

## 6. Evaluación de la clasificación y nivel de daño

### 6.1 Condición de daño de elementos y sistemas estructurales

#### a Evaluación por asentamientos del terreno y desplomo

No hubo daño por asentamientos del terreno ni por desplomo. Por lo tanto,  $S=0$ ,  $q=0$ .

#### b. Evaluación por la cuantía de daños en los elementos estructurales

Se investiga el tercer nivel, donde sufrió mayor daño.

Se calcula el porcentaje de los elementos dañados  $D_i$  correspondiente a cada nivel de daño, como se indica en la siguiente tabla.

*Tabla 6.1. Cálculo del porcentaje de los elementos dañados ;  $D_i$ .*

Nivel de daño	$B_i$	$B_i/A$	$D_i$
V	$B_5=2$	$B_5/A=2/24=0.083$	$D_5=1000 \times B_5/A=1000 \times 0.083/7=11.9$
IV	$B_4=4$	$B_4/A=4/24=0.167$	$D_4=100 \times B_4/A=100 \times 0.167=16.7$
III	$B_3=5$	$B_3/A=5/24=0.208$	$D_3=60 \times B_3/A=60 \times 0.208=12.5$
II	$B_2=11$	$B_2/A=11/24=0.458$	$D_2=26 \times B_2/A=26 \times 0.458=11.9$
I	$B_1=2$	$B_1/A=2/24=0.083$	$D_1=10 \times B_1/A=10 \times 0.083=0.8$
			$D=SD_i=53.8$

En consecuencia, la clasificación de los niveles de daño por el porcentaje de elementos dañados  $D$  resulta ser  $D > 50$ , por lo tanto es considerado como "daño grave".

#### c Daños en los elementos anexos (no estructurales)

Los parapetos inclinados y la chimenea inclinada de la azotea tienen posibilidad de caerse, por lo que se requiere la demolición de los mismos. Se clasifica como "falla".

### 6.2 Resultados del proceso de inspección y evaluación, y las medidas a tomar

En la tabla 6.2, se muestran los resultados de investigación para la evaluación de la clasificación y nivel de daño de acuerdo con el resultado anterior.

#### a. Resultado de la evaluación

Se clasifica el edificio total con el nivel de "daño grave".

Según la Guía de Evaluación del Nivel de Daño, la medida que resulta ser necesaria es "refuerzo", para lo que se consultará la tabla 3.2, donde se explica el requerimiento de las

medidas en cuanto a "reparación", "refuerzo" y "demolición" Para este caso se considerará la intensidad del sismo igual a V.

b. Medidas a tomar.

Para el uso continuo, se ha decidido "refuerzo", pero se recomienda una investigación más detallada para revisar el nivel de daño y su causa y la posibilidad de rehabilitación, para así planear el método adecuado de rehabilitación.

**Tabla 6.2 Formato para inspección y evaluación de la clasificación y nivel de daño (para estructuras de concreto reforzado)**

NÚMERO DE INMUEBLE: \_\_\_\_\_

INSPECTOR: _____	AFILIACIÓN: _____	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE NIVEL Y CLASIFICACIÓN DE DAÑO: <input type="checkbox"/> DAÑO LIGERO <input type="checkbox"/> DAÑO MENOR <input type="checkbox"/> DAÑO MEDIO <input checked="" type="checkbox"/> DAÑO SEVERO <input type="checkbox"/> COLAPSO		
FECHA DE INSPECCIÓN: _____	NOMBRE: _____			
AÑO: _____	MES: _____	DÍA: _____	HORA: _____	EVALUACIÓN DE REPARACIÓN, REFUERZO O DEMOLICIÓN (NIVEL DE INTENSIDAD SÍSMICA RESULTANTE: <u>0</u> ) <input type="checkbox"/> REPARACIÓN <input checked="" type="checkbox"/> REFUERZO <input type="checkbox"/> DEMOLICIÓN
NECESIDAD E IMPORTANCIA DE UNA INSPECCIÓN DETALLADA <input checked="" type="checkbox"/> NECESARIA <input type="checkbox"/> NO NECESARIA <input checked="" type="checkbox"/> SUPERESTRUCTURA <input checked="" type="checkbox"/> ESTRUCTURA DE CIMENTACIÓN				

INFORMACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	NOMBRE DEL EDIFICIO		NOMBRE: <i>HOSPITAL NAMIOKA</i> DIRECCIÓN: <i>NAMIOKA-CHO, MINAMI-TSUGARU-GUN, PREFECTURA DE AOMORI</i>	
	DUEÑO O USUARIO DEL EDIFICIO		NOMBRE: _____ DIRECCIÓN: <i>NAMIOKA-CHO, MINAMI-TSUGARU-GUN, PREFECTURA DE AOMORI</i>	
	USO DEL EDIFICIO	<input type="checkbox"/> GENERAL	<input type="checkbox"/> OFICINAS <input type="checkbox"/> RESIDENCIAS <input type="checkbox"/> DEPARTAMENTOS <input type="checkbox"/> TIENDAS <input type="checkbox"/> FÁBRICAS <input type="checkbox"/> BODEGAS <input type="checkbox"/> OTROS ( )	
		<input checked="" type="checkbox"/> PÚBLICO	<input type="checkbox"/> JARDÍN DE NIÑOS <input type="checkbox"/> ESCUELAS <input type="checkbox"/> EDIFICIOS GUBERNAMENTALES <input type="checkbox"/> CENTRO COMUNITARIO <input type="checkbox"/> GIMNASIO <input checked="" type="checkbox"/> HOSPITALES <input type="checkbox"/> OTROS ( )	
	TIPO DE CONSTRUCCIÓN		<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO REFORZADO <input type="checkbox"/> CONCRETO PRECOLADO <input type="checkbox"/> MAMPOSTERÍA <input type="checkbox"/> COMPUESTA ACERO-CONCRETO	
	SISTEMA ESTRUCTURAL		<input checked="" type="checkbox"/> MARCOS RESISTENTES A MOMENTO <input type="checkbox"/> MUROS ESTRUCTURALES <input type="checkbox"/> OTROS ( )	
	ESTRUCTURA DE CIMENTACIÓN		<input type="checkbox"/> SUPERFICIAL O DE CONTACTO <input checked="" type="checkbox"/> PROFUNDA O DE PILOTES (TIPO Y CARACTERÍSTICAS <u>CR 350 φ x 6.0 m</u> <u>CR 300 φ x 10.0 m</u> )	
	DIMENSIONES DE EDIFICIO	NÚMERO DE NIVELES	SUPERESTRUCTURA: <u>2</u> PISOS, PENTHOUSE <u>2</u> PISOS, SÓTANO: <u>1</u> PISO	
		PLANTA	UN PISO APROXIMADAMENTE: LONGITUD MAYOR: <u>49.5</u> m, LONGITUD MENOR: <u>46.5</u> m.	
	CONFIGURACIÓN DEL SUELO Y TERRENO		<input checked="" type="checkbox"/> TERRENO PLANO <input type="checkbox"/> TERRENO INCLINADO <input type="checkbox"/> ALTIPLANO <input type="checkbox"/> HONDONADA <input type="checkbox"/> OTROS ( )	
TOPOGRAFÍA DEL TERRENO		<input type="checkbox"/> CAÑÓN A( _____ m) <input checked="" type="checkbox"/> (RÍO) MAR/LAGO/PANTANO A( <u>100</u> m)		
MATERIALES DE ACABADOS EXTERIORES		<input checked="" type="checkbox"/> CONCRETO <input checked="" type="checkbox"/> MORTERO <input checked="" type="checkbox"/> AZULEJO <input type="checkbox"/> PIEDRA <input type="checkbox"/> MUROS PRECOLADOS <input type="checkbox"/> PANEL DE CONCRETO PREFABRICADO <input type="checkbox"/> BLOQUES <input type="checkbox"/> PLACAS DE CONCRETO LIGERO <input type="checkbox"/> OTROS ( )		

EXISTENCIA DE DOCUMENTACIÓN DE DISEÑO: MEMORIAS DE CÁLCULO: (  EXISTE  NO EXISTE )  
PLANOS DE DISEÑO (  EXISTE  NO EXISTE ) BITÁCORA DE OBRA (  EXISTE  NO EXISTE )

[ EVALUACIÓN CONSIDERANDO EL ASENTAMIENTO TOTAL DEL EDIFICIO ] (ASENTAMIENTO MÁXIMO S(m))  
 SIN DAÑOS (S=0)  DAÑO MENOR (0<S≤0.2 m)  DAÑO MEDIO (0.2<S≤1.0 m)  DAÑO SEVERO (S>1.0 m)

[ EVALUACIÓN CONSIDERANDO EL DESPLOMO DEL EDIFICIO ] ( EL ÁNGULO MÁXIMO DE INCLINACIÓN θ (rad) )  
 SIN DAÑO (θ =0)  DAÑO MENOR (0<θ≤1/100 rad)  DAÑO MEDIO (1/100 rad<θ≤3/100 rad)  
 DAÑO SEVERO (3/100 rad<θ≤6/100 rad)  COLAPSO (θ > 6/100 rad)

[ EVALUACIÓN CONSIDERANDO EL PORCENTAJE DE DAÑO Y PÉRDIDA EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES ]  
 ( SE REALIZA PARA CADA ENTREPISO TAMBIÉN, PARA ESTRUCTURAS DE MUROS SE REALIZARÁ PARA CADA DIRECCIÓN; SE ESCRIBIRÁN LOS RESULTADOS DEL ENTREPISO CON LOS RESULTADOS MÁS CRÍTICOS DESPUÉS DE LA EVALUACIÓN DE CLASIFICACIÓN Y NIVEL DE DAÑO).

- (1) NÚMERO DE NIVEL INSPECCIONADO DONDE SE PRESENTA LA MAYOR CONCENTRACION DE DAÑO [3 PISO] EN EL CASO DE MUROS SE INDICARÁ LA DIRECCIÓN [ ] CORTA [ ] LARGA
- (2) NÚMERO TOTAL DE COLUMNAS:  $A_0 = 24$  ( Ó LONGITUD DE MURO) [  $A_0 = 24$ , ó  $A_0 =$  m ]
- (3) NÚMERO DE COLUMNAS INSPECCIONADAS:  $A = 24$  ( Ó LONGITUD DE MURO) [  $A = 24$ , ó  $A =$  m ]
- (4) PORCENTAJE DE COLUMNAS INSPECCIONADAS: [  $A/A_0 = 100\%$  ]
- (5) NUMERO DE COLUMNAS EN CADA NIVEL DE DAÑO,  $B_i$  ( O BIEN LONGITUD DE MURO):

(MARCOS)	DAÑO NIVEL V	[ $B_5 = 2$ ]	(MUROS)	DAÑO NIVEL V	[ $B_5 =$ m]
	DAÑO NIVEL IV	[ $B_4 = 4$ ]		DAÑO NIVEL IV	[ $B_4 =$ m]
	DAÑO NIVEL III	[ $B_3 = 5$ ]		DAÑO NIVEL III	[ $B_3 =$ m]
	DAÑO NIVEL II	[ $B_2 = 11$ ]		DAÑO NIVEL II	[ $B_2 =$ m]
	DAÑO NIVEL I	[ $B_1 = 2$ ]		DAÑO NIVEL I	[ $B_1 =$ m]
	DAÑO NIVEL 0	[ $B_0 = 0$ ]		DAÑO NIVEL 0	[ $B_0 =$ m]

- (6) CALCULO DEL INDICE DE DAÑO  $D_i$ , CORRESPONDIENTE A CADA NIVEL DE DAÑO
 

NIVEL V	[ $D_5 = 1000 B_5 / 7A = 11.9$ ]	(PARA $B_5/A > 0.35$ , $D_5 = 50$ )
NIVEL IV	[ $D_4 = 100 B_4 / A = 16.7$ ]	(PARA $B_4/A > 0.50$ , $D_4 = 50$ )
NIVEL III	[ $D_3 = 60 B_3 / A = 12.5$ ]	(PARA $B_3/A > 0.50$ , $D_3 = 30$ )
NIVEL II	[ $D_2 = 26 B_2 / A = 11.9$ ]	(PARA $B_2/A > 0.50$ , $D_2 = 13$ )
NIVEL I	[ $D_1 = 10 B_1 / A^2 = 0.8$ ]	(PARA $B_1/A > 0.50$ , $D_1 = 5$ )

$D = \Sigma (D_i \cdot A \cdot D_i) = 53.8$

- (7) CLASIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE DAÑO Y PÉRDIDA SEGÚN EL VALOR DE D
 

[ ] SIN DAÑO ( $D = 0$ )	[ ] DAÑO LIGERO ( $D \leq 5$ )	[ ] DAÑO MENOR ( $5 < D \leq 10$ )
[ ] DAÑO MEDIO ( $10 < D \leq 50$ )	[X] DAÑO SEVERO ( $D > 50$ )	[ ] COLAPSO ( $D_5 = 50$ )

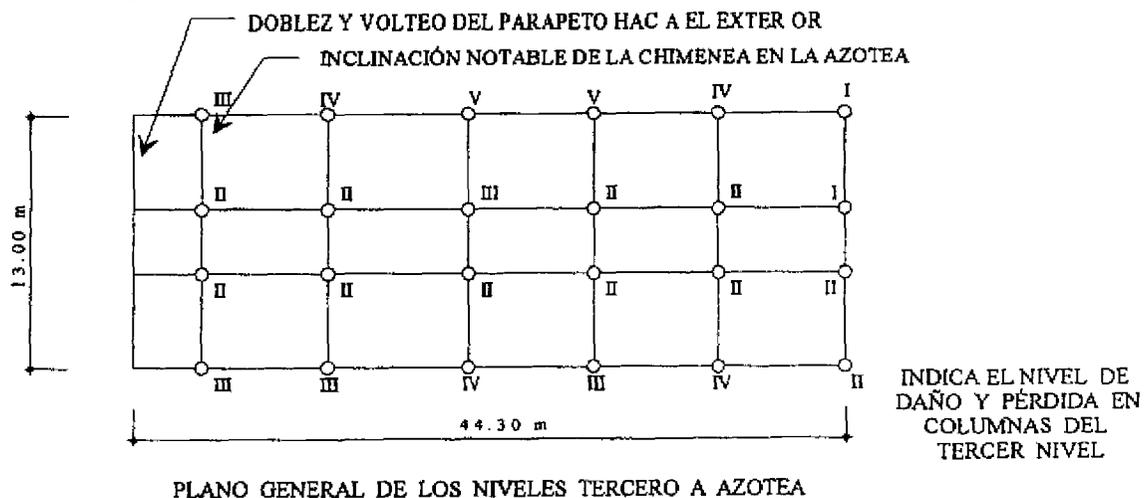
DAÑOS EN ELEMENTOS O SISTEMAS ESTRUCTURALES ADYACENTES

PENTHOUSE	[ ] SIN DAÑO	[X] LIGERO	[ ] MENOR	[ ] MEDIO	[ ] SEVERO	[ ] COLAPSO
ESCALERA EXTERIOR	[ ] SIN DAÑO	[ ] LIGERO	[ ] MENOR	[ ] MEDIO	[ ] SEVERO	[ ] COLAPSO
CHIMENEA	[ ] SIN DAÑO	[ ] LIGERO	[ ] MENOR	[ ] MEDIO	[ ] SEVERO	[X] COLAPSO
PASILLOS COMUNICANTES	[ ] SIN DAÑO	[ ] LIGERO	[ ] MENOR	[ ] MEDIO	[ ] SEVERO	[ ] COLAPSO
JUNTA DE CONSTRUCCIÓN O EXPANSIÓN	[ ] SIN DAÑO	[ ] LIGERO	[ ] MENOR	[ ] MEDIO	[ ] SEVERO	[ ] COLAPSO
OTROS ( <i>parapeto</i> )	[X] COLAPSO					

[ DAÑOS EN ESTRUCTURA DE CIMENTACIÓN ]

EXISTENCIA DE DAÑOS EN CIMENTACIÓN PROFUNDA (PILOTES): [ ] SI [ ] NO [X] INCIERTO  
 EXISTENCIA DE LICUACIÓN DE SUELO: [ ] SI [X] NO [ ] INCIERTO

[ OTROS (ESQUEMA DE UBICACIÓN Y COMENTARIOS SOBRE LA CONDICIÓN DE DAÑO) ]



## **7. Rehabilitación definitiva o permanente**

### **7.1 Descripción**

Se realizaron las inspecciones y análisis indicados abajo para planear el procedimiento adecuado de rehabilitación de acuerdo con el resultado de la investigación detallada del nivel de daño del edificio.

a. Investigación del sitio: Investigación detallada de los agrietamientos de las columnas, trabes, muros y losas; extracción de núcleos de concreto y acero para pruebas de materiales; medición del nivel de losa; investigación de los daños de los elementos no estructurales, instalaciones y equipos; medición de vibración ambiental continua, etc.

b. Prueba de carga estática: Prueba de carga en los pilotes; prueba de materiales en el concreto y acero, etc.

c. Análisis: Evaluación de la resistencia sísmica del estado estructural anterior al daño del edificio, basada en la investigación del sitio y en la revisión de planos; evaluación de la necesidad de refuerzo conforme a la Guía Técnica de Refuerzo y Rehabilitación.

Considerando los resultados de estas investigaciones y análisis, se decidió proponer "refuerzo" y la rehabilitación definitiva del inmueble. En seguida, se presenta el resumen del proceso desde la evaluación de la necesidad de refuerzo hasta la terminación de los trabajos de rehabilitación.

### **7.2 Evaluación de la necesidad de refuerzo**

Conforme a lo indicado en la sección 6, ya se ha decidido la necesidad de refuerzo con base en la "Evaluación de la Clasificación y Nivel de Daño". Pero se ha realizado una investigación más detallada, y con base en estos resultados, se examina la necesidad de refuerzo considerando la resistencia residual de la estructura y las características de comportamiento ante la posibilidad de incidencia de temblores secundarios.

En el momento de la aplicación de esta evaluación, de acuerdo con la evaluación de segundo nivel de la Norma de Evaluación de Resistencia Sísmica, se investiga únicamente la dirección larga del nivel 3, donde se ha observado la mayor concentración de daño. La evaluación se hace considerando los resultados de la inspección de la subestructura y la superestructura. En la investigación de la superestructura, se ha calculado la resistencia remanente después de la incidencia del sismo de daño, por medio del coeficiente de degradación de la capacidad antisísmica de acuerdo con el nivel de daño de los elementos estructurales, para lo cual se consideran los índices de ductilidad y agrupamiento por elementos E0. Por otra parte, se modificó el índice de forma, calculando nuevamente la relación entre centros de rigidez y gravedad, y por lo tanto la excentricidad correspondiente, así como considerando el porcentaje de degradación de rigidez. Luego, se obtuvo el nivel de daño (F) de acuerdo con el índice de la capacidad y comportamiento antisísmico ( $I_s$ ) anterior al daño, y el índice de la capacidad y comportamiento sísmico posterior al daño ( $I_s'$ ). Con la

relación entre estos resultados y la intensidad del sismo, se evaluó la necesidad de refuerzo consultando la tabla 7.1. En seguida se presenta un resumen de este proceso.

*Tabla 7.1. Límite inferior del nivel de daño  $\Phi$ (%) como requisito de refuerzo.*

Año de construcción	Intensidad de sismo (según la escala de la Agencia Meteorológica del Japón)			
	Menor o igual a IV	V (Menor)	V (Superior)	Mayor o igual a VI
Antes de 1971	20	30	40	50
Después de 1971	30	40	50	

Nota:

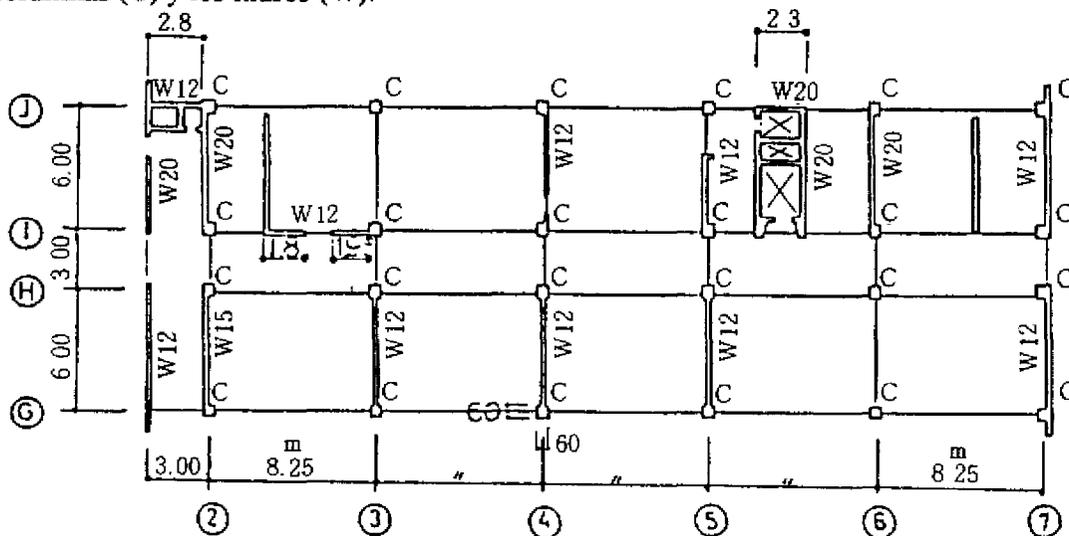
- 1) Aunque se haya construido antes de 1971, para un edificio cuyas columnas están reforzadas con estribos con una separación menor de 100 mm, se puede considerar el valor de  $\Phi$  como el de un edificio construido después de 1971.
- 2) La intensidad del sismo, V (sismo severo), corresponde a una aceleración del terreno igual a unos  $150 \text{ cm/s}^2$ ; en cuanto a la intensidad V (menor), corresponde a una aceleración menor de  $150 \text{ cm/s}^2$  para la intensidad V (superior) corresponde una aceleración superior a  $150 \text{ cm/s}^2$ .

(1) Evaluación de la necesidad de refuerzo de la subestructura

Según la investigación detallada, no hubo daño en la cimentación ni en los pilotes ni se observa daño por asentamientos del terreno o por desplomo. Por lo tanto, no es necesario reforzar la estructura de cimentación.

(2) Evaluación de la necesidad de refuerzo de la superestructura

Se considera la dirección larga del nivel 3 como ejemplo de aplicación de la evaluación secundaria del nivel de daño. En la figura 7.1, se muestra la colocación de las columnas (C) y los muros (W).



*Figura 7.1 Colocación de las columnas y los muros en el tercer nivel*

a. En la tabla 7.2, se muestra la resistencia anterior al daño de columnas y muros Qu, el índice de ductilidad F y el índice E0. E0 resultó ser igual a 0.371 La mayoría de los elementos estructurales de este edificio resultan con un valor del índice F igual a 1.0, por lo tanto, se clasifica el edificio entero como grupo dentro del índice F=1.0.

**Tabla 7.2. Qu en la dirección larga del nivel 3, modo de mecanismo y el valor del índice F.**

Símbolo	Qu (ton)	Mecanismo*	F	Grupo	n	nQu (ton)
C <sub>G2</sub>	55.97	CS	1.0	1	1	55.97
C <sub>G3</sub> , G <sub>4</sub>	56.75	CS	1.0	1	2	113.50
C <sub>G5</sub>	58.60	CS	1.0	1	1	58.60
C <sub>G6</sub>	49.91	CS	1.0	1	1	49.91
C <sub>G7</sub>	52.26	CB	1.27	1	1	52.26
C <sub>H2</sub>	43.56	CB	1.27	1	1	43.56
C <sub>H3</sub> - C <sub>H5</sub>	50.81	CS	1.0	1	3	152.43
C <sub>H6</sub>	40.64	CS	1.0	1	1	40.64
C <sub>H7</sub>	37.22	CB	1.27	1	1	37.22
C <sub>I2</sub>	43.80	CB	1.27	1	1	43.80
CW <sub>I3</sub>	133.58	CWS	1.0	1	1	133.58
C <sub>I4</sub>	47.05	CS	1.0	1	1	47.05
C <sub>I5</sub> - C <sub>I6</sub>	52.74	CS	1.0	1	2	105.48
C <sub>I7</sub>	37.22	CB	1.27	1	1	37.22
CW <sub>I2</sub>	188.10	CWS	1.0	1	1	188.10
C <sub>I3</sub>	48.27	CS	1.0	1	1	48.27
C <sub>I4</sub>	58.22	CS	1.0	1	1	58.22
C <sub>I5</sub>	49.86	CS	1.0	1	1	49.86
C <sub>I6</sub>	61.98	CS	1.0	1	1	61.98
C <sub>I7</sub>	52.43	CB	1.27	1	1	52.43
WC <sub>I2'</sub>	9.60	WCB	2.0	1	1	9.60
WC <sub>I5'</sub>	31.40	WCB	1.0	1	1	31.40
					Σ Qu	1,471.08

\*CS: columna con mecanismo de cortante.

CB: Columna con mecanismo de flexión.

CWS. Columna con parapetos y mecanismo de cortante

WCB: Muro-columna con mecanismo de flexión

$$\Sigma W = 2970.1t, \quad \frac{n+1}{n+i} = 7/8 = 0.75$$

$$\Sigma Qu = 1,471.08 t, \quad C = 1,471.08 / 2,970.1 = 0.495$$

$$F = 1.0$$

$$E_0 = \frac{n+1}{n+i} \sqrt{(C \times F)^2} = 0.75 \sqrt{(0.495 \times 1.0)^2} = 0.371$$

b. Cálculo del índice de forma  $S_D$  anterior al daño

1) Relación de excentricidad ( $\ell$ ), Relación de centros de rigidez y gravedad (n)

i) Rigidez

Rigidez lateral del nivel 4 ( $\Sigma D$ )	$\Sigma D = 93,740$
Rigidez de entrepiso ( $\Sigma D/h$ )	$\Sigma D/h = 93,740 / 350 = 267.8$
Rigidez lateral del nivel 3 ( $\Sigma D$ )	$\Sigma D = 118,790$
Rigidez de entrepiso ( $\Sigma D/h$ )	$\Sigma D/h = 118,790 / 350 = 339.4$

ii) Relación de excentricidad ( $\ell$ )

El centro de gravedad se localiza a  $S=7.70$  m del eje G; el centro de rigidez se localiza a  $G=8.97$  m del eje G.

$$E = 8.97 - 7.7 = 1.27 \text{ m} \quad B = 15.0 \text{ m} \quad L = 44.35 \text{ m}^2$$

$$\ell = 1.27 / \sqrt{(44.35)^2 + (15.0)^2} = 0.027 \quad \therefore G_e = 1.0, \quad R_2 \ell = 1.0$$

$$C_{2\ell} = [1 - (1 - 1.0) \times 1.0] = 1.0$$

iii) Relación de centros de rigidez y gravedad (n)

$$\text{Relación en el nivel 4 : } 267.8 / 2,096.4 = 0.127$$

$$\text{Relación en el nivel 3 : } 339.4 / 2,970.1 = 0.114$$

$$\beta = (3-1)/3 = 0.67$$

$$n = (0.127/0.114) \times 0.67 = 0.75 < 0.8 \quad \therefore G_n = 0.9, \quad R_{2n} = 1.0$$

$$C_{2n} = [1 - (1 - 0.9) \times 1.0] = 0.9$$

2) Otros índices de forma ( $S_D$ )

iv) Regularidad (a)

$$a = 16.5^2 / (44.35 \times 15.0 + 16.5 \times 16.5) = 0.29 < 0.3$$

$$\therefore G_a = 0.9, R_{2a} = 0.5,$$

$$C_{2a} = [1 - (1 - 0.9) \times 0.5] = 0.95$$

v) Existencia de sótano (h)

$$\text{Area del sótano} = 775.5 \text{ m}^2$$

$$\text{Area de construcción} = 2,029.5 \text{ m}^2$$

$$h = 775.5 / 2,029.5 = 0.38$$

$$\therefore G_h = 0.8$$

$$R_{2h} = 1.0$$

$$C_{2h} = [1.2 - (1 - 0.8) \times 1.0] = 1.0$$

Otros valores de  $C_{2i}$  resultan iguales a 1.0.

$$\text{En consecuencia, } S_D = 0.9 \times 0.95 \times 1.0 = 0.855$$

c. Con respecto al índice de antigüedad anterior al daño, se toma  $T=1.0$ , ya que no se ha observado cambio en la calidad ni deterioro de la estructura

d. En consecuencia, el índice de la resistencia sísmica de la estructura anterior al daño  $I_s$  resulta ser

$$I_s = E_0 \times S_D \times T = 0.371 \times 0.855 \times 1.0 = 0.317.$$

e. Se determina el nivel y mecanismo de daño de cada elemento (I - V), según la condición y estado de daño conforme a la norma de clasificación del nivel de daño (tabla comentarios 3.1). En la figura 7.2 se muestran los resultados.

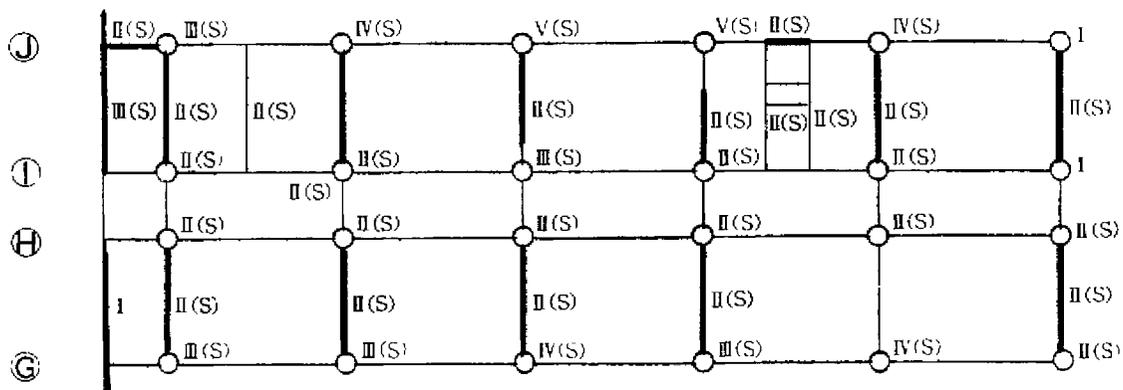
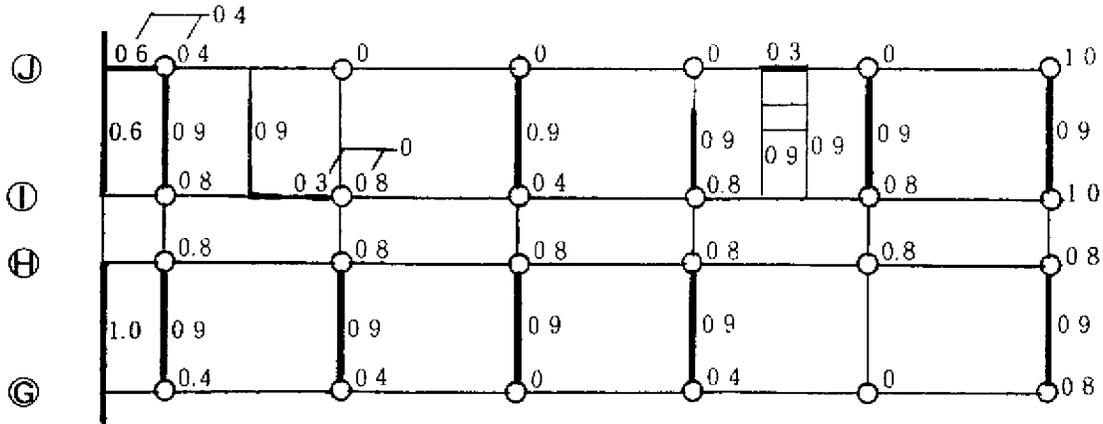


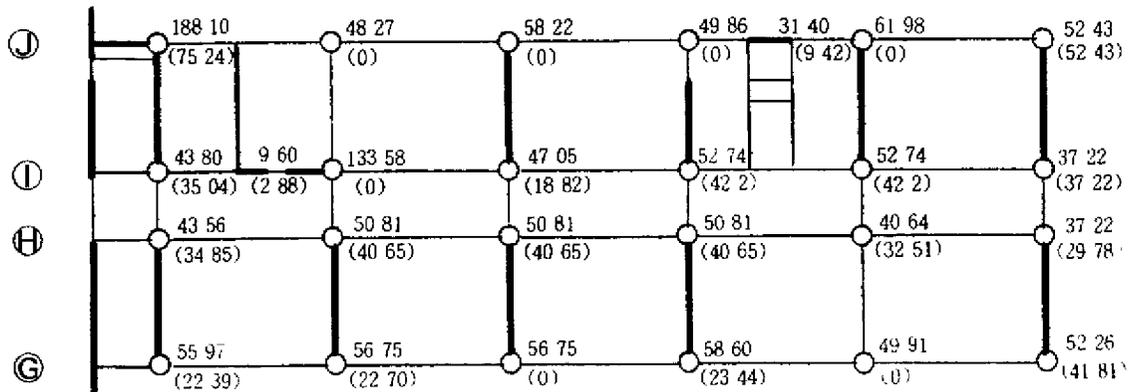
Figura 7.2 Niveles y mecanismos de daño en columnas y muros (tercer nivel)

f. En la figura 7.3, se muestra la relación de degradación de la capacidad y comportamiento antisísmico  $\eta$ , calculado de acuerdo con el nivel y mecanismo de daño del elemento. Con respecto a las columnas con parapetos, se tomó el valor  $\eta$  mínimo de los que se calcularon por nivel de daño de la columna y del parapeto



**Figura 7.3. Valores del coeficiente de degradación de la capacidad y comportamiento antisísmico  $\eta$  (tercer nivel)**

g. La resistencia posterior al daño, se obtuvo multiplicando la resistencia anterior al daño  $Q_u$  por  $\eta$ . En los paréntesis de la figura 7.4, se muestra la resistencia posterior al daño, y los números fuera del paréntesis son la resistencia anterior al daño



**Figura 7.4. Resistencias ante carga axial en toneladas - los valores en los paréntesis son las resistencias después del daño (tercer nivel)**

h. Considerando el valor de F anterior al daño y agrupando todos los valores, se puede calcular el índice básico de capacidad y comportamiento posterior al daño  $E'_0$ , como sigue:

$$E'_0 = \frac{(n+1)}{(n+i)} \sqrt{(CF)^2} = 0.75 \sqrt{(0.217)^2} = 0.163$$

i. Con respecto al índice de forma  $S'_D$  posterior al daño, se modificarán las relaciones de excentricidad y la posición del centro de rigidez y gravedad, considerando la degradación de la rigidez por el daño.

### 1) Rigidez

La rigidez posterior al daño se calcula multiplicando el área de las columnas y los muros por  $\eta$ . Se multiplica la área de los muros por un factor  $\alpha$  dependiente de la relación de altura y longitud del muro.

Nivel 3,	Eje G	$(60 \times 60 \times 0.4 \times 3) + (60 \times 60 \times 0.8) = 7,200$
	Eje H	$60 \times 60 \times 0.8 \times 6 = 17,280$
	Eje I	$(60 \times 60 \times 0.8 \times 4) + (60 \times 60 \times 0.4) + (60 \times 60 \times 1) + (12 \times 180 \times 2.5^{*1} \times 1 \times 0.3) + (12 \times 195 \times 2.5^{*2} \times 0.3) = 19,935$

Para las columnas con parapeto, se considera el valor de h de cada columna y cada parapeto.

$$^{*1} h / \ell = 350 / 180 = 1.94 < 2.0 \quad \therefore \alpha = 2.5$$

$$^{*2} h / \ell = 350 / 195 = 1.79 < 2.0 \quad \therefore \alpha = 2.5$$

$$\text{Eje J} \quad (60 \times 60 \times 0.4) + (60 \times 60) + (15 \times 280 \times 1.2^{*1} \times 0.6) + (20 \times 230 \times 3.5^{*2} \times 0.3) = 12,894$$

$$^{*1} h / \ell = 180 / 280 = 0.64 \quad \therefore \alpha = 1.2 \text{ (Se toma para fuera del plano)}$$

$$^{*2} h / \ell = 180 / 230 = 0.78 \quad \therefore \alpha = 3.5$$

Se consideró h como la medida interior de los elementos considerando la existencia de los parapetos.

$$\Sigma D = 57,309, \text{ Rigidez entrepiso } (\Sigma D / h), \Sigma D / h = 57,309 / 350 = 163.7$$

Solo se muestra el resultado del nivel 4, omitiendo detalles de cálculo.

$$\Sigma D = 64,401, \text{ Rigidez entrepiso } (\Sigma D / h), \Sigma D / h = 64,401 / 350 = 184.0$$

### 2) Relación de excentricidad (I)

Se calcula el centro de gravedad (G) del nivel 3 con respecto al eje G

$$G = [(17.28 \times 6.0) + (19.935 \times 9.0) + (12.894 \times 15.0)] / 57.309 = 8.31 \text{ m}$$

$$\text{Desde el eje G, } S = 7.7 \text{ m, } E = 8.31 - 7.7 = 0.61$$

$$B = 15.0 \text{ m, } L = 44.35 \text{ m}$$

$$e = 0.61 / \sqrt{44.35^2 + 15.0^2} = 0.013$$

$$\therefore G_e = 1.0, \quad R_2 e = 1.0$$

$$C_{2e} = [1 - (1 - 1.0) \times 1.0] = 1.0$$

### 3) Relación de centros de rigidez y gravedad (n)

$$\text{Nivel 4, Relación de centros de rigidez y gravedad: } 184.0 / 2,096.4 = 0.088$$

$$\text{Nivel 3, Relación de centros de rigidez y gravedad: } 163.7 / 2,970.1 = 0.055$$

$$\beta = (3 - 1) / 3 = 0.67$$

$$n = (0.088 / 0.055) \times 0.67 = 1.07 < 1.2$$

$$\therefore G_n = 1.0, \quad R_2 n = 1.0$$

$$C_{2n} = [1 - (1 - 1.0) \times 1.0] = 1.0$$

### 4) Índice $S'_D$

Considerando los resultados anteriores, y dado que la estructura tiene una forma regular en planta, todos los valores de  $C_{2i}$  resultan ser igual a 1.0, excepto el de  $C_{2a} = 0.95$ . En consecuencia, el índice de forma  $S'_D$  posterior al daño resulta ser:

$$S_D = 0.95 \times 1.0 = 0.95$$

j. El índice de antigüedad  $T'$  posterior al daño es igual a 1.0, ya que han considerado los daños en los elementos estructurales en la relación o porcentaje de degradamiento en la capacidad y comportamiento antisísmico  $\eta$ .

k. Se puede calcular el índice de la resistencia antisísmica de la estructura posterior al daño  $I'_S$  como:

$$I'_S = E'_o \times S'_D \times T' = 0.163 \times 0.95 \times 1.0 = 0.155$$

l. Se puede calcular el nivel de daño  $F$  de acuerdo con los resultados del cálculo de los índices de resistencia antisísmica de la estructura antes y después del daño:  $I_S$  y  $I'_S$ , como se indica:

$$\Phi = (1 - I'_S / I_S) \times 100 = (1 - \frac{0.155}{0.317}) \times 100 = 51.1 \quad (\%)$$

Considerando que el año de construcción es 1968, y la intensidad del sismo fue  $V$  (mayor), ya que se ha supuesto que la aceleración máxima del terreno fue igual a  $200 \text{ cm/s}^2$  aproximadamente; y con base en estos datos, se puede decir que el límite inferior del nivel de daño para requerir el refuerzo estructural es 40% de acuerdo con lo indicado en la tabla 3.2. El nivel de daño del edificio en estudio  $F = 51.5\%$  excede al límite antes mencionado. En

consecuencia, se requiere "refuerzo" para mejorar la capacidad y comportamiento sísmico definitiva y permanente del edificio.

### (3) Respecto a la posibilidad de refuerzo

Según la evaluación de la clasificación y nivel de daño y la evaluación de la necesidad de refuerzo de acuerdo con la Guía Técnica de Refuerzo y Rehabilitación cuyo proceso se ha presentado en (2), se ha concluido que se requiere de "refuerzo" para el uso posterior del edificio. También se han investigado los siguientes puntos, y definitivamente, se ha comprobado que el "refuerzo y rehabilitación" es razonable:

a. Aunque el nivel 3 sufrió daños de gravedad, no se presenta falla total, y la condición de la subestructura es adecuada

b. La capacidad sísmica de toda la estructura total no se ha deteriorado al grado de no ser posible su recuperación. La resistencia de los materiales de la estructura es suficientemente alta.

c. Como resultado de las pruebas de carga, los pilotes presentan capacidad suficiente para cargar el peso suplementario producto de la implementación de elementos nuevos, como serían muros estructurales.

d. En Japón, existe un ejemplo de aplicación de la tecnología del refuerzo adecuado en un edificio de dimensiones medias que sufrió daño semejante a este caso por el sismo de Miyagi-ken-oki en 1978.

e. Se puede planear los trabajos de refuerzo sin afectar significativamente la funcionalidad del hospital, con la adición de elementos estructurales

f. Como resultado de la evaluación del costo para el refuerzo, resulta más conveniente reforzar el edificio que demolerlo y construir uno nuevo.

## **7.3 Proyecto de la rehabilitación definitiva**

### **7.3.1 Método básico de refuerzo**

Cuando se procede al trabajo de refuerzo antisísmico de un edificio existente, así como a la rehabilitación de un edificio dañado por sismo, generalmente se toman las siguientes medidas: refuerzo por cortante de columnas, adición de muros estructurales, adición de muros no estructurales, instalación de diagonales y contrafuertes. Se usan estas medidas en forma individual o combinada. Con respecto al edificio en estudio, se han considerado los siguientes puntos, para emplear el método de refuerzo de acuerdo con el resultado de evaluación, la condición del daño y los requerimientos de funcionalidad del hospital:

a. Se refuerzan adecuadamente, si es necesario, los niveles 1 y 2 que han sufrido el daño menor, considerando la relación con el método de refuerzo de los niveles superiores.

b. Se pone énfasis en la funcionalidad del hospital cuando se proyecta la colocación de elementos suplementarios de refuerzo.

c. Se elige el procedimiento de construcción menos costoso, y que pueda realizarse dentro del terreno y espacio disponible.

d. Se considerará la vista exterior del edificio después del refuerzo estructural.

En consecuencia, se ha decidido que se emplea principalmente el refuerzo con muros estructurales, y donde no se puedan instalar, se reforzarán únicamente las columnas.

### 7.3.2 Determinación de las metas

Se determinan las metas de la capacidad y comportamiento sísmico producto del trabajo de rehabilitación y refuerzo, considerando los siguientes puntos:

a. El coeficiente de zona de acuerdo con lo indicado en el código es:  $Z=0.9$ .

b. Se puede suponer que la intensidad del sismo haya sido la máxima según la información de sismos pasados, siendo la intensidad dos veces mayor a la de un sismo de magnitud mediana.

También se consideran las metas de refuerzo sísmico que generalmente se aplican para edificios existentes. Así, se determina la meta del valor  $R I_S$  (evaluación de tercer nivel) igual a 0.6. Sin embargo, en caso de que no sea realizable la meta de refuerzo propuesta por la restricción económica o de utilidad, se analizará nuevamente la seguridad, considerando nuevamente las condiciones ingenieriles y económicas, y se verificará la capacidad ante sismo después del refuerzo.

### 7.3.3 Proyecto del refuerzo y reparación

Se consideran los siguientes aspectos básicos para concretar el proyecto de refuerzo:

a. Se tenderá a provocar, en lo posible, el mecanismo de falla por flexión en los marcos de la dirección larga.

b. Se refuerzan las columnas por orden de nivel de daño en las mismas, siguiendo las tres fases que se indican: re-colar el concreto, reforzar por cortante, inyectar resina epóxica.

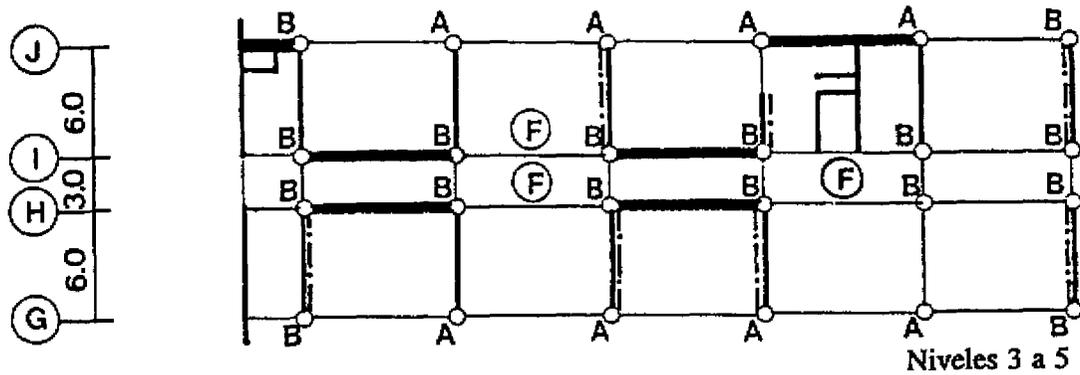
c. Se refuerzan las columnas de los niveles 3 a 5 de tal forma que presenten el mecanismo de falla por flexión. Se instalan los muros verticales continuos, para lograr un aumento adecuado de la resistencia.

d. Se repara inyectando resina epóxica en todos los agrietamientos con anchura mayor a 0.3 mm.

Se toma en cuenta que no afecten el ruido y el polvo de la construcción al ambiente del hospital cuando se refuerzan las columnas de la zona que continúa funcionando como

hospital durante la construcción. Esto se logra empleando métodos sin concreto, o métodos secos, mediante encamisado confinante con placas de acero estructural soldado.

En las figuras 7.5 - 7.7, se muestra la ubicación de los elementos de refuerzo proyectados de acuerdo con los principios anteriores.



**Símbolos**

- |            |         |  |
|------------|---------|--|
| (Columnas) | A       | : Recolado de concreto (figura 7.8)                    |
|            | B       | : Refuerzo empleando malla de acero (figura 7.9)       |
| (Muros)    | —       | : Muro nuevo   |
|            | - - - - | : Muro reforzado aumentando el espesor de concreto     |
|            | — · — · | : Muro inexistente                                     |
| (Trabes)   | ⊙ F     | : Refuerzo de las trabes de acoplamineto (figura 7.10) |

**Figura 7.5. Ubicación de los elementos de refuerzo**