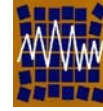




Universidad de Concepción  
Departamento de Ingeniería Civil



Asociación Chilena de Sismología e  
Ingeniería Antisísmica

## N° A12-23 DISEÑO POR DESEMPEÑO DE COLUMNAS EN VOLADIZO

**Gianella Morelli, Pablo Zamorano, Patricio Bonelli**

*Departamento de Obras Civiles Universidad Técnica Federico Santa María  
Casilla 110 V, Valparaíso, Chile  
e-mail: [patricio.bonelli@usm.cl](mailto:patricio.bonelli@usm.cl)*

### RESUMEN

Desde hace una década se están construyendo en Chile naves industriales con columnas prefabricadas de hormigón armado, empotradas en su base y libres en su extremo superior. El techo suele estar soportado por vigas de acero, hormigón armado o pretensado. En estas últimas el peso ha aumentado considerablemente debido a las grandes luces. En algunos casos los arriostramientos de techo han sido reemplazados por costaneras de hormigón trabajando en flexión en el plano del techo. El hecho de constituir el sistema estructural un péndulo invertido ha causado cierto recelo en la ingeniería tradicional, especialmente después de los colapsos de estructuras similares en Turquía en 1999.

En este trabajo se evalúa el desempeño que una familia de estructuras de este tipo tendría frente a terremotos como el registrado en Chile en 1985. Se consideran diversas luces, dimensiones de columna, alturas y cuantías de armadura longitudinal. Con un análisis dinámico no lineal se calculó la respuesta de estas estructuras al registro de Lolleo, componente N10E calculándose el índice de daños en las columnas. El daño en el contenido de los edificios se relaciona con las deformaciones laterales del techo. Los datos se tabularon de manera de elegir directamente el diseño para un caso específico.

Se comentan los índices de daños utilizados y los factores que intervienen. Se propone una metodología de diseño que considere el nivel de daños seleccionado.

*Palabras Clave:* columnas prefabricadas, desempeño, índice de daños.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se han estado construyendo en Chile grandes naves industriales estructuradas con columnas prefabricadas de hormigón armado empotradas en sus bases. El empotramiento se puede materializar embebiendo la columna prefabricada dentro de una taza de fundación o enterrándola en el suelo con una profundidad adecuada. El extremo superior libre se deja libre materializando el apoyo de la estructura de techo como rotulado. En la figura 1.1 se muestran dos esquemas de plantas típicas utilizadas. Los vanos están comprendidos entre 20 y 40[m] utilizándose una distancia entre pilares en el sentido longitudinal del orden de 12[m]. Estas naves se están construyendo para galpones industriales, supermercados y bodegas, pues son preferidas por la luz libre que se puede llegar a disponer, la rapidez del montaje y porque el montaje se puede hacer con pocos operarios.

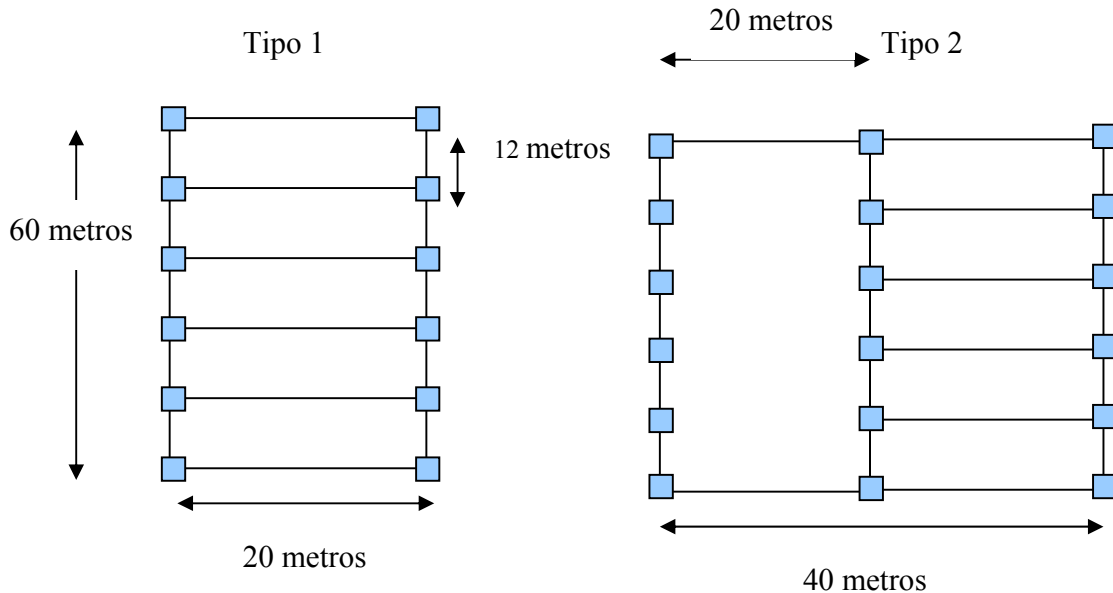


FIGURA 1.1. PLANTAS TIPO DE EDIFICIOS INDUSTRIALES ESTRUCTURADOS CON COLUMNAS EN VOLADIZO

En el terremoto de Turquía, 1999, colapsaron estructuras similares, especialmente las construidas sobre suelos blandos y que tenían columnas con secciones transversales de ancho menor que 55[cm]. Los principales daños detectados fueron la formación de rótulas plásticas en la base de las columnas y daños debido al impacto de las vigas de techos con las columnas (Sharon Wood, 2002). Las naves con columnas con secciones transversales de ancho mayor que 80[cm] respondieron sin llegar al colapso.

Por más de 20 años este tipo de construcción ha sido usual en muchos países europeos. En Chile se comenzaron a construir hace menos de 10 años. Los daños ocurridos en Turquía sugieren a revisar el diseño de edificios similares actualmente en construcción en Chile. En Chile se han calculado con la norma chilena de diseño sísmico de edificio NCh433Of.96 con valores del factor de reducción de la respuesta igual a 2, considerándose que el sistema no está incluido en la tabla de valores de R

considerados en el documento. El año 2002 se puso en vigencia la nueva norma NCh2369 de diseño sísmico de edificios industriales que incluye un capítulo dedicado a este tipo de sistema estructural. Durante la discusión de la norma el tema fue motivo de controversia. En este trabajo se intenta dar una visión del comportamiento de este tipo de estructuras independientemente de la norma que se haya utilizado en su diseño. Con los resultados obtenidos se puede proponer un procedimiento alternativo que considere las fuerzas y desplazamientos que realmente se podrían originar ante un sismo de características conocidas y además, evaluar los resultados del diseño con las normas actuales.

## 2. CASOS DE ESTUDIO

Como metodología de trabajo se decidió calcular la respuesta a un sismo de una familia de columnas confinadas en voladizo, tomándose diferentes valores de ancho de la sección transversal, altura de la columna, cuantías de armadura longitudinal y fuerza axial aplicada sobre la columna proveniente de las vigas que soportan el techo. Se hicieron análisis dinámico no lineales con el programa Ruaomoko [Carr, A., 1998], desarrollado en la Universidad de Canterbury, utilizando el registro de aceleraciones del terremoto de 3 de Marzo de 1985 de Lolleo, componente N10E. La metodología empleada se puede aplicar a más casos ampliando el rango de parámetros y considerando un mayor número de registros, consistentes con la sismicidad del lugar.

En este trabajo se consideraron anchos para la sección transversal de las columnas entre 40 y 110[cm], cuantías entre el 1% y el 4%, alturas entre 4 y 12[m] y cargas axiales provenientes del techo entre 10 y 40[T], valores tomados de naves industriales existentes en Chile estructuradas con columnas prefabricadas de hormigón armado empotradas en su base. Se consideró la inercia de la sección agrietada para el cálculo de los desplazamientos. En este caso se estudiaron columnas confinadas siguiendo el criterio de linearización del diagrama momento-curvatura propuesto por Priestley (1998) y la curva esfuerzo-deformación del hormigón confinado de Paulay and Priestley (1992) con estribos de 10[mm] de diámetro espaciados cada 10 [cm].

## 3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Hormigón H-30	$f'_c$	= 300[kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo de Elasticidad del Hormigón	$E_c$	= 15000 $\sqrt{f'_c}$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
Modulo de Corte del Hormigón	$G$	= 0.4 $E_c$ [kg/cm <sup>2</sup> ]
Acero A63-42H	$f_y$	= 4200[kg/cm <sup>2</sup> ]
Deformación de fluencia del acero	$\epsilon_{sy}$	= 0.002

Deformación última del acero  $\varepsilon_{su} = 0.1$

Modulo de elasticidad del acero  $E_s = 2.1E6 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$

De acuerdo a lo estipulado anteriormente por Paulay and Priestley (1992) el incremento en la resistencia del hormigón confinado ( $f'_{cc}$ ) y su acortamiento último ( $\varepsilon_{cu}$ ) dependen directamente del ancho de la columna, por lo que se obtienen distintos valores para cada columna los que se presentan en la tabla 3.1.

En el análisis no lineal se utilizó un modelo bi-lineal con degradación de rigidez de Takeda [Otani,1986].

TABLA 3.1. RESISTENCIA Y ACORTAMIENTO ÚLTIMO DE HORMIGÓN CONFINADO

Ancho	$f'_{cc}$	$\varepsilon_{cu}$
40	398,26	0,0189
50	376,34	0,0160
60	362,43	0,0140
70	352,82	0,0126
80	345,78	0,0115
90	340,39	0,0107
100	336,14	0,0100
110	332,70	0,0095

#### 4. REGISTROS UTILIZADOS

Como el fin del trabajo es mostrar la metodología de análisis que se puede aplicar al estudio de estos casos, se decidió utilizar solamente un registro pudiéndose extender el estudio aplicando estadística a resultados de varios registros de terremotos. En este caso se eligió la componente N10E del registro del terremoto del 3 de marzo de 1985, ocurrido en Chile Central, obtenido en Llolleo. En la tabla 3. 1 se muestran algunas de sus características.

TABLA 4.1. CARACTERÍSTICAS DE REGISTROS DE LLOLLEO, N10E

Sismo	Registro	Componente	Duración seg	Magnitud de Richter	Intensidad Mercalli Modificada	Aceleración Máxima [1/g]
Chile 3/03/85	Llolleo	N10E	116	7.8	VIII	0.67

## 5. ÍNDICE DE DAÑO

Para estimar el daño local se consideró el método propuesto por Park y Ang (1985) que utiliza una combinación lineal del daño causado debido a deformaciones excesivas y el efecto de cargas cíclicas repetidas. La determinación del índice de daño para cada caso se realizó por medio del programa Ruaumoko [Carr, A., 1998], que permite realizar un análisis no lineal dinámico de las estructuras en estudio. La expresión que utiliza el programa para determinar el índice de daño es similar a la estudiada anteriormente por Park y Ang, salvo que utiliza razones de ductilidad de curvatura, tanto requerida como de capacidad, por lo tanto el índice de daño esta dado por:

$$ID = \frac{\mu_m}{\mu_u} + \frac{\beta E_h}{F_y \mu_u} \quad (5.1)$$

Donde:  $\mu_m$  : razón de ductilidad de curvatura requerida por el sismo

$\mu_u$  : razón de ductilidad de curvatura última

$E_h$  : energía disipada en los ciclos de histéresis

$F_y$  : resistencia (momento) de fluencia

$\beta$  : parámetro positivo que depende de las propiedades de los elementos estructurales.

Aunque según la ecuación anterior el valor del índice de daño para una respuesta elástica puede ser mayor que cero y para daño total mayor a uno, para efectos de este estudio se define un rango entre cero (para respuesta elástica cuando no existe evidencia de daño) y uno (para daño total o colapso). En la tabla 5.1 se muestra una correlación entre el índice de daños y el daño local propuesto por los autores de este índice para columnas de hormigón armado ensayadas bajo cargas cíclicas. Con los resultados obtenidos se llenó la tabla 5.3 con el máximo desplazamiento lateral calculado para el extremo libre de la columna del techo dividido por su altura, coloreándose cada casillero para indicar el nivel de daño local que se podría asociar a los valores del índice de daño de Park y Ang, según se indica en la tabla 5.2.

TABLA 5.1. NIVEL DE DAÑO LOCAL PARA VALORES DEL ÍNDICE DE PARK Y ANG

Índice de daño de Park & Ang	Daño local en los elementos
0-0.1	Leve
0.1-0.3	Suave
0.3-0.8	Moderado
0.8-1	Severo
>1	Colapso

TABLA 5.2. RELACIÓN DAÑO LOCAL V/S COLOR

Daño Local	color
Sin daño estructural	
Leve – suave	
Moderado	
Severo- colapso	

La tabla 5.4 representa una transición suavizada propuesta por Morelli (2003) para considerar la aparente aleatoriedad de los resultados debido a los datos ingresados al programa.

Usando un mayor número de registros y de casos se pueden confeccionar tablas como la tabla 5.4 para ser utilizadas directamente en el diseño. El color indica el daño estructural esperado en la sección crítica, obtenido con el índice de daño utilizado en este trabajo y de acuerdo a la clasificación de daño propuesto por su autor. Analizando los resultados que se observan en la tabla 5.4 se puede concluir que:

- i. Todas las columnas sobre 10[m] de altura responden de buena forma y sólo algunas con daño leve para cargas axiales sobre 20[T] o cuantías bajo 3%.
- ii. Para columnas entre 40 y 60[cm] de sección transversal y alturas de 4 y 6[m] se puede decir que responden con daño moderado para cargas axiales sobre 20[T], salvo las columnas de 40/40 que también responden con daño moderado para una carga axial de 10[T].
- iii. Para columnas entre 40 y 60[cm] de sección transversal, 8[m] de altura y cuantías entre 1 y 3% responden con daño moderado para 30[T] de carga axial.

Las columnas entre 40 y 70[cm] responden con daño severo para 40[T] de carga axial.

TABLA 5.3. DESPLAZAMIENTO LATERAL EN PORCENTAJE DE LA ALTURA Y EL DAÑO LOCAL ESPERADO. REGISTRO DE LLOLLEO COMPONENTE N10E.

Sección	Carga Axial 10 T				Carga Axial 20 T				Carga Axial 30 T				Carga Axial 40 T				
	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	
H																	
40	2,60	2,57	2,45	2,21	4,16	2,46	2,61	2,51	2,51	5,38	4,07	2,56	2,91	5,95	3,99	3,32	2,43
50	2,43	1,70	1,12	1,41	2,07	2,37	2,25	1,48	2,79	2,14	2,48	2,48	2,03	2,72	2,86	2,23	2,59
60	1,71	1,05	0,94	0,72	2,12	1,50	1,05	1,05	1,85	1,85	1,93	1,24	1,39	2,36	2,14	1,81	1,38
70	0,94	0,58	0,59	0,31	1,23	0,92	0,95	0,87	1,89	1,89	1,26	1,09	1,06	1,95	1,23	1,14	0,98
80	0,75	0,35	0,18	0,13	0,97	0,86	0,45	0,43	1,25	0,86	0,82	0,82	0,56	1,47	1,00	0,80	0,79
90	0,58	0,13	0,10	0,08	0,77	0,49	0,24	0,17	1,09	0,75	0,45	0,38	1,13	0,85	0,58	0,43	0,43
100	0,20	0,10	0,05	0,04	0,46	0,25	0,13	0,10	0,81	0,58	0,26	0,10	0,80	0,52	0,43	0,28	0,28
110	0,13	0,05	0,03	0,03	0,40	0,13	0,09	0,06	0,47	0,26	0,12	0,09	0,72	0,45	0,19	0,12	0,12
Sección H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	4%
40	3,26	2,72	2,29	2,59	2,99	3,15	3,27	3,39	4,83	3,80	3,79	3,23	3,23	falla	2,95	3,73	4,25
50	2,28	2,49	2,22	2,17	3,14	2,43	2,33	2,52	3,21	2,36	2,41	2,87	2,72	2,68	2,72	2,68	2,68
60	2,19	1,72	1,49	1,15	2,22	2,02	2,25	1,78	2,38	2,24	2,26	1,84	2,88	2,26	2,28	1,98	1,98
70	1,51	1,14	0,83	0,73	1,80	1,50	1,36	0,99	1,92	1,72	1,24	1,45	2,01	1,74	2,06	1,58	1,58
80	1,00	0,73	0,61	0,52	1,58	1,12	0,83	0,84	1,70	1,33	1,03	0,93	1,64	1,47	1,40	1,53	1,53
90	0,84	0,76	0,30	0,33	1,14	0,81	0,68	0,62	1,58	1,16	0,77	0,74	1,73	1,16	1,12	0,84	0,84
100	0,80	0,29	0,20	0,13	0,82	0,83	0,54	0,28	1,09	0,83	0,71	0,61	1,43	0,90	0,86	0,66	0,66
110	0,46	0,19	0,10	0,07	0,73	0,52	0,30	0,24	0,86	0,78	0,61	0,30	0,97	0,78	0,67	0,76	0,76
Sección H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	4%
40	2,99	3,18	2,58	2,94	3,55	3,15	3,07	3,86	3,25	3,45	3,44	2,73	2,05	2,63	3,57	3,61	3,61
50	2,52	2,75	2,34	2,58	2,59	2,56	2,49	2,66	2,80	3,39	2,44	2,71	4,44	2,78	3,10	2,85	2,85
60	2,16	2,47	1,85	1,61	2,64	2,24	2,28	2,25	3,28	2,56	2,56	1,94	2,82	2,60	2,71	2,42	2,42
70	1,95	1,77	1,32	1,22	2,05	1,99	1,52	1,86	2,71	1,98	1,94	2,00	2,36	1,97	1,89	2,22	2,22
80	1,71	1,31	0,70	0,62	1,82	1,83	1,45	1,30	1,88	2,04	1,74	1,69	1,93	2,04	1,91	1,63	1,63
90	1,21	0,60	0,56	0,63	1,45	1,45	0,84	0,76	1,96	1,54	1,58	1,27	1,83	1,44	1,36	1,45	1,45
100	0,80	0,56	0,46	0,33	1,30	0,74	0,64	0,55	1,41	1,32	0,83	0,71	1,56	1,32	1,25	0,78	0,78
110	0,59	0,44	0,23	0,29	1,17	0,62	0,49	0,48	1,25	0,73	0,63	0,56	1,50	1,14	0,90	0,60	0,60
Sección H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	4%
40	2,84	2,43	2,14	3,17	1,58	2,04	3,71	3,05	3,43	3,43	2,46	2,37	3,84	3,16	1,44	2,59	2,37
50	2,14	2,05	2,21	2,31	3,48	3,03	2,86	2,44	2,03	3,00	2,83	2,74	2,63	3,18	2,61	2,18	2,18
60	2,14	2,04	1,84	2,23	2,61	2,11	2,28	2,41	2,45	2,66	2,06	2,38	2,91	2,18	2,54	1,99	1,99
70	2,23	2,23	1,29	1,30	2,13	2,37	1,80	2,18	2,36	2,27	2,42	1,80	2,28	2,07	2,18	2,30	2,30
80	2,04	1,68	1,40	1,06	2,20	2,13	1,43	1,59	2,21	2,00	2,03	1,95	2,00	2,17	1,67	1,87	1,87
90	1,31	1,11	0,67	0,58	1,81	1,21	1,48	1,38	2,04	1,80	1,16	1,72	2,25	1,84	1,92	1,19	1,19
100	1,63	0,61	0,48	0,45	1,68	1,71	1,06	0,66	1,84	1,29	1,63	1,15	1,70	1,74	1,59	1,41	1,41
110	1,03	0,45	0,39	0,37	1,60	1,05	0,72	0,50	1,77	1,54	1,03	0,61	1,59	1,52	1,39	0,88	0,88
Sección H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	4%
40	1,98	3,35	3,40	1,90	3,28	1,44	2,18	1,70	falla	2,04	1,36	2,16	falla	2,20	1,53	1,38	1,38
50	3,44	2,10	2,32	1,72	2,01	3,88	2,04	2,29	1,50	1,74	3,50	2,39	1,30	2,19	2,24	2,95	2,95
60	2,81	1,92	1,96	1,73	2,46	2,75	2,17	1,71	3,24	1,84	2,23	2,21	1,86	2,75	1,82	1,80	1,80
70	1,88	1,64	1,84	1,61	2,76	1,82	1,92	1,95	1,81	2,24	1,73	1,85	2,59	2,49	2,42	1,72	1,72
80	1,94	1,92	1,07	1,04	1,77	2,29	1,50	1,92	2,21	1,91	2,19	1,46	1,90	1,72	1,82	1,90	1,90
90	1,91	1,38	1,21	0,76	1,94	1,63	1,48	1,17	1,82	1,73	1,56	1,96	1,92	1,90	1,66	1,49	1,49
100	0,94	1,17	0,75	0,60	1,51	1,21	1,13	1,30	1,96	1,78	1,40	1,33	1,95	1,41	1,77	1,56	1,56
110	1,10	0,69	0,40	0,41	1,71	1,02	0,97	0,87	1,46	1,29	1,28	1,42	1,88	1,65	0,94	1,44	1,44

Sin daño estructural	Leve - Suave	Moderado	Severo - Colapso	
----------------------	--------------	----------	------------------	--

TABLA 5.4. DESPLAZAMIENTO LATERAL EN PORCENTAJE DE LA ALTURA Y DAÑO LOCAL. ESQUEMA SUAVIZADO. REGISTRO DE LLOLLEO COMPONENTE N10E.

Sección	Carga Axial 10 T				Carga Axial 20 T				Carga Axial 30 T				Carga Axial 40 T			
	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	2,60	2,57	2,45	2,21	4,16	2,46	2,61	2,51	5,38	4,07	2,56	2,91	5,95	3,99	3,32	2,43
50	2,43	1,70	1,41	1,41	2,07	2,37	2,25	1,48	2,79	2,48	2,03	2,72	2,86	2,23	2,59	
60	1,71	1,05	0,94	0,72	2,12	1,50	1,05	1,05	1,85	1,93	1,24	1,39	2,36	2,14	1,81	
70	0,94	0,58	0,59	0,31	1,23	0,92	0,95	0,87	1,89	1,26	1,09	1,06	1,95	1,23	1,14	
80	0,75	0,35	0,18	0,13	0,97	0,86	0,45	0,43	1,25	0,86	0,82	0,56	1,47	1,00	0,80	
90	0,58	0,13	0,10	0,08	0,77	0,49	0,24	0,17	1,09	0,75	0,45	0,38	1,13	0,85	0,58	
100	0,20	0,10	0,05	0,04	0,46	0,25	0,13	0,10	0,81	0,58	0,26	0,17	0,80	0,52	0,43	
110	0,13	0,05	0,03	0,03	0,40	0,13	0,09	0,06	0,47	0,26	0,12	0,09	0,72	0,45	0,19	
Sección H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	3,26	2,72	2,29	2,59	2,99	3,15	3,27	3,39	4,83	3,80	3,79	3,23	falla	2,95	3,73	4,25
50	2,28	2,49	2,22	2,17	3,14	2,43	2,33	2,33	2,52	3,21	2,36	2,41	4,04	2,87	2,72	2,68
60	2,19	1,72	1,49	1,15	2,22	2,02	2,25	1,78	2,38	2,24	2,26	1,84	2,88	2,26	2,28	1,98
70	1,51	1,14	0,83	0,73	1,80	1,50	1,36	0,99	1,92	1,72	1,94	1,45	2,01	1,74	2,06	1,58
80	1,00	0,73	0,61	0,52	1,58	1,12	0,83	0,84	1,70	1,33	1,03	0,93	1,64	1,47	1,40	1,53
90	0,84	0,76	0,30	0,33	1,14	0,81	0,68	0,62	1,58	1,16	0,77	0,74	1,73	1,16	1,12	0,84
100	0,80	0,29	0,20	0,13	0,82	0,83	0,54	0,28	1,09	0,83	0,71	0,61	1,43	0,90	0,86	0,66
110	0,46	0,19	0,10	0,07	0,73	0,52	0,30	0,24	0,86	0,78	0,61	0,30	0,97	0,78	0,67	0,76
Sección H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	2,99	3,18	2,58	2,94	3,55	3,15	3,07	3,86	3,25	3,45	3,44	2,73	2,05	2,63	3,57	3,61
50	2,52	2,75	2,34	2,58	2,59	2,56	2,49	2,66	2,80	3,39	2,44	2,71	4,44	2,78	3,10	2,85
60	2,16	2,47	1,85	1,61	2,64	2,24	2,28	2,25	3,28	2,56	2,56	1,94	2,82	2,60	2,71	2,42
70	1,95	1,77	1,32	1,22	2,05	1,99	1,52	1,86	2,71	1,98	1,94	2,00	2,36	1,97	1,89	2,22
80	1,71	1,31	0,70	0,62	1,82	1,83	1,45	1,30	1,88	2,04	1,74	1,69	1,93	2,04	1,91	1,63
90	1,21	0,60	0,56	0,63	1,45	1,45	0,84	0,76	1,96	1,54	1,58	1,27	1,83	1,44	1,36	1,45
100	0,80	0,56	0,46	0,33	1,30	0,74	0,64	0,55	1,41	1,32	0,83	0,71	1,56	1,32	1,25	0,78
110	0,59	0,44	0,23	0,29	1,17	0,62	0,49	0,48	1,25	0,73	0,63	0,56	1,50	1,14	0,90	0,60
Sección H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	2,84	2,43	2,14	3,17	1,58	2,04	3,71	3,05	3,43	2,46	2,37	3,84	3,16	1,44	2,59	2,37
50	2,14	2,05	2,21	2,31	3,48	3,03	2,86	2,44	2,03	3,00	2,83	2,74	2,63	3,18	2,61	2,18
60	2,14	2,04	1,84	2,23	2,61	2,11	2,28	2,41	2,45	2,66	2,06	2,38	2,91	2,18	2,54	1,99
70	2,23	2,23	1,29	1,30	2,13	2,37	1,80	2,18	2,36	2,27	2,42	1,80	2,28	2,07	2,18	2,30
80	2,04	1,68	1,40	1,06	2,20	2,13	1,43	1,59	2,21	2,00	2,03	1,95	2,00	2,17	1,67	1,87
90	1,31	1,11	0,67	0,58	1,81	1,21	1,48	1,38	2,04	1,80	1,16	1,72	2,25	1,84	1,92	1,19
100	1,63	0,61	0,48	0,45	1,68	1,71	1,06	0,66	1,84	1,29	1,63	1,15	1,70	1,74	1,59	1,41
110	1,03	0,45	0,39	0,37	1,60	1,05	0,72	0,50	1,77	1,54	1,03	0,61	1,59	1,52	1,39	0,88
Sección H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	1,98	3,35	3,40	1,90	3,28	1,44	2,18	1,70	falla	2,04	1,36	2,16	falla	2,20	1,53	1,38
50	3,44	2,10	2,32	1,72	2,01	3,88	2,04	2,29	1,50	1,74	3,50	2,39	1,30	2,19	2,24	2,95
60	2,81	1,92	1,96	1,73	2,46	2,75	2,17	1,71	3,24	1,84	2,23	2,21	1,86	2,75	1,82	1,80
70	1,88	1,64	1,84	1,61	2,76	1,82	1,92	1,95	1,81	2,24	1,73	1,85	2,59	2,49	2,42	1,72
80	1,94	1,92	1,07	1,04	1,77	2,29	1,50	1,50	2,21	1,91	2,19	1,46	1,90	1,72	1,82	1,90
90	1,91	1,38	1,21	0,76	1,94	1,63	1,48	1,17	1,82	1,73	1,56	1,96	1,92	1,90	1,66	1,49
100	0,94	1,17	0,75	0,60	1,51	1,21	1,13	1,30	1,96	1,78	1,40	1,33	1,95	1,41	1,77	1,56
110	1,10	0,69	0,40	0,41	1,71	1,02	0,97	0,87	1,46	1,29	1,28	1,42	1,88	1,65	0,94	1,44

Sin daño estructural		Leve - Suave	Moderado	Severo - Colapso	
----------------------	--	--------------	----------	------------------	--



## 6. DISEÑO BASADO EN EL DESEMPEÑO

La ingeniería basada en el desempeño se inicia con la identificación del riesgo sísmico y la selección de un nivel de desempeño. El diseño se inicia con una etapa conceptual para terminar con un diseño final. Se debe realizar una revisión del diseño propuesto y finalmente asegurar la calidad de la construcción y su futuro mantenimiento después de la construcción. En las naves industriales, las estructuras son simples, generalmente marcos o como en el caso de esta presentación, columnas en voladizo que reciben vigas de techo simplemente apoyadas

La metodología se puede generalizar a estructuras más complejas. Es posible que en un futuro cercano estén disponibles técnicas de análisis dinámico no lineal aptas para ser empleadas a nivel de proyecto. Por el momento, y considerando las incertidumbres existentes en cuanto a las características de un futuro temblor y a la dificultad de predecir de manera acertada las propiedades físicas y geométricas de la estructura en el instante del sismo, resulta atractivo disponer de procedimientos simplificados que conduzcan a diseños que respondan con un nivel de daños cercano a lo elegido en la etapa de proyecto.

### 6.1. Selección de niveles de comportamiento

En EEUU se ha propuesto que la selección del nivel de desempeño la haga el propietario asesorado por el ingeniero, considerando las expectativas del cliente, el riesgo sísmico, un análisis económico y el riesgo que se estima como aceptable. En Chile los niveles de desempeño están implícitos y están relacionados con los factores R y con la limitación de los desplazamientos de cálculo. Para adoptar esta filosofía de diseño los niveles de desempeño pueden quedar explícitos en la norma y no a gusto, del cliente según la categoría del edificio, el tipo de estructura y el material.

Los niveles de desempeño se definen en términos del daño de los elementos principales y también de los secundarios, en el contenido y en las consecuencias que trae a los ocupantes el tener que abandonar el edificio o paralizar una industria hasta hacer las reparaciones necesarias o reestablecer su funcionamiento. En el caso de una industria las pérdidas que atrae la paralización pueden superar ampliamente el costo de la estructura. En el SEAOC se definen los siguientes niveles de desempeño:

PERFECTAMENTE OPERACIONAL: no se interrumpe las operaciones de la fábrica y el daño es ligero.

OPERACIONAL: es posible continuar la operación rápidamente después del sismo, existe poco daño estructural y la interrupción de las labores no esenciales es corta.

SEGURIDAD DE VIDA: se protege la vida de los ocupantes y el daño que puede ocurrir es clasificado entre moderado y excesivo, pero no debe haber colapso.

CERCA DEL COLAPSO: la vida de los ocupantes esta en riesgo y el daño es grave pero se previene el colapso estructural.

Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica  
IX Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción - Chile

En la tabla 6.1 se muestran los niveles de comportamiento y sus características.

**TABLA 6.1. ÍNDICE DE DAÑO LOCAL Y NIVELES DE COMPORTAMIENTO**

Índice de daño local	Nivel de comportamiento	Características
Sin daño	Perfectamente operacional	Sin daño, condición de servicio. Las funciones permanecen del terremoto. Sin daño estructural de importancia y sin daño en elementos no estructurales.
Daño leve	Operacional	Operaciones y funciones se puede retomar inmediatamente. Se requiere hacer reparaciones para restaurar algunos servicios no esenciales. Daño es leve. La estructura queda segura para ser ocupada inmediatamente después del terremoto. Se protegen las operaciones esenciales, en cambio las operaciones no tan importantes son suspendidas.
Daño moderado	Seguridad de vida	El daño es moderado. Se debe seleccionar un sistema que proteja el daño en el contenido. La vida queda protegida. La estructura se daña pero permanece estable. Los riesgos de falla existen.
Daño severo	Cerca del colapso	Se previene el daño estructural. Los elementos no estructurales pueden fallar. El daño estructural es severo se previene el colapso. Los elementos no estructurales fallan
Colapso	Colapso	Partes de la estructura primaria colapsa. Colapso general de la estructura.

En la tabla 6.2 se muestra los desplazamientos máximos relativos que propone SEAOC para definir nivel de comportamiento.

**TABLA 6.2. DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS PROPUESTOS POR SEAOC**

Nivel de desempeño	Desplazamiento relativos permitidos.
Perfectamente operacional	< 0.2%+/-
Operacional	< 0.5%+/-
Seguridad de vida	< 1.5%+/-
Cerca del colapso	< 2.5%+/-
Colapso	> 2.5%+/-

En la tabla 6.3 se muestran los colores asignados a los diferentes niveles de desempeño definidos en la tabla 6.2 donde se indican los desplazamientos laterales del techo en porcentaje de la altura de la columna, calculados con el registro de L10E componente N10E.

**TABLA 6.3. RELACIÓN NIVEL DE COMPORTAMIENTO V/S COLOR**

Daño Local	color
Perfectamente Operacional	
Operacional	
Seguridad de vida	
Cerca del colapso	
Colapso	

Al igual que en el caso anterior, a continuación se presentan en las tablas 7.1 y 7.2 el desplazamiento lateral del extremo libre de la columna dividido por su altura pero esta vez el color está asociado al nivel de comportamiento propuesto por SEAOC en la tabla 6.2. La tabla 7.2 representa un esquema suavizado propuesto por Morelli (2003).

## 7. EJEMPLOS

Se desea construir un galpón con columnas de 8[m] de altura y vanos de 20[m] de luz, que aportan a cada columna una carga axial de 20[T], proveniente del peso del techo y sobrecarga.

Si se diseña para que las columnas respondan sin daño estructural al registro de Llolleo, componente N10E, se acude a la tabla 5.4 que para la altura de 8[m] y carga axial de 20[T], permite utilizar:

Columnas de sección 80/80 a 110/110 con un 4% de cuantía con  $\delta/H$  entre 0.48 y 1.3%.

Columnas de sección 90/90 y 110/110 con un 3% de cuantía con  $\delta/H$  entre 0.49 y 0.84%.

Columnas de sección 100/100 y 110/110 con un 2% de cuantía con  $\delta/H$  entre 0.62 y 0.74%.

Se podrían usar columnas con sección transversal distintas y con cuantías entre 1 y 4% pero en este caso las columnas sufrirían un daño leve.

Para incluir el nivel de desempeño es necesario usar la Tabla 7.2. Para un nivel de desempeño perfectamente operacional, con desplazamientos relativos menores que un 0.2%, la Tabla 7.2 dice que ninguna columna puede responder dentro de este estado límite. Si se permite un nivel de desempeño operacional, relacionado a desplazamientos relativos menores que un 0.5%, la Tabla 7.2 permite usar: Columnas de sección 110/110 con un 4 % de cuantía.

TABLA 7.1. DESPLAZAMIENTO LATERAL EN PORCENTAJE DE LA ALTURA Y EL NIVEL DE COMPORTAMIENTO. REGISTRO DE LLOLLEO COMPONENTE N10E.

Sección	H	Carga Axial 10 T				Carga Axial 20 T				Carga Axial 30 T				Carga Axial 40 T								
		Cuantía				Cuantía				Cuantía				Cuantía								
		1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	
40	4	2,60	2,57	2,45	2,21	4,16	2,46	2,61	2,51	5,38	4,07	2,56	2,91	5,95	3,99	3,32	2,43					
50	4	2,43	1,70	1,12	1,41	2,07	2,37	2,25	1,48	2,79	2,14	2,48	2,03	2,72	2,86	2,23	2,59					
60	4	1,71	1,05	0,94	0,72	2,12	1,50	1,05	1,05	1,85	1,93	1,24	1,39	2,36	2,14	1,81	1,38					
70	4	0,94	0,58	0,59	0,31	1,23	0,92	0,95	0,87	1,89	1,26	1,09	1,06	1,95	1,23	1,14	0,98					
80	4	0,75	0,35	0,18	0,13	0,97	0,86	0,45	0,43	1,25	0,86	0,56	0,56	1,47	1,00	0,80	0,79					
90	4	0,58	0,13	0,10	0,08	0,77	0,49	0,24	0,17	1,09	0,75	0,45	0,38	1,13	0,85	0,58	0,43					
100	4	0,20	0,10	0,05	0,04	0,46	0,25	0,13	0,10	0,81	0,58	0,26	0,17	0,80	0,52	0,43	0,28					
110	4	0,13	0,05	0,03	0,03	0,40	0,13	0,09	0,06	0,47	0,26	0,12	0,09	0,72	0,45	0,19	0,12					
Sección	H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%					
40	6	3,26	2,72	2,29	2,59	2,99	3,15	3,27	3,39	4,83	3,80	3,79	3,23	falla	2,95	3,73	4,25					
50	6	2,28	2,49	2,22	2,17	3,14	2,43	2,33	2,33	2,52	3,21	2,36	2,41	4,04	2,87	2,72	2,68					
60	6	2,19	1,72	1,49	1,15	2,22	2,02	2,25	1,78	2,38	2,24	2,26	1,84	2,88	2,26	2,28	1,98					
70	6	1,51	1,14	0,83	0,73	1,80	1,50	1,36	0,99	1,92	1,72	1,94	1,45	2,01	1,74	2,06	1,58					
80	6	1,00	0,73	0,61	0,52	1,58	1,12	0,83	0,84	1,70	1,33	1,03	0,93	1,64	1,47	1,40	1,53					
90	6	0,84	0,76	0,30	0,33	1,14	0,81	0,68	0,62	1,58	1,16	0,77	0,74	1,73	1,16	1,12	0,84					
100	6	0,80	0,29	0,20	0,13	0,82	0,83	0,54	0,28	1,09	0,83	0,71	0,61	1,43	0,90	0,86	0,66					
110	6	0,46	0,19	0,10	0,07	0,73	0,52	0,30	0,24	0,86	0,78	0,61	0,30	0,97	0,78	0,67	0,76					
Sección	H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%					
40	8	2,99	3,18	2,58	2,94	3,55	3,15	3,07	3,86	3,25	3,45	3,44	2,73	2,05	2,63	3,57	3,61					
50	8	2,52	2,34	2,58	2,58	2,59	2,56	2,49	2,66	2,80	3,39	2,44	2,71	4,44	2,78	3,10	2,85					
60	8	2,16	2,47	1,85	1,61	2,64	2,24	2,28	2,25	3,28	2,56	2,56	1,94	2,82	2,60	2,71	2,42					
70	8	1,95	1,77	1,32	1,22	2,05	1,99	1,52	1,86	2,71	1,98	1,94	2,00	2,36	1,97	1,89	2,22					
80	8	1,71	1,31	0,70	0,62	1,82	1,83	1,45	1,30	1,88	2,04	1,74	1,69	1,93	2,04	1,91	1,63					
90	8	1,21	0,60	0,56	0,63	1,45	1,45	0,84	0,76	1,96	1,54	1,58	1,27	1,83	1,44	1,36	1,45					
100	8	0,80	0,56	0,46	0,33	1,30	0,74	0,64	0,55	1,41	1,32	0,83	0,71	1,56	1,32	1,25	0,78					
110	8	0,59	0,44	0,23	0,29	1,17	0,62	0,49	0,48	1,25	0,73	0,63	0,56	1,50	1,14	0,90	0,60					
Sección	H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%					
40	10	2,84	2,43	2,14	3,17	1,58	2,04	3,71	3,05	3,43	2,46	2,37	3,84	3,16	1,44	2,59	2,37					
50	10	2,14	2,05	2,21	2,31	3,48	3,03	2,86	2,44	2,03	3,00	2,83	2,74	2,63	3,18	2,61	2,18					
60	10	2,14	2,04	1,84	2,23	2,61	2,41	2,28	2,41	2,45	2,66	2,06	2,38	2,91	2,18	2,54	1,99					
70	10	2,23	2,23	1,29	1,30	2,13	2,37	1,80	2,18	2,36	2,27	2,42	1,80	2,28	2,07	2,18	2,30					
80	10	2,04	1,68	1,40	1,06	2,20	2,13	1,43	1,59	2,21	2,00	2,03	1,95	2,00	2,17	1,67	1,87					
90	10	1,31	1,11	0,67	0,58	1,81	1,21	1,48	1,38	2,04	1,80	1,16	1,72	2,25	1,84	1,92	1,19					
100	10	1,63	0,61	0,48	0,45	1,68	1,71	1,06	0,66	1,84	1,29	1,63	1,15	1,70	1,74	1,59	1,41					
110	10	1,03	0,45	0,39	0,37	1,60	1,05	0,72	0,50	1,77	1,54	1,03	0,61	1,59	1,52	1,39	0,88					
Sección	H	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%					
40	12	1,98	3,35	3,40	1,90	3,28	1,44	2,18	1,70	falla	2,04	1,36	2,16	falla	2,20	1,53	1,38					
50	12	3,44	2,10	2,32	1,72	2,01	3,88	2,04	2,29	1,50	1,74	3,50	2,39	1,30	2,19	2,24	2,95					
60	12	2,81	1,92	1,96	1,73	2,46	2,75	2,17	1,71	3,24	1,84	2,23	2,21	1,86	2,75	1,82	1,80					
70	12	1,88	1,64	1,84	1,61	2,76	1,82	1,92	1,95	1,81	2,24	1,73	1,85	2,59	2,49	2,42	1,72					
80	12	1,94	1,92	1,07	1,04	1,77	2,29	1,50	1,92	2,21	1,91	2,19	1,46	1,92	1,72	1,82	1,90					
90	12	1,91	1,38	1,21	0,76	1,94	1,63	1,48	1,17	1,82	1,73	1,56	1,96	1,92	1,90	1,66	1,49					
100	12	0,94	1,17	0,75	0,60	1,51	1,21	1,13	1,30	1,96	1,78	1,40	1,33	1,95	1,41	1,77	1,56					
110	12	1,10	0,69	0,40	0,41	1,71	1,02	0,97	0,87	1,46	1,29	1,28	1,42	1,88	1,65	0,94	1,44					

Perfectamente operacional		Operacional		Seguridad de vida		Cercano al colapso		Colapso
---------------------------	--	-------------	--	-------------------	--	--------------------	--	---------

TABLA 7.2. DESPLAZAMIENTO LATERAL EN PORCENTAJE DE LA ALTURA Y EL NIVEL DE COMPORTAMIENTO SUAVIZADO. REGISTRO DE LLOLLEO COMPONENTE N10E.

Sección	Carga Axial 10 T				Carga Axial 20 T				Carga Axial 30 T				Carga Axial 40 T			
	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	2,60	2,57	2,45	2,21	4,16	2,46	2,61	2,51	5,38	4,07	2,56	2,91	5,95	3,99	3,32	2,43
50	2,43	1,70	1,12	1,41	2,07	2,37	2,25	1,48	2,79	2,14	2,48	2,03	2,86	2,23	2,59	1,38
60	1,71	1,05	0,94	0,72	2,12	1,50	1,05	1,05	1,85	1,93	1,24	1,39	2,36	2,14	1,81	1,38
70	0,94	0,58	0,59	0,31	1,23	0,92	0,95	0,87	1,89	1,26	1,09	1,06	1,95	1,23	1,14	0,98
80	0,75	0,35	0,18	0,13	0,97	0,86	0,45	0,43	1,25	0,86	0,82	0,56	1,47	1,00	0,80	0,79
90	0,58	0,13	0,10	0,08	0,77	0,49	0,24	0,17	1,09	0,75	0,45	0,38	1,13	0,85	0,58	0,43
100	0,20	0,10	0,05	0,04	0,46	0,25	0,13	0,10	0,81	0,58	0,26	0,17	0,80	0,52	0,43	0,28
110	0,13	0,05	0,03	0,03	0,40	0,13	0,09	0,06	0,47	0,26	0,12	0,09	0,72	0,45	0,19	0,12
Sección	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	3,26	2,72	2,29	2,59	2,99	3,15	3,27	3,39	4,83	3,80	3,79	3,23	falla	2,95	3,73	4,25
50	2,28	2,49	2,22	2,17	3,14	2,43	2,33	2,33	2,52	3,21	2,36	2,41	4,04	2,87	2,72	2,68
60	2,19	1,72	1,49	1,15	2,22	2,02	2,25	1,78	2,38	2,24	2,26	1,84	2,88	2,26	2,28	1,98
70	1,51	1,14	0,83	0,73	1,80	1,50	1,36	0,99	1,92	1,72	1,94	1,45	2,01	1,74	2,06	1,58
80	1,00	0,73	0,61	0,52	1,58	1,12	0,83	0,84	1,70	1,33	1,03	0,93	1,64	1,47	1,40	1,53
90	0,84	0,76	0,30	0,33	1,14	0,81	0,68	0,62	1,58	1,16	0,77	0,74	1,73	1,16	1,12	0,84
100	0,80	0,29	0,20	0,13	0,82	0,83	0,54	0,28	1,09	0,83	0,71	0,61	1,43	0,90	0,86	0,66
110	0,46	0,19	0,10	0,07	0,73	0,52	0,30	0,24	0,86	0,78	0,61	0,30	0,97	0,78	0,67	0,76
Sección	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	2,99	3,18	2,58	2,94	3,55	3,15	3,07	3,86	3,25	3,45	3,44	2,73	2,05	2,63	3,57	3,61
50	2,52	2,75	2,34	2,58	2,59	2,56	2,49	2,66	2,80	3,39	2,44	2,71	4,44	2,78	3,10	2,85
60	2,16	2,47	1,85	1,61	2,64	2,24	2,28	2,25	3,28	2,56	2,56	1,94	2,82	2,60	2,71	2,42
70	1,95	1,77	1,32	1,22	2,05	1,99	1,52	1,86	2,71	1,98	1,94	2,00	2,36	1,97	1,89	2,22
80	1,71	1,31	0,70	0,62	1,82	1,83	1,45	1,30	1,88	2,04	1,74	1,69	1,93	2,04	1,91	1,63
90	1,21	0,60	0,56	0,63	1,45	1,45	0,84	0,76	1,96	1,54	1,58	1,27	1,83	1,44	1,36	1,45
100	0,80	0,56	0,46	0,33	1,30	0,74	0,64	0,55	1,41	1,32	0,83	0,71	1,56	1,32	1,25	0,78
110	0,59	0,44	0,23	0,29	1,17	0,62	0,49	0,48	1,25	0,73	0,63	0,56	1,50	1,14	0,90	0,60
Sección	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	2,84	2,43	2,14	3,17	1,58	2,04	3,71	3,05	3,43	2,46	2,37	3,84	3,16	1,44	2,59	2,37
50	2,14	2,05	2,21	2,31	3,48	3,03	2,86	2,44	2,03	3,00	2,83	2,74	2,63	3,18	2,61	2,18
60	2,14	2,04	1,84	2,23	2,61	2,11	2,28	2,41	2,45	2,66	2,06	2,38	2,91	2,18	2,54	1,99
70	2,23	2,23	1,29	1,30	2,13	2,37	1,80	2,18	2,36	2,27	2,42	1,80	2,28	2,07	2,18	2,30
80	2,04	1,68	1,40	1,06	2,20	2,13	1,43	1,59	2,21	2,00	2,03	1,95	2,00	2,17	1,67	1,87
90	1,31	1,11	0,67	0,58	1,81	1,21	1,48	1,38	2,04	1,80	1,16	1,72	2,25	1,84	1,92	1,19
100	1,63	0,61	0,48	0,45	1,68	1,71	1,06	0,66	1,84	1,29	1,63	1,15	1,70	1,74	1,59	1,41
110	1,03	0,45	0,39	0,37	1,60	1,05	0,72	0,50	1,77	1,54	1,03	0,61	1,59	1,52	1,39	0,88
Sección	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%	1%	2%	3%	4%
40	1,98	3,35	3,40	1,90	3,28	1,44	2,18	1,70	falla	2,04	1,36	2,16	falla	2,20	1,53	1,38
50	3,44	2,10	2,32	1,72	2,01	3,88	2,04	2,29	1,50	1,74	3,50	2,39	1,30	2,19	2,24	2,95
60	2,81	1,92	1,96	1,73	2,46	2,75	2,17	1,71	3,24	1,84	2,23	2,21	1,86	2,75	1,82	1,80
70	1,88	1,64	1,84	1,61	2,76	1,82	1,92	1,95	1,81	2,24	1,73	1,85	2,59	2,49	2,42	1,72
80	1,94	1,92	1,07	1,04	1,77	2,29	1,50	1,92	2,21	1,91	2,19	1,46	1,90	1,72	1,82	1,90
90	1,91	1,38	1,21	0,76	1,94	1,63	1,48	1,17	1,82	1,73	1,56	1,96	1,92	1,90	1,66	1,49
100	0,94	1,17	0,75	0,60	1,51	1,21	1,13	1,30	1,96	1,78	1,40	1,33	1,95	1,41	1,77	1,56
110	1,10	0,69	0,40	0,41	1,71	1,02	0,97	0,87	1,46	1,29	1,28	1,42	1,88	1,65	0,94	1,44

Perfectamente operacional		Operacional		Seguridad de vida		Cercano al colapso		Colapso
---------------------------	--	-------------	--	-------------------	--	--------------------	--	---------

## 8. CONCLUSIONES

Se propuso una metodología que se puede aplicar al diseño por desempeño de estructuras, conociendo el terremoto de diseño. La metodología se aplicó a un sistema de naves industriales estructuradas con columnas confinadas de hormigón armado en voladizo, es decir, empotradas en su base y con el extremo superior libre.

Para el registro del terremoto del 3 de marzo de 1985, obtenido en Lolleo, Chile, componente N10E, el método aplicado a naves industriales concluye que en naves de baja altura, entre 4 y 8[m], si se usan columnas de sección transversal menor que 80[cm] de lado se alcanza un nivel de daño moderado para una carga axial superior a 30[T]. Para columnas de 4 y 6[m] de altura este nivel se alcanza para cargas sobre 20[T]. En cualquier otro caso las columnas responden de buena forma alcanzando sólo en algunos casos un nivel de daño leve pero no alcanzando nunca el colapso.

Basándose en un criterio de diseño por desempeño según lo observado en la tabla 6.1.5 en general columnas con sección menor a 60[cm] colapsan por lo que no pueden ser utilizadas. Las de mayor sección transversal pueden ser utilizadas pero teniendo presente que en ciertos casos se está en un nivel cercano al colapso.

Debe tenerse presente que para efectos de diseño se considera uno de los criterios estudiados, ya sea el criterio de diseño que considera el daño mediante el índice de daño de Park y Ang (1985) o el diseño basado en el desempeño que considera los desplazamientos relativos de la estructura.

## RECONOCIMIENTOS

Los resultados mostrados en esta publicación forman parte de las tesis de Ingeniero Civil del Sr. Pablo Zamorano y de la Sra. Gianella Morelli, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

## REFERENCIAS

Carr Athol (1996), "*Ruaumoko, Inelastic Dynamic Analysis Program*", Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zeland.

Instituto Nacional de Normalización (INN) (1996), "Norma NCh433Of.96, Diseño Sísmico de Edificios", Santiago de Chile.

Instituto Nacional de Normalización (INN) (2000), "Norma NCh2369-2000, Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales", Santiago de Chile.

Morelli Gianella (2003), "Diseño por desempeño de columnas en voladizo", Memoria Ingeniero Civil UTFSM, Valparaíso Chile.

Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica  
IX Jornadas, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción - Chile

Paulay, T. and Priestley, M.J.N. (1992), "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, J. Wiley, New York.

Priestley, M.J.N.(1998), Displacement-based Approaches to Rational Limit States Design of New Structures, 11<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, Paris, Balkema, Rotterdam, pp.317-335.

Posada Marcelo and Wood Sharon (1999), "Seismic Performance of Precast Industrial Buildings in Turkey", 7<sup>th</sup> US National Conference on Earthquake Engineering (7NCEE), Boston Massachusetts, July 2002.