



DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN DE RESPUESTA “R” PARA EDIFICIOS DE HORMIGÓN ARMADO SIN MUROS DE CORTE PARA LA CIUDAD DE SUCRE MEDIANTE EL ANÁLISIS PUSHOVER

López, A.^a

^a Docente en el área de estructuras y geotecnia de la Facultad de Ingeniería Civil (USFX), Destacamento 317, Ex Campus REFISUR, 573, Sucre, Bolivia. E-mail: lopez.alfredo@usfx.bo.

RESUMEN

Uno de los parámetros más importantes dentro del análisis dinámico de estructuras es el Coeficiente de Modificación de Respuesta, que relaciona al espectro elástico con el espectro inelástico, este parámetro está en función del coeficiente de ductilidad y el coeficiente de sobre resistencia, parámetros que pueden ser calculados de la información obtenida del análisis no lineal de estructuras.

Del procedimiento analítico para determinar el coeficiente de modificación de respuesta, para todos los casos considerados, dio resultados mayores a la inicial y del análisis de la cortante ultima, se evidencio que, para todos los casos, la cortante ultima obtenida de acuerdo al procedimiento descrito por el FEMA356, es mayor a la cortante de diseño, de modo que se puede demostrar que para cualquier coeficiente de modificación de respuesta se tiene que la cortante ultima es mayor a la cortante de diseño, lo que indica que el tomar las consideraciones de diseño de hormigón armado estructural de las normas ACI318M-05 y la norma NB1225001, la estructura tiene la suficiente ductilidad y sobre resistencia para disipar la energía considerada en el diseño sísmico.

Palabras clave: Coeficiente de Modificación de Respuesta, análisis no lineal de estructuras

ABSTRACT

One of the most important parameters within the dynamic analysis of structures is the Response Modification Coefficient, which relates the elastic spectrum with the inelastic spectrum, this parameter is a function of the ductility coefficient and the over-resistance coefficient, parameters that can be calculated from the information obtained from the nonlinear analysis of structures.

From the analytical procedure to determine the response modification coefficient, for all the cases considered, it gave higher results than the initial one and from the analysis of the last shear, it was evidenced that, for all cases, the last shear obtained according to the procedure described According to FEMA356, it is greater than the design shear, so that it can be shown that for any response modification coefficient, the ultimate shear is greater than the design shear, which indicates that by taking the structural reinforced concrete design considerations of the ACI318M-05 standards and the NB1225001 standard, the structure has sufficient ductility and over strength to dissipate the energy considered in the seismic design.

Key words: Response Modification Coefficient, nonlinear analysis of structures.

INTRODUCCIÓN

Los parámetros considerados en la publicación de Norma Boliviana de Diseño Sísmico NBDS-2006 y su actualización, el Manual de Diseño Sísmico MDS-2015 no tienen una correlación con la nueva Norma de Diseño de Hormigón Estructural NB1225001 ya que la última tendría una correlación con las normas de análisis Dinámico Americanas ASCE/SEI 07-10 (American Society of Civil Engineers Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures 07-10). En este sentido se debe realizar estudios para determinar los parámetros que serían aplicables a las condiciones tecnológicas constructivas de Sucre - Bolivia.

De los parámetros que toma en cuenta la Norma ASCE/SEI 7-10, pueden mencionarse la aceleración para el Movimiento, Espectro de Respuesta, Ajuste por la Clase de sitio C, Periodo de transición, Factor de Importancia, Coeficiente de Modificación de Respuesta, Factor de Amplificación de Deflexión, etc. Valores que tendrían que ser verificados y/o modificados para las condiciones de Diseño y Construcción de edificaciones Sismo Resistente de Bolivia.

El valor de R propuesto por la Norma ASCE/SEI 7-10 para pórticos de concreto, resistentes a momentos tiene un valor de 5 y para la Norma NBDS-2006 y MDS-2015 tiene un valor de 2, para las normas sismo resistentes de países vecinos a Bolivia como Chile, Perú, Ecuador y Colombia este valor es de 11, 08, 10, y 7 correspondientemente. Siendo este valor diferente y de acuerdo a las tecnologías de cada país, el valor de R para la ciudad de Sucre debe ser calculado o corroborar los resultados presentados en la Norma de Diseño Sismo resistente de Bolivia.

MÉTODO

Para determinar el coeficiente de Modificación de Respuesta, se procederá a la modelación de pórticos de concreto sin muros de corte, para estructuras de 5, 6 y 7 niveles ya que se considera que para estructuras mayores a 7 niveles se debe considerar el uso de pantallas de hormigón armado por resistencia sísmica.

Modelo numérico

En la actualidad existe una tendencia para la determinación del Factor R, el cual se lo determina mediante análisis no lineales.

$$R = R_{\mu} \cdot R_{\Omega} \quad (1)$$

Donde es el factor de resistencia por ductilidad y factor de resistencia por sobre resistencia.

El factor de resistencia por ductilidad se lo define como la relación entre la cortante basal elástica que puede resistir una estructura y la carga máxima inelástica. V_y

$$R = \frac{V_e}{V_y} \quad (2)$$

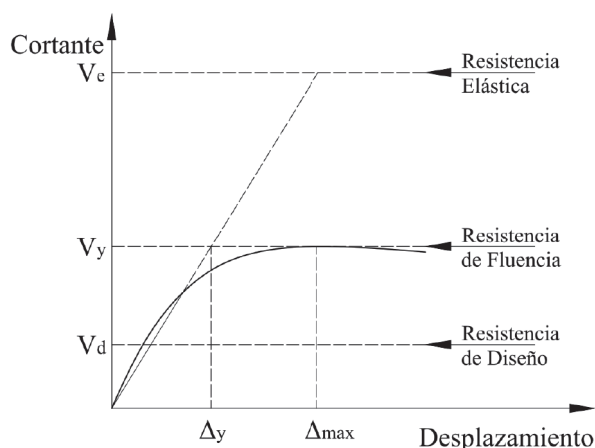


Figura 01. Espectros Elástico e inelástico

El factor de sobre resistencia R_{Ω} se define como la relación entre la cortante basal de fluencia y el cortante basal de diseño. V_d

$$R_{\Omega} = \frac{V_y}{V_d} \quad (3)$$

RESULTADOS

Realizado el diseño de las estructuras de acuerdo a la Norma de Diseño de Hormigón Estructural NB1225001 y realizado el análisis estático no lineal se obtienen las curvas de capacidad de las edificaciones.

A continuación, se muestra la curva de capacidad de la estructura de 5 niveles-01 para un valor de. $R = 05$

Figura 02. Curva de Capacidad

A continuación, se presenta los resultados de los 13 modelos para cada configuración estructural considerada, donde en la primera columna se tiene el valor de R inicial para el diseño de la estructura, las siguientes columnas son los resultados obtenidos de diseño sísmico de acuerdo a las normas ASCE/SEI 7-10, ACI318M-05 y el análisis por desempeño según FEMA 356. En la última columna se obtiene el confiante de modificación de Respuesta para las consideraciones indicadas y de acuerdo a las ecuaciones 1, 2 y 3.

Tabla 1. Determinación del Coeficiente de Modificación de Respuesta para la estructura de 5 Niveles-01

Coeficiente de Modificación de Respuesta "R"	Factor de Reducción Por Ductilidad	Factor de Resistencia por Sobre Resistencia	Coeficiente de Modificación de Respuesta "R"
2	2.338	1.08	2.53
3	2.759	1.34	3.69
4	2.792	1.76	4.92
5	2.867	2.00	5.72
6	1.723	4.53	7.80
7	1.705	5.43	9.25
8	1.744	6.06	10.57
9	1.697	7.01	11.89
10	1.689	7.91	13.35
11	1.670	8.79	14.68
12	1.670	9.59	16.02
13	1.687	10.39	17.53
14	1.687	11.19	18.88

Tabla 2. Determinación del Coeficiente de Modificación de Respuesta para la estructura de 5 Niveles-02

Coeficiente de Modificación de Respuesta "R"	Factor de Reducción Por Ductilidad	Factor de Resistencia por Sobre Resistencia	Coeficiente de Modificación de Respuesta "R"
2	2.16	1.16	2.51
3	2.16	1.70	3.67
4	2.52	1.95	4.92
5	3.14	1.96	6.14
6	3.43	2.13	7.32
7	1.89	4.83	9.11
8	1.78	5.98	10.64
9	1.82	6.57	11.97
10	1.75	7.69	13.44
11	1.78	8.31	14.78
12	1.78	9.06	16.13
13	1.80	9.81	17.65
14	1.80	10.57	19.01

Tabla 3. Determinación del Coeficiente de Modificación de Respuesta para la estructura de 6 Niveles

Coeficiente de Modificación de Respuesta "R"	Factor de Reducción Por Ductilidad	Factor de Resistencia por Sobre Resistencia	Coeficiente de Modificación de Respuesta "R"
2	2.719	0.89	2.42
3	3.391	1.06	3.61
4	3.716	1.31	4.88
5	6.600	0.92	6.05
6	7.562	0.96	7.22
7	7.299	1.16	8.48
8	7.496	1.29	9.69
9	7.496	1.45	10.90
10	7.496	1.62	12.11
11	7.496	1.78	13.33
12	7.496	1.94	14.54
13	7.496	2.10	15.75
14	7.496	2.26	16.96

Tabla 4. Determinación del Coeficiente de Modificación de Respuesta para la estructura de 7 Niveles

Coeficiente de Modificación de Respuesta "R"	Factor de Reducción Por Ductilidad	Factor de Resistencia por Sobre Resistencia	Coeficiente de Modificación de Respuesta "R"
2	2.45	0.97	2.37
3	4.25	0.84	3.56
4	5.02	0.94	4.73
5	6.28	0.94	5.88
6	6.31	1.12	7.08
7	6.71	1.24	8.31
8	7.23	1.31	9.48
9	8.07	1.32	10.66
10	8.56	1.38	11.85
11	8.56	1.52	13.03
12	9.93	1.43	14.22
13	10.42	1.48	15.40
14	10.87	1.53	16.59

Los resultados de las tablas 5.5 a 5.8 demuestran que al tomar como base de diseño NB1225001, ACI318M-05, ASCE/SEI 07-10 como las consideraciones de no linealidad de FEMA 356, el coeficiente de Modificación de Respuesta será igual o mayor al considerado en el diseño de la edificación.

Los valores del Coeficiente de Modificación de Respuesta obtenidos no convergen, y esto se debe a la capacidad de las estructuras para resistir fuerzas de cortante sísmica al cumplir los criterios de diseño de la norma ACI318M-05 y NB1225001.

En función de los resultados, se puede afirmar que, cumpliendo los requerimientos de diseño de las normas ACI318M-05 y NB1225001, las estructuras consideradas en el presente trabajo son seguras frente a un evento sísmico para cualquier valor de R , y esto tomando en cuenta las aceleraciones publicadas en la Norma Boliviana de Diseño Sísmico NBDS 2006 y MDS 2015.

A continuación, se presenta las cortantes ultimas de las estructuras consideradas, que varían en función de R .

Tabla 5. Cortantes últimas en Función de R

R	Cortante Ultima Estr. 5N-01 (KN)	Cortante Ultima Estr. 5N-02 (KN)	Cortante Ultima Estr. 6N (KN)	Cortante Ultima Estr. 7N (KN)
2	1334.505	839.334	2371.841	2560.147
3	1034.455	700.248	2169.334	2285.551
4	961.205	677.891	2032.17	2199.948
5	904.673	646.219	1935.259	2164.732
6	931.195	639.147	1941.001	2144.168
7	928.484	656.544	1919.938	2179.941
8	926.968	656.544	1907.951	2097.176
9	925.681	658.348	1907.951	2091.174
10	926.374	658.837	1907.951	2085.78
11	925.884	658.202	1907.951	2085.78
12	926.081	658.202	1907.951	2081.232
13	926.164	659.154	1907.951	2079.152
14	926.104	658.724	1907.951	2077.443

Considerando las dimensiones de las secciones requeridas para cada estructura, donde estas varían en función de R , se observa que para valores de R se tiene estructuras mucho mas rígidas que las posteriores, lo que significa que las estructuras diseñadas con un Coeficiente de Modificación de Respuesta menor o igual a 05 requiere estructuras mucho más rígidas y por ende más costosas que las diseñadas con valores superiores a 05. A partir de las dimensiones de la estructura de 5 y 6 niveles no cambian, caso que para la estructura de 7 niveles se da a partir de $R \geq 08$

En función de la Cortante Ultima y las dimensiones obtenidas para cada valor de R , se puede decir que el coeficiente de Modificación de Respuesta adecuado para la ciudad de Sucre oscila entre 06 a 08, siendo el más seguro igual a $R=08$, esto considerando las aceleraciones máximas esperadas y cumpliendo los criterios de diseño de las normas ACI318M-05 y NB1225001.

CONCLUSIONES

Los resultados de cortante ultima obtenidos para cada valor de R , tiene una reducción significativa entre los valores de $R=02$ a $R=05$ siendo atenuada hasta $R=08$ y a partir de este valor se tiene una cortante que no cambia significativamente, hecho que va relacionado con las dimensiones obtenidas del diseño sismo resistente de las estructuras, lo que indica que las estructuras diseñadas

con un coeficiente de modificación de respuesta menor a 05, son estructuras con una mayor capacidad de cortante, pero a su vez, estas son más rígidas y por lo tanto más costosas que las diseñadas con $R=08$. Para las cortantes ultimas con su comportamiento se debe a las exigencias de diseño por parte de la norma ACI318M-05. Es en función de estos resultados, que el coeficiente de Modificación de Respuesta más económico y seguro para la ciudad de Sucre oscila entre 06 a 08, siendo el más seguro el valor de 06, valor que es propuesto en la presente investigación. Y haciendo una comparación de las aceleraciones entre el coeficiente de Modificación de respuesta propuesto y el Factor de Comportamiento del Manual de Diseño Sísmico 2015 v.1, se tiene una reducción de la aceleración en un 66,70%.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Structural Engineering Institute. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ASCE/SEI 7-10. EEUU; 2010.

Dr. Ing. Aguilar Falconi Roberto. Análisis Sísmico de Edificios. Quito Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito; 2008.

MSc. Ing. Grandi Gómez Rolando. Norma Boliviana de Diseño Sísmico NBDS 2006. La Paz Bolivia: Ministerio de Obras Públicas; 2006.

MSc. Ing. Grandi Gómez Rolando. Manual de Diseño Sísmico MDS 2015 v1.0. La Paz Bolivia: Colegio de Ingenieros Estructurales de Bolivia; 2015.

Norma Boliviana de Hormigón Estructural NB125001. IBNORCA. Bolivia; 2013.

Amercian Concrete Institute ACI318M-05. Building Code Requirements for Structural Concrete and Comentary. EEUU; 2004.

Dr. Ing. Aguilar Falconi Roberto. Factor de Reducción de Fuerzas Sísmicas en Edificios de Hormigón Armado sin Muros de Corte. Quito Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito; 2007.

Rivera, Pedro y Lobo-Quinteros, William. Evaluación del Factor de Respuesta R en estructuras de Concreto Armado con Pisos Blandos. Revista Ciencia e Ingeniería 2006; 27 (2): 69-77.

Centro de Datos de la NASA. Mapa del día: las zonas del mundo con mayor actividad sísmica; EEUU: INFOBAE; 2014. [25 de Agosto de 2015]. URL disponible en: <http://www.infobae.com/2014/10/07/1599999-mapa-del-dia-las-zonas-del-mundo-mayor-actividad-sismica>

Mario Paz. Dinámica Estructural. Barcelona España: Editorial Reverte, S.A.; 1992.