los trabajos de construcción?
- iv) ¿Hay antecedentes de la inspección? ¿Libro de inspección?
- v) ¿Se hicieron trabajos de investigación o de control de laboratorio durante la construcción? (Resultados.)
- vi) ¿Se cursaron informes durante la construcción?
- vii) ¿Hubo programas de construcción?
- viii) ¿Hubo paralizaciones durante la construcción y cuáles fueron sus causas?
- ix) ¿Con qué método o sistema se construyó?
- x) ¿Qué antecedentes hay del hormigón? (Confección, transporte, vaciado, compactación y curado; juntas de hormigonado; encofrados; origen y tipo de materiales.)
- xi) ¿De qué tipo y calidad es el hierro usado para la armadura?
- xii) ¿Cómo se instalaron los servicios de agua potable, electricidad, gas y alcantarillado? (En especial con relación a la estructura.)
- xiii) Antecedentes similares para otros materiales.
- xiv) ¿Hubo recepción final? ¿Fué recibida por el organismo competente? ¿Hay recepciones parciales en las diferentes instalaciones de servicios?

c) Usuarios

- i) ¿Qué problemas especiales se han tenido durante el uso del edificio? ¿Se presentaron quejas oportunamente a quien correspondía?
- ii) ¿Ha habido algún daño por sismos anteriores u otros desastres? ¿Cuáles fueron esos daños?
- iii) ¿Se hicieron reparaciones controladas? ¿Se hizo un simple recubrimiento de los daños? (Antecedentes de estos trabajos.)
- iv) ¿Existían grietas antes del sismo? ¿Aumentaron con el sismo? ¿Han seguido creciendo?
- v) ¿Cómo es el drenaje exterior? ¿Hay humedades exteriores?

- vi) ¿Se ha notado variación en la forma del edificio? (Plomos y niveles.)
- vii) ¿Cómo funciona la evacuación de aguas servidas? ¿Se han observado roturas de las cloacas?
- viii) ¿Se han hecho ampliaciones o mejoramientos en el edificio?
- ix) ¿Se han abierto vanos? ¿Se han demolido pilares, cadenas u otros elementos estructurales?

3. Encuesta de daños

Las encuestas o censos de daños son informes escritos, sistemáticos y codificados de las condiciones observadas en los edificios. Esta reunión de datos debe ser fácil de utilizar en la evaluación de daños, estudio de costos de reparación y clasificación de las instrucciones a los operadores en terreno. El encuestador debe completar su trabajo y croquis de detalles y fotografías si ello es posible. Los dos sistemas que se describen han sido utilizados en Chile para reunir ordenadamente los datos de edificios dañados por sismos.

a) Encuesta sobre planos

La notación que aquí se describe es de gran utilidad para registrar los daños sobre planos de construcción. Este sistema (propuesto por el Ing. Santiago Arias) fue utilizado en la revisión de edificios de poblaciones de la Corporación de la Vivienda de Chile después del sismo de 1965. En este caso se emplearon las notaciones para individualizar los deterioros sobre reducciones del plano de planta de la vivienda. El elemento básico de la notación es una flecha, como la que se muestra en la figura 5, la que permite señalar el centro geométrico de la falla. Los números identifican los sectores donde se anotan la información correspondiente a los distintos factores utilizando la nomenclatura de mediciones que se define más adelante.

Sector 1): Antecedentes del elemento o zona dañada y material

i) Tipo de material y elemento

- A = albañilería de ladrillo hecho a mano
- B = albañilería de bloque de mortero
- M = albañilería de ladrillo hecho a máquina
- K = albañilería de ladrillo sílico-calcáreo
- C = cadena de hormigón armado
- D = dintel de hormigón armado
- L = losa de hormigón armado
- V = viga de hormigón armado
- P = pilar de hormigón armado
- H = muro de hormigón armado
- S = sobrecimiento
- F = fundación

ii) Forma del material

U = hurco

Y = lleno, macizo

Z = simple

Ø = armado

iii) Claves para expresar combinaciones

Los símbolos de elementos y forma que se usan combinados se separan con un guión horizontal. Ejemplo:

M-U = muros de albañilería de ladrillo hueco hecho a máquina.

El encuentro de dos materiales se marca con las dos letras claves correspondientes, indicando si los materiales están a izquierda y derecha o arriba y abajo. Ejemplo:

PBØ = separación entre un pilar de hormigón armado y una albañilería de bloques armada. El pilar está a la izquierda y la albañilería a la derecha.

Un asterisco (*) indica continuidad de la falla entre elementos diferentes. Ejemplo:

C * = falla en la albañilería de ladrillo hecho a mano, que continúa
A por la cadena, que está arriba.

Sector 2): Intensidad o grado de la falla

f = fisura o grieta superficial del revestimiento

I = fisura o grieta que no atraviesa al elemento

II = fisura o grieta que atraviesa al elemento

III = daño mayor

Se anota daño mayor cuando la suma de los largos de las fisuras o grietas es superior al 70% del perímetro del elemento. En la computación de la longitud de grietas no se incluyen las que separan al elemento de los que lo circundan.

Sector 3): Esquema de la falla

Se dibuja aquí un esquema o croquis simple del daño.

Sector 4): Dimensiones de la falla

Según corresponde se indican las superficies o longitudes y las aberturas de los daños, en las posiciones indicadas en el esquema dibujado en el sector 3). Las dimensiones de la abertura de las grietas se escriben entre paréntesis y se expresan en mm.

Sector 5): Observaciones

Se coloca en el sector el número correspondiente a las observaciones que se anotan al pie.

Sector 6): Solución estructural

Este sector está reservado al responsable del diseño de la reparación. Tal como se muestra en el figura 6, el proyectista indica aquí con una clave la solución adoptada. En el ejemplo del lado izquierdo, se señala una grieta inclinada que no atraviesa la albañilería de ladrillo hecho a mano. Esta grieta tiene una longitud de 1,5 m y una abertura de 0,1 mm. La observación que lleva el No.1 expresa que el muro está humedo. En el ejemplo de arriba, se muestra una separación entre el pilar y la cadena. La observación No. 2 indica que hay oxidación visible de la armadura. El ejemplo de la parte inferior se refiere a un muro de hormigón armado con dos grietas que lo atraviesan. La grieta es de 2 m de largo y tiene una abertura de 0,2 mm, mientras que la horizontal tiene 1,5 m y su abertura es de 0,3 mm. No hay observaciones.

El proyectista ha marcado en los círculos del sector 6) que se apliquen los sistemas de reparación 5 y 12 especificados por separado.

b) Planillas de encuesta de daños

Muchas veces es más simple y efectivo trabajar sobre fichas metodológicas, con el objeto de computar más fácilmente los daños. Esto se puede hacer por medio de un formulario en el que se anotan sistemáticamente las observaciones de acuerdo con una simple nomenclatura codificada 2/.

Nomenclatura de mediciones

Significado de los símbolos:

A = ancho total;

A_n = suma de los subanchos $a_1 + a_2 + \dots + a_n$ o el ancho total de n elementos;

a = subanchos;

b = ancho de una escuadría;

c = curvatura en horizontal;

d = diagonal;

e = descuadre;

f = flecha o curvatura en vertical;

H = altura total;

H_n = suma de los subaltos $h_1 + h_2 + \dots + h_n$ o la altura total de n elementos;

h = subaltos;

h_s = subalto del borde superior, con referencia al nivel general

2/ Sistema propuesto por el Prof. Alberto Vives, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Chile.

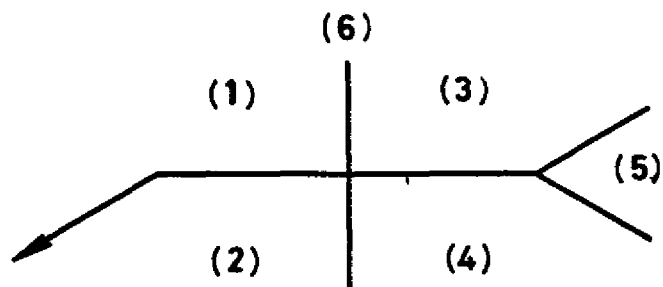


Fig. 5. FLECHA INDICANDO EL CENTRO GEOMETRICO DE UNA FALLA SOBRE PLANOS DE CONSTRUCCION

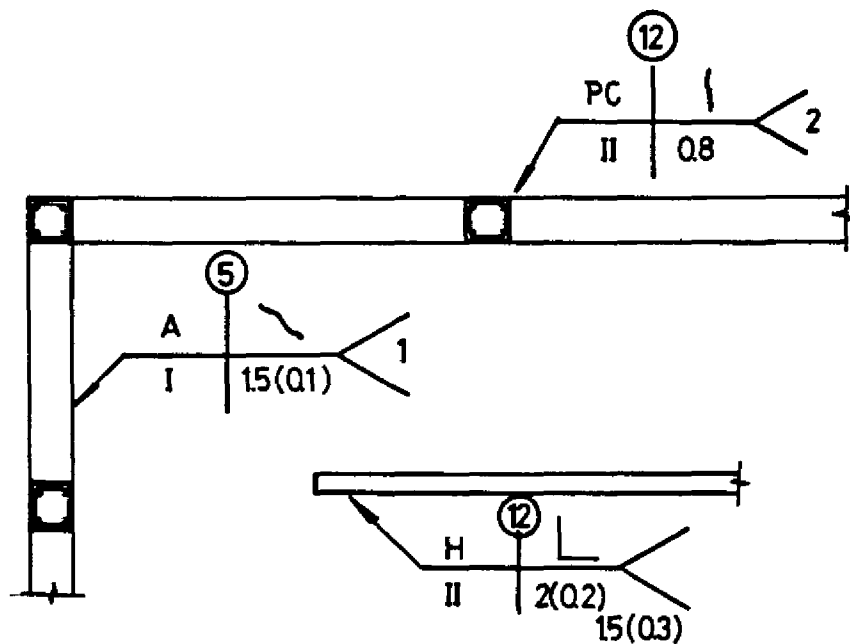


Fig. 6. ENCUESTA DE DAÑOS EN PLANO DE PLANTA

h_i = subalto del borde inferior, con relación al nivel general;
 i = irregularidad brusca;
 j = dimensión de la junta entre dos elementos;
 L = largo total;
 L_n = suma de los sublargos $l_1 + l_2 + \dots l_n$ o el largo total de n elementos;
 l = sublargos;
 N = nivel general especificado;
 n = desnivel con relación al nivel general especificado;
 p = desplome;
 r = radio de desplazamiento de un cruce de ejes;
 s = separación entre enfierraduras y moldaje;
 t = tolerancia especificada;
 x = distancia de un punto a un eje perpendicular a la dirección de acceso;
 d_x = desplazamiento de un eje perpendicular a la dirección de acceso;
 $x_I x_{II}$ = distancia de un punto al eje I y al eje II;
 Y = distancia de un punto a un eje paralelo a la dirección de acceso;
 d_Y = desplazamiento de un eje paralelo a la dirección de acceso;
 $Y_\alpha Y_\beta$ = distancia de puntos al eje α y al eje β ;
 Z = distancia entre dos puntos cualesquiera;
 Z_{1-2} = distancia entre los puntos 1 y 2;
 $\emptyset$ = diámetro;
 = espesor.

Simbología

- 0, 1/2, 1 Estos signos (cero, un medio y uno) indican los lugares del elemento en que se está haciendo la observación, como se muestra en (A) de la figura 7. Cuando se necesitan mayores detalles se toman puntos intermedios, como se muestra en (B) de la misma figura. Se toma como referencia la ubicación y dirección del acceso principal al edificio, como se muestra en (C) y (D) de la misma figura, usando sentidos de notación de izquierda a derecha, de anterior a posterior o de abajo a arriba.
- +, - Se marca como positivo (signo de más) el defecto que aumenta la medida original, y se considera negativo (signo de menos) el defecto que disminuye la medida original. Esto es aplicable, entre otros, a desplomes, desniveles, flechas, curvaturas, descuadres e irregularidades bruscas. En otro sentido, será positiva toda referencia a una altura sobre el nivel general.

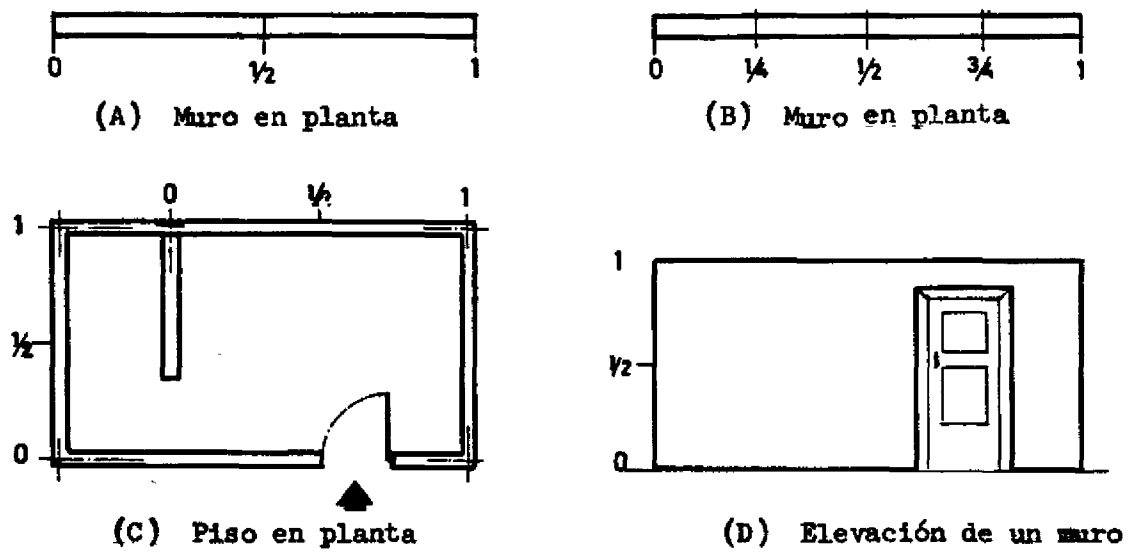


Fig. 7. DETALLE DE NOTACION

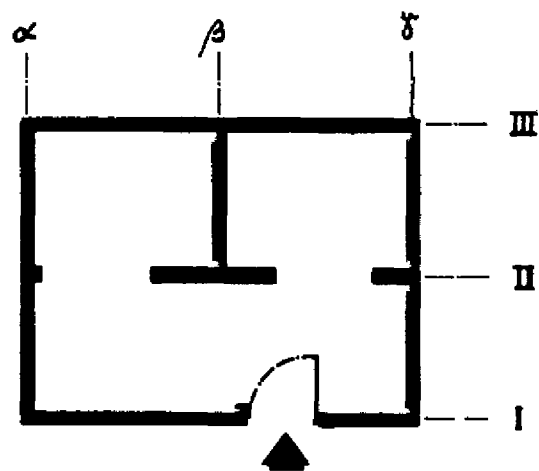


Fig. 8. EJES CARTESIANOS PARA UBICAR ELEMENTOS

Coordenadas en la planta del edificio

Los ejes α , β , γ , son paralelos a la dirección del acceso principal y los ejes I, II y III son transversales a los anteriores. Un muro se ubicará, en la forma tradicional, I (α , β), cuando está ubicado en el eje I y va desde el eje α al eje β (véase la Fig. 8).

Las caras de los elementos serán llamadas: I = izquierda; D = derecha; A = anterior, y P = posterior, según sea su posición con respecto a la puerta de acceso principal (véase la Fig. 9).

Fichas de notación

La ficha de mediciones tiene como elemento básico un cuadrado con sus dos diagonales. Las mediciones se anotan en los cuadrantes, ocupando el cuadrante superior las mediciones de la cara superior o posterior del elemento, y el cuadrante inferior las de la cara inferior o anterior. Sobre las diagonales se anotan medidas de las diagonales del elemento, y en el punto de cruce de diagonales se anotan valores del centro de la sección estudiada.

En la ficha se indica el elemento estudiado, el lugar o nivel en que se ha medido y, en el encabezamiento, se indica la nomenclatura correspondiente y la medida de especificación, como se muestra en la Fig. 10. En ésta se indican las mediciones realizadas en un muro del eje α , desde I hasta II, y se están midiendo subanchos "a", que fueron especificados de 30 cm. La medida se ha realizado en el punto 0 y los valores son de 22 cm en la parte superior y 32 cm en la inferior.

La ficha de mediciones que se reproduce en la Fig. 11 ha servido para resumir las observaciones sobre ubicación de las armaduras en las losas de hormigón armado de un edificio. Además, se incluyen las medidas de las mallas de armadura en un muro. La ficha incluye los antecedentes de inspección, un croquis que permite individualizar los elementos estudiados así como las observaciones hechas durante la investigación. Los valores anotados en la ficha se pueden resumir fácilmente para un control estadístico o para hacer un gráfico de barras.

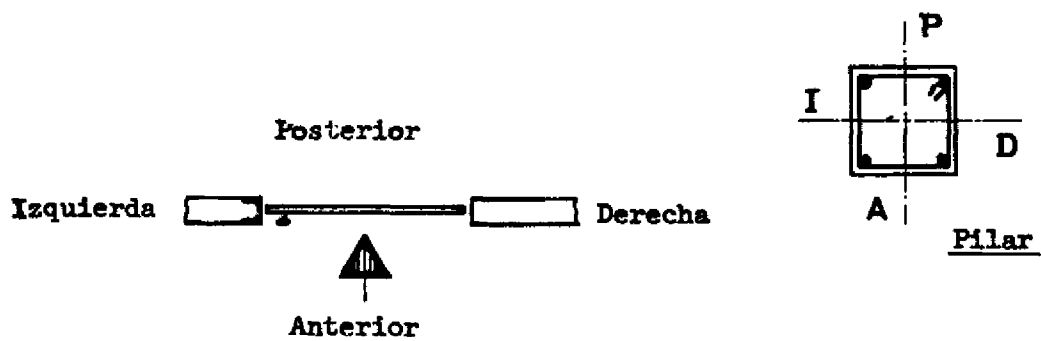


Fig. 9. NOMENCLATURA DE LAS CARAS DEL ELEMENTO

Elementos	Lugar de medición	a=30	
$\alpha(I-II)$	0	22 32	

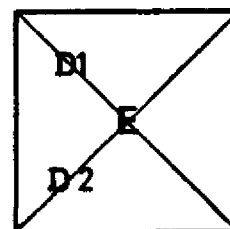


Fig. 10. PRINCIPIO DE LA FICHA METODOLOGICA DE MEDICIONES

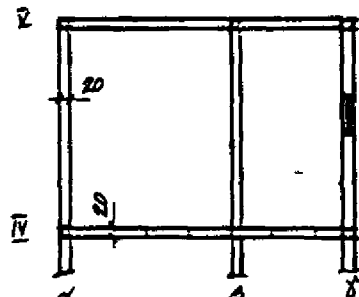
FICHA DE MEDICIONES				Nº 1 de 7		ARMADURAS LOSAS y MUROS	
ELEMENTO	LUGAR DE MEDICION	S = 2,0	S = 2,0			DISTANCIA A ENCOFRADO	
$H-N-A$	0	23 18 05				OBRA <u>San Pedro</u>	
	$1/2$	15 06 03				LUGAR <u>Santiago</u>	
						INSPECTOR <u>S.R.I.</u>	
	1	30 05 21				FECHA <u>17/4/1970</u>	
$N(\alpha\beta)$	0		10 03 00				
	$1/2$		18 08 03				
	1		14 20 10				
$\beta(N-V)$	0		25 14 17				
	$1/2$		25 14 13			OBSERVACIONES - Armaduras oxidadas - Defectos de amarras - No hay separadores de moldaje - El edificio medido es el No. 17 - Losa coordinadas según $\alpha \rightarrow$ - Muros abajo - arriba.	

Fig. 11. FICHA DE MEDICIONES

B. Investigación de los daños en el hormigón simple

El hormigón simple es una reconstitución de la roca mediante una mezcla de áridos conglomerados con una pasta de agua y cemento hidráulico. Ante una sollicitación sísmica, las características de este material de construcción se ponen de manifiesto: baja resistencia a tracción y corte, rigidez proporcional a su resistencia de compresión y acumulación de tensiones por el proceso de hidratación o los efectos higrotérmicos. Es por ello que el hormigón simple se usa solamente como elemento resistente a la compresión, como barrera contra la humedad y como elemento de relleno no estructural.

La investigación y descripción primaria de los daños en el hormigón consiste fundamentalmente en una apreciación de su resistencia mecánica y de los aspectos de su colocación, grietas y deformaciones, los cuales permiten lograr una imagen suficientemente clara como para iniciar su estudio.

Todos estos detalles se indicarán en un croquis que permita estudiar el funcionamiento del conjunto estructural, con el objetivo principal de separar daños previos de aquellos que se originaron en el proceso sísmico. En ciertas oportunidades, por comparación con casos similares - como sucede cuando hay edificaciones repetidas - será posible incluso estudiar las secuencias del deterioro.

1. Grietas en el hormigón simple

La descripción detallada de la grieta debe incluir su abertura en diversos puntos del recorrido para poder establecer los posibles desplazamientos del elemento estructural y las distancias entre varias grietas. La exploración de la fisura en profundidad permite establecer si abarca solamente el revestimiento o si penetra en el hormigón, esto es si afecta sólo al mortero o si incluye también al árido grueso, lo que permitirá formarse una idea de la resistencia mecánica del material.

La observación de existencia de materias extrañas en la grieta (tierra, aserrín, óxidos) ayuda a determinar si la rotura es antigua o si fue originada por el sismo. Es importante detectar los desplazamientos posibles de los elementos. Los desplazamientos de superficie en sentido perpendicular se captan fácilmente al tacto y es posible palparlos con la punta de los dedos, determinando cuál lado de la grieta es más alto (véase la Fig. 12).

Los desplazamientos angulares en el plano están marcados por los anchos variables de las grietas; esos anchos se miden fácilmente por comparación visual con una reglilla en que se han trazado líneas de distintos espesores (véase la Fig. 13).

La forma de las grietas muestra los desplazamientos lineales, tal como se muestra en la figura 14. La observación del dentado ilustrado en esa figura y de los diversos espesores de las grietas permite establecer los desplazamientos en el plano para el caso del hormigón o de la albañilería. La grieta del hormigón simple es similar a la de la albañilería, la cual es más irregular, dada la naturaleza heterogénea del material.

El agrietamiento de los muros por asentamiento de las fundaciones toma aspectos diferentes según la fechada del edificio que se observe, como se muestra en la Fig. 15. Es importante recalcar que estas observaciones deben ir siempre acompañadas de una inspección minuciosa de los cimientos.

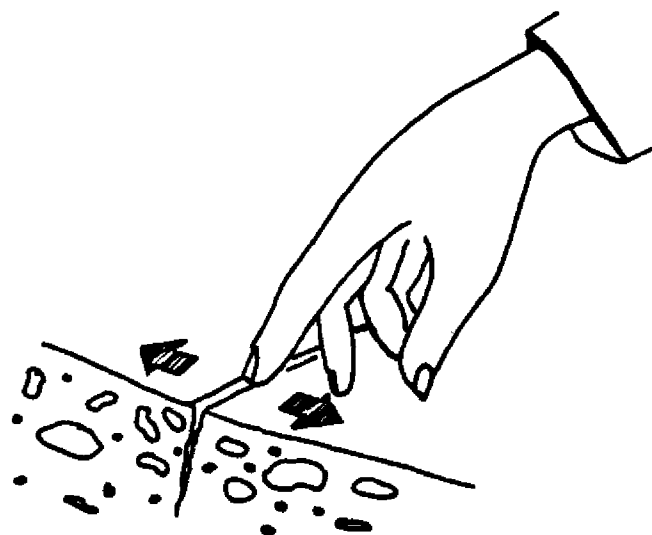


Fig. 12. DESPLAZAMIENTOS DE SUPERFICIE EN SENTIDO PERPENDICULAR

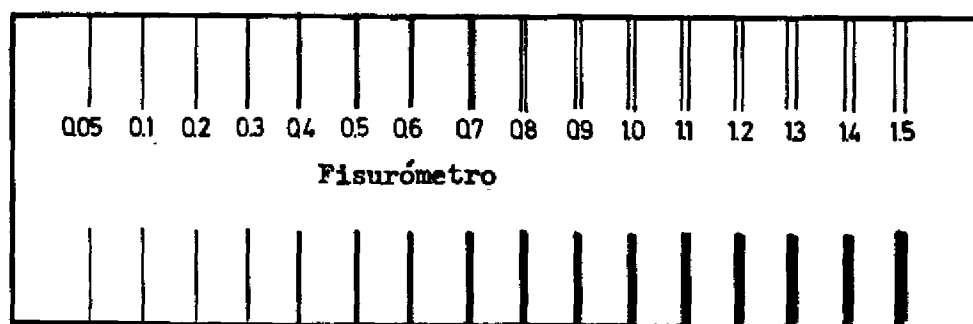


Fig. 13. FISUROMETRO

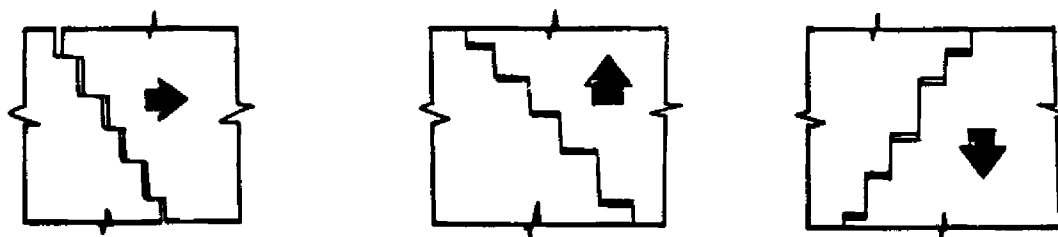


Fig. 14. DESPLAZAMIENTOS LINEALES

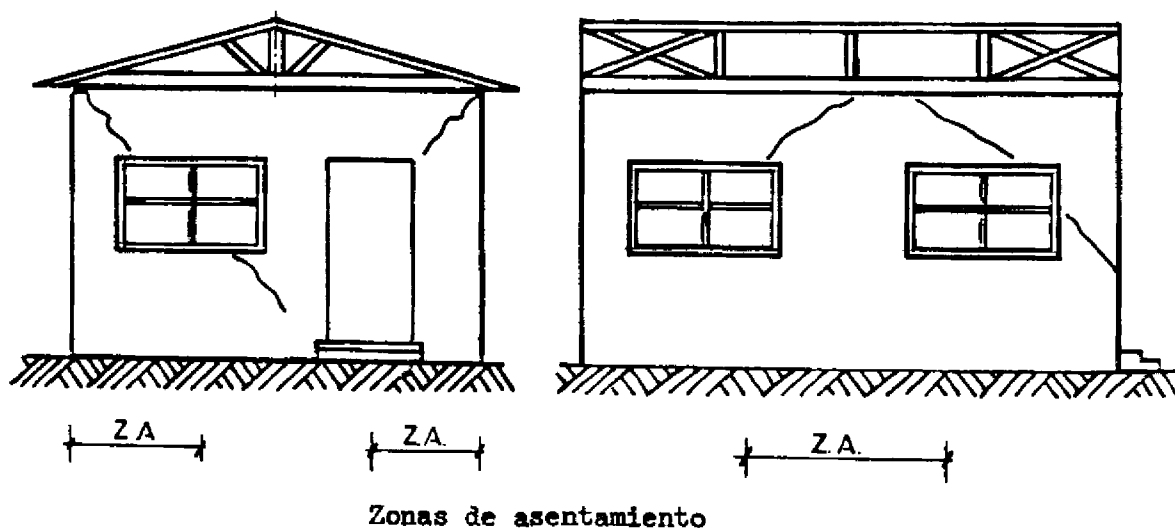


Fig. 15. INDICACION DE LOS DESPLAZAMIENTOS POR LA FORMA Y...
ABERTURAS DE LAS FISURAS

Las grietas pueden originarse en el hormigón debido a la acumulación de tensiones por contracción hidráulica o por deformaciones debidas a cambios de temperatura. Estas grietas son antiguas y complican la interpretación de una inspección luego de un sismo.

Las grietas térmicas e hidráulicas se caracterizan por cortarse entre sí en ángulo recto y formar un reticulado más o menos regular. Estas grietas por tensiones intrínsecas del hormigón tienen relaciones dimensionales bastante regulares: la profundidad de fisura es de aproximadamente 2.500 veces su ancho y la distancia entre grietas es de 5.000 a 10.000 veces esta dimensión. Las fisuras térmicas están distanciadas de 1 a 2 m, mientras que las que se originan en el proceso hidráulico tienen por lo general 10 a 15 cm de separación.

2. Resistencia mecánica mecánica del hormigón simple

Una primera aproximación de la resistencia mecánica se obtiene por observación visual o por mediciones no destructivas mediante la aplicación de sistemas de control de resistencia por percusión (martillo Schmidt) y de ondas ultrasónicas. La revisión del hormigón tiene que tomar en cuenta su aspecto exterior, la calidad de las juntas de hormigonado y la calidad geométrica de los diversos elementos.

Las determinaciones con el esclerómetro Schmidt, u otros dispositivos similares, son rápidas y útiles. Estos valores de resistencia mecánica de compresión deben ser considerados en forma global, como control estadístico. Las mediciones serán hechas en sitios próximos a sectores de la misma obra en la que se hayan extraído muestras sometidas a ensayo a los 28 días. Estas observaciones tienen por objeto obtener una correlación real en que se tomen en cuenta los materiales y el tipo de curado del hormigón.

Siempre es recomendable relacionar las observaciones puntuales con la perspectiva de una observación general, revisando continuamente los resultados, ya que las mediciones del hormigón suelen dar información relativamente parcial y heterogénea. De ello resulta que, mientras más antecedentes se aporte desde diferentes puntos de vista, más acertadas serán las decisiones que se adopten.

C. Inspección del hormigón armado

Es importante incluir antecedentes de la calidad del hormigón como protección de la armadura. Por lo tanto, será recomendable hacer observaciones sobre el espesor de recubrimiento y respecto de su calidad como defensa contra la corrosión de las armaduras. Además, se indicará si hay manifestaciones de oxidación y se aprovechará la evidencia de agrietamientos para determinar el espesor del hormigón de protección. La calidad de la protección está determinada por el potencial de hidrógeno (pH) del hormigón. La armadura está en un ambiente de inhibición de corrosión cuando el índice pH del hormigón es superior a 11.

1. Grietas por secado

Cuando se trata del hormigón simple, las fisuras se atribuyen a tensiones espontáneas que tienen su origen en cambios térmicos, en variaciones volumétricas propias del proceso de hidratación del cemento o en reacciones químicas entre el

árido, el cemento y el ambiente. La grieta es relativamente nítida ya que, generalmente, es alterada sólo por la presencia de piedras de tamaño mayor o por efectos exteriores. Estos efectos exteriores pueden ser cambios de esfuerzos por sobrecargas de trabajo, asentamientos de suelos, etc. En el hormigón armado, sin embargo, aparecen otros efectos debido a las armaduras de refuerzo y a su distribución, y suelen aparecer otros más resultantes de la corrosión electroquímica o química de las armaduras y del secado prematuro del hormigón que cubre las barras de refuerzo.

Durante el primer período de fragüe del hormigón se produce un asentamiento del material por exudación y pérdida de humedad por evaporación. La altura del hormigón disminuye así en toda la sección, proporcionalmente a su consistencia y a su capacidad de retención de agua, pero no cambia en la superficie horizontal que queda sobre las barras horizontales. Esto da origen a un depósito de agua bajo las barras, apareciendo por lo general grietas sobre ellas, acompañadas por claros hundimientos de la superficie de la mezcla entre las barras, cuando las barras son gruesas y los defectos del hormigón son extremos (véase la Fig. 16). En estos casos aparece sobre las barras una fisura simple o doble en toda la longitud de la armadura, y la superficie horizontal del hormigón presenta señales manifiestas del exceso de agua.

2. Corrosión electroquímica y carbonatación del hormigón

El hormigón cumple dos funciones principales: una de resistencia estructural; la otra, de protección al acero. La función estructural consiste en resistir las tensiones a que es sometido y transmitir esfuerzos al acero por adherencia. Es tan importante que el hormigón sea resistente como que esté bien adherido a las barras. Pero entre el acero y el hormigón - en un medio con calor, humedad y presencia de sales - se forma una verdadera pila eléctrica que corroe la superficie de las armaduras. La única defensa contra este efecto es recubrir suficientemente la armadura con un hormigón impermeable. La oxidación es expansiva y reduce la calidad mecánica del acero. El efecto de la expansión produce la rotura del recubrimiento dando origen a una grieta similar a la descrita anteriormente (grietas por secado), la que en este caso aparece también en las caras verticales de los elementos de hormigón armado. La degradación del acero por corrosión electroquímica puede significar la pérdida total de su adherencia al hormigón. Muchas veces se producen dificultades en la interpretación de cuadros de agrietamientos por la presencia de estos tipos de defectos, por lo que es muy útil hacer revisiones con detectores de armaduras, como el que se muestra en la Fig. 17.

Para que no se produzca esta corrosión, el acero necesita estar en un ambiente altamente básico, lo que se logra por la presencia de cal en la masa del hormigón. Pero las sales pueden disminuir esta basicidad, como ocurre por la presencia de cloruros en el interior del hormigón o cuando la cal libre originada en el proceso de hidratación del cemento llega a ponerse en contacto con el anhídrido carbónico del aire. La profundidad de esta carbonatación muestra la facilidad con que el aire penetra en el hormigón, lo que es un índice de porosidad y, por lo tanto, de baja resistencia a la compresión.

Se dijo que la aplicación de fenolitaleína indicaba esta profundidad, la que se puede obtener también con otras soluciones indicadoras de pH. Es muy simple romper la arista de un elemento de hormigón y de inmediato mojarlo con una solución alcohólica. Aparece un núcleo rojo-violeta y queda un recubrimiento de color original. Es importante que las armaduras queden en la zona roja.

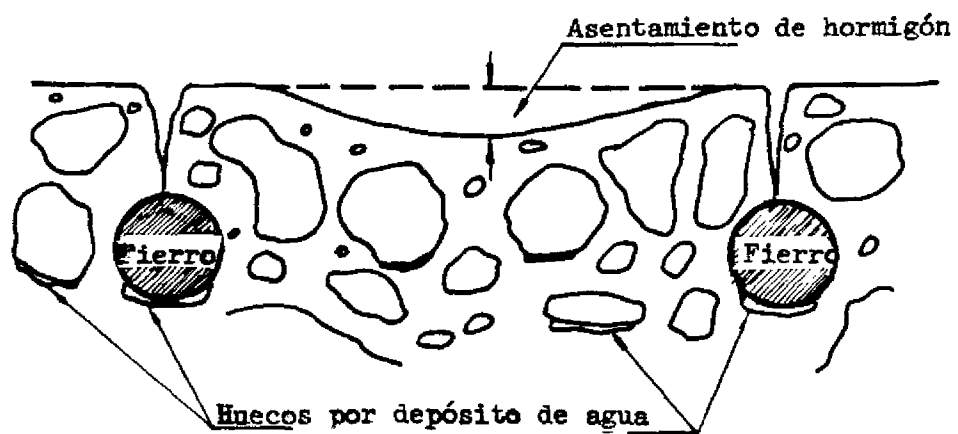


Fig. 16. GRIETAS SOBRE LAS ARMADURAS POR SECADO PREMATURO DEL HORMIGÓN

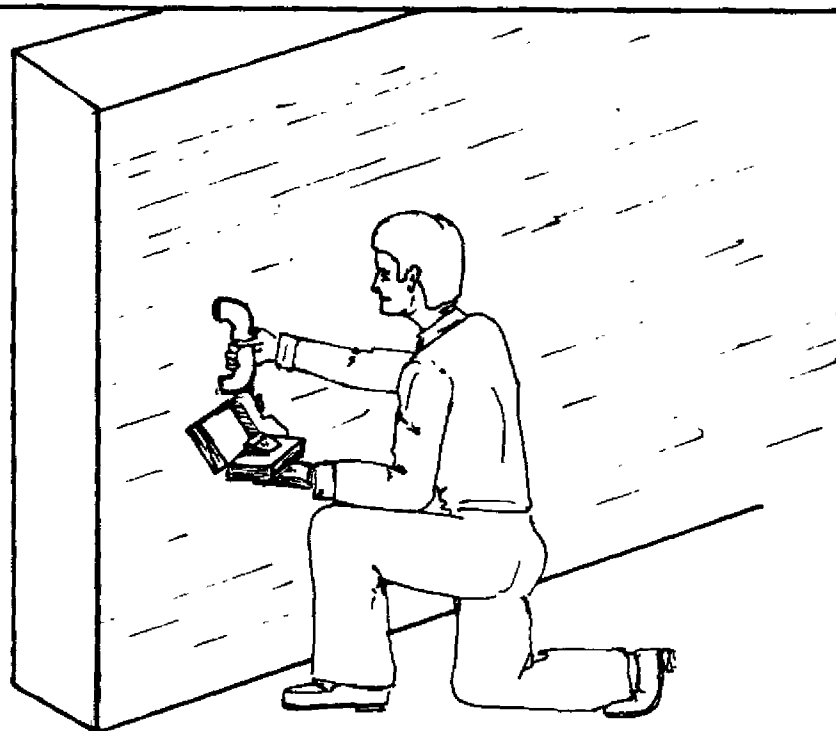


Fig. 17. DETECTOR ELECTROMAGNETICO DE ARMADURAS (PACOMETRO)