

**ANÁLISIS SÍSMICO DE TANQUES ELEVADOS DE AGUA SOBRE
DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN REFORZADO
EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA**

EDUARDO ANTONIO MARTÍNEZ GALINDO

LEONARDO FABIAN SÁNCHEZ ARREGUI



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS**



BUCARAMANGA

2004

**ANÁLISIS SÍSMICO DE TANQUES ELEVADOS DE AGUA SOBRE
DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN REFORZADO
EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA**

EDUARDO ANTONIO MARTÍNEZ GALINDO

LEONARDO FABIAN SÁNCHEZ ARREGUI

**TESIS DE GRADO EN LA MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

GUSTAVO CHIO CHO

Ingeniero Civil-Ms.c-Ph.D



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS**



BUCARAMANGA

2004

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS SÍSMICO DE TANQUES ELEVADOS DE AGUA SOBRE DIFERENTES SISTEMAS ESTRUCTURALES DE HORMIGÓN REFORZADO EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.

AUTORES: EDUARDO ANTONIO MARTÍNEZ GALINDO.
LEONARDO FABIAN SÁNCHEZ ARREGUÍ.

PALABRAS CLAVE

TANQUES ELEVADOS
CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS
SLOSHING
MASA CONECTIVA
MODELO DE HOUSNER
DISIPADOR

DESCRIPCIÓN:

En nuestro país, el análisis de tanques elevados de agua en edificaciones, se realiza de una forma demasiado simple que no toma en cuenta las características hidrodinámicas que un sismo induce en el agua almacenada, esas características son fundamentalmente una consecuencia del movimiento del líquido en su superficie libre, fenómeno que se conoce con el nombre de SLOSHING. Para llevar a cabo un análisis mucho más real de las estructuras existe un modelo que fue propuesto por G.W Housner en el año de 1963, en el cual los efectos hidrodinámicos del agua se incluyen en el análisis con una masa que oscila dentro del tanque, llamada masa convectiva la cual se une a la estructura por medio de unos elementos que simulan el comportamiento de un resorte.

Para llevar a cabo el análisis de las estructuras fue necesaria, la integración del modelo propuesto por Housner con el modelo de la estructura, para esto se utilizó el software SAP-2000, del cual se obtuvieron las respuestas que posteriormente fueron analizadas.

Las repuestas de las estructuras cuando tienen en su configuración los tanques elevados, hacen creer que el pensamiento que se tiene por parte de la mayoría de los Ingenieros que es “una masa oscilando libremente en la parte superior de la estructura es perjudicial para esta” es equivocada porque en muchas de las respuestas estudiadas el tanque actuó como un disipador.

SUMMARY

TITLE: SEISMIC ANALYSIS OF ELEVATED WATER TANKS ON DIFFERENTS STRUCTURAL SYSTEMS OF REINFORCED CONCRETE IN THE CITY OF BUCARAMANGA.

AUTHORS: EDUARDO ANTONIO MARTÍNEZ GALINDO.
LEONARDO FABIAN SANCHEZ ARREGUÍ.

KEY WORDS

ELEVATED TANKS
HYDRODYNAMIC CHARACTERISTIC
SLOSHING
CONVECTIVE MASS
HOUSNER MODEL
DISSIPATOR

DESCRIPTION:

In our country, the analysis of high tanks of water in constructions, is carried out in a too simple way that doesn't take into account the hydrodynamic characteristics that an earthquake induces in the stored water, those characteristics they are fundamentally a consequence of the movement of the liquid in its free surface, phenomenon that is known with the name of SLOSHING. To carry out a much realler analysis of the structures a model that was proposed by G.W Housner in the year of 1963, in which the hydrodynamic effects of the water are included in the analysis with a mass that oscillates inside the tank, called convective mass which unites to the structure by means of some elements that simulate the behavior of a spring exists.

To carry out the analysis of the structures it was necessary, the integration of the pattern proposed by Housner with the pattern of the structure, for this the software be used SAP-2000, of which the answers were obtained that later on were analyzed.

Those restored of the structures when they have in their configuration the high tanks, they make believe that the thought that one has on the part of most of the Engineers that it is "a mass oscillating freely in the superior part of the structure is harmful for this" it is mistaken because in many of the studied answers the tank acted as a dissipator.

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga 29 de octubre de 2004

A Dios por darme la vida y una familia
A mis padres Rafael y Rosa por su apoyo incondicional
A mi hermana por ser uno de mis motivos para seguir adelante
A mis abuelos y tíos por haberme ayudado a ser quien soy
A mi primo Fernando por ser mi familia en esta ciudad
A mis amigos por haber estado en todos los momentos
y a todas aquellas personas que de una u otra forma me enseñaron, me acompañaron
y me dieron algo de su vida.

Gracias.....

Eduardo

A Dios; por haberme dado la vida hasta el día de hoy.
A mis padres Luis y Lucy; por su amor y por darme el mejor regalo, **el estudio**.
A mis hermanos Luis Carlos y Marianna; por su verdadero amor y apoyo.
A mi novia Laura; por estar a mi lado en los momentos difíciles.
A Yezid, Nelson, Yesith, Fernando, Eduardo, Gustavo; grandes y verdaderos amigos.
Y a mis familiares; que por alguna u otra razón, hoy no se encuentran conmigo.

Leonardo Sánchez Arregui

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1

TANQUES DE ALMACENAMIENTO

	Pág.
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 DEFINICIÓN	2
1.3 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO	2
1.3.1 Tanques elevados para grandes grupos poblacionales	8
1.3.2 Tanques elevados en edificios	9
1.4 FILOSOFÍA DE ANÁLISIS Y DISEÑO	11
1.4.1 Hidrodinámica	13
➤ Consideraciones generales	13
1.4.2 Vibración de líquidos en tanques de almacenamiento	18
➤ Análisis del oleaje (Sloshing) en la superficie libre	18
• Modelo Mecánico Equivalente	19
➤ Fenómeno de interacción estructura – liquido	22
1.4.3 Normativa Colombiana de diseño y construcción de tanques	23
➤ Diseño y Análisis	24
➤ Metodología de Diseño	29

CAPITULO 2

CONCEPTOS BASICOS DE INGENIERIA SISMICA

2.1	INTRODUCCIÓN	33
2.2	DEFINICIONES	34
2.2.1	Foco ó Hipocentro	34
2.2.2	Epicentro	34
2.3	TRANSMISIÓN DE LA ENERGÍA SÍSMICA	34
2.3.1	Tipos de Ondas Sísmicas	35
➤	Ondas Internas	35
•	Ondas P (Ondas Primarias)	36
•	Ondas S (Ondas secundarias)	37
➤	Ondas Superficiales	37
•	Ondas Love	37
•	Ondas Rayleigh	38
➤	Velocidad de las Ondas “P” u Ondas Primarias	40
➤	Velocidad de las Ondas “S” u Ondas Secundarias	40
➤	Velocidad de las Ondas “R” u Ondas Rayleigh	40
➤	Velocidad de las Ondas “L” U Ondas Love	40
2.4	CARACTERIZACIÓN SÍSMICA	41
2.4.1	Intensidad Sísmica	41
➤	Escala de Mercalli	42
2.4.2	Magnitud Sísmica	43
➤	Escala de Richter	43
2.4.3	Energía Liberada	45
2.4.4	Duración	45

2.4.5	Acelerogramas	46
2.5	ANÁLISIS DE LA AMENAZA SÍSMICA	47
2.5.1	Zonas de Amenaza Sísmica	48
➤	Zona de Amenaza Sísmica Baja	48
➤	Zona de Amenaza Sísmica Media	48
➤	Zona de Amenaza Sísmica Alta	48
2.5.2	Aceleración Pico (Aa)	48
2.5.3	Espectro de Diseño	51
2.5.4	Espectros de Respuesta	55

CAPITULO 3

DESCRIPCIÓN Y MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

3.1	INTRODUCCIÓN	56
3.2	MODELAMIENTO GENERAL DE LA ESTRUCTURA	57
➤	ELEMENTO TIPO FRAME	57
➤	ELEMENTO TIPO SHELL	59
3.3	DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES Y DE LOS TANQUES ELEVADOS	61
3.3.1	Edificio Miramonti	61
➤	Tanque elevado del Edificio Miramonti	62
3.3.2	Edificio Teruel	65
➤	Tanque elevado del Edificio Teruel	67
3.3.3	Edificio Omega	68
➤	Tanque elevado del Edificio Omega	70
3.3.4	Edificio Procyón	71

➤	Tanque elevado del Edificio Procyón	73
3.4	MODELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN SAP – 2000	74
3.4.1	Tipos de apoyos	74
3.4.2	Tipos de cargas	74
➤	Carga Viva	74
➤	Carga muerta	74
3.4.3	Tipo de material	75
3.4.4	Definición de zonas de rigidez	76
3.4.5	Definición de los Constraint	76
3.4.6	Definición de espectros de Diseño	76
3.4.7	Definición de las combinaciones de carga	76
3.5	MODELAMIENTO DEL AGUA CONTENIDA DENTRO DEL	
	TANQUE	77

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	INTRODUCCIÓN	87
4.2	COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL AGUA ALMACENADA EN LOS DIFERENTES TANQUES	87

4.3	COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS, UTILIZANDO LOS DIFERENTES MODELOS PROPUESTOS, ESPECTRO NSR-98	102
4.3.1	Comparación de los periodos de las estructuras en el sentido X	103
4.3.2	Comparación de los periodos de las estructuras en el sentido Y	105
4.3.3	Comparación de los desplazamientos de las estructuras en el sentido X	107
4.3.4	Comparación de los desplazamientos de las estructuras en el sentido Y	110
4.3.5	Comparación del Cortante Basal en X, SISMO X	112
4.3.6	Comparación del Cortante Basal en Y, SISMO X	114
4.3.7	Comparación del Cortante Basal en X, SISMO Y	116
4.3.8	Comparación del Cortante Basal en Y, SISMO Y	118
4.3.9	Comparación de Pu en las columnas, SISMO X	120
4.3.10	Comparación de Pu en las columnas, SISMO Y	122
4.4	COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS, UTILIZANDO LOS DIFERENTES MODELOS PROPUESTOS, ESPECTRO ZONA 2	124
4.4.1	Comparación del Cortante Basal en X, SISMO X	125
4.4.2	Comparación del Cortante Basal en Y, SISMO X	127
4.4.3	Comparación del Cortante Basal en X, SISMO Y	129
4.4.4	Comparación del Cortante Basal en Y, SISMO Y	131
4.4.5	Comparación de Pu en las columnas, SISMO X	133
4.4.6	Comparación de Pu en las columnas, SISMO Y	135
4.4.7	Comparación de los desplazamientos de las estructuras en el sentido X	137
4.4.8	Comparación de los desplazamientos de las estructuras en el sentido Y	139

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

ANEXO A. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA ALMACENADA.

ANEXO B. RESPUESTAS DE LAS ESTRUCTURAS ESTUDIADAS.

ANEXO C. PORCENTAJE DE CAMBIO EN LAS RESPUESTAS DE LAS ESTRUCTURAS ESTUDIADAS.

ANEXO D. ELEMENTOS CRÍTICOS EN LAS ESTRUCTURAS.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tanque cilíndrico	3
Figura 2. Tanque Rectangular	3
Figura 3. Tanque cilíndrico superficial	5
Figura 4. Tanques elevados unipolares	5
Figura 5. Tanque de acero utilizado para almacenar combustibles	7
Figura 6. Diferentes formas de tanques elevados para suministro a poblaciones	9
Figura 7. Tanque elevado sobre 4 columnas en la ciudad de Bucaramanga	10
Figura 8. Tanque elevado sobre muros de carga en la ciudad de Bucaramanga	10
Figura 9. Tanque elevado sobre dos columnas en la ciudad de Bucaramanga	11
Figura 10. Tanque elevado sobre sistema combinado en la ciudad de Bucaramanga	11
Figura 11. Modelo experimental para analizar el fenómeno SLOSHING	19
Figura 12. Modelo mecánico equivalente propuesto por Housner	20
Figura 13. Liberación de Energía sísmica debido al choque de placas tectónicas	34
Figura 14. Propagación de las ondas internas a través de la corteza terrestre	36
Figura 15. Forma de propagación de las Ondas Primarias	36
Figura 16. Forma de propagación de las Ondas Secundarias	37
Figura 17. Forma de propagación de las Ondas Love	38
Figura 18. Forma de propagación de las Ondas Rayleigh	39
Figura 19. Comparación entre las escalas de Mercalli y Richter	44
Figura 20. Zonas de amenaza sísmica en Colombia	49
Figura 21. Valores de Aa característicos	50

Figura 22. Espectro de diseño propuesto por la NSR – 98	51
Figura 23. Espectro de diseño propuesto por el estudio de microzonificación de Bucaramanga	52
Figura 24. Espectros de diseño propuestos por el estudio de microzonificación Sismo geotectónica del Área metropolitana de Bucaramanga	53
Figura 25. Elemento FRAME	58
Figura 26. Definición de un elemento FRAME del tipo rectangular	58
Figura 27. Definición de un elemento FRAME del tipo general	59
Figura 28. Elemento SHELL	60
Figura 29. Definición de un elemento tipo SHELL	61
Figura 30. Configuración general del Edificio Miramonti	62
Figura 31. Planta tipo del Edificio Miramonti	63
Figura 32. Configuración general del tanque de almacenamiento Edificio Miramonti	64
Figura 33. Configuración general del Edificio Teruel	65
Figura 34. Planta tipo del Edificio Teruel	66
Figura 35. Configuración general del tanque de almacenamiento Edificio Teruel	67
Figura 36. Configuración general del Edificio Omega	68
Figura 37. Planta tipo del Edificio Omega	69
Figura 38. Configuración general del tanque de almacenamiento Edificio Omega	70
Figura 39. Configuración general del Edificio Procyón	71
Figura 40. Planta tipo del Edificio Procyón	72
Figura 41. Configuración general del tanque de almacenamiento Edificio Procyón	73
Figura 42. Definición del material utilizado para la creación de los Modelos	75
Figura 43. Estructura sin tanque elevado de agua	77
Figura 44. Estructura con tanque elevado de agua	78
Figura 45. Modelo mecánico equivalente propuesto por G.W Housner	79

Figura 46. Definición del elemento sección rígida	80
Figura 47. Definición de los elementos tipo resorte	81
Figura 48. Definición del tipo de material para los elementos resorte	82
Figura 49. CONSTRAINT definido para los nodos del fondo del tanque	83
Figura 50. CONSTRAINT definido para los nodos del nivel Z1 con excepción del nodo donde se concentra la masa convectiva	83
Figura 51. CONSTRAINT definido para el nodo donde se concentra la masa convectiva	84
Figura 52. Detalle del tanque elevado con su sistema de apoyo y elementos rígidos del modelo de G.W HOUSNER, elaborado con el software SAP-2000	85
Figura 53. Modelo final de la estructura con el agua contenida dentro del tanque	86
Figura 54. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti	88
Figura 55. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel	89
Figura 56. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Omega	89
Figura 57. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón	90
Figura 58. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti	91
Figura 59. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel	91
Figura 60. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Omega	92
Figura 61. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón	92
Figura 62. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti	93

Figura 63. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel	94
Figura 64. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Omega	94
Figura 65. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón	95
Figura 66. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti	96
Figura 67. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel	96
Figura 68. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Omega	97
Figura 69. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón	97
Figura 70. Variación de las rigideces convectivas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti	98
Figura 71. Variación de las rigideces convectivas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel	99
Figura 72. Variación de las rigideces convectivas representativas del modelo de Housner para el ED Omega	99
Figura 73. Variación de las rigideces convectivas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón	100
Figura 74. Frecuencia natural de oscilación W_c para la masa que oscila dentro del tanque, para todos los edificios. Sentido X	101
Figura 75. Frecuencia natural de oscilación W_c para la masa que oscila dentro del tanque, para todos los edificios. Sentido Y	101
Figura 76. Porcentaje de agua Vs Periodos X Edificio Miramonti	103
Figura 77. Porcentaje de agua Vs Periodos X Edificio Omega	103
Figura 78. Porcentaje de agua Vs Periodos X Edificio Procyón	104
Figura 79. Porcentaje de agua Vs Periodos X Edificio Teruel	104
Figura 80. Porcentaje de agua Vs Periodos Y Edificio Miramonti	105
Figura 81. Porcentaje de agua Vs Periodos Y Edificio Omega	105

Figura 82. Porcentaje de agua Vs Periodos Y Edificio Procyón	106
Figura 83. Porcentaje de agua Vs Periodos Y Edificio Teruel	106
Figura 84. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), NSR-98, Edificio Miramonti	107
Figura 85. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), NSR-98, Edificio Omega	108
Figura 86. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), NSR-98, Edificio Procyón	108
Figura 87. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), NSR-98, Edificio Teruel	109
Figura 88. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), NSR-98, Edificio Miramonti	110
Figura 89. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), NSR-98, Edificio Omega	110
Figura 90. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), NSR-98, Edificio Procyón	111
Figura 91. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), NSR-98, Edificio Teruel	111
Figura 92. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, NSR-98 Edificio Miramonti	112
Figura 93. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, NSR-98 Edificio Omega	113
Figura 94. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, NSR-98 Edificio Procyón	113
Figura 95. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, NSR-98 Edificio Procyón	114
Figura 96. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, NSR-98 Edificio Miramonti	114
Figura 97. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, NSR-98 Edificio Omega	115
Figura 98. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, NSR-98 Edificio Procyón	115

Figura 99. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, NSR-98 Edificio Teruel	116
Figura 100. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, NSR-98 Edificio Miramonti	116
Figura 101. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, NSR-98 Edificio Omega	117
Figura 102. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, NSR-98 Edificio Procyón	117
Figura 103. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, NSR-98 Edificio Teruel	118
Figura 104. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, NSR-98 Edificio Miramonti	118
Figura 105. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, NSR-98 Edificio Omega	119
Figura 106. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, NSR-98 Edificio Procyón	119
Figura 107. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, NSR-98 Edificio Teruel	120
Figura 108. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo X, NSR-98 Edificio Miramonti	120
Figura 109. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo X, NSR-98 Edificio Omega	121
Figura 110. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo X, NSR-98 Edificio Procyón	121
Figura 111. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo X, NSR-98 Edificio Teruel	122
Figura 112. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo Y, NSR-98 Edificio Miramonti	122
Figura 113. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo Y, NSR-98 Edificio Omega	123
Figura 114. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo Y, NSR-98 Edificio Procyón	123

Figura 115. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo Y, NSR-98 Edificio Teruel	124
Figura 116. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, Zona 2 Edificio Miramonti	125
Figura 117. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, Zona 2 Edificio Omega	125
Figura 118. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, Zona 2 Edificio Procyón	126
Figura 119. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, Zona 2 Edificio Teruel	126
Figura 120. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, Zona 2 Edificio Miramonti	127
Figura 121. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, Zona 2 Edificio Omega	127
Figura 122. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, Zona 2 Edificio Procyón	128
Figura 123. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, Zona 2 Edificio Teruel	128
Figura 124. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, Zona 2 Edificio Miramonti	129
Figura 125. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, Zona 2 Edificio Omega.	129
Figura 126. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, Zona 2 Edificio Procyón	130
Figura 127. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, Zona 2 Edificio Teruel	130
Figura 128. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, Zona 2 Edificio Miramonti	131
Figura 129. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, Zona 2 Edificio Omega	131
Figura 130. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, Zona 2 Edificio Procyón	132

Figura 131. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, Zona 2 Edificio Teruel	132
Figura 132. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Miramonti	133
Figura 133. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Omega	133
Figura 134. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Procyón	134
Figura 135. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Teruel	134
Figura 136. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo Y, Zona 2, Edificio Miramonti	135
Figura 137. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Omega	135
Figura 138. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Procyón	136
Figura 139. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Teruel	136
Figura 140. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), ZONA 2, Edificio Miramonti	137
Figura 141. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), ZONA 2, Edificio Omega	137
Figura 142. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), ZONA 2, Edificio Procyón	138
Figura 143. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), ZONA 2, Edificio Teruel	138
Figura 144. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), ZONA 2, Edificio Miramonti	139
Figura 145. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), ZONA 2, Edificio Omega	139
Figura 146. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), ZONA 2, Edificio Porción	140

Figura 147. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2),
ZONA 2, Edificio Teruel

140

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Determinación de los parámetros del Modelo Mecánico Equivalente	21
Tabla 2. Recubrimientos mínimos del refuerzo	27
Tabla 3. Cuantías mínimas de retracción de fraguado	29
Tabla 4. Clasificación de Mampostería	41
Tabla 5. Clasificación de eventos sísmicos según escala de Mercalli	42
Tabla 6. Cargas muertas de las edificaciones	75
Tabla 7. Dimensiones de los tanques de almacenamiento estudiados	88

INTRODUCCIÓN

En el diseño y construcción de una edificación, deben tenerse en cuenta muchos factores importantes que la hagan funcional y cómoda para sus habitantes, uno de estos factores a tener en cuenta por parte de los ingenieros y los Arquitectos es la demanda de agua que hará la población que ocupe el inmueble y la forma como esta necesidad se verá satisfecha, de manera independiente a la función que esta cumpla, ya sea un hospital, un edificio de apartamentos, un edificio de oficinas, instalaciones industriales, etc. Para este fin se pueden diseñar y construir diferentes sistemas de almacenamiento de los cuales los más usados son los tanques de almacenamiento enterrados y los tanques de almacenamiento elevados que pueden construirse en niveles intermedios o por encima del último nivel de la edificación, esta última es una buena elección para satisfacer la demanda de agua por su relativa facilidad de construcción y también por aspectos que están relacionados con el uso del espacio interior en los niveles intermedios de la obra.

Aunque la construcción de un sistema de almacenamiento elevado de agua es relativamente sencilla, el análisis sísmico de este tipo de estructuras debe realizarse muy minuciosamente porque ante la ocurrencia de un sismo pueden presentarse fenómenos que no fueron previstos y por ello la estructura colapsará o sufrirá un nivel de daño demasiado alto.

El interés por el estudio y análisis sísmico de este tipo de estructuras aumenta con el paso de los años, debido a que estas pueden presentar respuestas complejas que se dan principalmente por el efecto del agua, punto que dio inicio a los estudios relacionados con el tema que van encaminados a encontrar un modelo capaz de representar el comportamiento hidrodinámico del agua almacenada; además de los efectos hidrodinámicos del agua, se tendrán en cuenta el tipo de la estructura de apoyo para el tanque y el sistema estructural de la edificación que resulte más favorable.

El modelamiento del agua dentro del tanque se hace tomando como base el modelo mecánico equivalente propuesto por G.W HOUSNER¹ que considera una porción de la masa del agua almacenada, fija y solidaria al movimiento de las paredes del tanque (masa impulsiva), y el resto de la masa se modela como una masa móvil unida al tanque por medio de un resorte de rigidez K (masa convectiva).

El modelamiento general de la estructura se llevará a cabo utilizando elementos finitos, con el programa de análisis estructural SAP-2000², por medio del cual se obtendrán las respuestas sísmicas de la estructura para su posterior análisis.

¹ Revista BIT, Análisis paramétrico de estanques elevados de agua; Junio 2001.

² SAP-2000 Nonlinear. Integrated Structural Analysis and design Software, Computer & Structures Inc, California.

Con este estudio se espera aportar al conocimiento del comportamiento de este tipo de estructuras, mejorando las recomendaciones previstas en nuestro código de construcciones sismorresistentes NSR-98.

CAPITULO 1

TANQUES DE ALMACENAMIENTO

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se definirá lo que es un tanque de almacenamiento, cuales son sus principales usos, los materiales que se utilizan para su construcción y cual es la filosofía detrás del análisis y el diseño de este tipo especial de estructuras.

Se profundizará sobre los tanques elevados en edificios construidos en concreto y de sección rectangular, cuáles son sus ventajas y cuáles sus desventajas con relación a tanques construidos en otros materiales y se explicará como actúan los sistemas de carga y la forma como el tanque resiste estas.

Posteriormente se hablarán de los diferentes métodos de análisis que simulen los efectos dinámicos producidos por los líquidos contenidos en los tanques de almacenamiento, debido a que estos efectos son despreciables en el momento de diseñar este tipo de estructuras.

Por último y no siendo el menos importante aspecto que se tratará es la normativa colombiana para el diseño y construcción sismorresistente de tanques, enunciando los diferentes aspectos consignados en la NSR-98 “NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE”

1.2 DEFINICIÓN

Los tanques son estructuras especiales construidas con el propósito de almacenar algún material o sustancia, son principalmente utilizados para almacenar agua u otros líquidos, tales como combustibles y químicos. Estas estructuras también pueden ser utilizadas para almacenar gases y desperdicios tanto sólidos como líquidos como también formar parte de procesos productivos o de manufactura, para almacenamiento de granos, y a veces son utilizados como reactores.

Los tanques, especialmente los que se utilizan para el almacenamiento de agua, son estructuras de vital importancia para la sociedad y el diseño correcto de estos es indispensable ya que la pérdida o derrame del líquido debido a la falla de un tanque podría llegar incluso a costar la pérdida de vidas humanas, especialmente cuando se trata de tanques elevados.

1.3 TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Existen varios criterios para clasificar los tanques. Una de las formas más básicas de clasificar este tipo de estructuras es considerando su forma, algunas de las formas más comunes de tanques son:

- **Forma Rectangular.**
- **Forma Cuadrada.**
- **Forma Cilíndrica.**

Figura 1. Tanque cilíndrico



Fuente: SALVA HUERTAS, Ildelfonso. Eficiencia Estructural de Diferentes Tanques de Concreto.

Figura 2. Tanque Rectangular



Fuente: SALVA HUERTAS, Ildelfonso. Eficiencia Estructural de Diferentes Tanques de Concreto.

La forma cilíndrica por ejemplo es una de las formas más económicas y fáciles de construir. El criterio principal que se utiliza para determinar la forma del tanque es el uso para el cual es proyectado, ya que las propiedades físicas del material almacenado juegan un papel preponderante al momento de efectuar el diseño; otros criterios que se utilizan para escoger la forma del tanque es el espacio con el que se cuenta para construir este, el material que se va a utilizar en la construcción y el costo total de la estructura.

En la forma del tanque también juega un papel importante el espesor que se le dará a las paredes, la razón altura / radio del tanque así como las cargas que este deberá resistir a lo largo de su vida útil.

Otra forma de clasificación bastante aceptada es la que da la presión interna del tanque, por la cual se tiene la siguiente discriminación:

- **Tanques atmosféricos.**
- **Tanques de baja presión.**
- **Tanques de alta presión (Pressure Vessels).**

Dependiendo de la elevación del fondo del tanque con respecto al nivel del terreno se obtiene la siguiente clasificación:

- **Tanques enterrados.**
- **Tanques superficiales.**
- **Tanques elevados.**

Figura 3. Tanque cilíndrico superficial



Fuente: SALVA HUERTAS, Ildelfonso. Eficiencia Estructural de Diferentes Tanques de Concreto.

Figura 4. Tanques elevados unipolares



Fuente: SALVA HUERTAS, Ildelfonso. Eficiencia Estructural de Diferentes Tanques de Concreto.

Los tanques construidos sobre el terreno tienen casi toda su estructura expuesta, la cual se encuentra apoyada sobre el terreno o sobre una fundación en concreto; algunas de las ventajas que posee este tipo de tanques con relación a los tanques enterrados son:

- Mayor facilidad de construcción
- Se pueden construir con mayor capacidad de almacenamiento
- Menor costo

Los tanques construidos bajo el terreno son mas pequeños como se mencionó anteriormente, debido a que estos en su etapa de diseño requieren de consideraciones especiales que tomen en cuenta la presión que ejerce el suelo sobre ellos, usualmente este tipo de tanques se utilizan para almacenar combustibles o productos químicos, la mayoría de los tanques construidos bajo el terreno son de concreto, debido a que este material resiste mucho mejor las cargas ejercidas por el suelo.

Existen otros tipos de clasificaciones para tanques como por ejemplo:

- **Tanques cerrados** Dentro de esta clasificación hay una subdivisión dependiendo de la forma que tenga la cubierta, esta forma se determina y se escoge dependiendo del uso que se le vaya a dar y de las dimensiones del tanque; algunas cubiertas son más eficientes que otras, resistiendo las presiones generadas tanto por el líquido almacenado, como por el viento y otras cargas que actúan en la estructura.

- **Tanques abiertos** Otra forma de clasificar los tanques es por el material que se utiliza para su construcción, la selección del material se realiza basándose en el costo, facilidad y rapidez de construcción, resistencia a la corrosión, compatibilidad con el material que se va a almacenar y en algunos casos por la disponibilidad que se tenga del material en la zona de construcción. Teniendo en cuenta los materiales de construcción se obtiene la siguiente división:

- **Tanques de concreto reforzado.**
- **Tanques de acero.**
- **Tanques de aluminio.**

Cada uno de estos tanques posee ciertas particularidades que los hacen idóneos o apropiados para almacenar cierto tipo de líquido o material. Los tanques de acero son los más comunes, esto se debe porque el acero es un material bastante comercial y con un costo relativamente bajo, además de que el proceso constructivo que permite, es ágil, eficiente y de bajo costo, su principal uso es en el almacenamiento de líquidos y gases.

Los tanques de aluminio son utilizados primordialmente para almacenar gases o combustibles y casi siempre son de menor tamaño en comparación con los de acero y concreto. Al ser un material liviano el aluminio es un buen material para construir tanques pequeños que se puedan transportar fácilmente, como camiones de combustible o camiones cisterna.

Figura 5. Tanque de acero utilizado para almacenar combustibles



Fuente: SALVA HUERTAS, Ildelfonso. Eficiencia Estructural de Diferentes Tanques de Concreto.

Los tanques de concreto son utilizados para almacenar líquidos, como tanques de sedimentación, tanques para manejo de desperdicios o para almacenamiento de granos (Silos); este tipo de tanques es de un alto costo en comparación con los tanques de acero, aunque esta desventaja la compensan con una mayor capacidad para resistir cargas. Un tanque de concreto debe ser

diseñado y construido para retener el líquido que almacena sin permitir que el mismo pase a través de sus paredes y el fondo, es decir que sea lo más impermeable posible bajo la acción de las cargas a las cuales va a estar sometido. El concreto para estructuras que almacenen líquidos debe ser de baja permeabilidad y resistente a la corrosión química, esta cualidad es necesaria para prevenir el goteo a través del concreto y proveer protección contra la corrosión del refuerzo.

El concreto debe ser resistente a la acción de ataques químicos, a la humedad y al ambiente; otra consideración importante en los tanques de concreto es el control de grietas, así el espesor asignado a las paredes del tanque debe ser suficiente para evitar los agrietamientos, de manera que es importante que se describan detalladamente las especificaciones que debe cumplir el concreto que se va a utilizar, además que clase de impermeabilizador será necesario para garantizar el buen funcionamiento del tanque.

Aunque los usos que se le pueden dar a un tanque de concreto son algo limitados en comparación con un tanque de acero, estos resultan más apropiados cuando se necesita que el tanque se mantenga en servicio durante emergencias.

1.3.1 Tanques elevados para grandes grupos poblacionales Estos son los tanques elevados con gran capacidad de almacenamiento, estas estructuras son utilizadas para almacenar y suministrar agua a grupos de personas, que se encuentren en un pueblo o ciudad.

El sistema de apoyo de estos tanques es variado y va desde estructuras unipolares, es decir un solo apoyo desde la base que puede ser de concreto o de acero, hasta sistemas mucho más complejos de múltiples apoyos los cuales son principalmente metálicos.

Figura 6. Diferentes formas de tanques elevados para suministro a poblaciones



Fuente: SALVA HUERTAS, Ildelfonso. Eficiencia Estructural de Diferentes Tanques de Concreto.

1.3.2 Tanques elevados en edificios Los tanques elevados en edificios, se utilizan para solucionar tanto problemas de almacenamiento como también problemas de presión, debido a que las empresas municipales de acueducto garantizan una presión que para edificios de más de dos pisos no es suficiente para poder elevar el agua a pisos superiores, esta es la solución más corriente, aunque existen otros sistemas que no son del interés de esta investigación. Existen diferentes formas de apoyar los tanques, es por eso que se observan tanques sobre muros estructurales, tanques sobre cuatro ó dos columnas o tanques apoyados sobre sistemas combinados de muros y columnas.

Figura 7. Tanque elevado sobre 4 columnas en la ciudad de Bucaramanga



Figura 8. Tanque elevado sobre muros de carga en la ciudad de Bucaramanga



Figura 9. Tanque elevado sobre dos columnas en la ciudad de Bucaramanga



Figura 10. Tanque elevado sobre sistema combinado en la ciudad de Bucaramanga



1.4 FILOSOFÍA DEL ANÁLISIS Y DISEÑO

En esta sección explicaremos brevemente la filosofía utilizada para el análisis y diseño de tanques, especialmente los de concreto. El diseño de estos tanques no sólo requiere que el diseñador cumpla con requisitos mínimos de capacidad, sino que también hay que tomar en consideración requisitos mínimos de serviciabilidad; de esta manera el tanque debe ser capaz de

resistir las cargas aplicadas sin que ocurran grietas mayores que puedan ocasionar filtraciones y pérdida de líquido, para estar seguro que se cumple con estos requisitos es indispensable proveer una cantidad y una distribución adecuada del refuerzo a utilizar, además de un buen diseño y construcción de juntas, de igual manera la utilización de concreto de buena calidad.

Las cargas para las cuales se realiza el análisis y el diseño del tanque varían dependiendo de varias razones, lugar donde se colocará el tanque, función principal del mismo, importancia que tiene sobre la estructura y las consecuencias si llegara a ocurrir una falla en el mismo. Basándose en estos criterios podemos identificar los estados de carga para los cuales se podría analizar y diseñar un tanque, las cuales son:

- Cargas Gravitacionales
 - Cargas por Presiones Internas
 - Cargas Sísmicas
 - Cargas de viento
-
- Las cargas gravitacionales son aquellas que constituyen el peso de la estructura, incluyendo todas las tuberías y accesorios que estén en el tanque y las cargas vivas que son especificadas por el código que se utilice para el diseño del tanque, que para el caso es la NSR - 98.
 - Las cargas de presión interna son las ocasionadas por el líquido o sustancia que se almacena en el tanque. Estas varían de acuerdo a las dimensiones del tanque (altura y radio) y de las propiedades del líquido almacenado.
 - Las cargas de viento son muy importantes, principalmente en el trópico, puesto que los huracanes pueden causar daños considerables a una estructura si no se consideró una fuerza de esta magnitud en el diseño.

- Las últimas, pero no menos importantes son las cargas sísmicas, las cuales para el caso de Colombia y en especial del área en estudio (Bucaramanga) son importantes debido a que se encuentra en una zona de alto riesgo sísmico.

Para los últimos dos casos de carga es importante que el diseño del tanque permita resistir las mismas sin que el mismo sufra daños considerables que resulten en pérdida del líquido almacenado o colapso de la estructura.

1.4.1 Hidrodinámica En el momento de la ocurrencia de un sismo, todas las estructuras se ven sometidas a esfuerzos, que si superan los esfuerzos de diseño se verán afectadas por un nivel de daño que incluso puede dejarlas inservibles; los tanques de almacenamiento elevados no son la excepción a esta regla, incluso sobre estos pueden generarse efectos aun mayores que los que se presentan en otro tipo de estructuras.

➤ **Consideraciones Generales** Los principales problemas hidrodinámicos de interés en Ingeniería sísmica son las presiones dinámicas en presas, en tanques y la vibración excesiva de estructuras sumergidas, para poder trabajar en este campo y hacer más sencillos los métodos aproximados de análisis se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Se trabaja sin los efectos de la viscosidad del agua.**
- **Se trabaja con pequeños desplazamientos.**
- **Se considera que no hay aire atrapado.**
- **El número de REYNOLDS pequeño para poder omitir los efectos de la turbulencia.**

Bajo las condiciones anteriormente mencionadas el movimiento de un líquido esta gobernado por la ecuación diferencial que gobierna la dilatación de un sólido elástico³ y es la siguiente:

$$C^2 \nabla^2 \theta = \partial^2 \theta / \partial t^2 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- Dilatación. (θ)

$$\theta = \sum \partial x_i / \partial X_i \quad \text{Ec. 2}$$

- Desplazamiento a lo largo de la coordenada cartesiana X_i . (x_i)
- Coordenada cartesiana. (X_i)

- Velocidad del sonido. (C)

$$C = \sqrt{\lambda / \rho} \quad \text{Ec. 3}$$

- Modulo de Bulk (λ)
- Densidad. (ρ)

- Operador de Laplace. (∇^2)
- Tiempo. (t)

Otra posibilidad para representar el movimiento del líquido fue propuesta por Lamb en 1945 y es similar a la ecuación de dilatación de sólidos elásticos esa ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$C^2 \nabla^2 \Phi = \partial^2 \Phi / \partial t^2 \quad \text{Ec. 4}$$

³ NEWMARK, Natham; ROSENBLUETH, Emilio. Fundamentals of Earthquake Engineering.

Los parámetros son iguales a los de la ecuación anterior el único parámetro que se incluye en esta ecuación es Φ que representa la **velocidad potencial** del fluido. La velocidad potencial puede ser hallada despejando la siguiente ecuación diferencial:

$$\partial x_i / \partial t = - \partial \Phi / \partial X_i \quad \text{Ec. 5}$$

La presión dinámica sobre cualquier punto, debe tomarse positiva cuando representa una fuerza de compresión y esta dada por:

$$P = - \lambda \theta \quad \text{Ec. 6}$$

De acuerdo con la ecuación 2 se tendría lo siguiente.

$$\partial P / \partial t = - \lambda \sum \partial^2 x_i / \partial X_i \partial t \quad \text{Ec.7}$$

Teniendo en cuenta lo expresado en la ecuación 5 se podría obtener lo siguiente.

$$\partial P / \partial t = \lambda \nabla^2 \Phi \quad \text{Ec.8}$$

Con base en la ecuación 4 y tomando la definición de C en la ecuación 3 se tiene:

$$\partial P / \partial t = \rho (\partial^2 \Phi / \partial t^2) \quad \text{Ec.9}$$

En la ecuación anterior P representa un sumando a la presión hidrostática y la expresión anterior es equivalente a.

$$P = \rho (\partial \Phi / \partial t) \quad \text{Ec.10}$$

De la definición de Φ dada en la ecuación 5 se determina que en los límites de las paredes y el fondo del tanque, la condición de frontera esta representada por la siguiente ecuación diferencial:

$$-\partial \Phi / \partial X_t = \partial x_i / \partial t \quad \text{Ec.11}$$

En la superficie libre la condición de frontera de Poisson's para ondas de gravedad se establece inmediatamente. La presión en la superficie del agua esta dada por la siguiente expresión:

$$P_{SL} = g \rho x_i \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

- Aceleración de la gravedad. (g)

En la ecuación anterior se toma $i = 1$ por referirse a la coordenada vertical, tomada como positiva hacia arriba.

De la definición dada en la ecuación 10 puede obtenerse lo siguiente:

$$\partial \Phi / \partial t = g x_1 \quad \text{Ec.13}$$

Diferenciando con respecto al tiempo la ecuación 13 y reemplazando su derivada en la ecuación 5 se obtiene.

$$(\partial^2 \Phi / \partial t^2) + g (\partial \Phi / \partial X_i) = 0 \quad \text{Ec.14}$$

En conclusión todos los problemas de interés constituyen una solución de la ecuación

$$C^2 \nabla^2 \Phi = \partial^2 \Phi / \partial t^2$$

Con condiciones de frontera dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial X_i} = \frac{\partial x_i}{\partial t}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} \right) + g \left(\frac{\partial \Phi}{\partial X_i} \right) = 0$$

A parte de todos los estudios realizados anteriormente, se han realizado otras investigaciones con el fin de obtener un modelo que permita simular de una forma simple el movimiento del agua en dichas estructuras, es así como uno de los primeros estudios realizados fue hecho por Hoskins y L. S. Jacobsen quien estudió la presión hidrodinámica desarrollada en tanques rectangulares sujetos a movimiento horizontal. Más tarde G.W Housner formuló una idealización para estimar la respuesta sísmica de tanques de almacenamiento rectangulares y cilíndricos de pared rígida, la cual consistía en dividir la presión hidrodinámica del líquido en dos:

- La presión impulsiva causada por la porción del líquido que se mueve junto con el tanque
- La presión convectiva causada por el movimiento del líquido que oscila libremente en la superficie (Sloshing)

A.S. Veletsos desarrolló un procedimiento simple para evaluar las fuerzas hidrodinámicas en tanques de pared flexible y condición de tanque lleno. La conclusión de este estudio induce a afirmar que los efectos sísmicos en tanques de pared flexible pueden ser sustancialmente mayores que en tanques de pared rígida igualmente excitados.

Otro método fue el propuesto por Praveen K. Malhotra en el año 2000 suministra un procedimiento simplificado del comportamiento dinámico de tanques de almacenamiento cilíndricos soportados sobre una superficie rígida. El procedimiento tiene en cuenta el modelo equivalente de un grado de libertad ideado por Housner, con la particularidad de analizar bajo el mismo procedimiento matemático el comportamiento de tanques de pared rígida y flexible.

1.4.2 Vibración de Líquidos en Tanques de Almacenamiento El problema principal para este tipo de estructuras consiste en resolver la ecuación:

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad \text{Ec.15}$$

También deben tenerse en cuenta las condiciones de frontera dadas por las ecuaciones 11 (paredes y el fondo del tanque) y la 14 (superficie libre del líquido contenido). Es de gran importancia mencionar que la ecuación 14 funciona bien para oscilaciones pequeñas de la superficie libre pero cuando esas oscilaciones se vuelven mayores la suposición debe ser reemplazada por una suposición no lineal.

➤ **Análisis del Oleaje (Sloshing) en la Superficie Libre** Las principales fallas de este tipo especial de estructuras se presentan esencialmente debido a la excitación sísmica de la estructura de soporte y también a la agitación excesiva en la superficie del líquido, el efecto de esta agitación excesiva constituye la principal causa de falla en tanques, por generar presiones dinámicas que conllevarán al doblamiento o volcamiento de las paredes que conforman el sistema.

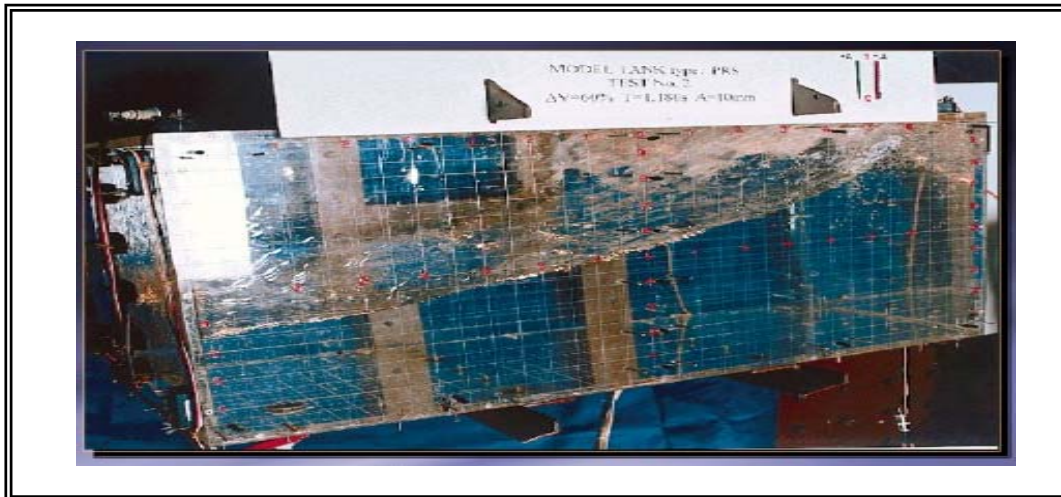
Para calcular los efectos hidrodinámicos que constituyen la respuesta sísmica de este tipo de estructuras, se puede utilizar el método de análisis modal, combinando este con el modelo de análisis para tanques elevados propuesto por **G.W Housner**.

Este modelo fue desarrollado para tanques de almacenamiento elevados, apoyados sobre estructuras simples, para efectos de analizar edificios que tengan tanques elevados se debe tomar en cuenta el análisis sísmico total de la edificación⁴, incluyendo en el modelo propuesto por **Housner** la masa de los

⁴ **AGREDO, Hernán; RIVERA, Sergio. Análisis y Diseño Antisísmico de Tanques de Almacenamiento y Tuberías de Conducción. Bucaramanga – 1984.**

pisos, las rigideces respectivas para cada nivel y ubicar el modelo mecánico equivalente a partir del último nivel del edificio.

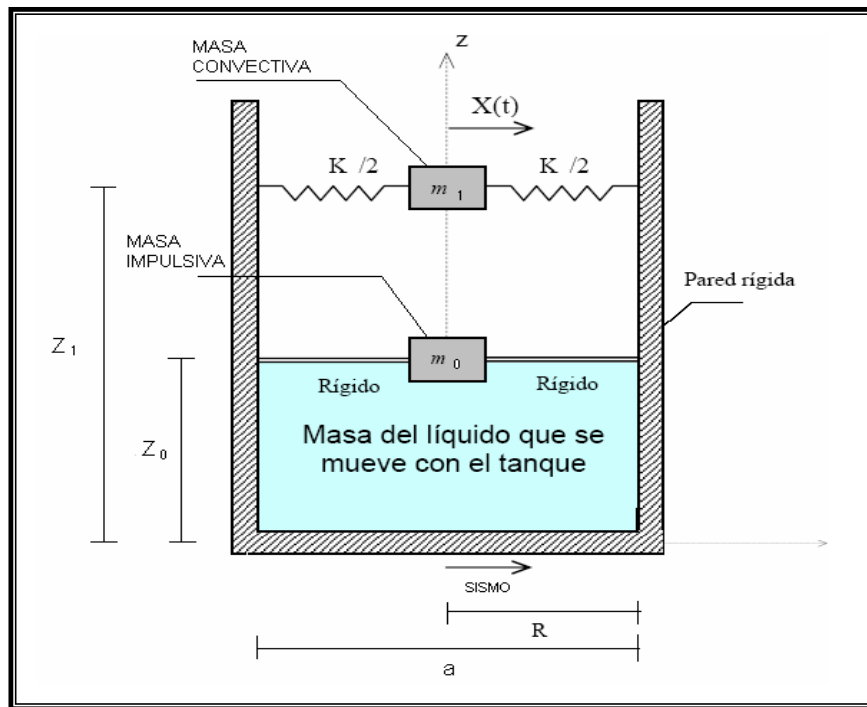
Figura 11. Modelo experimental para analizar el fenómeno SLOSHING



- **Modelo Mecánico Equivalente** El modelo comúnmente aplicado para estimar la respuesta del líquido contenido en tanques rectangulares y cilíndricos ante una excitación sísmica fue propuesto por G.W Housner en 1957. Este modelo determina la respuesta sísmica máxima y utiliza como sollicitación un espectro de diseño característico de la zona donde se este diseñando. Housner en su modelo propone representar el movimiento del agua almacenada en el tanque de paredes rígidas por medio de un modelo en el cual determina que una parte de la masa total de agua permanece FIJA y SOLIDARIA al movimiento de las paredes del tanque, esta masa esta representada en el modelo como una **masa impulsiva**, y la otra parte de la masa total es modelada como una serie de masas MÓVILES unidas a las paredes del tanque por medio de resortes, esta masa representa la **masa convectiva**. Posteriormente Housner en otros estudios simplificó su modelo y consideró solo una masa móvil (convectiva) y solo una masa fija (impulsiva).

A continuación se muestra el modelo propuesto por Housner para simular el efecto del comportamiento hidrodinámico del agua dentro del tanque.

Figura 12. Modelo mecánico equivalente propuesto por Housner



Fuente: AGREDO, Hernán. Estudio comparativo de métodos de análisis dinámicos para tanques de almacenamiento

En la figura 12, m_0 representa la masa fija o impulsiva y m_1 representa la masa convectiva, $K/2$ representa la rigidez del resorte por medio del cual se une la masa convectiva a las paredes del tanque, Z_0 y Z_1 son las alturas a la cual se encuentra la masa impulsiva y convectiva respectivamente. Después de hacer el análisis por medio de este modelo puede concluirse que la presión hidrodinámica total sobre las paredes del tanque producida por un sismo, esta dada por la suma o superposición de la presión ejercida por la masa impulsiva que se acelera con el tanque y la presión ejercida por la masa convectiva que oscila dentro del tanque.

Los parámetros que se muestran en el modelo propuesto por Housner, se obtienen de las siguientes expresiones:

Tabla 1. Determinación de los parámetros del Modelo Mecánico Equivalente

TANQUE RECTANGULAR	
m_o	$\frac{\tanh(0.85 \times a / H)}{0.85 \times a / H} \times M$
m₁	$\frac{0.83 \times \tanh(3.2 \times H / a)}{3.2 \times H / a} \times M$
Z_o	$0.38 \times H \left[1 + \alpha \left(\frac{M}{m_o} - 1 \right) \right]$
Z₁	$H \left[1 - 0.0825 \frac{M}{m_1} \left(\frac{a}{H} \right)^2 + 0.315 \beta \times \frac{a}{H} \sqrt{0.07 \left(\frac{M \times a}{m_1 \times H} \right)^2 - 1} \right]$
K	$\frac{12 * g m_1^2 H}{M a^2}$
T	$2\pi \sqrt{m_1 / K}$

Fuente: NEWMARK, Natham; ROSENBLUETH, Emilio. Fundamentals of Earthquake Engineering

Donde :

- Masa total del liquido contenido (W/g) = **(M)**.
- Peso del liquido (**W**)
- Aceleración de la gravedad (**g**)
- Masa conectada rígidamente a la estructura (**m_o**)
- Masa dinámica correspondiente al liquido en movimiento (**m₁**)
- Distancia del fondo a la conexión de la masa m_o (**Z_o**)
- Distancia del fondo a la conexión de la masa m₁ (**Z₁**)
- Rigidez del resorte asimilada al liquido (**K**)
- Lado del tanque rectangular paralelo a la dirección del movimiento (**a**)
- Altura del nivel del agua (**H**)
- Período de la masa oscilante (**T**)

- $\alpha = 1.33$ y $\beta = 2$ si se incluye en el calculo la determinación del momento hidrodinámico en el fondo del tanque
- $\alpha = 1$ y $\beta = 0$ si solo se requieren las presiones hidrodinámicas en las paredes.

➤ **Fenómeno de Interacción Estructura Líquido** Cuando hay un sismo el movimiento vibratorio provoca el oleaje o chapoteo del líquido que se encuentra contenido dentro del tanque, cuando esto sucede el líquido disipa una cantidad de energía muy pequeña lo cual quiere decir que el grado de amortiguamiento es muy pequeño. Las presiones del líquido sobre las paredes por los efectos dinámicos contienen una componente por compresibilidad del líquido y otra por el oleaje o Sloshing generado por el movimiento.

Para tanques con dimensiones normales la componente de compresibilidad es despreciable en tanto que el efecto del oleaje se va haciendo de mayor importancia.

En un tanque con paredes rígidas, como por ejemplo un tanque de concreto con tapa rígida que se encuentre lleno de modo que la superficie del líquido contenido este en contacto con la tapa, toda la masa líquida se mueve con el tanque al unísono, en caso de que el tanque no se encuentre totalmente lleno o sea que exista una separación entre la superficie libre de líquido contenido y la tapa se presentaran fenómenos de oleaje y el tanque puede ser considerado como si estuviera sin tapa o sea que la superficie del líquido se considera como una superficie libre.

Según los estudios que se han realizado a este tipo de estructuras el comportamiento dinámico de esta, va relacionado con el nivel del agua dentro del tanque así:

- Si el nivel del agua es menor del 25% de la máxima capacidad de almacenamiento el efecto en el comportamiento dinámico de la estructura es

irrelevante, es decir si el nivel del agua es menor del 25% el tanque se analiza como vacío.

- Cuando decrece el nivel del agua dentro del tanque el período fundamental de la estructura aumenta, esta consideración no afecta las respuestas del tanque (desplazamiento lateral, fuerza cortante y momento volcante), solo refleja el oleaje sobre la superficie del agua.

Para oscilaciones pequeñas, las presiones hidrodinámicas pueden ser asimiladas como la suma de “*n*” soluciones modales, igual a lo que se hace para estructuras lineales con varios grados de libertad, para esto se aplica un modelo donde la masa del líquido se sustituye por “*n*” masas conectadas por resortes a la estructura del tanque; en este modelo cada masa se asocia con un grado de libertad.

1.4.3 Normativa Colombiana de Diseño Y Construcción de Tanques

La intención de las normas sobre tanques y compartimientos de los estancos consignadas en la NSR – 98⁵, es que se cumpla con la seguridad estructural y además que el concreto producido cumpla los siguientes requisitos:

- Contar con un diseño tal que controle el agrietamiento y la figuración para impedir el flujo de líquidos entre el interior del tanque y su exterior.
- El concreto sea lo suficientemente denso e impermeable para impedir la contaminación de los líquidos contenidos o que estos contaminen si salen al exterior.
- Tenga una resistencia adecuada a los elementos químicos que contenga.
- Obtención de superficies poco rugosas que minimicen la resistencia al flujo y permitan cumplir con los objetivos de saneamiento.

Todas las recomendaciones anteriores van encaminadas a que se preste una atención especial durante la construcción de este tipo especial de estructuras

⁵ AIS, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR – 98.

para tener un concreto lo más impermeable posible y evitar la corrosión del refuerzo.

➤ **Diseño y Análisis** Las fuerzas de diseño para tanques deben ser determinadas a partir de la profundidad y peso específico de los líquidos y/o sólidos contenidos, los empujes del suelo para el caso de tanques enterrados, los equipos adicionales que deban ser instalados, las cargas vivas sobre sus tapas y cubiertas y las cargas hidrodinámicas que se producen durante la ocurrencia de un evento sísmico, tanto impulsivas como convectivas, asociadas al movimiento del líquido contenido dentro del tanque.

Debe dársele gran importancia a los efectos de impacto y vibración producidos por los equipos instalados; el análisis estructural debe ser lo suficientemente preciso y bien fundamentado para que describa adecuadamente el estado de esfuerzos esperado en la estructura. Debe tenerse especial cuidado en la identificación de las potenciales zonas de fisuración en el concreto con el fin de tomar las precauciones necesarias para evitar la corrosión del acero de refuerzo y la pérdida de la impermeabilidad.

Cuando deben construirse tanques superficiales, la buena calidad de la información geotécnica es de fundamental importancia para evitar asentamientos diferenciales que puedan llegar a causar fisuración.

Los métodos de diseño actuales se fundamentan en la obtención de la resistencia adecuada de la estructura, no obstante debe realizarse una verificación al nivel de esfuerzos de servicio y así poder garantizar un funcionamiento adecuado de la estructura; además de todos los aspectos anteriormente mencionados debe tenerse en cuenta la condición de carga derivada de desagües obturados y tanque rebosando.

➤ **Impermeabilidad del Concreto** La capacidad de la estructura (Tanque) para retener líquidos, puede ser garantizada dentro de límites razonables si se cumple con las siguientes condiciones:

- La mezcla de concreto debe estar adecuadamente dosificada y el concreto debe consolidarse sin segregación.
- Limitar el ancho de las fisuras en la cara del concreto en contacto con el agua, restringiendo el coeficiente z a un valor máximo de 17MN/m.
- Z^6 Parámetro que limita la distribución y separación del acero de refuerzo para flexión. (C.10.6.4)

$$Z = f_s * (d_c * A)^{1/3} \quad \text{Ec. 16}$$

En la ecuación anterior se tiene que:

- f_s = Resistencia nominal del acero de refuerzo expresada en Mpa.
- d_c = Espesor del recubrimiento de concreto medido desde la fibra extrema sometida a tracción hasta el centro de la barra localizada mas cerca de dicha fibra.
- A = Área efectiva, por barra, del concreto sometido a tracción que circunda el refuerzo de flexión a tracción; se calcula como el área de concreto que tiene el mismo centroide de dicho refuerzo, dividida por el número de barras o alambres de refuerzo en mm^2 de concreto por barra de alambre. Cuando el refuerzo a flexión consiste en barras o alambres de diferentes diámetros, debe determinarse utilizando un número equivalente de barras calculado como el área total de refuerzo dividida por el área de la barra o alambre de mayor diámetro.

⁶ AIS, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR – 98.

- Se disponen juntas de construcción y de expansión con separaciones y diseños adecuados.
- Se utilizan elementos de juntas y empalmes adecuados para evitar las fugas.
- Refuerzo, en cantidades apropiadas, se dispone y se coloca adecuadamente.

➤ **Relaciones agua – material cementante** La impermeabilidad del concreto aumenta en la medida que el concreto utilizado tenga relaciones agua – material cementante lo más bajas posibles que permitan una trabajabilidad adecuada y una buena compactación.

➤ **Superficie del Concreto** El tratamiento que se le da a la superficie del concreto contribuye a la impermeabilidad cuando se le dan acabados con llana y formaletas lo más lisas posibles.

➤ **Aire Incorporado** La utilización de incorporadores de aire en el concreto fresco, reduce la segregación del concreto y aumenta su trabajabilidad, mejorando la impermeabilidad del mismo. Las dosificaciones de los incorporadores de aire deben ser verificadas cuidadosamente en obra para evitar descensos en la resistencia del concreto; el porcentaje de aire incorporado, en caso de utilizarse, no debe ser menor del 4% ni mayor del 6%.

➤ **Distribución del refuerzo** La fisuración puede minimizarse por medio de un buen diseño del refuerzo, teniendo especial cuidado en la selección de los diámetros, su distribución y su separación.

➤ **Retracción de fraguado** Es inevitable que ocurra la retracción del fraguado, no obstante, deben tomarse todas las precauciones para minimizarla por medio de relaciones agua – material cementante apropiadas, suficiente refuerzo para retracción, disposición de juntas adecuadas y principalmente un buen curado del concreto.

➤ **Consideraciones para el Diseño Estructural**

- **Recubrimiento del refuerzo** Como mínimo deben utilizarse los recubrimientos para el refuerzo indicados a continuación

Tabla 2. Recubrimientos mínimos del refuerzo

TIPO DE ELEMENTO	RECUBRIMIENTO MÍNIMO
<u>LOSAS Y VIGUETAS</u>	
REFUERZO INFERIOR Y SUPERIOR PARA CONDICIONES SECAS	20 mm
SUPERFICIES EN CONTACTO PERMANENTE CON EL AGUA LA INTEMPERIE O LA TIERRA O LOSAS QUE SOPORTEN RELLENOS DE TIERRA	
BARRAS # 5 ó 16M Y MENORES	40 mm
BARRAS # 6 ó 18M Y MAYORES	50 mm
<u>VIGAS Y COLUMNAS</u>	
PARA CONDICIONES SECAS	
ESTRIBOS Y ESPIRALES	40 mm
REFUERZO PRINCIPAL	50 mm
EXPUESTO O EN CONTACTO PERMANENTE CON EL AGUA, LA INTEMPERIE O LA TIERRA	
ESTRIBOS Y ESPIRALES	50 mm
REFUERZO PRINCIPAL	65 mm

<u>MUROS Y PAREDES</u>	
PARA CONDICIONES SECAS	20mm
EXPUESTO O EN CONTACTO PERMANENTE CON EL AGUA, LA INTEMPERIE O LA TIERRA	
TANQUES CIRCULARES CON TRACCIÓN ANULAR	55mm
OTROS TANQUES	50mm
<u>ZAPATAS Y LOSAS DE FUNDACIÓN</u>	
TODAS LAS SUPERFICIES VACIADAS Y EN CONTACTO PERMANENTE CON LA TIERRA	75mm

Fuente: AIS, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR – 98

- Espesor mínimo de muros y losas** El espesor mínimo de muros y losas esta controlado por el recubrimiento mínimo requerido para el refuerzo y por las consideraciones de resistencia e impermeabilidad. No deben emplearse espesores menores de 200 mm; y los muros y losas con alturas libres o luces mayores de 3.5 m deben tener un espesor mínimo de 250 mm.
- Refuerzo de retracción y Temperatura** El refuerzo de retracción y temperatura debe ser con barras corrugadas al menos de # 3 (3/8”) ó (10 mm) para muros y losas de 200 mm de espesor y de # 4 (1/2”) ó (12 mm) para muros y losas con un espesor mayor de 200 mm; la separación máxima del refuerzo es de 300 mm centro a centro en cada cara.

La cuantía de refuerzo de retracción y variación de temperatura calculada sobre el área bruta de la sección, es función de la separación entre las juntas de disipación de retracción en la dirección del refuerzo, como se indica en la siguiente tabla, en ningún caso deben utilizarse cuantías menores.

Tabla 3. Cuantías mínimas de retracción de fraguado

<u>SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS DE DISIPACIÓN DE RETRACCIÓN; O VARIACIÓN DE TEMPERATURA EN m.</u>	<u>$F_y=240\text{MPa}$</u>	<u>$F_y=420\text{MPa}$</u>
< 6 m	0.0028	0.0028
7	0.0032	0.0028
8	0.0036	0.0028
9	0.0041	0.0033
10	0.0044	0.0035
11	0.0047	0.0037
12	0.0052	0.0041
13	0.0053	0.0042
14	0.0054	0.0044
15	0.0056	0.0046
16	0.0057	0.0047
17	0.0058	0.0048
≥ 18 m	0.0060	0.0050

Fuente: AIS, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR

– 98

- **Diseño estructural** El diseño estructural de tanques debe realizarse para los estados límites de resistencia y funcionamiento; el diseño tiene como objetivo particular, minimizar el agrietamiento y la fisuración, lo que origina los requisitos que se enuncian a continuación:

➤ **METODOLOGÍA DE DISEÑO**

- **Método de la resistencia.**
- **Método de los esfuerzos de trabajo.**

- **DISTRIBUCIÓN DEL REFUERZO:** El refuerzo de flexión sin importar los valores que se obtengan utilizando el parámetro z para tanques de agua menor de 20.5 MN/m, y en tanques con contenido agresivo con z menor de

17 MN/m, no puede tener separaciones mayores de 300 mm centro a centro.

- **Juntas** El concreto sufre cambios volumétricos debidos a la retracción de fraguado, el flujo plástico y las variaciones en la temperatura y en el contenido de humedad. Con el fin de minimizar los efectos nocivos de estos cambios volumétricos, deben disponerse juntas y detalles especiales del acero de refuerzo. Las juntas deben estar claramente marcadas en los planos y debe darse allí suficiente información para garantizar que la construcción se realice adecuadamente.

- **Juntas para compensar movimientos** Deben cumplirse los siguientes requisitos en la definición de los tipos de junta a utilizar para compensar los cambios volumétricos y de geometría causados por la retracción de fraguado, el flujo plástico, las variaciones de temperatura, el contenido de humedad y los asentamientos diferenciales:

- **Juntas de Expansión** Las juntas de expansión se utilizan para permitir la expansión y contracción del concreto durante el periodo de curado y durante el tiempo de servicio de la estructura para permitir cambios dimensionales debidos a las cargas y a los asentamientos diferenciales de la estructura y cambios volumétricos debidos a la variación de la temperatura.

Las juntas de expansión pueden cumplir además la función de juntas de contracción y de construcción, en general las juntas de expansión deben localizarse cerca de los cambios abruptos de la geometría de la estructura, las juntas deben diseñarse de manera tal que puedan ocurrir movimientos en ellas sin que se afecte su impermeabilidad; las juntas de expansión deben tener algún tipo de relleno preformado y compresible, una barrera de caucho, neopreno, plástico u otro material que cumpla la función de impedir el paso del liquido contenido. Tanto el relleno como la barrera deben ser capaces de resistir adecuadamente los movimientos que se presenten en la junta, el refuerzo debe terminar a 50 mm de la cara de la junta de expansión.

- **Barreras contra el paso del agua** Las barreras pueden ser de caucho, de cloruro de polivinilo (PVC) y acero. Las primeras se utilizan en juntas donde se esperan mayores movimientos; para las barreras de caucho y de PVC, el espesor mínimo es de 9.5 mm y deben tener un ancho mínimo de 220 mm para las juntas de expansión y de 150 mm para otros tipos de juntas, el cual debe ser repartido mitad y mitad entre los dos concretos al lado de la junta; cuando las barreras sean de acero deben ser de platina de 6 mm (1/4") y deben estar embebidas a cada lado de la junta un mínimo de 75 mm y un dobléz central cuyo tamaño va a depender del movimiento esperado.
- **Rellenos** Los rellenos preformados cumplen la función doble de servir como formaleta para el vaciado del concreto de segundo lado de la junta y de preservar el espacio donde pueda ocurrir la expansión.

El elemento de relleno ideal debe ser capaz de resistir compresiones hasta la mitad de su espesor y de expandirse posteriormente para llenar el espacio original cuando los elementos al lado de la junta se contraen; en general para los rellenos se utiliza corcho, neopreno, caucho y poliuretano (icopor ó plástico espumoso), en ningún caso podrá utilizarse la madera como relleno.

- **Juntas de contracción** La función principal de las juntas de contracción, o de disipación de retracción, es la de reducir los esfuerzos producidos por la retracción de fraguado del concreto; se utilizan dos tipos de juntas de contracción que son las siguientes:

Juntas de contracción de profundidad total

Juntas de contracción de profundidad parcial

- **Juntas de Construcción** Estas juntas no pueden ser consideradas como juntas de expansión, las juntas de construcción deben localizarse de tal manera que cumplan los siguientes requisitos:

Tener el menor efecto posible sobre la resistencia de la estructura.
Deben separar la estructura en segmentos que faciliten su construcción.

Las juntas de construcción deben ser preparadas antes de vaciar el concreto de segunda etapa contra la junta, para garantizar una buena adherencia entre los concretos. Todo el refuerzo debe continuarse a través de la junta de construcción; en aquellos lugares donde la junta debe ser impermeable, debe colocarse una barrera contra el paso del agua.

- **Llaves de Cortante** Las llaves de cortante, cuando se utilicen, deben diseñarse y construirse cuidadosamente con el fin de que no interfieran con las barreras contra el paso del agua.

CAPITULO 2

CONCEPTOS BÁSICOS DE INGENIERÍA SÍSMICA

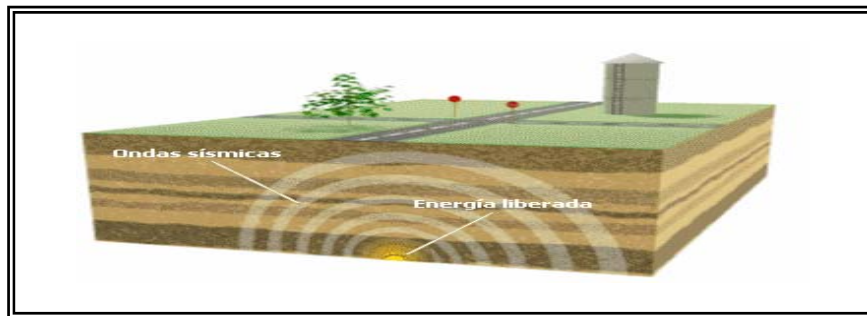
2.1 INTRODUCCIÓN

Un sismo es una transformación brusca de energía, la energía de deformación acumulada en la litosfera se convierte súbitamente en energía cinética, esta se manifiesta a través de movimientos ondulatorios que se transmiten en el interior y en la superficie de la tierra. Esta energía atenuada por la distancia, debe ser absorbida por los edificios y en caso de sismos severos disipada.

El conocimiento obtenido hasta ahora ha permitido desarrollar bases que facilitan efectuar diseños de estructuras con razonable seguridad para la vida; además de esto ha sido posible aplicar criterios económicos al diseño sismorresistente, optando por estructuras menos fuertes que lo necesario y por consecuencia, de menor costo inicial, al ser estas estructuras sometidas a un movimiento sísmico severo, deben sufrir daños controlados, sin colapsar y disipar así una buena parte de la energía absorbida.

A continuación se busca hacer una recopilación de los aspectos más importantes a tener en cuenta al momento de realizar un análisis o un diseño sismorresistente tomando como base la normativa colombiana NSR – 98 que es la ley que rige las construcciones en Colombia.

Figura 13. Liberación de Energía sísmica debido al choque de placas tectónicas



Fuente: Biblioteca Encarta 2004, Microsoft Corporation.

Los sismos se producen cuando la corteza de la Tierra se desplaza repentinamente a lo largo de una falla y se presenta una liberación repentina de la energía acumulada esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones.

2.2 DEFINICIONES

2.2.1 Foco ó Hipocentro Es el punto en que se origina el sismo y constituye el centro efectivo del mismo; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 Km. hacia el interior terrestre, en este lugar es donde las capas de roca se desplazan y se disponen unas con relación a otras produciendo el movimiento sísmico

2.2.2 Epicentro El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del sismo y por esta razón el epicentro se convierte en el lugar donde el evento sísmico se siente con mayor intensidad.

2.3 TRANSMISIÓN DE LA ENERGÍA SÍSMICA

Cuando ocurre el reajuste de las capas de roca en el foco se libera energía en forma súbita creando una serie de ondas de choque que se transmiten como ondulaciones hacia la superficie terrestre, en todas las direcciones, estas ondas van decreciendo en intensidad a medida que suben desde el foco hacia el epicentro. Las vibraciones que producen las ondas que aparecen como consecuencia del reajuste de las capas de roca pueden oscilar desde las que apenas son apreciables hasta las que alcanzan

carácter catastrófico y destruyen ciudades enteras. En el proceso se generan 2 tipos de ondas de choque, de las cuales dos se clasifican como ondas internas (viajan por el interior de la Tierra) y las otras dos son ondas superficiales (es decir se desplazan por su superficie), estas ondas se diferencian además por las formas de movimiento que le imprimen a la roca.

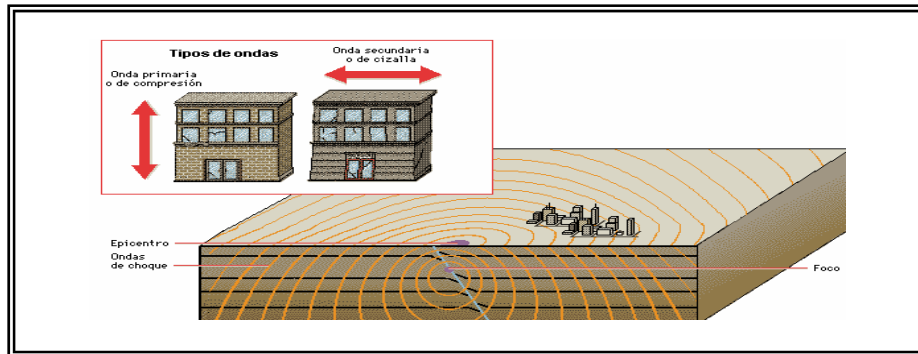
2.3.1 Tipos de Ondas Sísmicas Como se mencionó anteriormente cuando se produce un movimiento en el interior de la corteza terrestre las vibraciones que se generan se transmiten hacia la superficie a través de ondas de choque, de las cuales se conocen 2 tipos y su clasificación esta basada en el medio de propagación, en su velocidad y en el tipo de movimiento que le imprimen a la roca.

Los siguientes son los tipos de las ondas de choque:

➤ **Ondas Internas** Se denominan también ondas de cuerpo y tienen la característica de ser unas independientes de las otras; viajan a través de la corteza terrestre desde el foco o hipocentro hasta que se pueden sentir en la superficie terrestre, generalmente las ondas S siguen a las ondas P por las mismas rutas de desplazamiento y con relaciones de velocidad que se puede decir que son constantes.

Estas ondas se caracterizan por tener amplitudes considerables y bajos periodos de vibración en un principio pero a medida que se desplazan van disminuyendo sus amplitudes y aumentando sus periodos de vibración.

Figura 14. Propagación de las ondas internas a través de la corteza terrestre

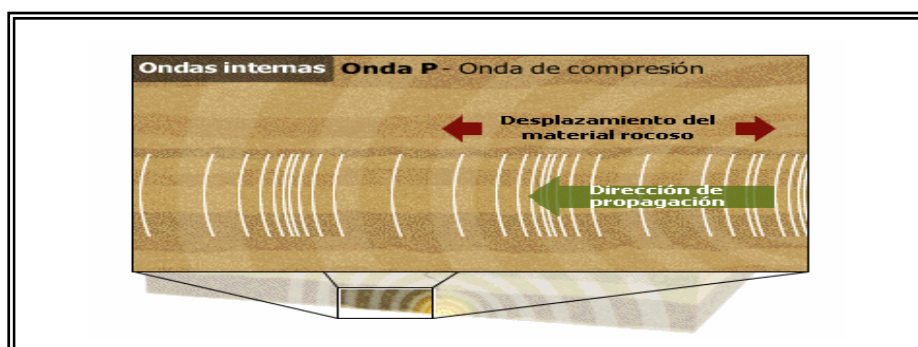


Fuente: Biblioteca Encarta 2004, Microsoft Corporation

- **Ondas P (Ondas Primarias)** Son el tipo de ondas más rápido y por esta razón son las primeras que pueden detectarse en una estación de registro sísmico, la velocidad de propagación depende de la densidad del medio por donde se desplaza.

Una onda P es de tipo compresivo, el material rocoso se comprime en la dirección de la onda y luego se expande, en este tipo de movimiento cabe anotar que las rotaciones angulares son cero y por esta característica se dice que son ondas de tipo longitudinal.

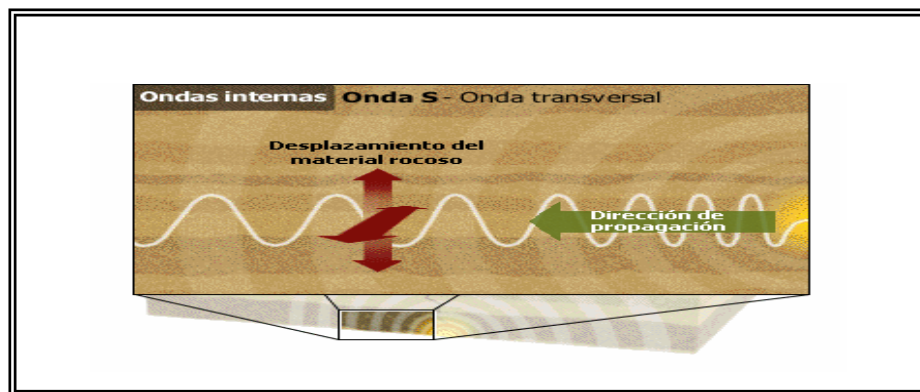
Figura 15. Forma de propagación de las Ondas Primarias



Fuente: Biblioteca Encarta 2004, Microsoft Corporation

- **Ondas S (Ondas secundarias)** Este tipo de ondas tienen una velocidad de propagación que se considera aproximadamente la mitad de la velocidad con la cual se propagan las ondas P, esta velocidad de propagación también depende del medio donde se desplace la onda, una onda S es de tipo transversal es decir el material rocoso sube y baja o se mueve perpendicularmente a la dirección de propagación de la onda, cuando pasan este tipo de ondas a través de un medio se produce una rotación angular de las partículas.

Figura 16. Forma de propagación de las Ondas Secundarias



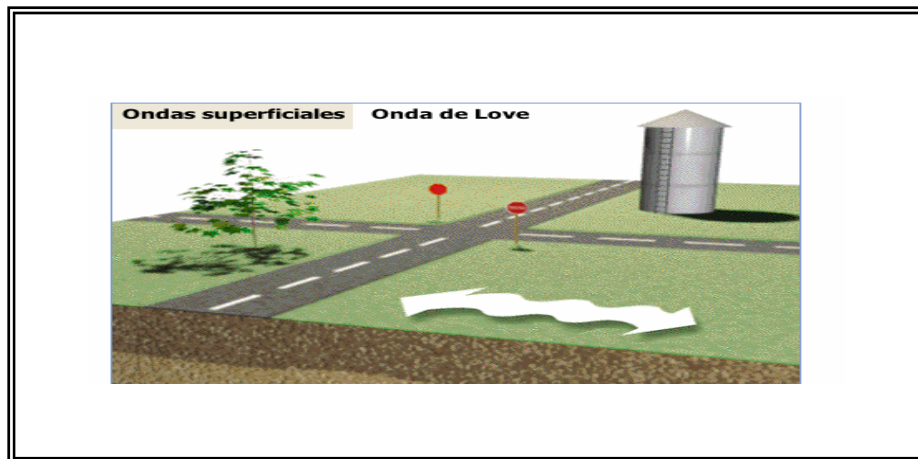
Fuente: Biblioteca Encarta 2004, Microsoft Corporation

➤ **Ondas Superficiales** Se propagan por la superficie terrestre a partir del epicentro, estas ondas son más lentas que las ondas internas y su velocidad de propagación varía entre 2 y 3 Km/s, pueden deformar la superficie terrestre causando daños en viviendas, en edificios y otras estructuras, este tipo de ondas se pueden asimilar a las olas de mar, son combinaciones de las ondas de cuerpo, se caracterizan por tener amplitudes considerables y a diferencia de las ondas internas sus períodos de vibración son largos.

- **Ondas Love** Las ondas Love provocan un movimiento de lado a lado perpendicular a su dirección de propagación, se dice que es una onda transversal combinada en un plano de oscilación, el desplazamiento que sufren

las partículas al presentarse este tipo de ondas es únicamente perpendicular a la dirección de propagación horizontal, estas ondas son peligrosas porque pueden provocar daños al romper carreteras o tuberías.

Figura 17. Forma de propagación de las Ondas love

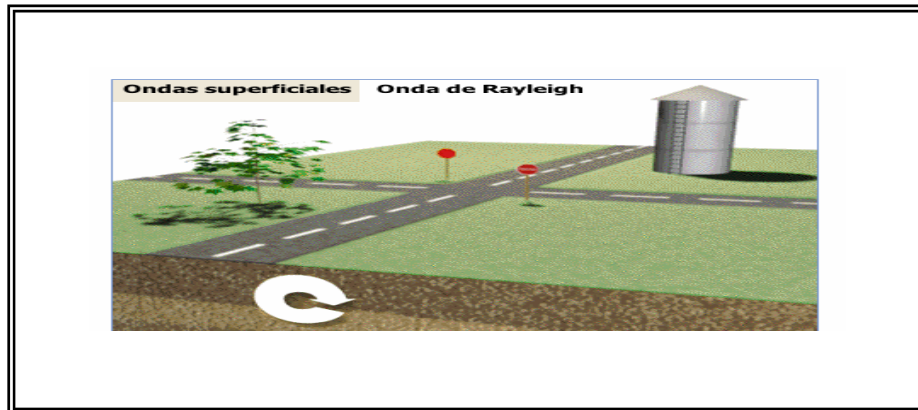


Fuente: Biblioteca Encarta 2004, Microsoft Corporation

- **Ondas Rayleigh** Este tipo de ondas mueve la superficie terrestre en círculos hacia arriba y hacia abajo, hacia delante y hacia atrás pudiendo causar daños al desplazar los edificios de sus cimientos.

Este tipo de onda avanza por un plano limitado por una superficie libre, a medida que avanza hace que las partículas oscilen en una orbita elíptica cuyo eje mayor esta representado por la vertical y el eje menor por la longitudinal, cuando se presenta este tipo de ondas las partículas se mueven en sentido contrario a la dirección de propagación.

Figura 18. Forma de propagación de las Ondas Rayleigh



Fuente: Biblioteca Encarta 2004, Microsoft Corporation.

2.3.2 Velocidad de Transmisión de Ondas Sísmicas Cuando una onda se desplaza necesita de un medio para hacerlo, y cuando lo hace a través de medios isotropicos y elásticos, la velocidad de propagación no depende ni de la longitud de onda ni del período de vibración, sino de la densidad y de las constantes elásticas del medio por el cual se propaga, las características que son importantes para la determinación de las velocidades de onda son las siguientes:

- **Modulo de elasticidad o de Young. (E)**

$$E = \sigma / \varepsilon \quad \text{Ec.17}$$

- **Relación de Poisson. (ν)**

$$\nu = \varepsilon_{\text{lat}} / \varepsilon_{\text{long.}} \quad \text{Ec.18}$$

- **Modulo de rigidez. (G)**

$$G = E / (2 * (1 + \nu)) \quad \text{Ec.19}$$

- **Constante de Lamé. (λ)**

$$\lambda = (\nu / (1 - 2 * \nu)) * (E / (1 + \nu)) \quad \text{Ec.20}$$

- **Masa unitaria. (Δ)**

Donde:

- Esfuerzo generado en un material al aplicarse una fuerza. (σ)
- Deformación que sufre un material al aplicársele una fuerza. (ϵ)

Basados en los parámetros mencionados anteriormente se puede llegar a determinar la velocidad de propagación de los diferentes tipos de ondas, dependiendo esta velocidad del medio por el cual se propagan.

- **Velocidad de las Ondas “P” u Ondas Primarias** La velocidad de las ondas P varia entre 4 y 7Km/s y esta dada por la siguiente expresión:

$$V_P = \sqrt{\lambda + 2 * \mu / \rho} \quad \text{Ec.21}$$

- **Velocidad de las Ondas “S” u Ondas Secundarias** La velocidad de propagación de este tipo de ondas fluctua entre 2 y 5 Km/s y en general se considera como la mitad de la velocidad de las ondas P, la expresión para determinar la velocidad esta dada por:

$$V_S = \sqrt{\mu / \rho} \quad \text{Ec. 22}$$

- **Velocidad de las Ondas “R” u Ondas Rayleigh** La velocidad de este tipo de ondas depende de la relación de Poisson y para el caso específico de un suelo conformado por rocas en donde ≤ 0.25 la velocidad de onda será de aproximadamente:

$$V_R = 0.92 * \sqrt{\mu / \rho} = 0.92 * V_S \quad \text{Ec. 23}$$

- **Velocidad de las Ondas “L” U Ondas Love** La velocidad de estas ondas es aproximadamente la misma que la velocidad de las ondas Rayleigh.

2.4 CARACTERIZACIÓN SÍSMICA

2.4.1 Intensidad Sísmica Quizá la característica más importante de un sismo es su intensidad, porque dependiendo de esta, el temblor producirá más ó menos daño, sobre edificios y sobre otro tipo de estructuras, actualmente se utiliza la clasificación de Mercalli que representa un método subjetivo para describir la intensidad dependiendo del grado de daño que cause, y de la persona que lo evalúe.

Antes de mencionar la escala de Mercalli vale la pena hablar sobre las diferentes categorías de mampostería que a continuación se enuncian:

Tabla 4. Clasificación de Mampostería

<u>TIPO DE MAMPOSTERÍA</u>	<u>CARACTERÍSTICAS</u>
D	Materiales poco resistentes tales como adobe, mortero pobre mala calidad de la mano de obra es muy débil para resistir fuerzas horizontales
C	Mano de obra y mortero ordinarios, ni diseñada ni reforzada para resistir fuerzas laterales
B	Buena mano de obra y buen mortero, reforzada pero no diseñada en detalle para resistir fuerzas laterales
A	Buena mano de obra, buen mortero y diseño adecuado, es reforzado especialmente para resistir fuerzas horizontales y unidas por medio de acero, concreto etc. Diseñada para resistir fuerzas laterales.

Fuente: AGREDO, Hernán; RIVERA, Sergio. Análisis y Diseño Antisísmico de Tanques de Almacenamiento y Tuberías de Conducción. Bucaramanga - 1984

➤ **Escala de Mercalli** A continuación se muestra la tabla que representa la escala de Mercalli

Tabla 5. Clasificación de eventos sísmicos según escala de Mercalli

<i><u>G.D.I</u></i>	<i><u>CLASIFICACIÓN</u></i>	<i><u>DESCRIPCIÓN Y EFECTOS</u></i>
I	Despreciable	No es sentido por las personas, solo es detectado por los instrumentos
II	Sensible	Sentido por personas que se encuentran quietas, en pisos altos de edificaciones o favorablemente localizadas
III	Ligero	Solo se siente dentro de edificaciones, es posible estimar su duración, puede que no se reconozca como un sismo
IV	Moderado	Objetos colgantes se balancean, se siente la vibración como la causada por un camión al pasar, las ventanas y las puertas suenan.
V	Algo fuerte	Se siente fuera de las edificaciones, puede estimarse la dirección, las personas que están dormidas se despiertan, los líquidos se agitan y se derraman, los objetos inestables se caen.
VI	Fuerte	Sentido por todas las personas, se presenta dificultad para caminar, tanto pañetes débiles como mampostería tipo D se agrietan, los árboles y arbustos se mueven notablemente.
VII	Muy fuerte	Dificultad para mantenerse en pie, es notado por los conductores, se presentan daños en mampostería D incluyendo en estos, grandes grietas, se presentan algunas grietas en mampostería tipo C, hay caída de pañetes, ladrillos hay pequeños deslizamientos en taludes de arena o grava.
VIII	Destructivo	La conducción de vehículos se dificulta, daños de consideración y colapso parcial de mampostería tipo C, algún daño a mampostería tipo B, ningún daño en mampostería A, caída del revoque de mortero y de algunas paredes de mampostería, caída de chimeneas de fabricas, monumentos y tanques elevados , grietas en terreno húmedo y taludes inclinados.
IX	Ruinoso	Pánico general, mampostería tipo D totalmente destruida, daño severo y hasta colapso en mampostería tipo C, daño de consideración en mampostería tipo B, daño a las fundaciones, daños a estructuras aporricadas, daños de embalses y depósitos de agua.
X	Desastroso	La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidos, algunas construcciones de madera de buena calidad dañadas, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebasa en los bordes de ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril se deforman ligeramente.
XI	Muy desastroso	Los rieles de ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas que quedan fuera de servicio.
XII	Catastrófico	Destrucción total, grandes masas de roca desplazadas, las líneas de visión óptica distorsionada, objetos lanzados al aire

Fuente: AGREDO, Hernán; RIVERA, Sergio. Análisis y Diseño Antisísmico de Tanques de Almacenamiento y Tuberías de Conducción. Bucaramanga - 1984

Donde:

- Grado de Intensidad Sísmica. (**G.D.I**)
- Clasificación.

2.4.2 Magnitud Sísmica La magnitud es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura en la falla. La magnitud es una constante única que se asigna a un sismo dado y es independiente del sitio de observación.

➤ **Escala de Richter** Charles F. Richter definió la magnitud de sismos locales como el Logaritmo en base 10 de la máxima amplitud de la onda sísmica, expresada en milésimas de milímetro (micrones) registrada en un sismómetro estándar a una distancia de 100 kilómetros del epicentro del evento. Mide la energía liberada en el foco de un sismo. Es una escala logarítmica con valores entre 1 y 10; un temblor de magnitud 7 es diez veces más fuerte que uno de magnitud 6, cien veces más que otro de magnitud 5, mil veces más que uno de magnitud 4 y de este modo en casos análogos. Se estima que al año se producen en el mundo unos 800 movimientos sísmicos con magnitudes entre 5 y 6, unos 50.000 con magnitudes entre 3 y 4 y sólo 1 con magnitud entre 8 y 9. En teoría, la escala de Richter no tiene cota máxima, pero hasta 1979 se creía que el sismo más poderoso posible tendría magnitud 8,5. Sin embargo, desde entonces, los progresos en las técnicas de medidas sísmicas han permitido a los sismólogos redefinir la escala; hoy se considera 9,5 el límite práctico.

A continuación se muestra la ecuación matemática por medio de la cual se puede hallar la magnitud de un sismo:

$$M = \text{Log}_{10}(a/T) + F(h) + C_s + C_R \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

- Magnitud (**M**)
- Amplitud de deformación del suelo o roca sobre el cual esta colocado el instrumento de medición (sismógrafo), en milésimas de mm. (**a**)

- Período de la onda que atraviesa el suelo, en segundos. (**T**)
- Distancia epicentral en grados.
- Profundidad del foco. (**h**)
- Factor de correlación de la estación sismológica (**C_s**)
- Factor de correlación regional (**C_r**)

Para muchos de los sismos antiguos, la intensidad es la única medida disponible, pero existe una forma de relacionar la intensidad de Mercalli con la magnitud de Richter mediante la siguiente ecuación:

$$M = 1 + (2/3)*I \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

- Magnitud de Richter. (**M**)
- Intensidad de Mercalli modificada. (**I**)

A continuación se muestra una tabla comparativa de las escalas de Richter y Mercalli:

Figura 19. Comparación entre las escalas de Mercalli y Richter

Escala de Mercalli	Escala de Richter
I. Casi nadie lo ha sentido.	2,5 En general no sentido, pero registrado en los sismógrafos
II. Muy pocas personas lo han sentido.	
III. Temblor notado por mucha gente que, sin embargo, no suele darse cuenta de que es un terremoto.	3,5 Sentido por mucha gente.
IV. Se ha sentido en el interior de los edificios por mucha gente. Parece un camión que ha golpeado el edificio.	
V. Sentido por casi todos; mucha gente se despierta. Pueden verse árboles y postes oscilando.	
VI. Sentido por todos; mucha gente corre fuera de los edificios. Los muebles se mueven, pueden producirse pequeños daños.	4,5 Pueden producirse algunos daños locales pequeños.
VII. Todo el mundo corre fuera de los edificios. Las estructuras mal construidas quedan muy dañadas; pequeños daños en el resto.	
VIII. Las construcciones especialmente diseñadas dañadas ligeramente, las otras se derrumban.	6,0 Terremoto destructivo.
IX. Todos los edificios muy dañados, desplazamientos de muchos cimientos. Grietas apreciables en el suelo.	
X. Muchas construcciones destruidas. Suelo muy agrietado.	7,0 Terremoto importante.
XI. Derrumbe de casi todas las construcciones. Puentes destruidos. Grietas muy amplias en el suelo.	8,0 Grandes terremotos.
XII. Destrucción total. Se ven ondulaciones sobre la superficie.	9,0 más

Fuente: Biblioteca Encarta 2004, Microsoft Corporation

2.4.3 Energía Liberada La energía liberada durante un sismo depende de la magnitud con la que este evento ocurra, según Newmark y Rosenblueth⁷ viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5 M \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

- Energía liberada. (**E**) [**ergios**]
- Magnitud (**M**)

2.4.4 Duración Es muy complicado hablar de este parámetro, a continuación se enuncian algunas definiciones propuestas por algunos autores⁸:

- **Bolt:** Lapso entre la primera y última excursión de aceleración que sobrepasa un nivel predeterminado.
- **Dobry:** Este autor tiene en cuenta, más, la forma de los acelerogramas que los niveles de aceleración; los estudios llevados a cabo por este autor corroboraron estudios anteriores en los cuales se encontró una correlación entre la magnitud del evento y su duración.

La siguiente es la ecuación que expresa esa relación:

$$\text{Log } D = 0.43 M - 1.83 \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

- Duración. (**D**)
- Magnitud. (**M**)

⁷ **NEWMARK, Natham; ROSENBLUETH, Emilio. Fundamentals of Earthquake Engineering, Prentice Hall.**

⁸ **SARRIA, Alberto; Ingeniería Sísmica, Ediciones Uniandes.**

2.4.5 Acelerogramas Se entiende por acelerogramas el registro de las aceleraciones en el terreno, inducidas por cualquier causa, generalmente por un evento sísmico. Este registro se logra en tres direcciones ortogonales, cada una en un acelerómetro.

El estudio detenido de los acelerogramas permite a los ingenieros determinar, las frecuencias dominantes del tren ondulatorio y sus variaciones en términos de la distancia entre el instrumento y el foco; un número suficiente de acelerogramas permite inferir que puede esperarse de la actividad sísmica en la localidad donde estos fueron registrados. Estudios adelantados sobre los acelerogramas registrados para muchos y variados sismos conducen a dividir estos en cuatro categorías⁹ que son las siguientes:

- **Categoría Uno** son aquellos cuyo registro corresponden a un solo choque; este tipo de registro se logra a cortas distancias del epicentro para sismos superficiales con instrumentos registradores colocados sobre terreno firme. Las magnitudes de este tipo de sismos son moderadas y su foco superficial indica movimientos unidireccionales principalmente, las frecuencias dominantes corresponden a períodos cortos del orden de 0.2 segundos. Se le asocian con magnitudes que van de 5.4 a 6.2 en la escala de Richter
- **Categoría Dos** dentro de este grupo se encuentran los sismos moderadamente largos con movimientos irregulares; las frecuencias de este grupo de sismos es muy amplio y puede estimarse entre 0.05 seg. y 6 segundos o más, se puede decir que la distribución de frecuencias es muy uniforme.
- **Categoría Tres** corresponden a los sismos de larga duración con períodos predominantes bastante marcados. Los sismos de esta categoría resultan por el paso de eventos sísmicos de las anteriores categorías a través de suelos blandos.

⁹ SARRIA, Alberto; Ingeniería Sísmica, Ediciones Uniandes.

- **Categoría Cuatro** a esta categoría corresponden los sismos que originan grandes deformaciones en el suelo. En los lugares donde se presentan este tipo de sismos se pueden presentar pérdidas en la capacidad portante del suelo.

2.5 ANÁLISIS DE LA AMENAZA SÍSMICA

La amenaza sísmica propia de una región esta asociada con una probabilidad de excedencia de un parámetro descriptivo del evento sísmico que allí se presenta. En las normas sismorresistentes Colombianas NSR – 98 se escoge la aceleración pico efectiva A_a como parámetro para describir el sismo de diseño.

La aceleración pico efectiva se define para un nivel de amenaza tal que hay una probabilidad del 10% de que sea excedida en un periodo de 50 años, para esta probabilidad de excedencia, el periodo de retorno del sismo de diseño resulta ser de 475 años¹⁰.

El primer paso para realizar un diseño sismo – resistente de una edificación consiste en localizarla en los mapas de zonificación sísmica dados en la NSR – 98, con base en estos mapas se determina el nivel de amenaza sísmica del lugar y se determina el valor de A_a dependiendo de la región en donde se este ubicado.

Otra forma de determinar la amenaza sísmica, permitida por la NSR – 98 esta dada por los estudios de microzonificación que pueden realizar las entidades locales para conocer de forma local sus características sísmicas.

¹⁰ URIBE ESCAMILLA; jairo, Análisis de estructuras, editorial escuela colombiana de Ingeniería.

2.5.1 Zonas de Amenaza Sísmica La edificación debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica que están definidas por la NSR – 98¹¹, las cuales son las siguientes:

- **Zona de Amenaza Sísmica Baja** Es el conjunto de lugares en los cuales la Aceleración pico efectiva es menor o igual a 0.10.

- **Zona de Amenaza Sísmica Media** Es el conjunto de lugares en los cuales la Aceleración pico efectiva es mayor que 0.10 y menor que 0.20.

- **Zona de Amenaza Sísmica Alta** Es el conjunto de lugares en los cuales la Aceleración pico efectiva es mayor que 0.20.

2.5.2 Aceleración Pico (A_a) La aceleración máxima horizontal es el valor absoluto de la aceleración horizontal obtenida de un acelerograma, tomando en cuenta la suma de dos componentes ortogonales. Las aceleraciones verticales han recibido una atención menor que las horizontales debido a que se supone que su efecto sobre las estructuras es menor. Generalmente se asume que la aceleración pico vertical esta representada por los dos tercios de la aceleración pico horizontal ($A_v=2/3*(A_H)$); sin embargo, en sitios muy cercanos al epicentro las aceleraciones verticales adquieren valores mayores y en sitios muy alejados, valores mucho menores.

Los movimientos con picos altos de aceleración no son necesariamente más destructivos que aquellos con picos menores, debido a que el tiempo de ocurrencia del sismo interviene en forma importante en el comportamiento de las estructuras y de los suelos¹².

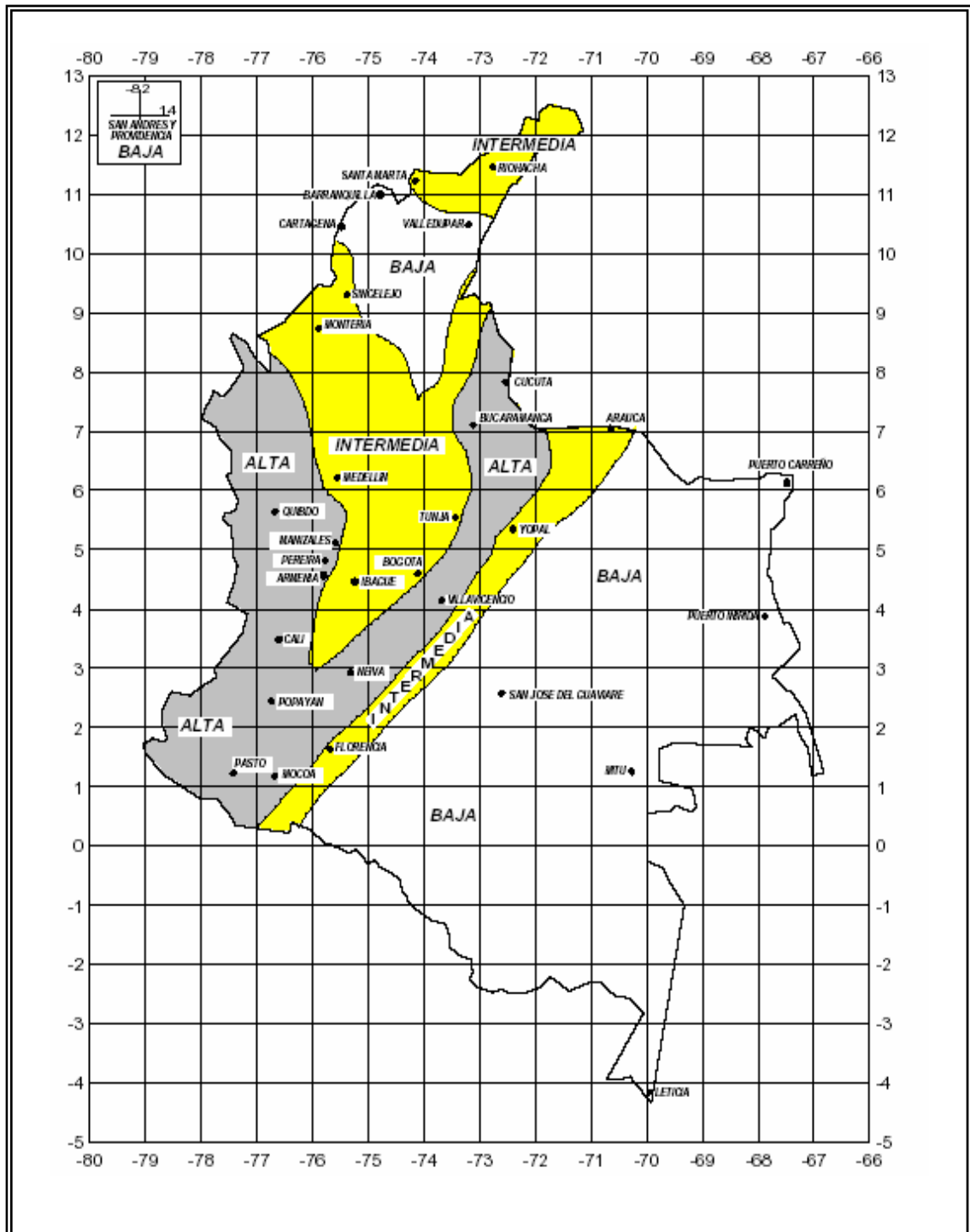
En la NSR – 98 se encuentran consignados los valores de A_a dependiendo de la región donde se este ubicado.

¹¹ AIS, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR - 98

¹² SUÁREZ, DÍAZ, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales

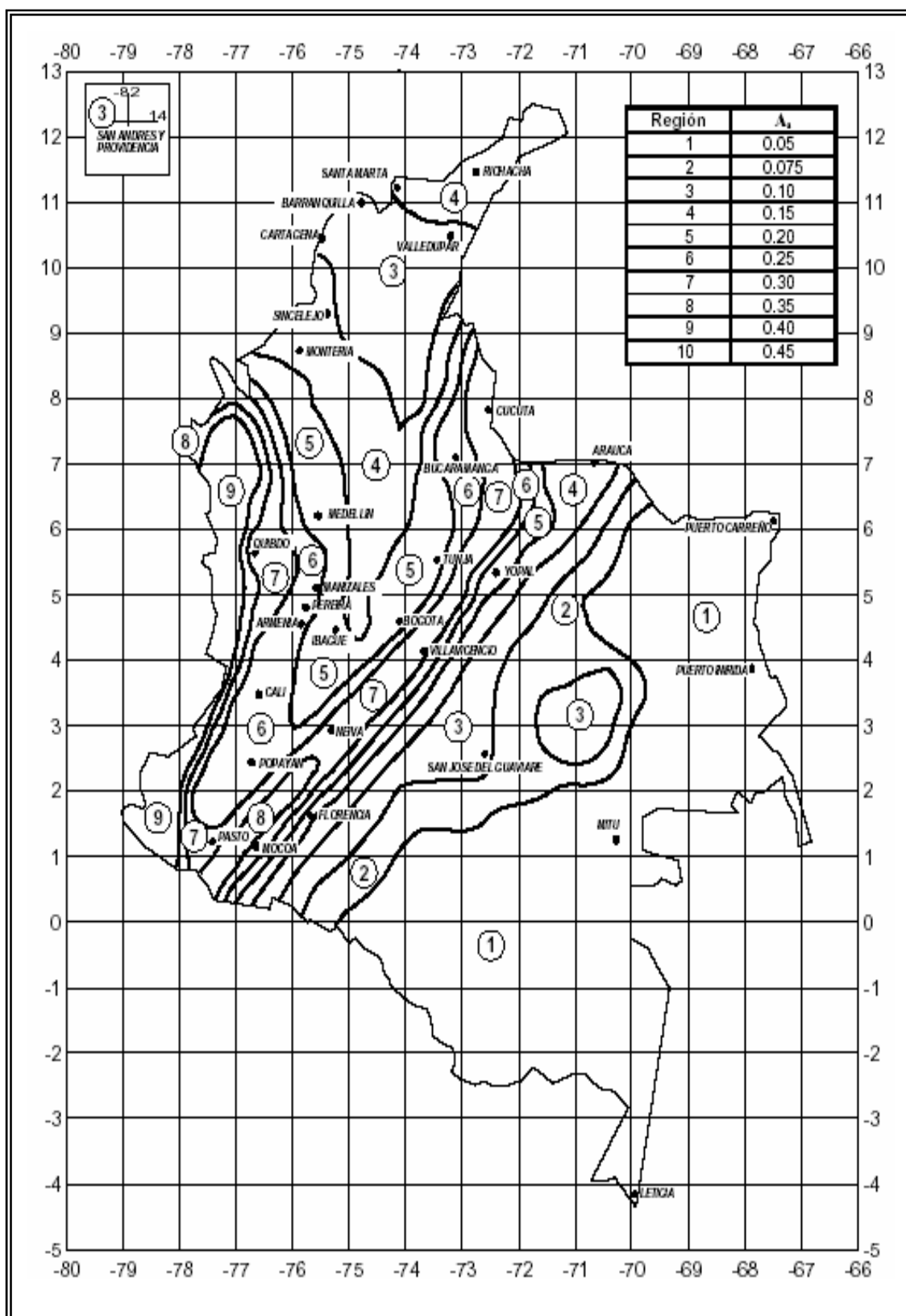
A continuación se muestran los mapas donde se encuentran los valores de A_a para las regiones de amenaza sísmica y la clasificación de amenaza sísmica en Colombia:

Figura 20. Zonas de amenaza sísmica en Colombia



Fuente: AIS, Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente NSR – 98

Figura 21. Valores de A_a característicos

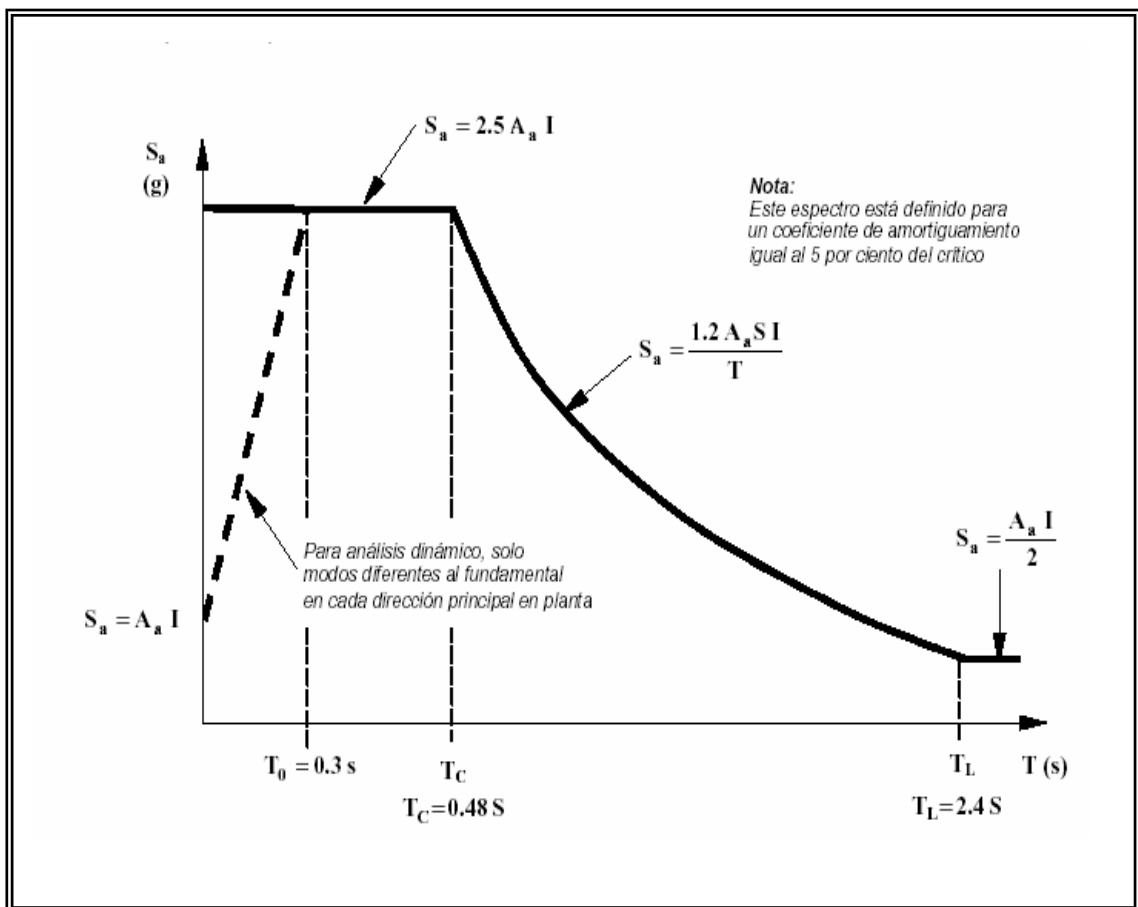


Fuente: AIS, Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente NSR - 98

2.5.3 Espectro de Diseño Cuando se realiza el diseño de una construcción que se localizará en una zona de actividad sísmica alta, se requiere un espectro que tenga en cuenta la actividad sísmica regional, para caracterizar la aceleración local máxima esperada.

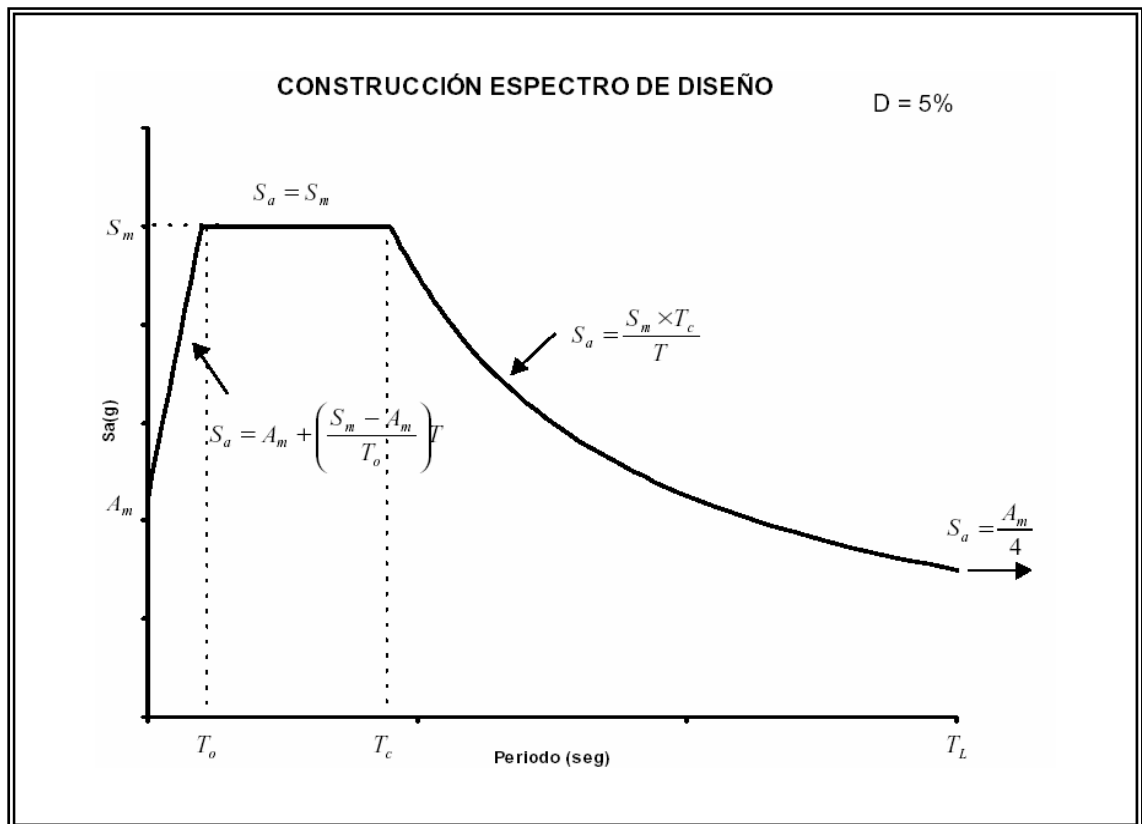
Para Colombia el espectro de diseño se encuentra definido en la NSR – 98 con un coeficiente de amortiguamiento igual al 5% del amortiguamiento crítico.

Figura 22. Espectro de diseño propuesto por la NSR - 98



Fuente: AIS, Normas colombianas de diseño y construcción sismorresistente NSR - 98

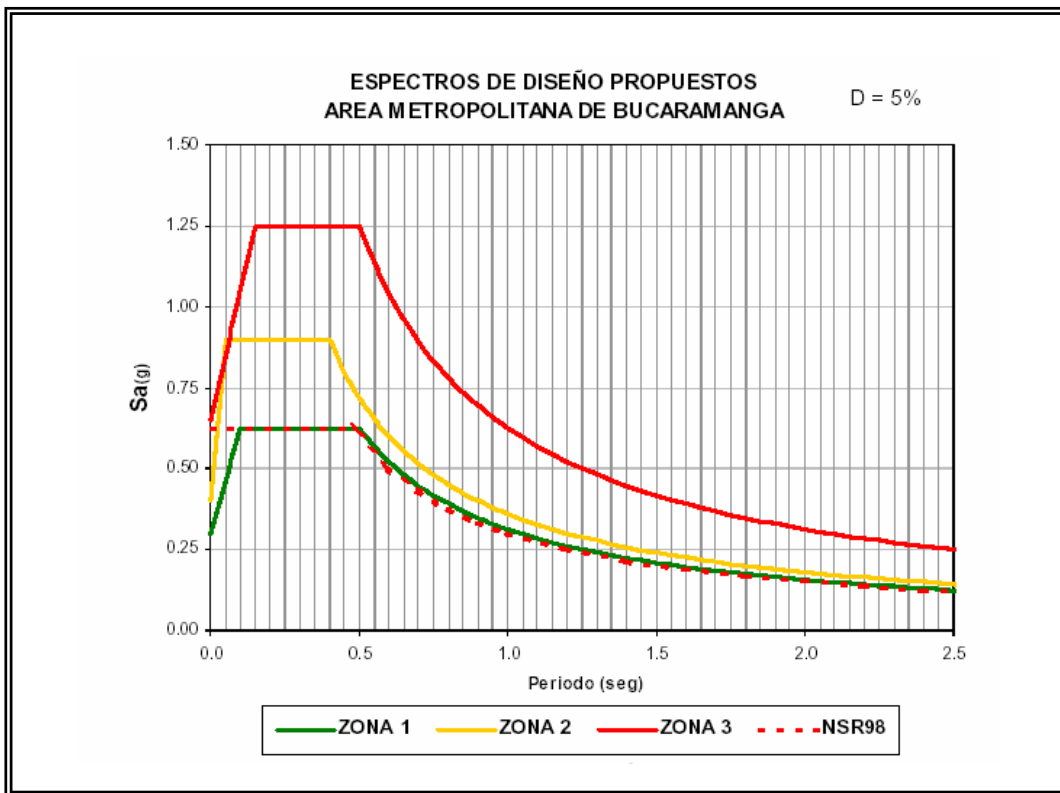
Figura 23. Espectro de diseño propuesto por el estudio de microzonificación de Bucaramanga



Fuente: INGEOMINAS, Estudio de Microzonificación Sismogeotectónica Indicativa de Bucaramanga

Para definir el espectro se pueden utilizar los resultados de estudios de microzonificación locales, permitidos por la norma general. En el área metropolitana de Bucaramanga se realizaron estudios por parte del INGEOMINAS dando como resultado los siguientes espectros característicos de diseño:

Figura 24. Espectros de diseño propuestos por el estudio de microzonificación Sismogeotectónica del Área metropolitana de Bucaramanga



Fuente: INGEOMINAS, Estudio de microzonificación Sismogeotectónica del Área Metropolitana de Bucaramanga

A continuación se define las características importantes de cada zona y los valores que se utilizan para la construcción de los Espectros y así tener un informe más detallado, del espectro de diseño¹³:

- **ZONA 1 – ROCA** esta zona comprende los depósitos de roca correspondientes a la formación Girón (1G) y cualquier depósito que se pueda considerar como roca pura (R). Los depósitos considerados como roca blanda y/o suelos residuales competentes sobre manto rocoso, comprende las zonas identificadas como 1N, 3 y 7. Tienen una forma espectral y aceleraciones máximas similares a lo propuesto por la NSR - 98. Las siguientes son las

¹³ INGEOMINAS, Estudio de microzonificación Sismogeotectónica del Área Metropolitana de Bucaramanga

características que se utilizan para construir el espectro de diseño en esta zona:

- T_0 (seg) = 0.10.
- T_C (seg) = 0.50.
- T_L (seg) = 4.00.
- A_m (g) = 0.30.
- S_m (g) = 0.63.

• **ZONA 2 – SUELO RÍGIDO** donde se encuentra la mayor parte de la población del área metropolitana de Bucaramanga, corresponde a depósitos de suelo rígido, reúne las zonas 2, 4 y 5. Presenta aceleraciones espectrales máximas considerablemente altas. Así como los valores máximos están en concordancia con la propuesta de la norma UBC97 para sitios donde efectos de campo cercano son esperados; tal y como podría ser el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga. Para la construcción del espectro en esta zona se utilizan las siguientes características:

- T_0 (seg) = 0.05.
- T_C (seg) = 0.40.
- T_L (seg) = 3.60.
- A_m (g) = 0.40.
- S_m (g) = 0.90

• **ZONA 3 - LLENOS** corresponde a los llenos (6), que deben tener consideraciones especiales, dadas las aceleraciones espectrales tan altas obtenidas. Es pertinente mencionar que los datos geotécnicos para caracterizar estas zonas son muy pobres y como tal la incertidumbre de su respuesta dinámica es bastante elevada. Sin embargo, es de anotar que el espectro propuesto aquí ha sido reducido en su amplitud máxima. Es

también importante aclarar que pueden existir llenos de menor tamaño que no han sido cartografiados. En esta zona los valores característicos son:

- T_0 (seg) = 0.15.
- T_C (seg) = 0.50.
- T_L (seg) = 4.00.
- A_m (g) = 0.65.
- S_m (g) = 1.25.

2.5.4 Espectros de Respuesta Es un conjunto de máximos valores de desplazamiento, velocidad o aceleración, que sobre un oscilador simple (OS) puede originar una carga aleatoria o determinista, el interés al que corresponde son las cargas sísmicas las cuales son aleatorias.

Los resultados que se obtienen para analizar los espectros de respuestas se resumen de la siguiente manera¹⁴:

- **Desplazamiento Espectral (Sd)**

$$S_d = \left| \int_0^T e^{-\epsilon w(t-\tau)} \ddot{U}_g(\tau) \sin w_d(t - \tau) d\tau \right|_{\max} \quad \text{Ec. 28}$$

- **Velocidad Espectral (Sv)**

$$S_v \approx \left| \int_0^T e^{-\epsilon w(t-\tau)} \dot{U}_g(\tau) \cos w_d(t - \tau) d\tau \right|_{\max} \quad \text{Ec. 29}$$

- **Aceleración Espectral**

$$S_a \approx W_d \left| \int_0^T e^{-\epsilon w(t-\tau)} \ddot{U}_g(\tau) \sin W_d(t - \tau) d\tau \right|_{\max} \quad \text{Ec. 30}$$

¹⁴ SARRIA, Alberto; Ingeniería Sísmica, Ediciones Uniandes

CAPITULO 3

DESCRIPCIÓN Y MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

3.1 INTRODUCCIÓN

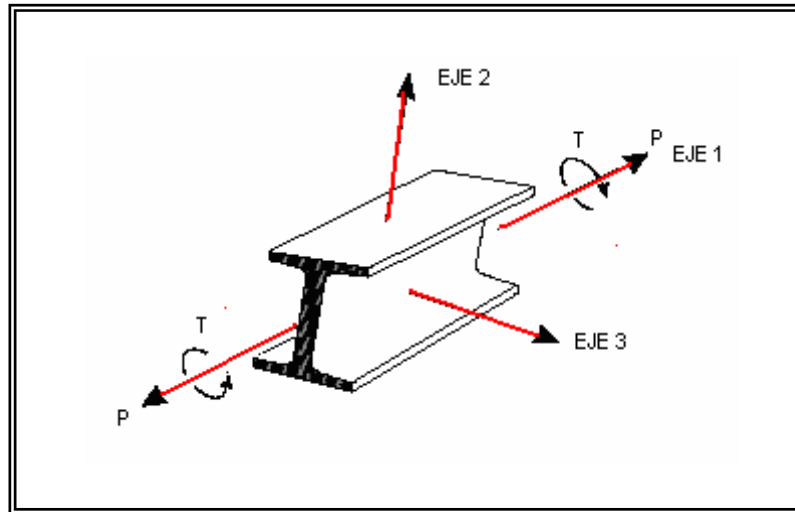
Como se mencionó en la etapa del estudio de la factibilidad para esta investigación, se realizará el análisis sísmico de tanques elevados de agua sobre diferentes edificaciones ya construidas en la ciudad de Bucaramanga; las edificaciones a las cuales se les realizará el estudio deben cumplir con ciertos requisitos como por ejemplo tener entre 8 y 12 niveles y además tener un tanque de ciertas dimensiones para poder observar la influencia de este apéndice sobre la estructura. Se limitó el estudio a edificios de 8 a 12 niveles por ser estos bastante comunes en la ciudad y además para poder comparar los efectos de los diferentes tipos de tanques.

La estructura de la edificación se modelará utilizando el software SAP - 2000¹⁵ el cual utiliza los elementos finitos para el análisis y solución estructural. El software permite, a través de una misma interfase, crear y modificar un modelo, ejecutar el análisis del mismo, así como revisar y optimizar el diseño de cada elemento. Los resultados se presentan de una manera gráfica en tiempo real. Posee una rápida solución de ecuaciones, esfuerzos y desplazamientos inducidos por cargas. El método de análisis de SAP – 2000, como se mencionó anteriormente se basa en la teoría del elemento finito, la cual básicamente es dividir el elemento en cuestión en pequeñas partes las cuales poseen las siguientes características:

- Geometría Sistema de referencia.
- Material Ley constitutiva.

¹⁵ SAP2000. Structural Analysis Program. Computers and Structures, Inc. University of Berkeley.

Figura 25. Elemento FRAME



Fuente: Manual de análisis y diseño en SAP-2000

Se utilizarán dos tipos de elementos FRAME que son los que están definidos como rectangular y como general, las cuales se definen por sus dimensiones de base y altura y por sus propiedades de sección respectivamente; estas propiedades se definen en los cuadros que se muestran a continuación.

Figura 26. Definición de un elemento FRAME del tipo rectangular.

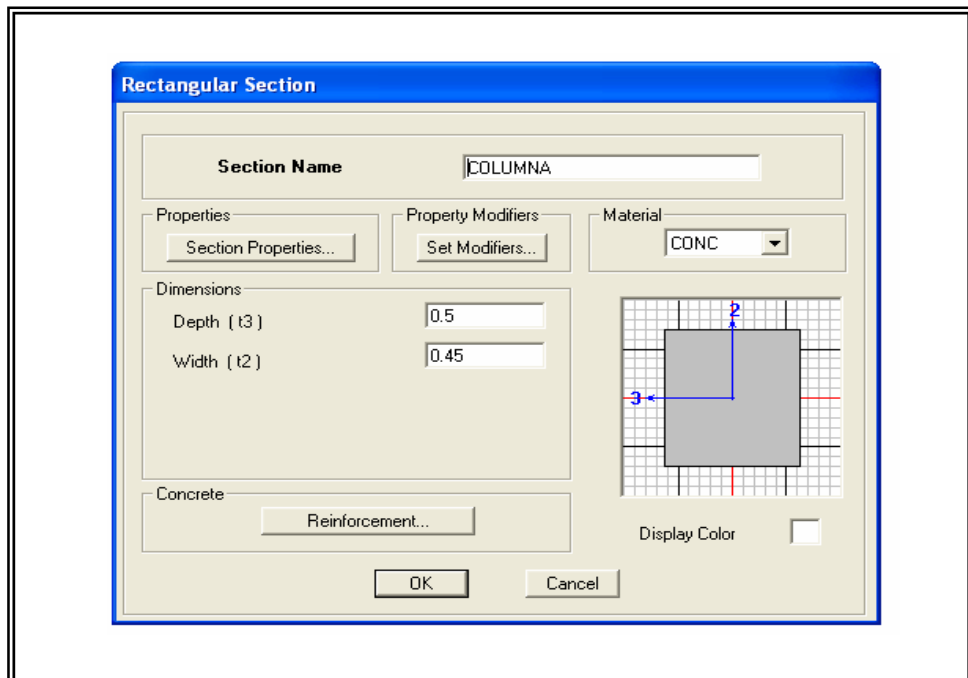
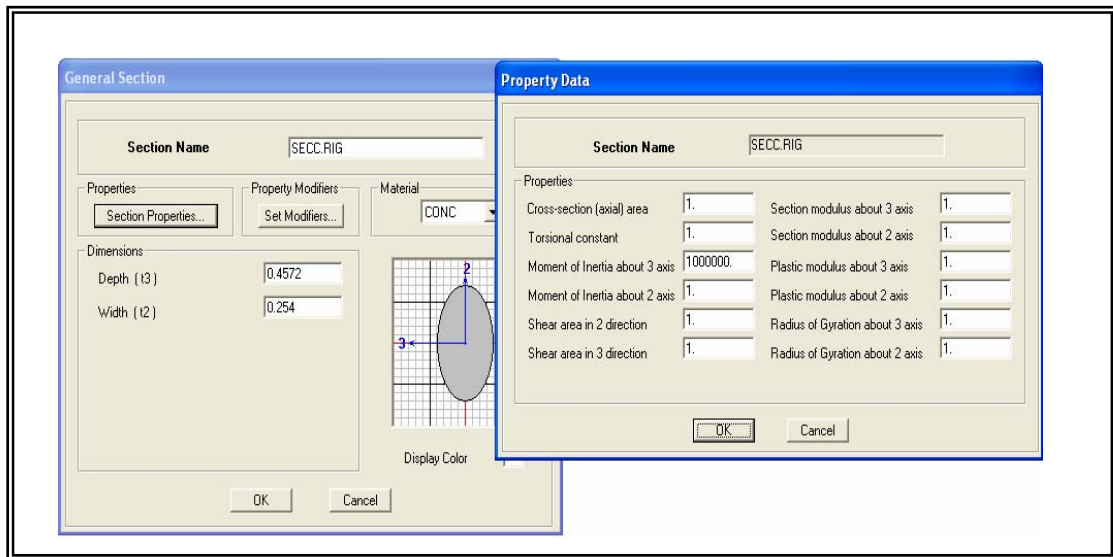


Figura 27. Definición de un elemento FRAME del tipo general.



➤ **ELEMENTO TIPO SHELL¹⁷** el elemento SHELL, es un elemento descrito por tres o cuatro nodos, que combina el comportamiento de membrana y de placa.

Los cuatro nodos de un elemento no tienen que ser coplanarios. Aunque en estructuras normales generalmente sí lo son; ya que los muros usados están en un plano vertical.

El comportamiento de membrana usa una formulación isoparamétrica que incluye componentes de rigidez traslacional en el plano y una componente de rigidez rotacional en la dirección normal al plano del elemento.

El comportamiento de placa rígida incluye dos direcciones, fuera del plano, componentes de rigidez rotacional de placa y una componente de rigidez traslacional en la dirección normal al plano del elemento. El comportamiento de placa rígida no incluye efecto de deformación cortante.

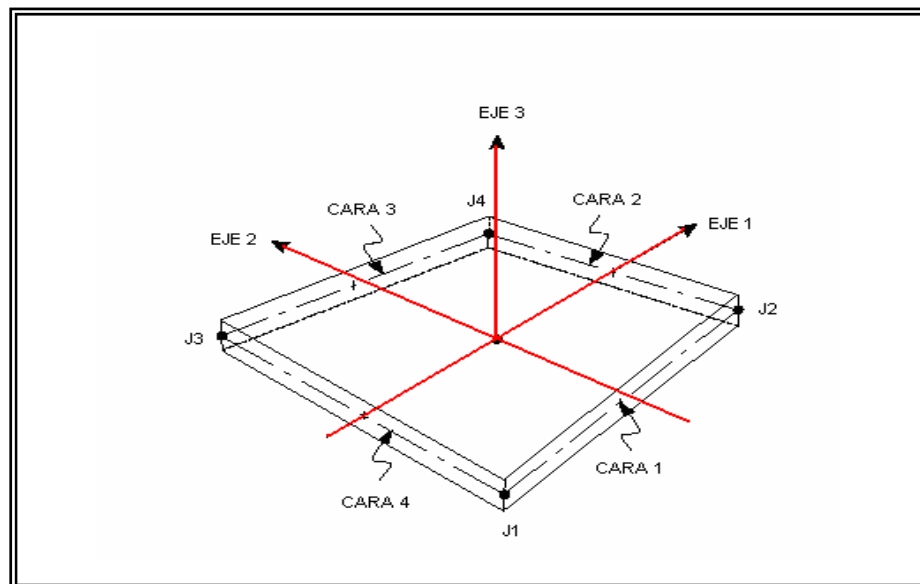
¹⁷ Manual de análisis y diseño en SAP – 2000; CITERRA

Cada elemento SHELL tiene su propio sistema de coordenadas locales, necesarias para definir propiedades del material, las cargas e interpretación de resultados.

Cada elemento puede ser cargado por cargas uniformes o gravitatorias en cualquier dirección.

Una integración numérica de ocho puntos es usada para la rigidez del SHELL. Esfuerzos, fuerzas internas y momentos, en el sistema de coordenadas locales del elemento, son evaluados en los puntos de integración de Gauss de 2x2 y extrapolados a los nodos de los elementos. Un error aproximado en los esfuerzos del elemento o las fuerzas internas puede ser estimado de la diferencia en valores calculados en diferentes elementos unidos en un nodo común. Esto dará una indicación de la exactitud de la aproximación de un elemento finito dado y puede entonces ser usado como la base para la selección de una nueva y más exacta malla de elementos finitos.

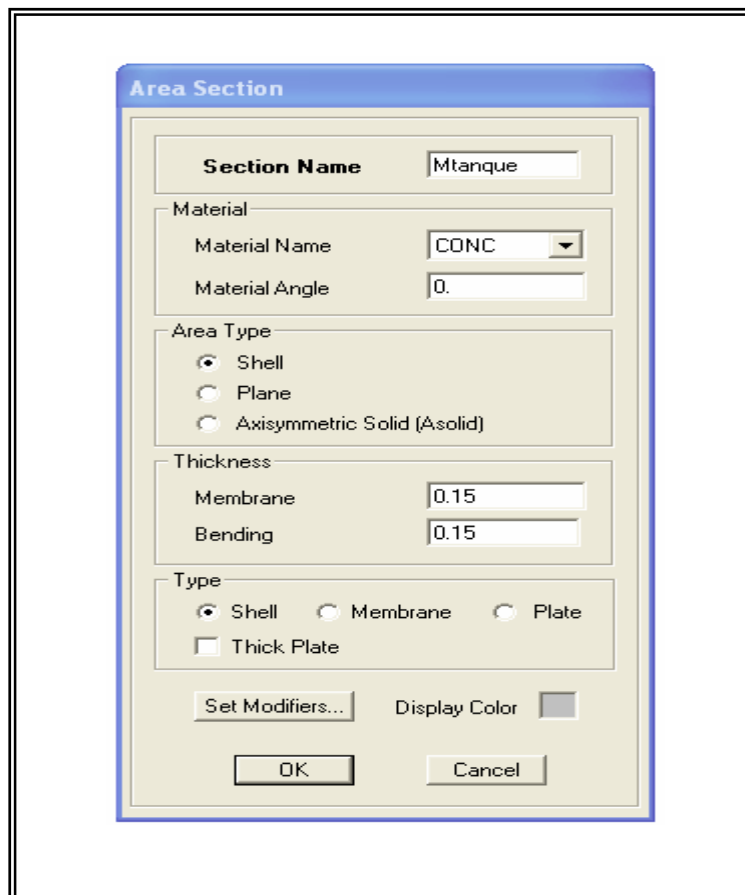
Figura 28. Elemento SHELL



Fuente: Manual de análisis y diseño en SAP-2000

Existen diferentes tipos de elemento SHELL, que se definen como shell, membrane y plate, para modelar los elementos tipo muro de las estructuras se utilizará el elemento shell que se define como se muestra a continuación.

Figura 29. Definición de un elemento tipo SHELL



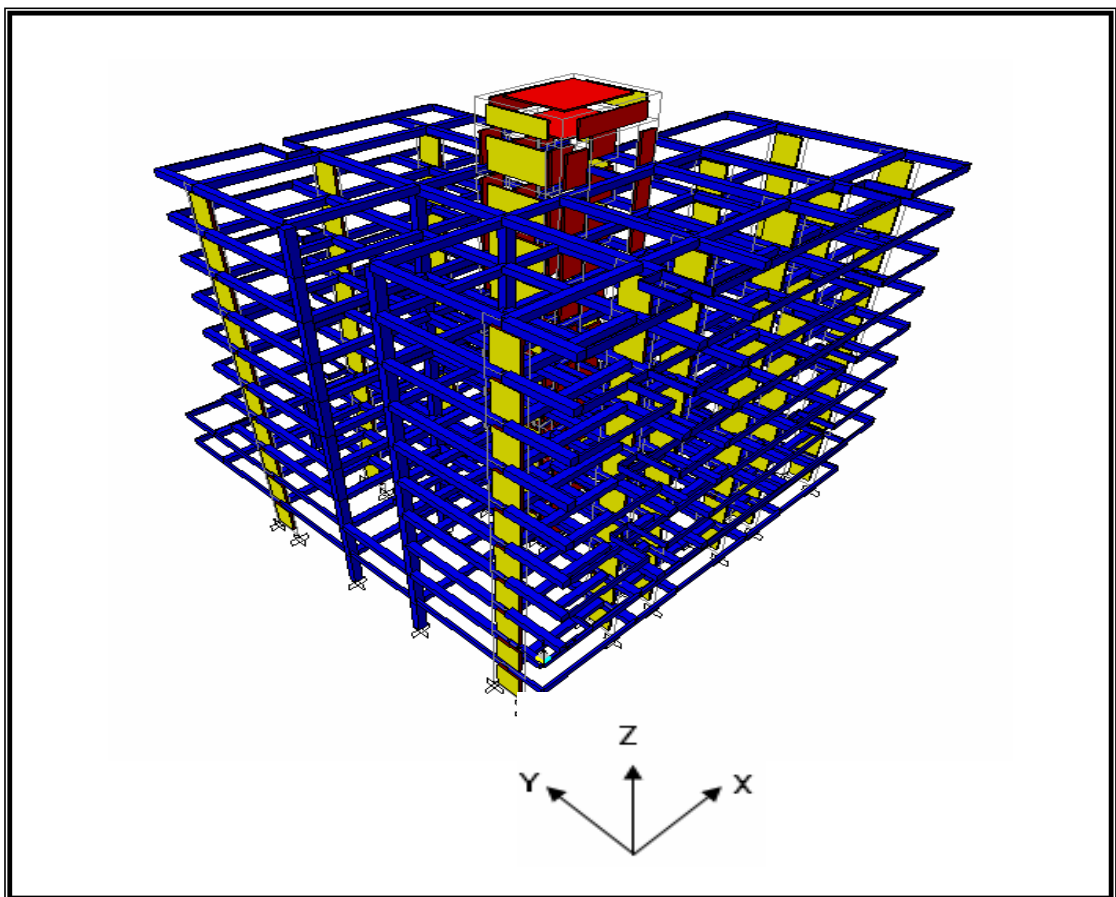
3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS EDIFICACIONES Y DE LOS TANQUES ELEVADOS

3.3.1 Edificio Miramonti esta estructura esta construida en la ciudad de Bucaramanga, se encuentra ubicada en la cra 39 con calle 38, tiene un total de once niveles los cuales están divididos en dos sótanos que son utilizados como parqueaderos y nueve niveles mas que se utilizan como unidades residenciales; la altura de entrepiso es de 2.8 m para tener una altura de

cubierta de 22.4 m, medidos desde el nivel 0.0, el cual se encuentra 5.6 m sobre el nivel del sótano numero 2. El lote de construcción tiene de frente una longitud de 24.73 m (sentido X) y de fondo 24.83m (sentido Y) para un área total de 614.05 m².

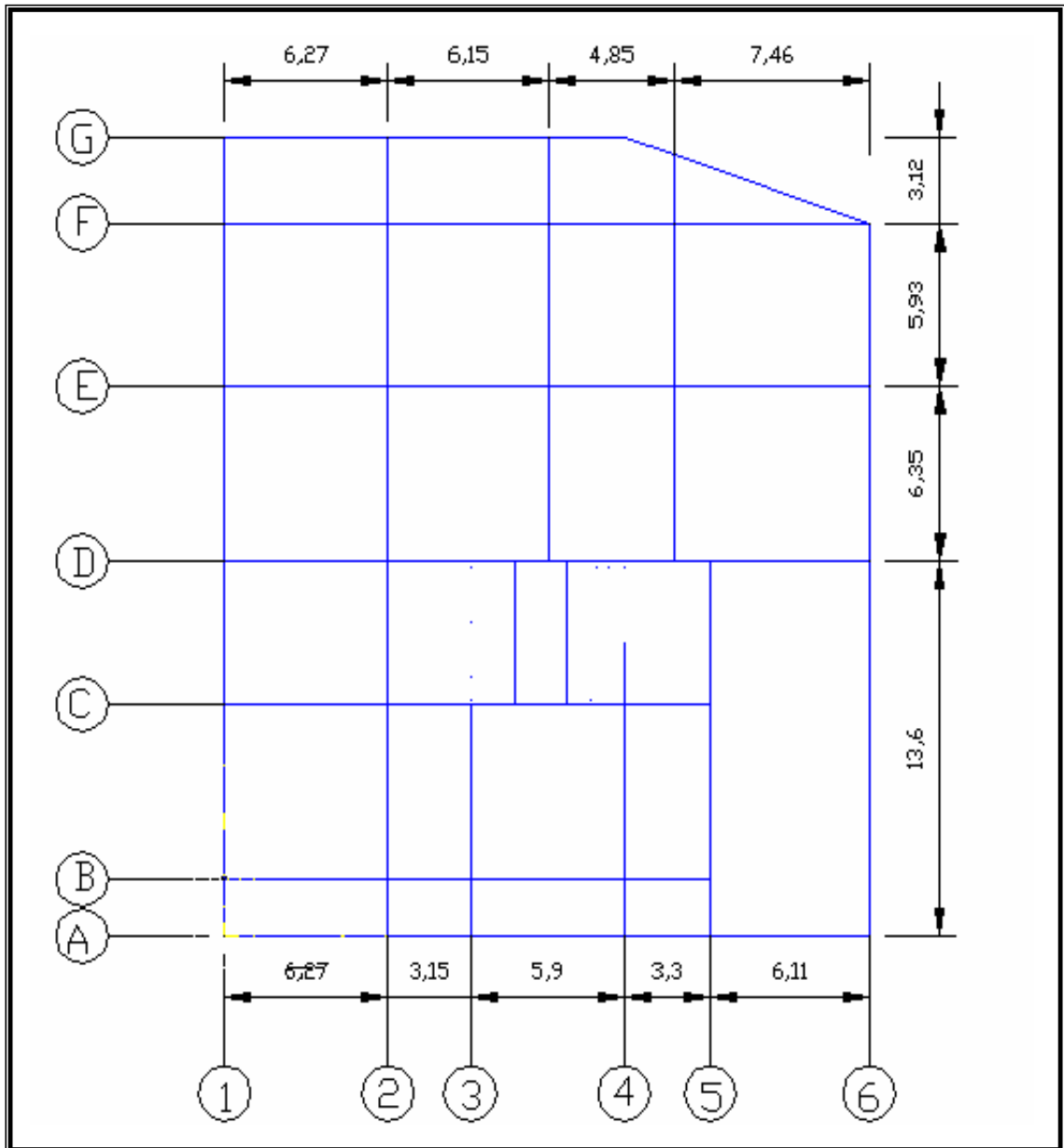
El sistema estructural se encuentra conformado por muros, columnas y vigas, razón por la cual se clasifica como un sistema combinado. Los muros de la estructura se encuentran orientados en el sentido Y como se puede ver en el modelo realizado en SAP-2000, que se muestra a continuación.

Figura 30. Configuración general del Edificio Miramonti.



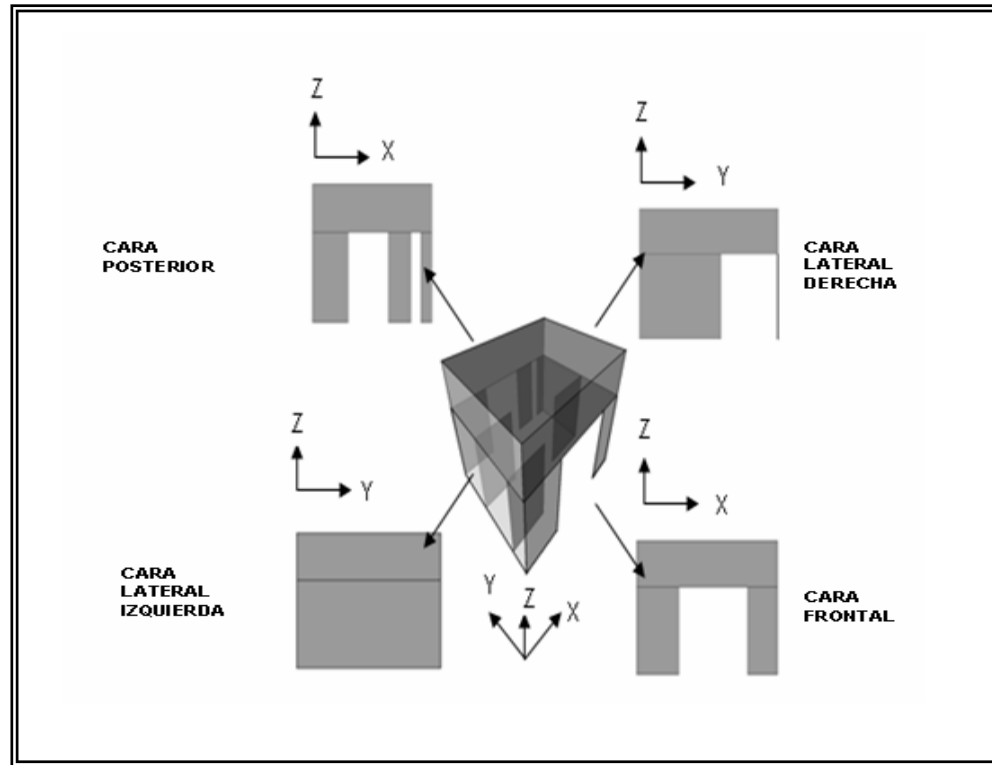
➤ **Tanque elevado del Edificio Miramonti** es un tanque rectangular de paredes rígidas que se encuentra apoyado sobre muros de carga, en ambas direcciones tanto X como Y, estos muros de carga son los que conforman el

Figura 31. Configuración en planta Edificio Miramonti



foso del ascensor y también el foso de la escalera. La configuración general del tanque y sus apoyos, es como se muestra en la siguiente figura.

Figura 32. Configuración general del tanque de almacenamiento Edificio Miramonti.



Este tanque se encuentra a una altura sobre la cubierta de 2.8 m para un nivel a la base del tanque de 25.4 m, medidos desde el nivel 0.0. Las dimensiones del tanque son las siguientes:

- Altura: 1.5 m.
- Dimensión X: Caras frontal y posterior 5.9 m.
- Dimensión Y: Caras lateral izquierda y derecha 4.8 m.

El volumen de almacenamiento del tanque es de:

$$V_T = 42.48 \text{ m}^3.$$

Los muros del tanque tienen un espesor de 15 cm tanto los laterales como el del fondo. Todos los muros sobre los cuales se encuentra apoyado en tanque

tienen un espesor de 20 cm y sus apoyos se considerarán o se modelarán como un empotramiento perfecto.

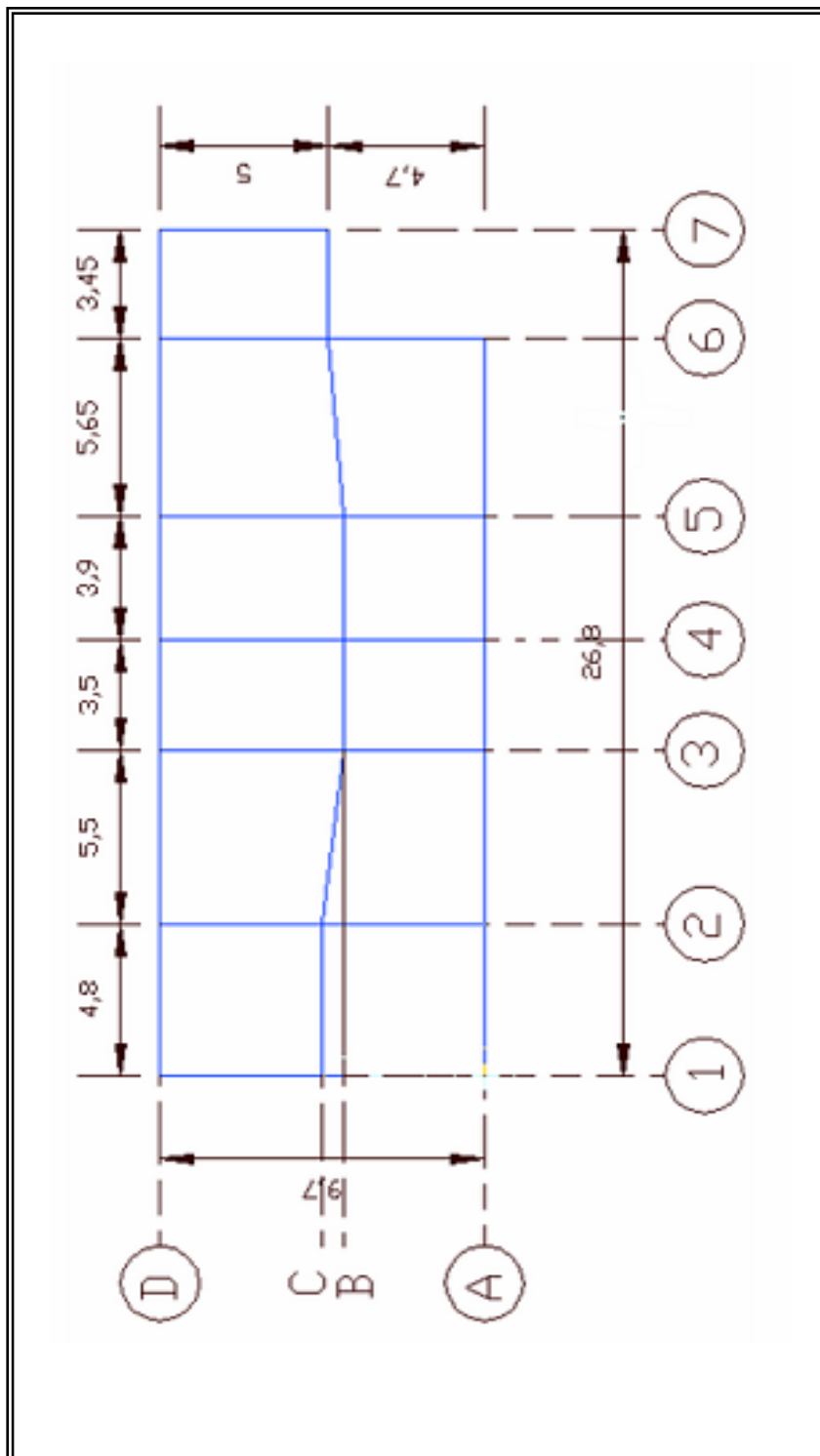
3.3.2 Edificio Teruel esta estructura esta construida en la ciudad de Bucaramanga, se encuentra ubicada en la Cra 36 entre calles 35 y 36, tiene un total de 8 niveles los cuales están divididos en dos sótanos que son utilizados como parqueaderos y seis niveles mas que se utilizan como unidades residenciales; la altura de entrepiso es de 2.8 m para tener una altura de cubierta de 14.20 m, medidos desde el nivel 0.0. El lote de construcción tiene de frente una longitud de 23.35 m (sentido X) y de fondo 9.70 m (sentido Y) para un área total de 226.5 m².

El sistema estructural se encuentra conformado por columnas y vigas, razón por la cual se clasifica como un sistema tipo pórtico.

Figura 33. Configuración general del Edificio Teruel.

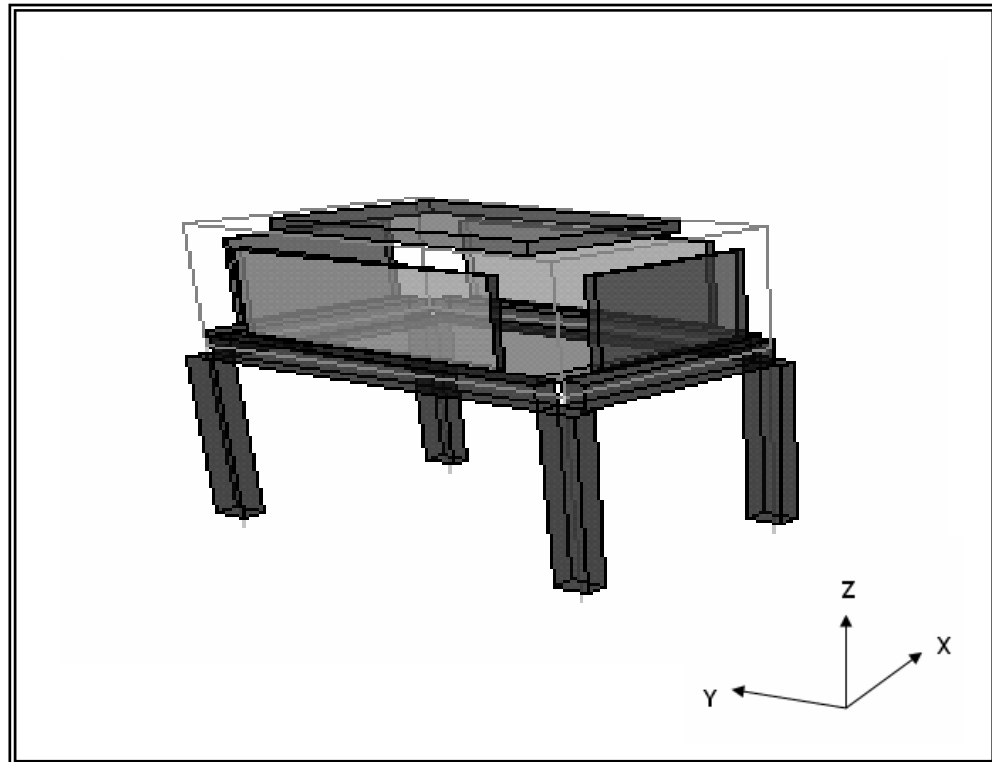


Figura 34. Configuración en planta Edificio Teruel



- **Tanque elevado del Edificio Teruel** es un tanque rectangular de paredes rígidas que se encuentra apoyado sobre cuatro columnas, las cuales van desde en nivel de cimentación de la estructura hasta la base del tanque.

Figura 35. Configuración general del tanque de almacenamiento Edificio Teruel.



Este tanque se encuentra a una altura sobre la cubierta de 2.5 m para un nivel a la base del tanque de 16.70 m, medidos desde el nivel 0.0. Las dimensiones del tanque son las siguientes:

- Altura: 1.5 m.
- Dimensión X: Caras frontal y posterior 3.5 m.
- Dimensión Y: Caras lateral izquierda y derecha 5.5 m.

El volumen de almacenamiento del tanque es de:

$$V_T = 28.875 \text{ m}^3.$$

Las columnas sobre las cuales se apoya el tanque son de 0.5 x 0.3 y el espesor de los muros del tanque es 15 cm tanto los laterales como el del fondo.

Los apoyos de las columnas sobre las cuales se apoya el tanque, se considerarán o se modelarán como un empotramiento perfecto.

3.3.3 Edificio Omega esta estructura esta construida en la ciudad de Bucaramanga, se encuentra ubicada en la Cll 37 entre carreras 34 y 35, tiene un total de 9 niveles los cuales están divididos en dos sótanos que son utilizados como parqueaderos y siete niveles más que se utilizan como unidades residenciales; la altura de entrepiso es de 2.8 m, excepto para el nivel de la recepción que es de 3.2 m, con esto se tiene una altura de cubierta de 20 m, medidos desde el nivel 0.0. El lote de construcción tiene de frente (sentido X) una longitud de 33.70 m y de fondo (sentido Y) 9.70 m para una área total de 326.89 m².

El sistema estructural se encuentra conformado por columnas y vigas, razón por la cual se clasifica como un sistema tipo pórtico.

Figura 36. Configuración general del Edificio Omega.

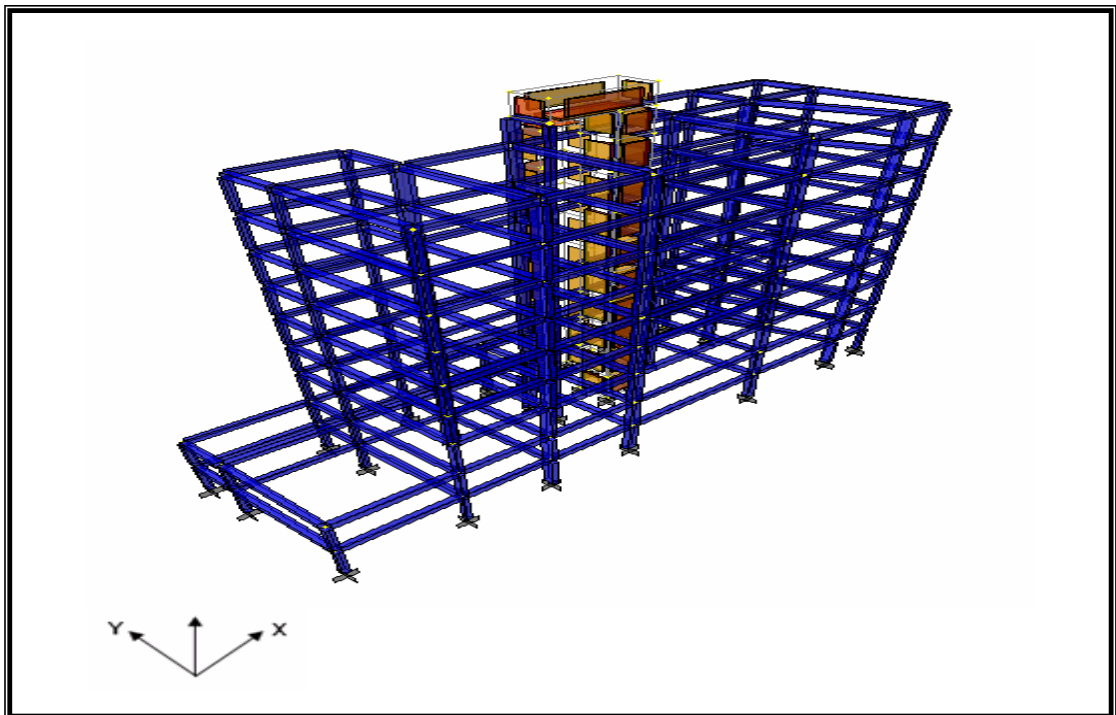
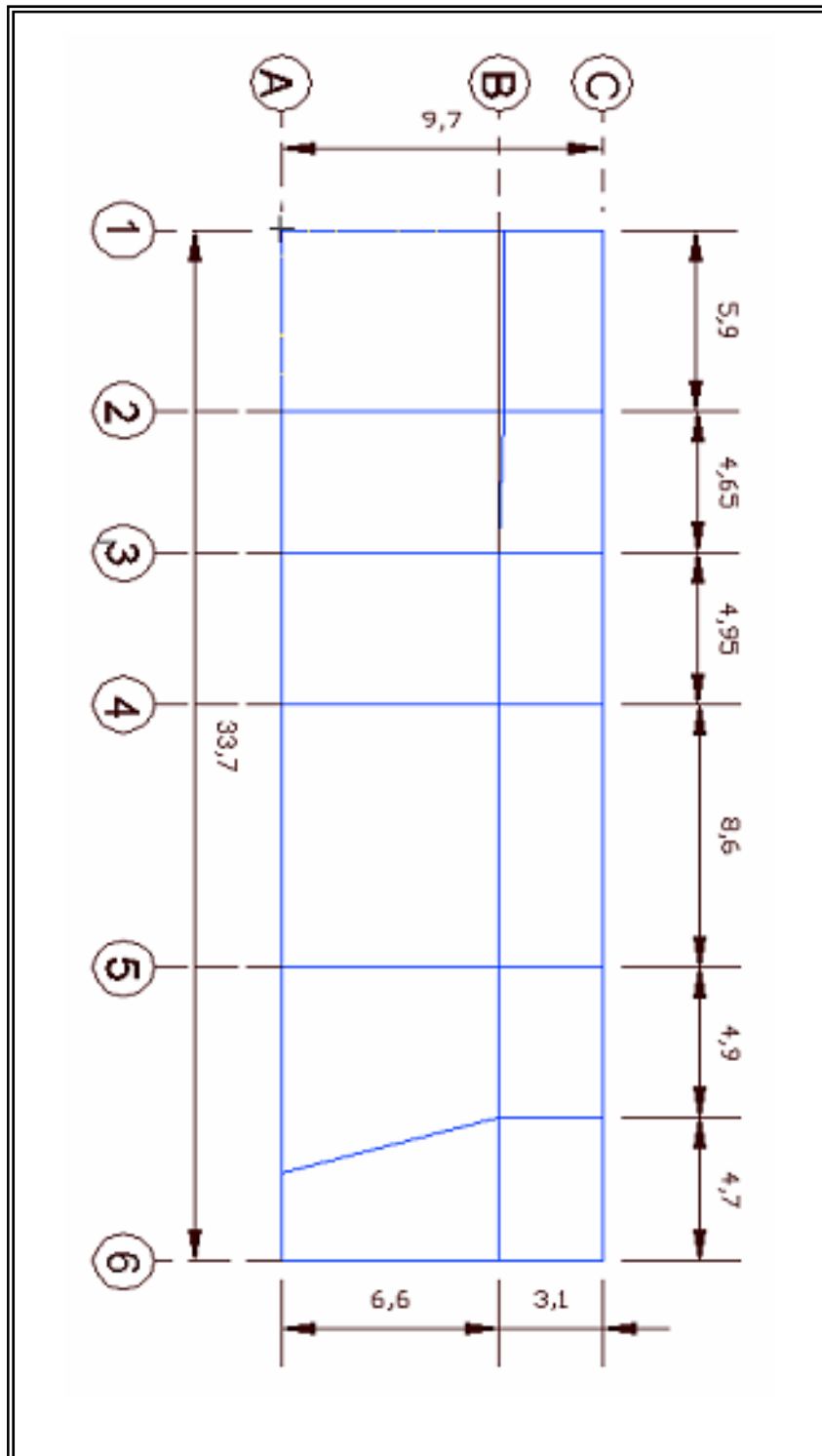
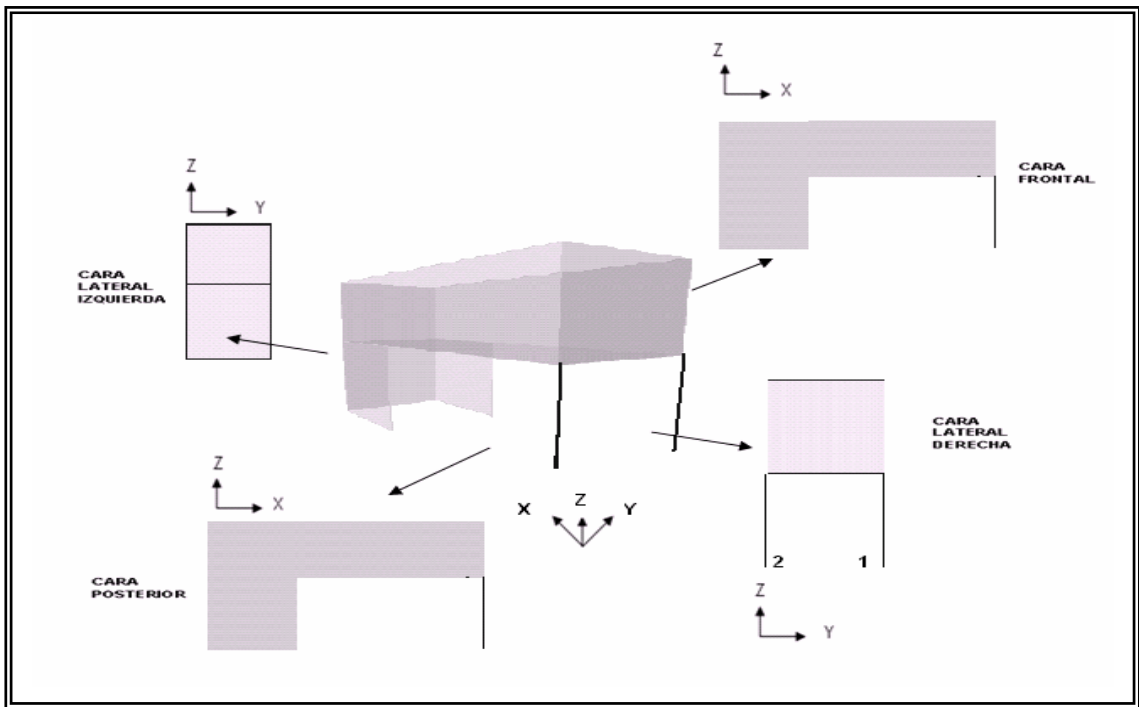


Figura 37. Configuración en planta Edificio Omega



- **Tanque elevado del Edificio Omega** es un tanque rectangular de paredes rígidas que se encuentra apoyado sobre dos columnas, y tres muros que conforman el foso del ascensor.

Figura 38. Configuración general del tanque de almacenamiento Edificio Omega.



Este tanque se encuentra a una altura sobre la cubierta de 2.0 m para un nivel a la base del tanque de 22 m, medidos desde el nivel 0.0. Las dimensiones del tanque son las siguientes:

- Altura: 1.6 m.
- Dimensión X: Caras frontal y posterior 5.30 m.
- Dimensión Y: Caras lateral izquierda y derecha 1.90 m.

El volumen de almacenamiento del tanque es de:

$$V_T = 16.112 \text{ m}^3.$$

Las columnas sobre las cuales se apoya el tanque son de 0.3 x 0.3, la señalada con el número 1 y de 0.3 x 0.6 la señalada con el número 2; el

espesor de los muros del tanque es 20 cm tanto los laterales como el del fondo. Los apoyos de las columnas y los muros sobre los cuales se sostiene el tanque, se considerarán o se modelarán como un empotramiento perfecto. Los muros sobre los cuales se encuentra apoyado el tanque tienen un espesor de 20 cm.

3.3.4 Edificio Procyón esta estructura esta construida en la ciudad de Bucaramanga, se encuentra ubicada en la Cll 18 entre carreras 31 y 32, tiene un total de once niveles los cuales están divididos en dos sótanos que son utilizados como parqueaderos y nueve niveles mas que se utilizan como unidades residenciales; la altura de entrepiso es de 2.8 m para tener una altura de cubierta de 22.4 m, medidos desde el nivel 0.0, el cual se encuentra 5.6 m sobre el nivel del sótano numero 2. El lote de construcción tiene de frente una longitud de 17.65 m (sentido X) y de fondo 39.0 m (sentido Y) para un área total de 688.35 m² El sistema estructural se encuentra conformado por columnas y vigas, razón por la cual se clasifica como un sistema pórtico.

Figura 39. Configuración general del Edificio Procyón.

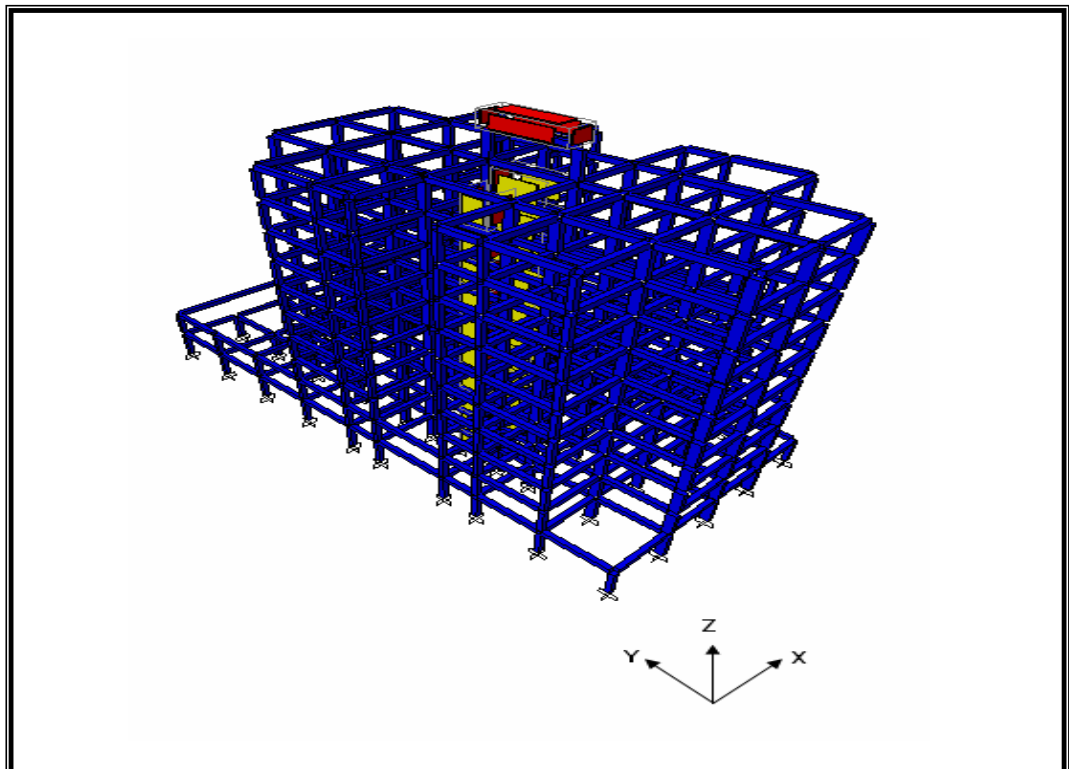
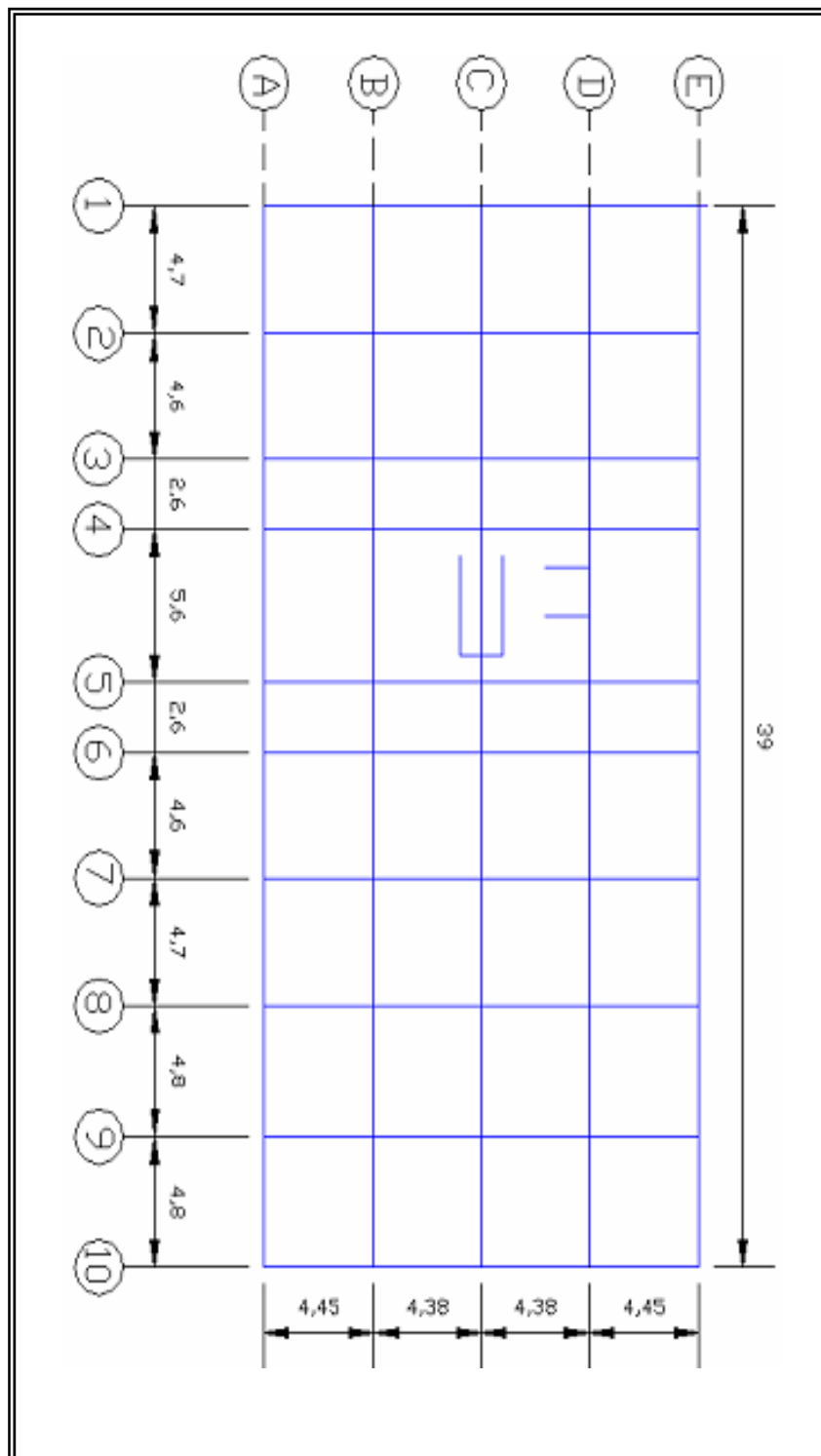
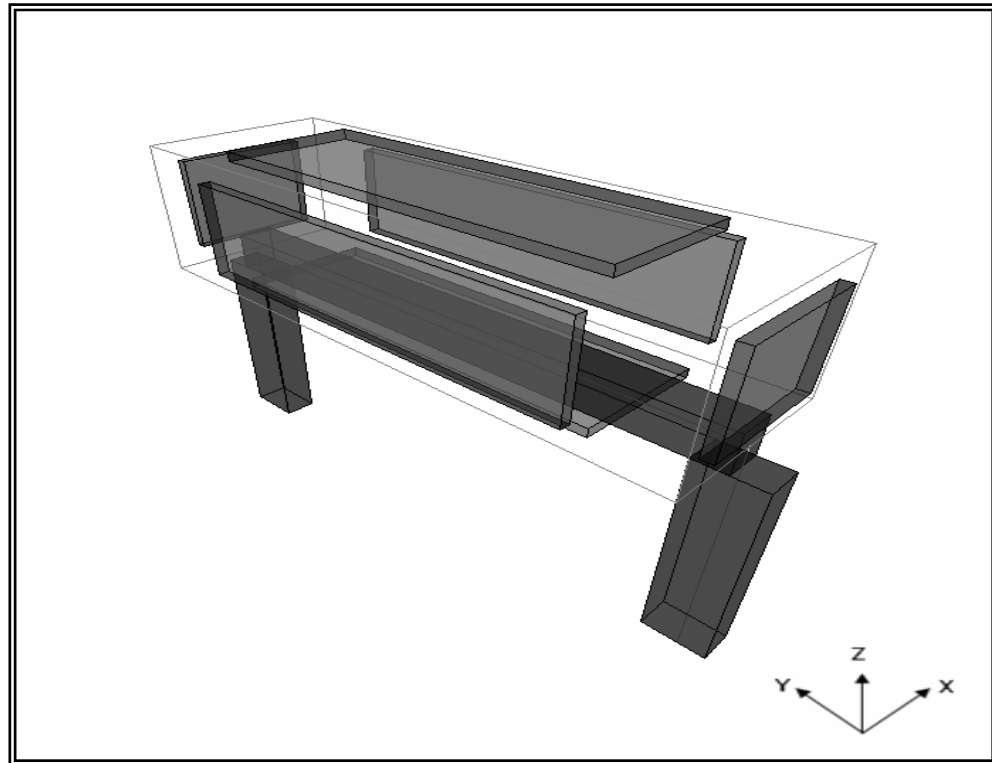


Figura 40. Configuración en planta Edificio Procyón



- **Tanque elevado del Edificio Procyón** es un tanque rectangular de paredes rígidas, cuyo sistema de apoyo se encuentra conformado por dos columnas. La configuración general del tanque y sus apoyos es como se muestra en la siguiente figura.

Figura 41. Configuración general del tanque de almacenamiento Edificio Procyón.



Este tanque se encuentra a una altura sobre la cubierta de 2.8 m para un nivel a la base del tanque de 25.4 m, medidos desde el nivel 0.0. Las dimensiones del tanque son las siguientes:

- Altura: 1.5 m.
- Dimensión X: Caras frontal y posterior 1.8 m.
- Dimensión Y: Caras lateral izquierda y derecha 5.6 m.

El volumen de almacenamiento del tanque es de:

$$V_T = 15.12 \text{ m}^3.$$

Los muros del tanque tienen un espesor de 15 cm tanto los laterales como el del fondo y las columnas sobre las cuales se apoya el tanque son de 0.35 x 0.60.

3.4 MODELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN SAP - 2000

Como se mencionó al principio de este capítulo, las estructuras se modelan utilizando el software SAP – 2000, como las estructuras en su totalidad están conformadas por elementos del tipo Viga, Columna y Muros los modelos solo necesitan ser definidos por medio de elementos tipo FRAME y elementos tipo SHELL.

3.4.1 Tipos de apoyos los apoyos que se utilizaron en el modelamiento de todas las estructuras, son definidos como empotramientos perfectos por medio de RESTRAINT, que impiden el movimiento en las tres direcciones y que además impiden las rotaciones alrededor de los ejes X, Y & Z.

3.4.2 Tipos de cargas las cargas que se definieron para la creación de los modelos son aquellas que se consideran como básicas y que son carga viva y carga muerta.

➤ **Carga Viva** la carga viva que se utilizó es la que se encuentra definida como mínima para vivienda, en el código Colombiano de construcciones sismorresistentes NSR – 98 que es de 180 Kg/m².

➤ **Carga muerta** este tipo de carga depende de la configuración de cada edificación, a continuación se muestra una tabla con la carga muerta para cada edificio. Las cargas muertas que se muestran no incluyen el peso propio de cada elemento.

Tabla 6. Cargas muertas de las edificaciones

EDIFICIO	ESPESOR DE LA PLACA DE ENTREPISO	W_d (Kg/m ²)
MIRAMONTI	45 cm	850
TERUEL	40 cm	840
OMEGA	45 cm	890
PROCYÓN	45 cm	850

3.4.3 Tipo de material el material que se utiliza en la creación de los modelos de las estructuras es concreto para todos sus elementos tanto los del tipo FRAME como los del tipo SHELL. A continuación se muestran las características del material que se utilizó:

Figura 42. Definición del material utilizado para la creación de los modelos

Material Property Data

Material Name CONC

Type of Material
 Isotropic Orthotropic Anisotropic

Type of Design
 Design Concrete

Analysis Property Data

Mass per unit Volume 0.24

Weight per unit Volume 2.4

Modulus of Elasticity 2531050.7

Poisson's Ratio 0.2

Coeff of Thermal Expansion 9.900E-06

Shear Modulus 1054604.5

Design Property Data

Specified Conc Comp Strength, f'c 2812.2785

Bending Reinf. Yield Stress, fy 42184.18

Shear Reinf. Yield Stress, fys 28122.785

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduc. Factor 1.0

Material Damping - Advanced...

OK Cancel

3.4.4 Definición de zonas de rigidez se definen las zonas rígidas para especificar los segmentos de vigas y columnas que están embebidas dentro del nodo de unión de estos elementos. La zona de rigidez de los elementos esta definida por **iOFF** que es la longitud de la zona de rigidez en el nodo inicial del elemento y por **jOFF** que es la longitud de la zona de rigidez en el nodo final del elemento. El factor asignado a la zona de rigidez es de 0.5 que es el recomendado por SAP – 2000.

3.4.5 Definición de los Constraint los CONSTRAINT son definidos para limitar el movimiento a las direcciones que el usuario decida especificar, por ejemplo en las placas se necesita que todos los elementos se muevan en la misma dirección para lo cual se define un CONSTRAINT tipo diafragma para cada una de ellas.

3.4.6 Definición de espectros de diseño como sollicitación sísmica para las edificaciones, se definen los espectros consignados en la norma colombiana de construcciones sismorresistentes NSR – 98 por ser la guía general aplicable a todo el territorio nacional Colombiano y el espectro definido para la zona 2, en el estudio de microzonificación sismogeotectónica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, debido a que en esta zona se encuentran las edificaciones sobre las cuales se realiza el presente estudio. Estos espectros se definieron en el capítulo 2 de este documento.

3.4.7 Definición de las combinaciones de carga estas combinaciones son las que se especifican en la norma colombiana de construcciones sismorresistentes NSR – 98.

- **COMB1 = 1.4W_D + 1.7W_L**
- **COMB2 = 0.75*COMB1 + SISMOX**
- **COMB3 = 0.75*COMB1 + SISMOY**
- **SISMOX= 1*SPECX + 0.3*SPECY**
- **SISMOY=0.3*SPECX + 1*SPECY**

3.5 MODELAMIENTO DEL AGUA CONTENIDA DENTRO DEL TANQUE

Muchos de los modelos aplicados en el diseño de los tanques de agua consisten en concentrar la masa del líquido contenido en el tanque, esta masa se localiza en el centroide del fondo del tanque, de esta manera no se tienen en cuenta los efectos producidos por el movimiento del líquido contenido. Como se mencionó en los capítulos 1 y 2 el modelamiento del agua contenida en el tanque se realizará por medio del modelo propuesto por G.W HOUSNER, para este propósito se utilizará el software SAP-2000. A continuación se describe el proceso de modelamiento:

- Después de haber modelado toda la estructura hasta el ultimo nivel, el siguiente paso consiste en colocar los elementos de los cuales esta conformado el tanque y de igual manera su sistema de apoyo.

Figura 43. Estructura sin tanque elevado de agua

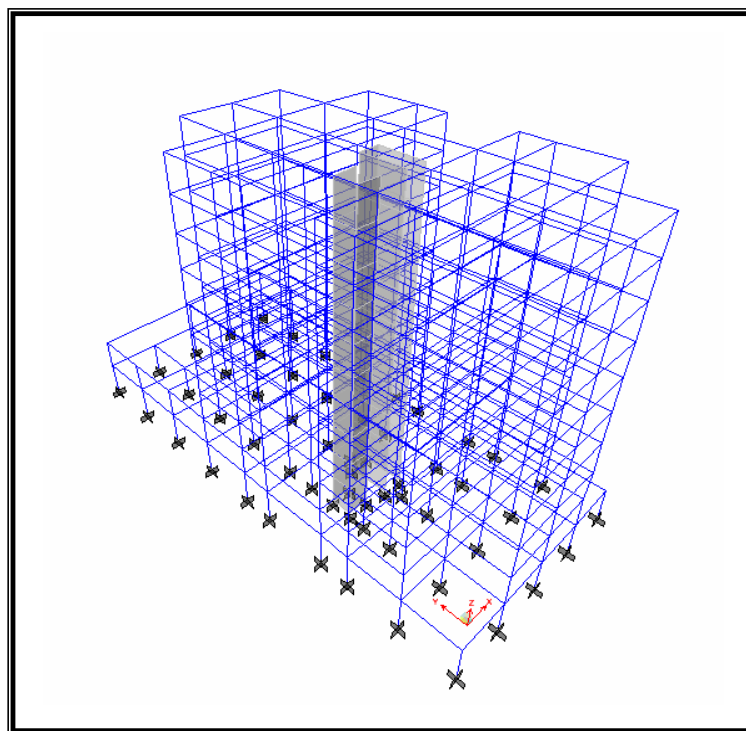
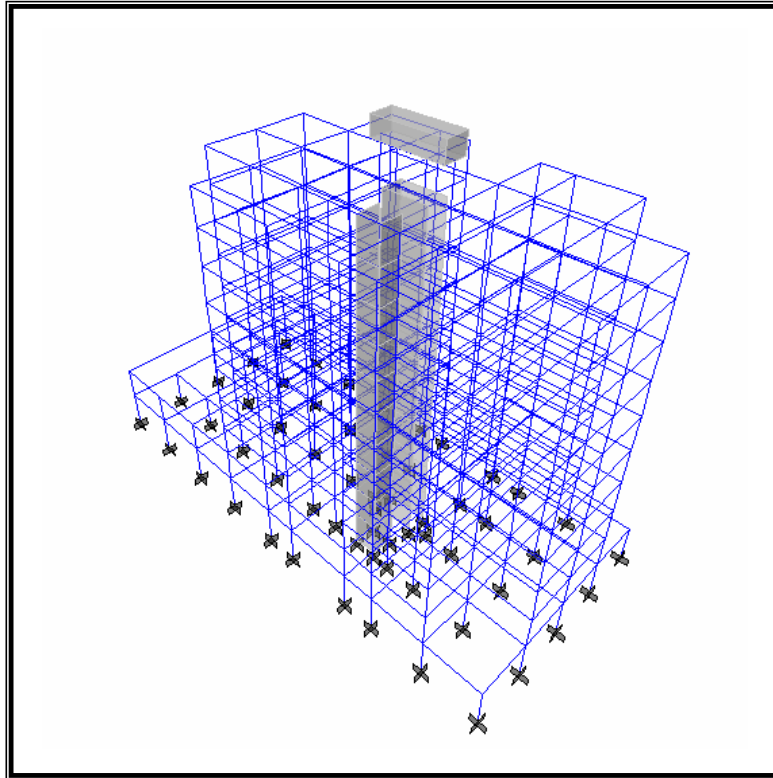


Figura 44. Estructura con tanque elevado de agua

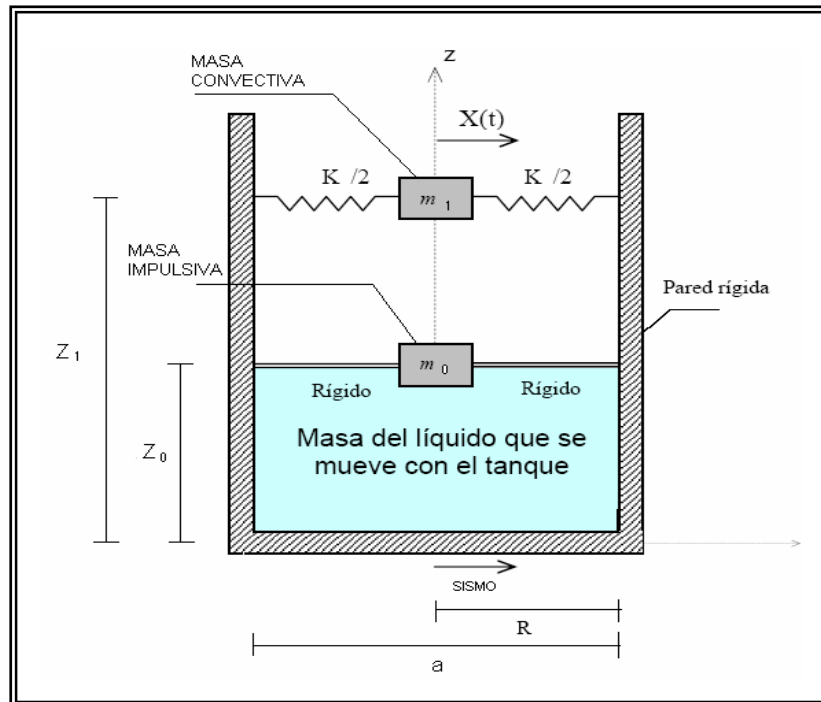


El modelo que se observa en la figura anterior, se utiliza para llevar a cabo el análisis por masa concentrada, es decir se ubica un nodo en el centroide del fondo del tanque este nodo deberá tener todas las propiedades que tiene el fondo del tanque en cuanto a los CONSTRAINT que presente y de igual manera deberá tener la masa asignada tanto en dirección X como en dirección Y. El CONSTRAINT que se utiliza es aquel que presente restricción de movimiento en los ejes X-Y-Z y de igual manera que no permita rotación en el eje Z, estas características se logran con dos tipos diferentes de CONSTRAINT:

- **Constraint diafragma** el cual por si mismo restringe el movimiento a lo que se necesita.
- **Constraint Equal** el cual debe ser definido por el usuario del software, para lograr las restricciones necesarias.

➤ Para el modelo de HOUSNER, se deben tener en cuenta todos los parámetros definidos en el capítulo 1 de este documento; a continuación se muestra una gráfica que muestra esos parámetros que como se explicó son diferentes cuando el sismo llega a la estructura en el sentido X y cuando llega en el sentido Y.

Figura 45. Modelo mecánico equivalente propuesto por G.W Housner.



Fuente: AGREDO, Hernán. Estudio comparativo de métodos de análisis dinámicos para tanques de almacenamiento

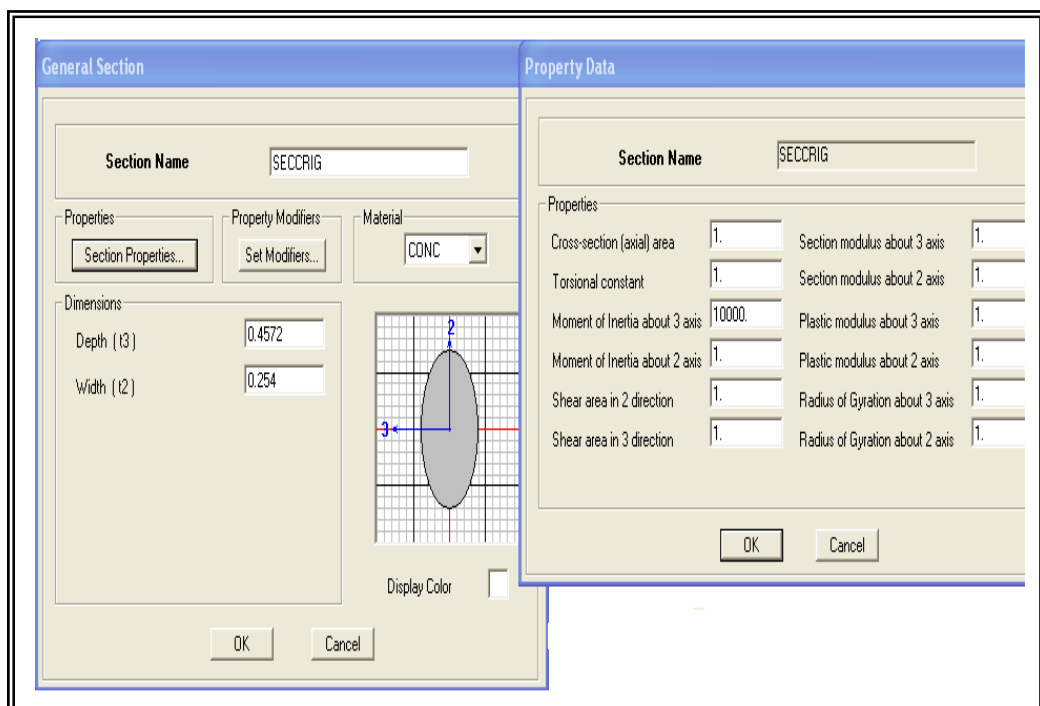
Con base a la figura anterior y los cálculos realizados para las diferentes variables que se encuentran presentes se propone el siguiente modelo en SAP-2000:

➤ A partir del modelo en donde se encuentra el fondo del tanque con todas sus propiedades, exceptuando el nodo con la masa concentrada, se procede a definir los elementos que contiene, se definieron 2 elementos y un nuevo material:

- **Sección Rígida** esta sección es definida con un momento de inercia alrededor del eje 3 lo suficientemente grande, para que los elementos así

modelados no se deformen y pueden llevar los efectos del movimiento del agua hasta la base del tanque. Esta sección se modela con un elemento FRAME del tipo general y sus valores especificados se muestran a continuación. El material que se utiliza para esta sección es concreto con una masa por unidad de volumen igual a cero y un peso por unidad de volumen igual a cero.

Figura 46. Definición del elemento sección rígida



- **Sección Resorte** estos elementos varían de acuerdo a la profundidad del agua almacenada en el tanque, es decir para cada nivel de agua en estudio la sección resorte (**FRAME**) varía. La rigidez del resorte se calcula con la formula consignada en la tabla 1; para determinar la sección del FRAME tipo rectangular que se necesita para modelar la rigidez de los resortes se siguió el siguiente procedimiento:

$$F = K * \delta \quad \text{Ec.31}$$

La ecuación anterior sirve de base al método de los desplazamientos para calcular las fuerzas internas en los elementos de una estructura.

$$K = A \cdot E / L \quad \text{Ec 32.}$$

$$\delta = F \cdot L / A \cdot E \quad \text{Ec 33.}$$

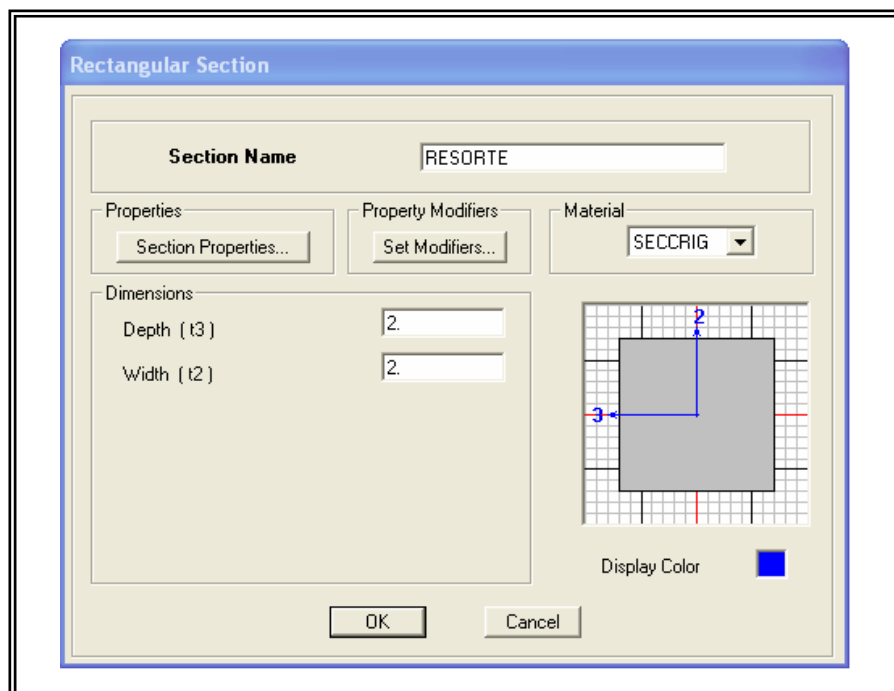
Tomando como base las ecuaciones anteriores y haciendo el módulo de elasticidad del material del elemento FRAME con el cual se modela el resorte igual a 1 y la longitud del elemento igual a 1 la ecuación queda convertida en:

$$K = A \quad \text{Ec 34.}$$

Y como el elemento FRAME tipo rectangular se define por las dimensiones de sus lados nos queda que la rigidez del resorte por medio del cual se une la masa convectiva a las paredes del tanque esta dada por:

$$K = t_2 \times t_3 \quad \text{Ec.35}$$

Figura 47. Definición de los elementos tipo resorte.



- **Material Resorte** este es el tipo de material con el cual se modelan los elementos FRAME que simulan el comportamiento de los resortes que unen la masa convectiva a las paredes del tanque.

Figura 48. Definición del tipo de material para los elementos resorte.



- Después de haber definido materiales y secciones se procede a la conformación del modelo, el modelo debe garantizar uniformidad en los movimientos y en las rotaciones, para que todos los puntos del fondo del tanque y del modelo se muevan o roten de igual manera, exceptuando el punto donde se coloca la masa convectiva (m_1) ya que por medio de esta masa se simulará el movimiento del líquido contenido en el tanque, esto se logra utilizando CONSTRAINT del tipo Equal.

Figura 49. CONSTRAINT definido para los nodos del fondo del tanque

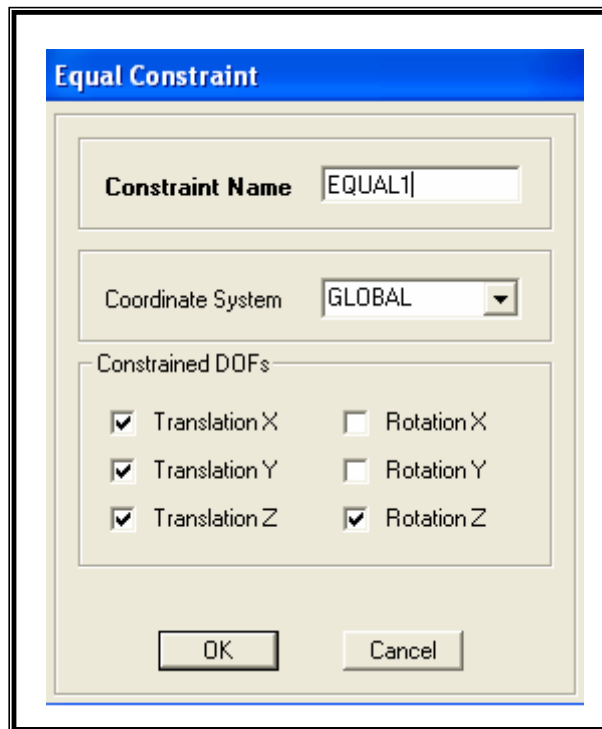


Figura 50. CONSTRAINT definido para los nodos del nivel Z_1 con excepción del nodo donde se concentra la masa convectiva.

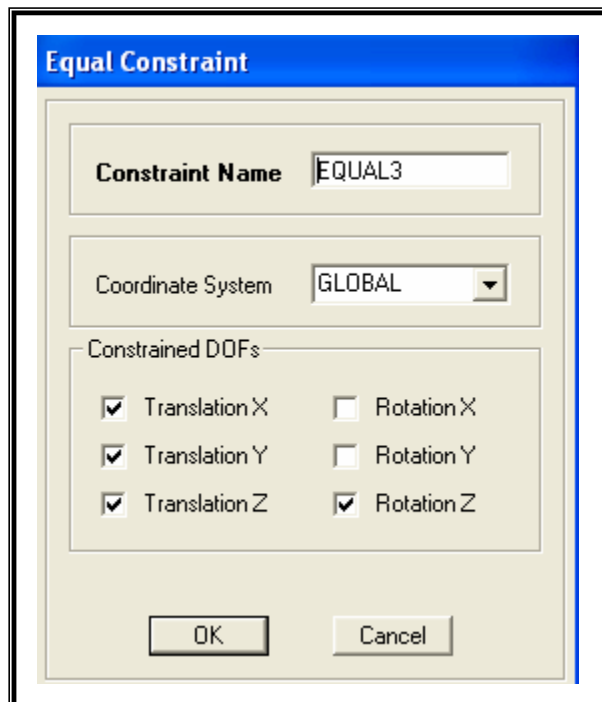
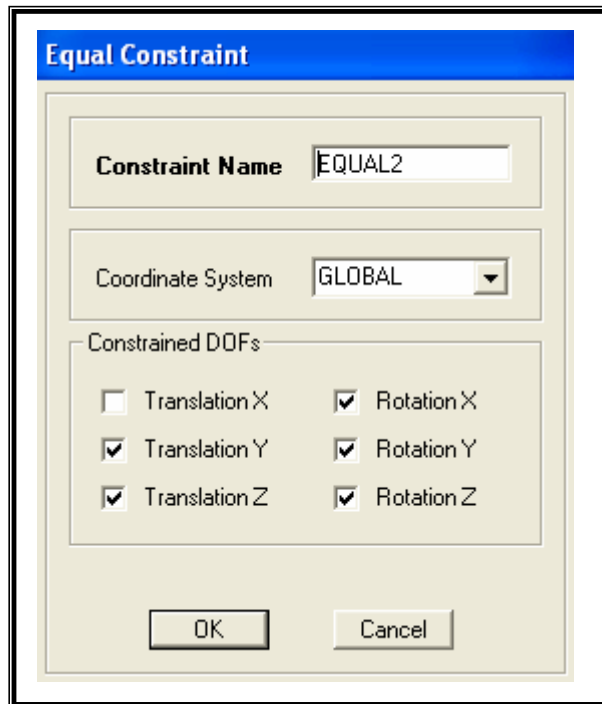


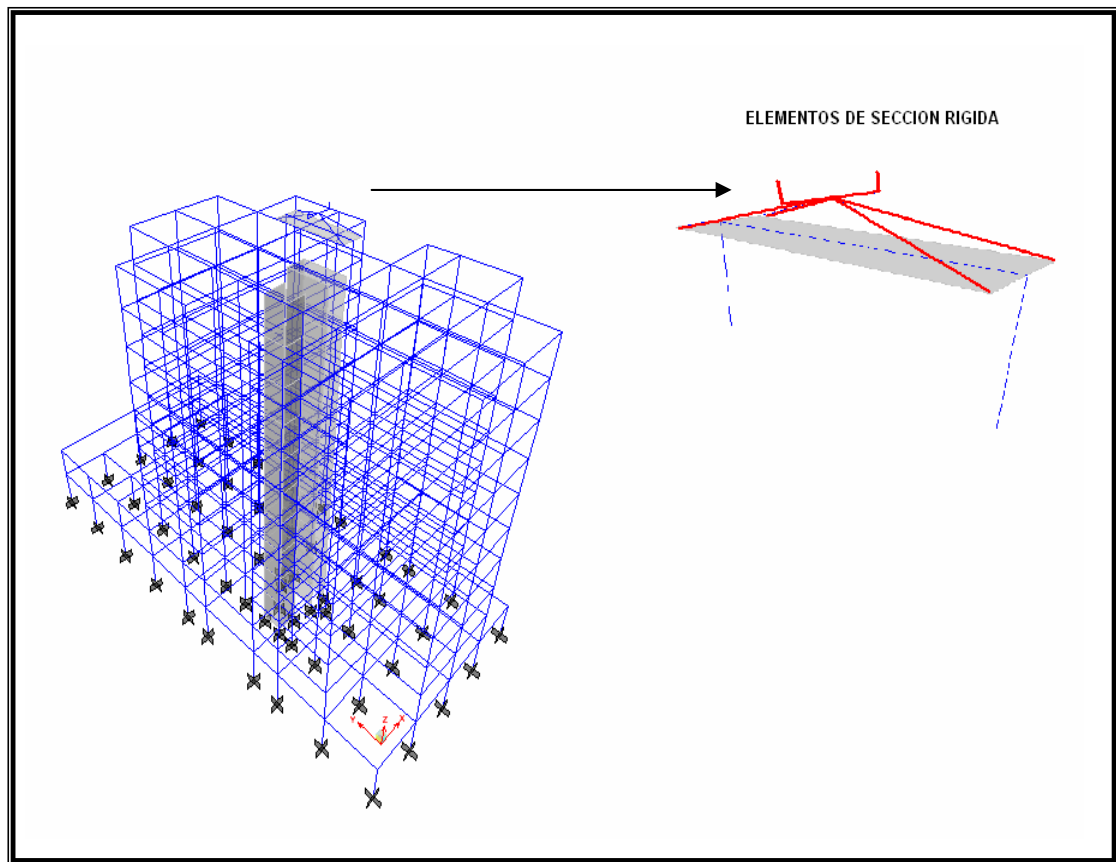
Figura 51. CONSTRAINT definido para el nodo donde se concentra la masa convectiva.



➤ Teniendo los MATERIALES, SECCIONES y CONSTRAINT definidos, se procede al dibujo del modelo, se propone el siguiente modelo ya que garantiza uniformidad en el movimiento y estabilidad tanto del tanque como de la estructura.

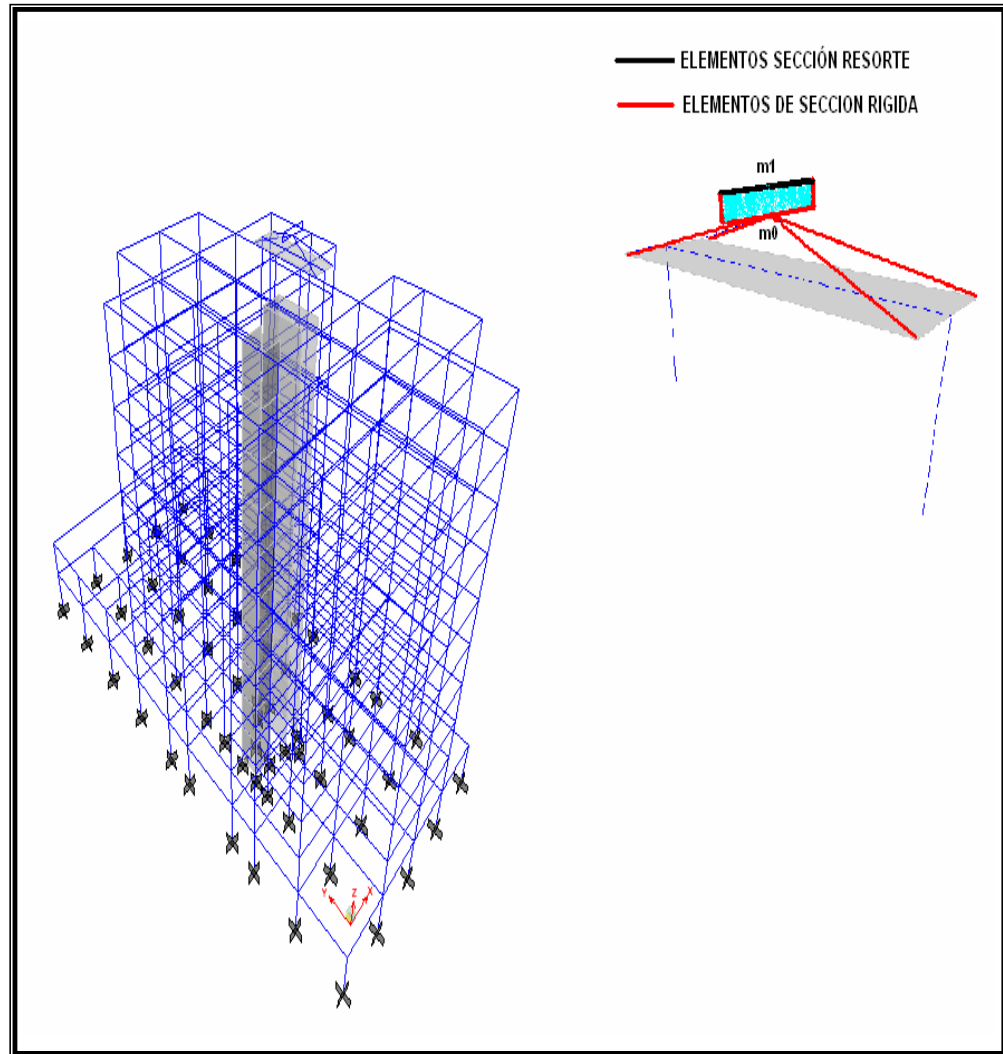
- **Paso 1** a una altura Z_0 (altura impulsiva) que se calcula mediante la ecuación consignada en la tabla 1 de este documento, se coloca un joint, el cual es unido a la base del tanque mediante elementos de sección rígida. Esta altura es medida desde la base del tanque. A este mismo joint se le asigna la masa impulsiva m_0 . **(Ver anexo A para alturas y masas)**

Figura 52. Detalle del tanque elevado con su sistema de apoyo y elementos rígidos del modelo de G.W HOUSNER, elaborado con el software SAP-2000



- **Paso 2** a una altura Z_1 (altura convectiva) que se calcula mediante la ecuación consignada en la tabla 1 de este documento, se coloca un joint, que es unido a los elementos de sección rígida, por medio de elementos de sección resorte. El modelo final de la estructura incluyendo el agua dentro del tanque modelada según lo propuesto por Housner se puede observar en la siguiente figura. (Ver anexo A para alturas y masas)

Figura 53. Modelo final de la estructura con el agua contenida dentro del tanque.



Se sigue el mismo procedimiento para modelar todas las edificaciones incluyendo los efectos del agua contenida dentro de los tanques en ellas.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

La investigación que se realizó consistió en analizar los tanques elevados de agua sobre edificaciones utilizando diferentes modelos para tal fin. Los modelos que se utilizaron fueron los que consideran el agua como una masa que no involucra un comportamiento dinámico, representado por los modelos de masa concentrada, otro que considera la masa de agua como la superposición de masas, de las cuales una se mueve con el tanque y otra se mueve dentro del, modelo que se basa en el modelo mecánico equivalente propuesto en 1963 por G.W Housner y un modelo de la estructura sin tanque elevado para poder comparar los efectos que el apéndice produce sobre el sistema estructural.

4.2 COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DEL AGUA ALMACENADA EN LOS DIFERENTES TANQUES

Como se mencionó el modelo propuesto por G.W Housner divide el agua almacenada en dos masas que tienen que ver tanto con el nivel del agua dentro del tanque como con el sentido en el cual el sismo entre a la estructura, además las masas se unen a las paredes del tanque a diferentes alturas medidas desde el fondo del tanque y la masa que representa la oscilación del agua en la superficie libre de esta se une a la estructura por medio de unos elementos que simulan la rigidez de un resorte que permite por sus características cierto movimiento.

Las dimensiones de los tanques de almacenamiento se muestran a continuación para tener una referencia y poder llegar a explicar el porque de las variaciones si es que las hay en cuanto a las tendencias de las características dinámicas del agua almacenada.

Tabla 7. Dimensiones de los tanques de almacenamiento estudiados.

EDIFICIO	h (m)	Lx (m)	Ly (m)	VOLalm (m ³)
MIRAMONTI	1.5	5.9	4.8	42.48
TERUEL	1.5	3.5	5.5	28.875
OMEGA	1.6	5.3	1.9	16.112
PROCYÓN	1.5	1.8	5.6	15.12

Los datos con los cuales se construyen todas las graficas que se muestran a continuación se encuentran en el ANEXO A de este documento.

Figura 54. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti.

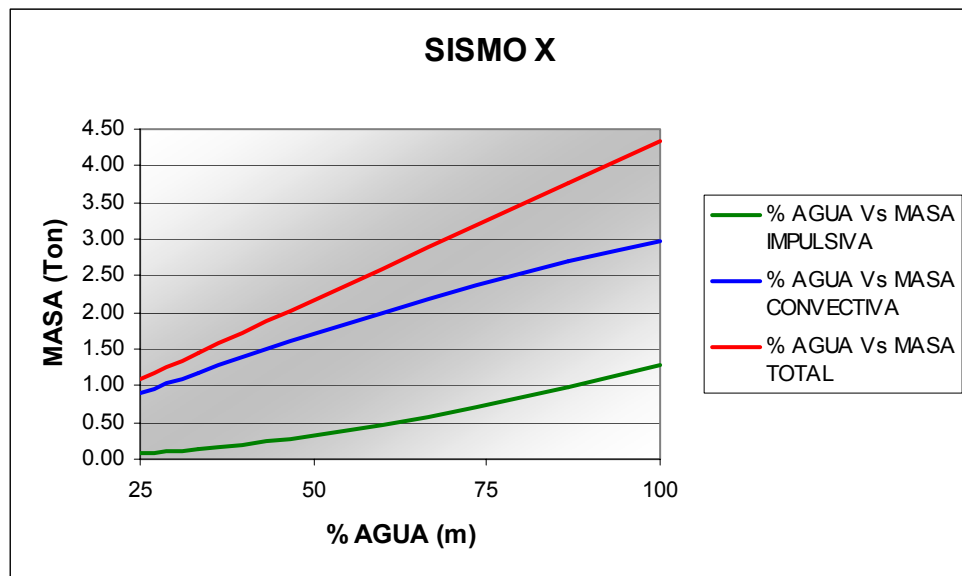


Figura 55. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel.

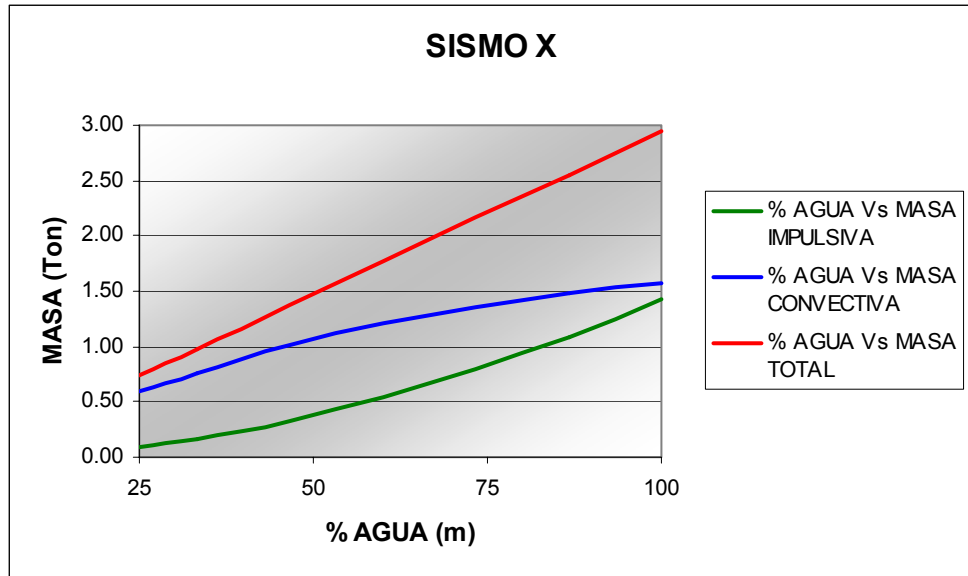


Figura 56. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Omega.

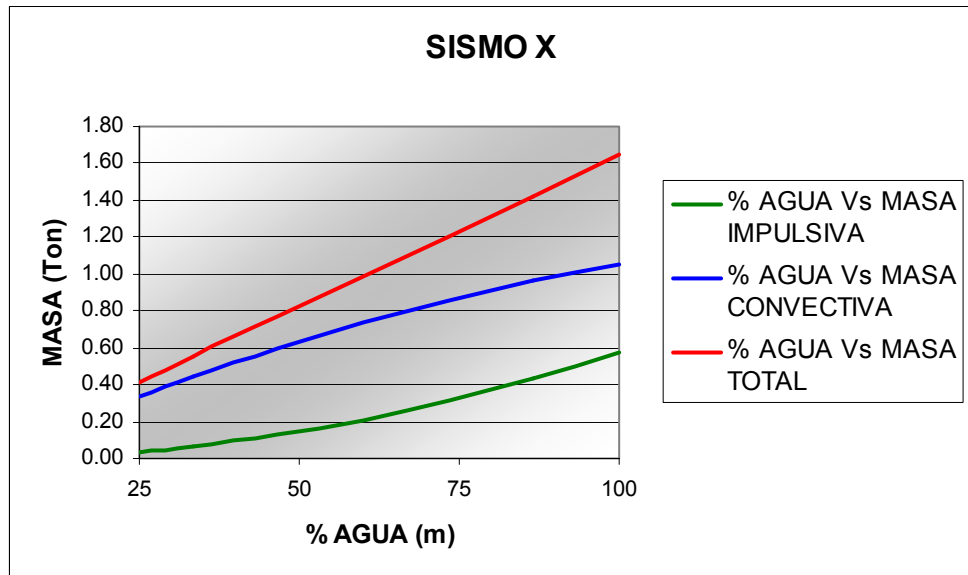
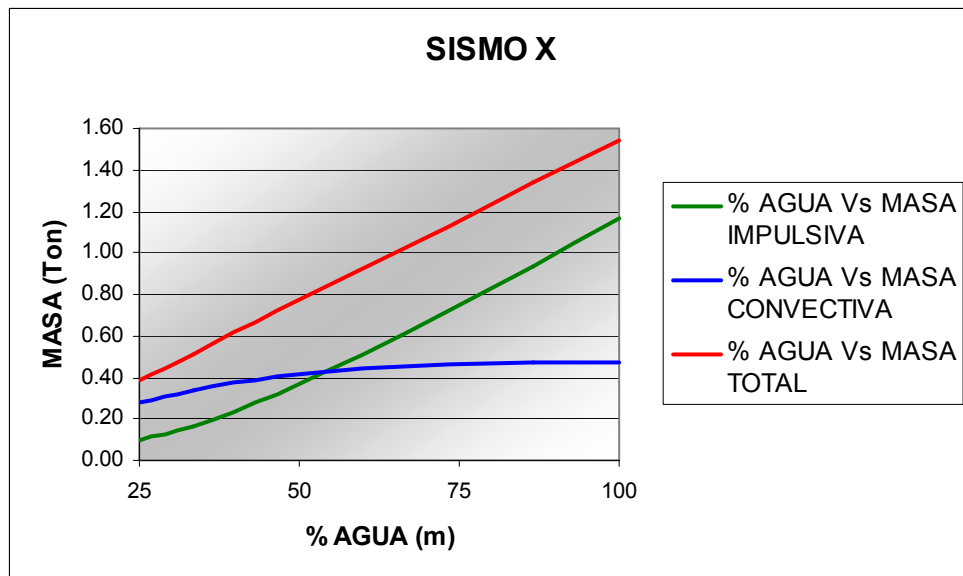


Figura 57. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón.



Como se puede observar cuando el sismo entra a la estructura en dirección X existe la tendencia en cuanto a las masas tanto impulsiva como convectiva a ir en aumento, la masa convectiva en general toma valores mayores a los se observan en la masa impulsiva, excepto en el edificio Procyón en donde se observa que cuando el tanque se encuentra lleno entre el 60% y el 100% la masa impulsiva es mayor que la masa convectiva. El cambio que se observa en la tendencia para el edificio Procyón se debe a la dimensión que este tiene en ese sentido que apenas es de 1.8 m bastante diferente a la dirección Y que es de 5.6 m.

Figura 58. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti.

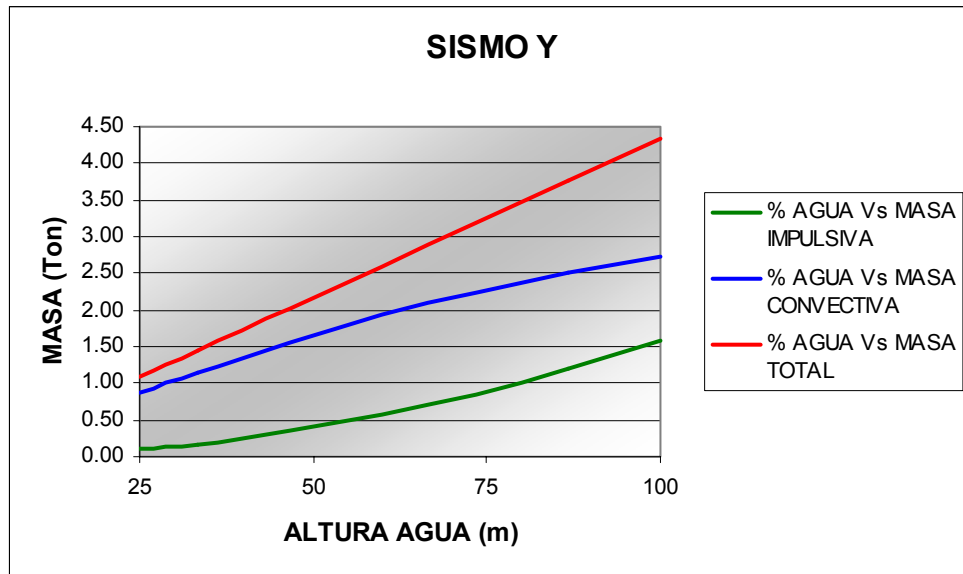


Figura 59. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel.

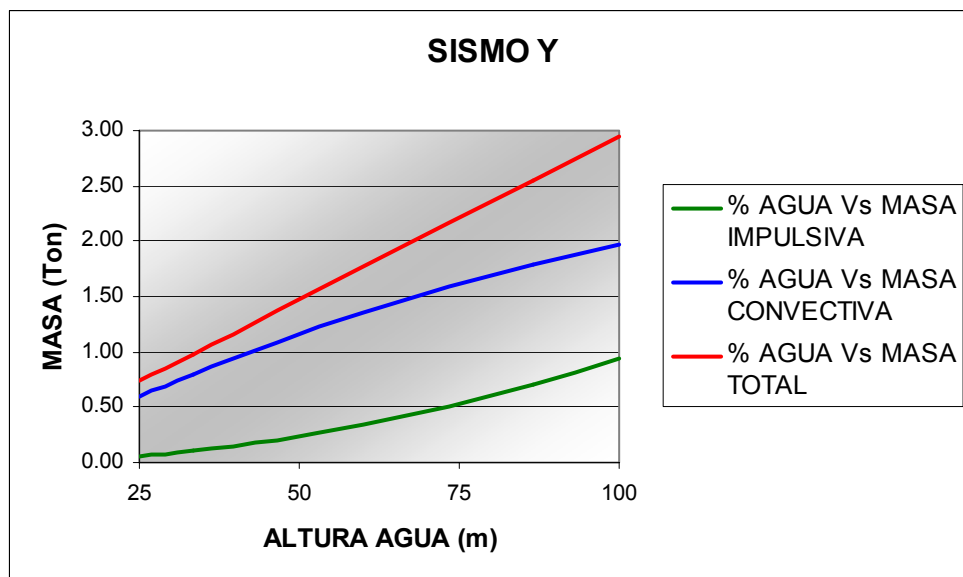


Figura 60. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Omega.

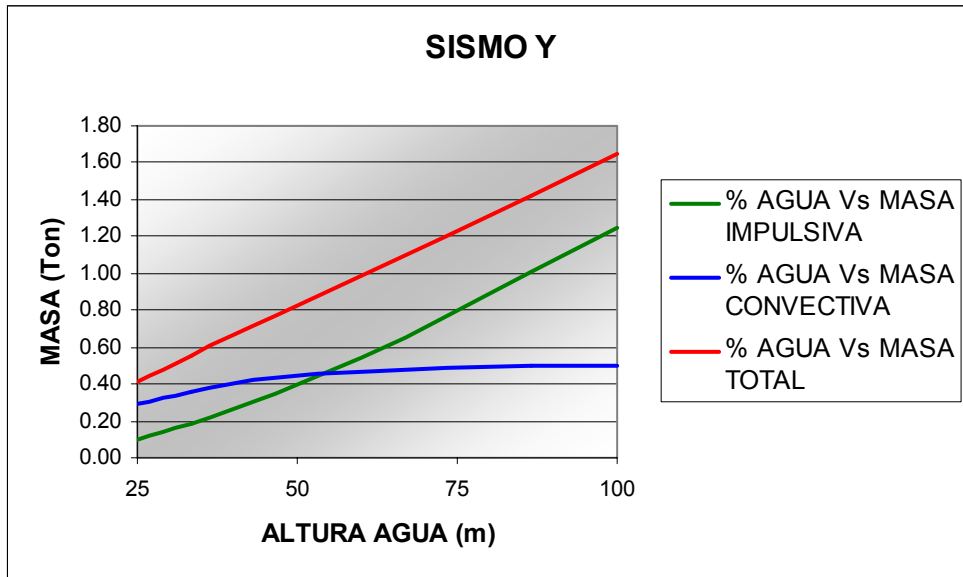
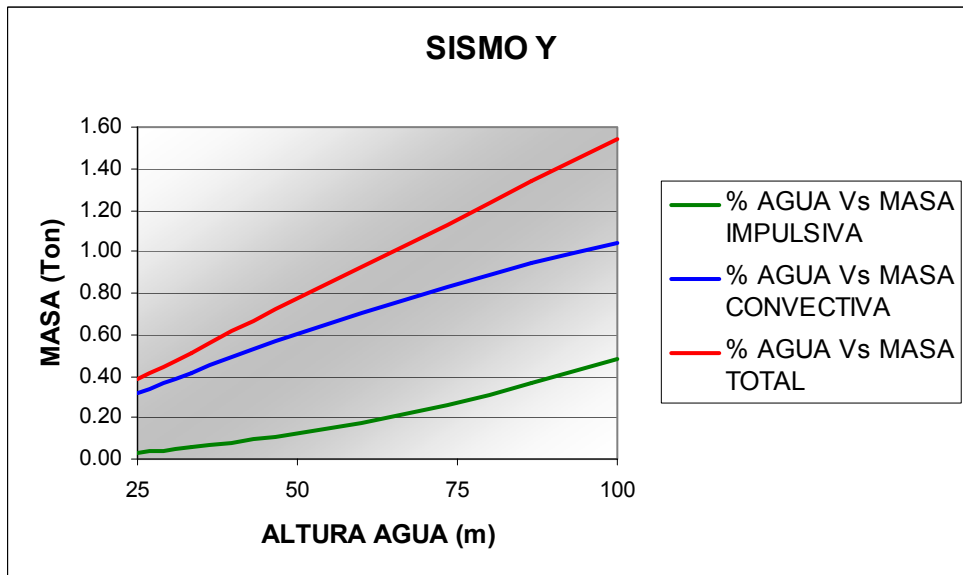


Figura 61. Variación de masas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón.



La tendencia de las masas en el sentido Y se conserva al igual que para el sentido X, es decir la masa convectiva tiene valores mayores que la masa impulsiva, excepto en el ED. Omega en donde eso no ocurre cuando el tanque se encuentra lleno entre un 60% y un 100% al igual que el tanque del ED. Procyón cuando el sismo entra en la dirección X, lo cual confirma que las masas dependen de la dirección en la cual entre el sismo a la estructura y de que dimensión tiene el tanque en ese mismo sentido.

Figura 62. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti.

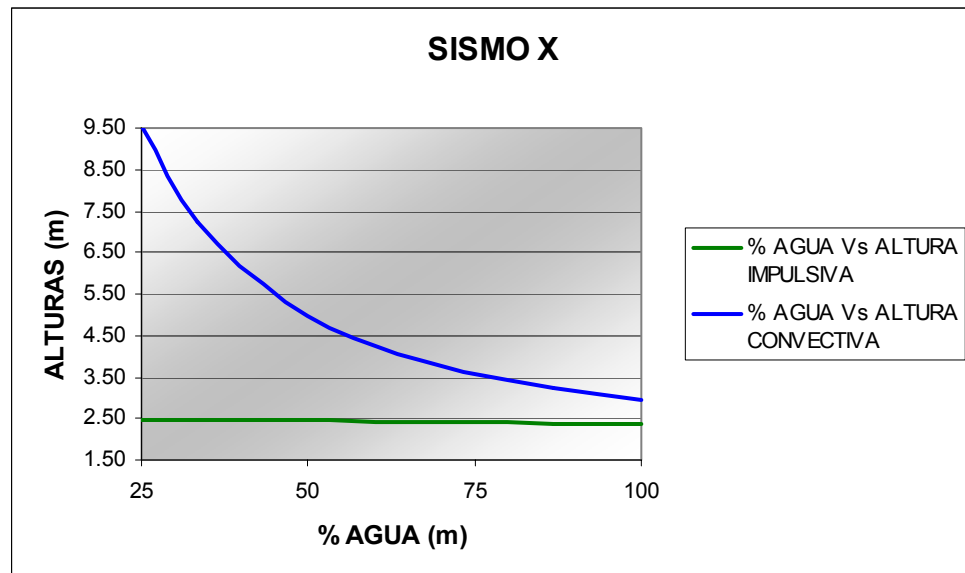


Figura 63. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel.

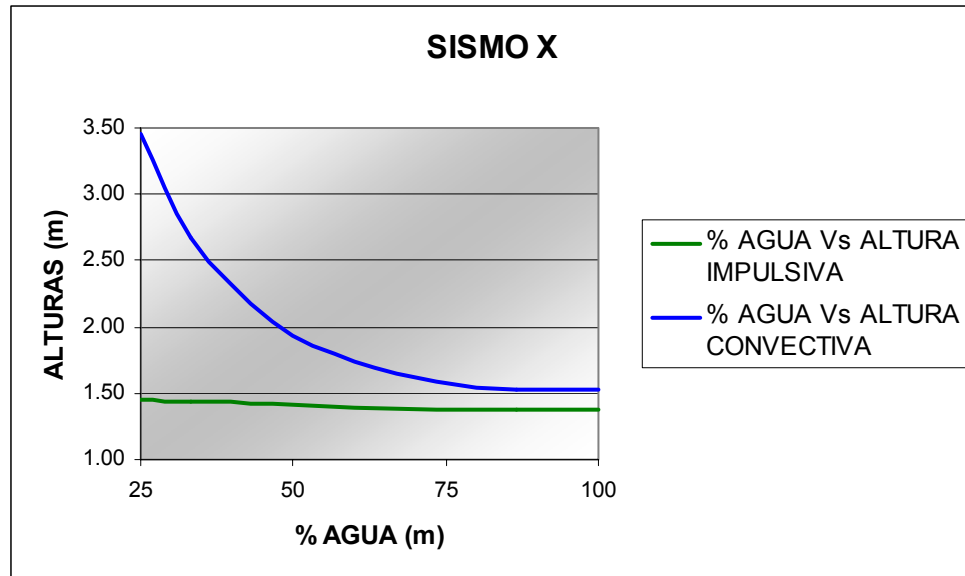


Figura 64. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Omega.

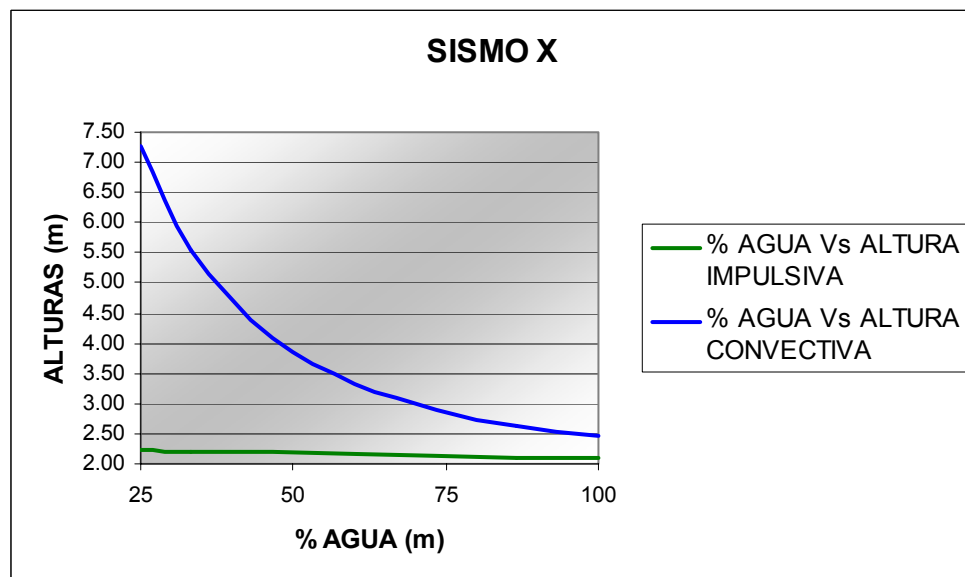
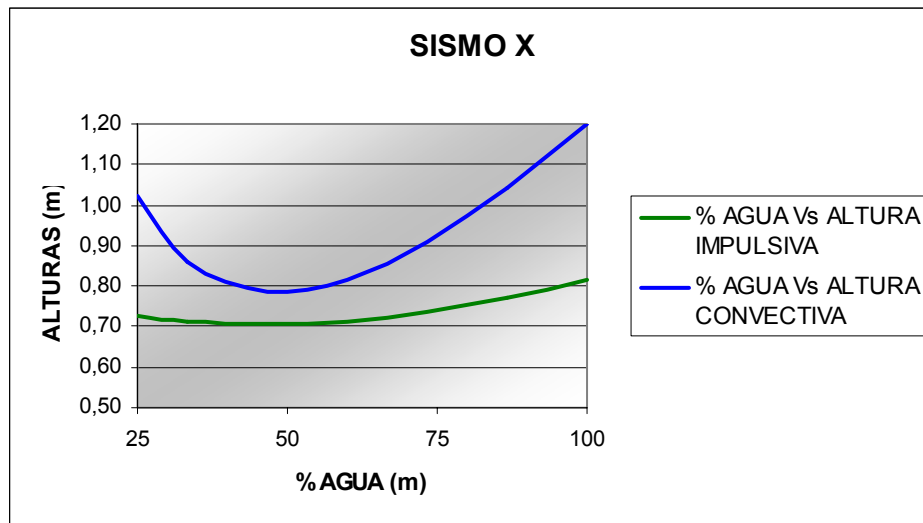


Figura 65. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón.



En las graficas de % agua Vs alturas del modelo de Housner se observa que para todos los casos la altura convectiva se encuentra por encima de la altura impulsiva lo cual es apenas lógico según la formulación del modelo, además en todas las graficas excepto en la que representa las alturas a las cuales se conectan las masas a la estructura del edificio Procyón, se observa la misma tendencia de cambio es decir, la masa convectiva va disminuyendo en forma parabólica y la masa convectiva va disminuyendo en forma aproximada lineal. En el edificio Procyón ambas alturas empiezan a disminuir aproximadamente entre el 25% y el 50% del volumen de agua dentro del tanque y a partir del 50% comienzan a aumentar nuevamente, lo cual se debe a la gran diferencia en dimensiones del tanque en el sentido X y en el sentido Y.

Figura 66. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti.

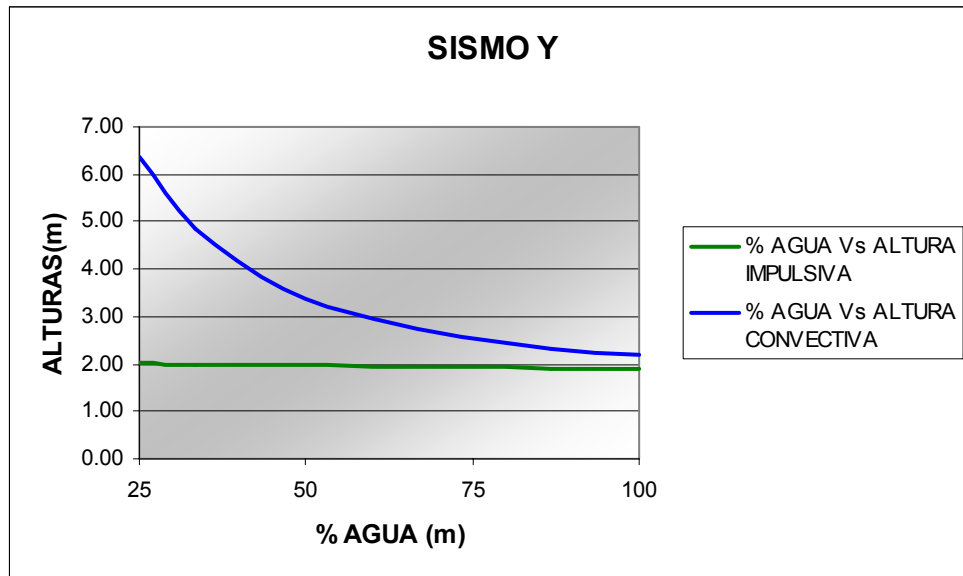


Figura 67. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel.

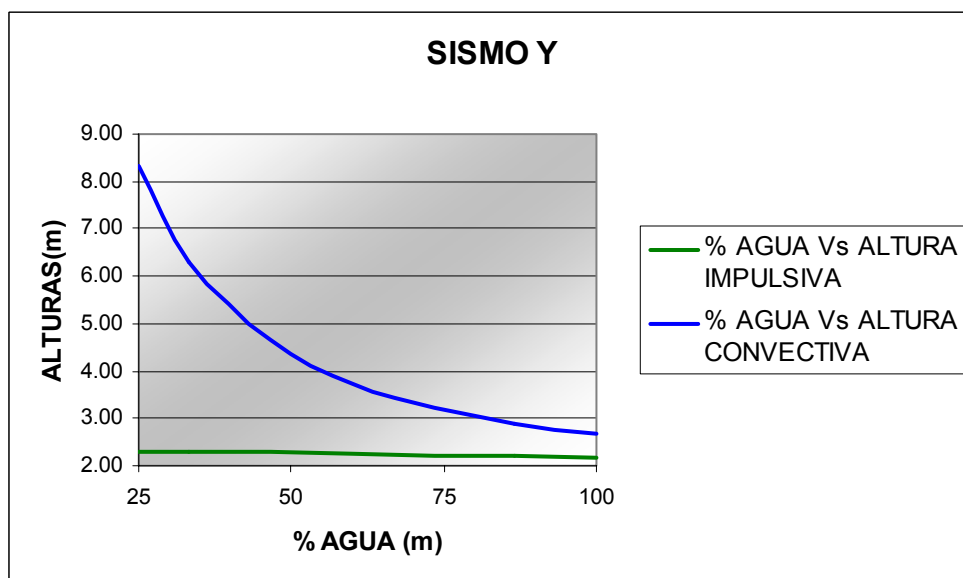


Figura 68. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Omega.

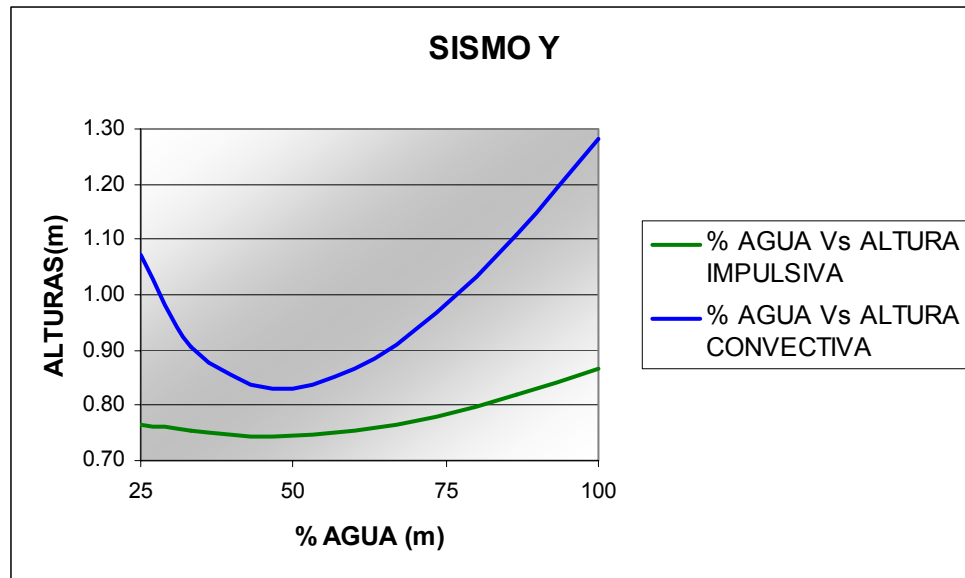
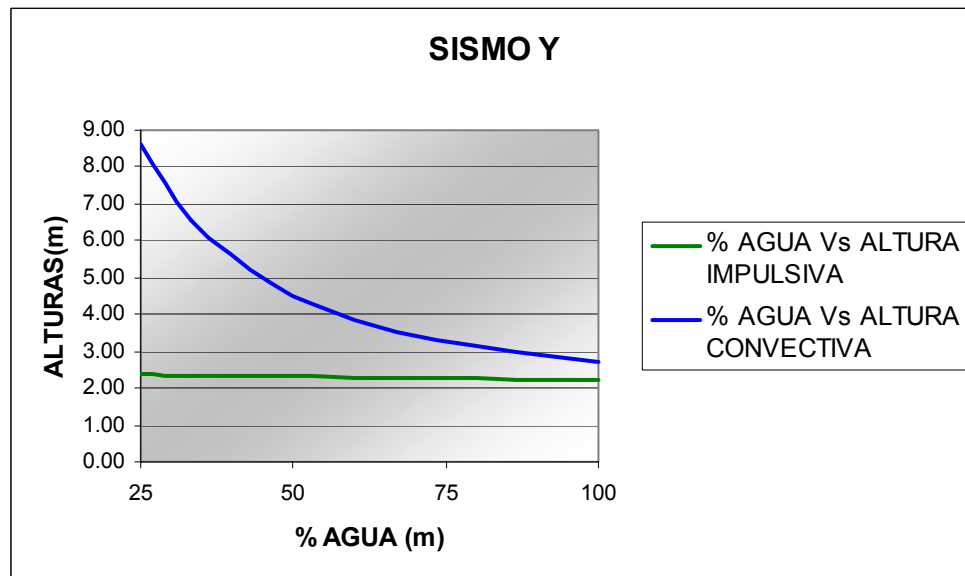


Figura 69. Variación de las alturas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón.



Como se puede observar en las graficas anteriores la tendencia de variación de las alturas es la misma que para el sentido X, excepto para el tanque del edificio Omega en el cual aunque la altura convectiva se encuentra por encima de la altura impulsiva en todos los porcentajes de agua dentro del tanque la tendencia es disminuir en el intervalo que va de 25% a 50% de agua dentro del tanque y entre el 50% y el 100% la tendencia de las alturas es a aumentar.

Figura 70. Variación de las rigideces convectivas representativas del modelo de Housner para el ED Miramonti.

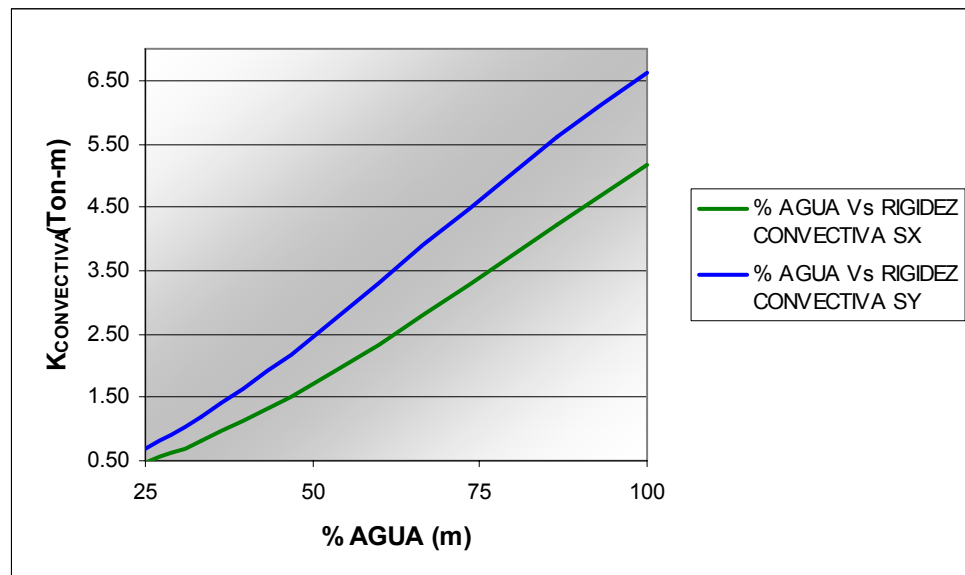


Figura 71. Variación de las rigideces convectivas representativas del modelo de Housner para el ED Teruel.

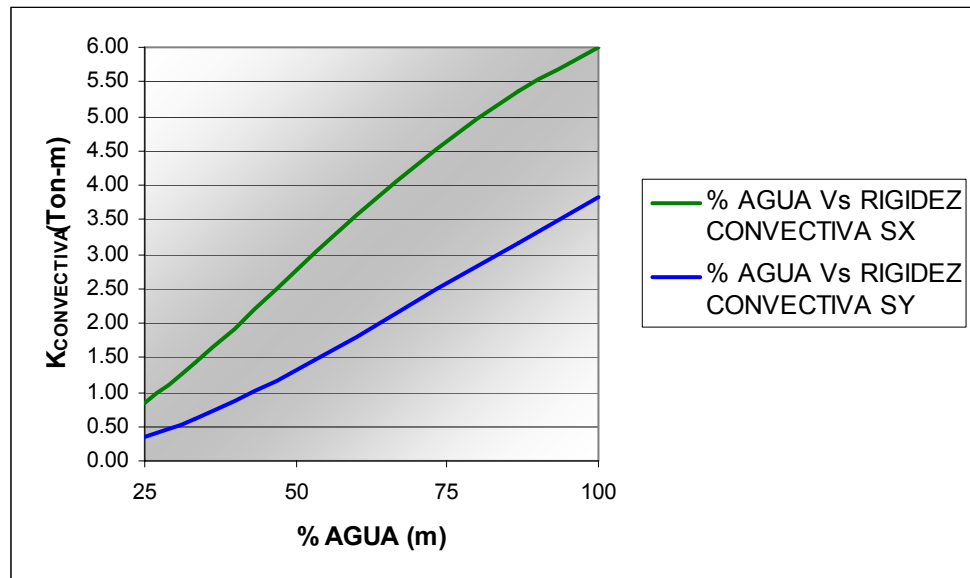


Figura 72. Variación de las rigideces convectivas representativas del modelo de Housner para el ED Omega.

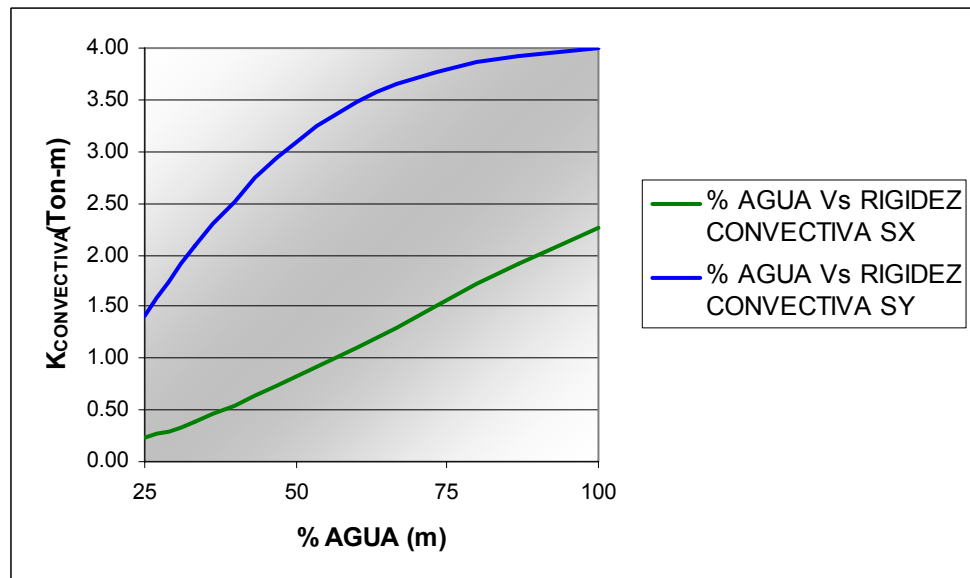
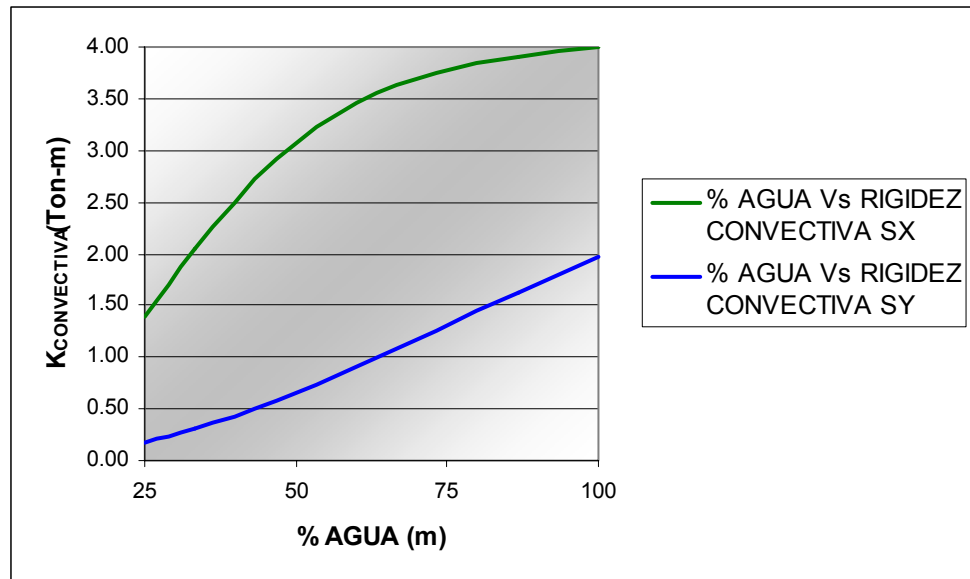


Figura 73. Variación de las rigideces convectivas representativas del modelo de Housner para el ED Procyón.



En las gráficas anteriores se muestra la variación de las rigideces convectivas que son las rigideces de los resortes por medio de los cuales se une la masa convectiva a la estructura en el modelo de Housner. Como se observa la tendencia esta dividida, en los edificios Miramonti y Omega la rigidez cuando el sismo entra a la estructura en la dirección Y es mayor que cuando el sismo entra en la dirección X y en los edificios Teruel y Procyón la rigidez se invierte de valores es decir es mayor cuando el sismo entra a la estructura en el sentido X. Las rigideces convectivas entonces guardan una relación inversamente proporcional a las dimensiones del tanque en la dirección en la cual se determinen, es decir que cuando la dimensión es mayor la rigidez se hace menor.

Figura 74. Frecuencia natural de oscilación W_c para la masa que oscila dentro del tanque, para todos los edificios. Sentido X.

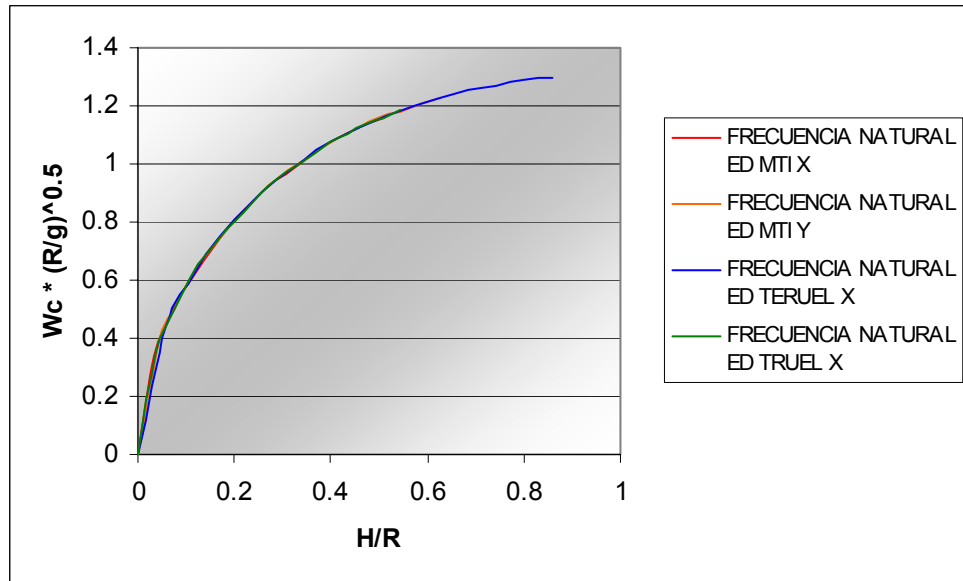
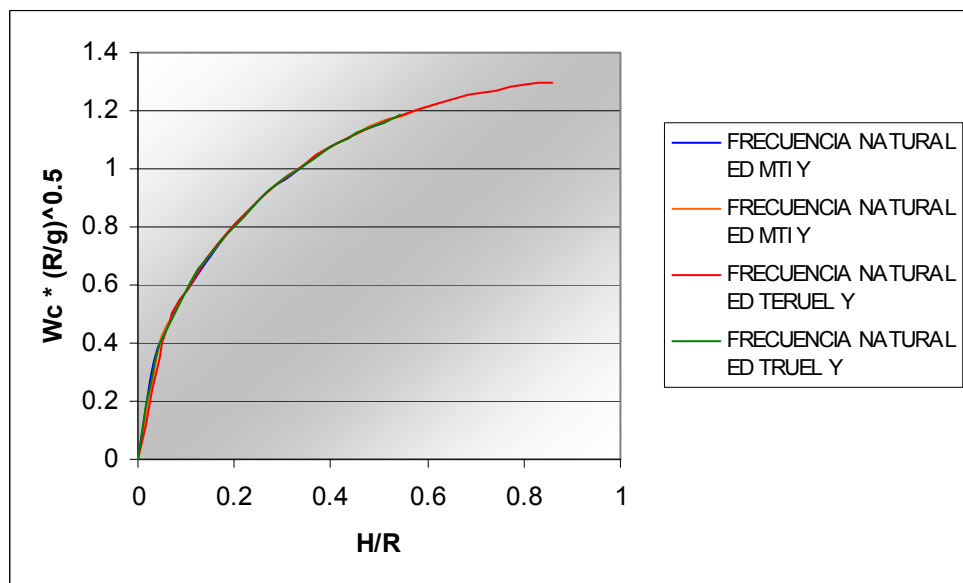


Figura 75. Frecuencia natural de oscilación W_c para la masa que oscila dentro del tanque, para todos los edificios. Sentido Y.



Como se puede concluir de las graficas anteriores la frecuencia de oscilación de la masa convectiva depende de la dimensión del tanque en la dirección en la cual entra el sismo a la estructura.

4.3 COMPARACIÓN DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS, UTILIZANDO LOS DIFERENTES MODELOS PROPUESTOS, ESPECTRO NSR-98

En el estudio realizado las principales características a evaluar fueron determinadas por el nivel del agua a la cual se encontraban los tanques de almacenamiento, debido a que esta es la variable independiente. Por consiguiente se observaron las graficas obtenidas para los espectros propuestos, NSR-98 y el espectro de la zona 2, elaborado por el estudio de microzonificación sísmica para el área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, cabe destacar que se graficaron para los dos espectros anteriormente mencionados las variables dependientes que poseen fuerzas inerciales, tales como: cortante basal ,fuerzas en vigas, fuerzas en columnas..

No se hacen comparaciones de periodos entre los espectros propuestos para el estudio, debido a que estas variables son propiedades intrínsecas de la estructura.

A continuación se muestran las diferentes graficas obtenidas para cada edificio en estudio, observando la importancia que tiene cada modelo sobre las diferentes variables. Cabe anotar que las edificaciones se analizaron independientemente para el sentido X y para el sentido Y, es decir, Tx para el espectro en X y Ty para el espectro en Y, los datos de los periodos que se grafican son los que tienen el mayor coeficiente de participación modal en ese sentido, de igual manera

Los datos con los que se construyen las siguientes graficas se encuentran en el anexo B del presente documento

4.3.1 Comparación de los periodos de las estructuras en el sentido X

Figura 76. Porcentaje de agua Vs Periodos X Edificio Miramonti.

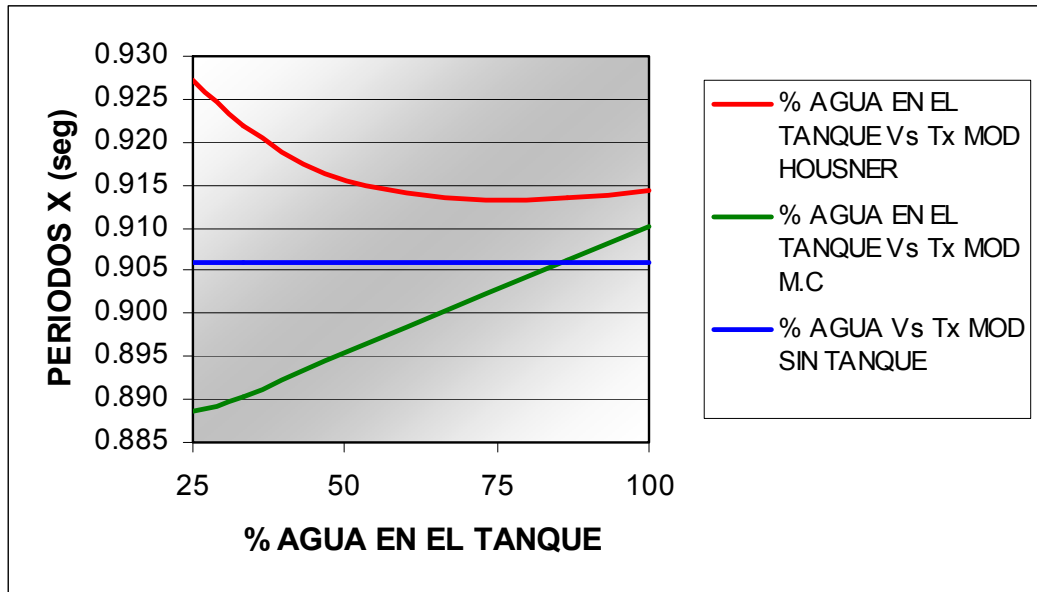


Figura 77. Porcentaje de agua Vs Periodos X Edificio Omega.

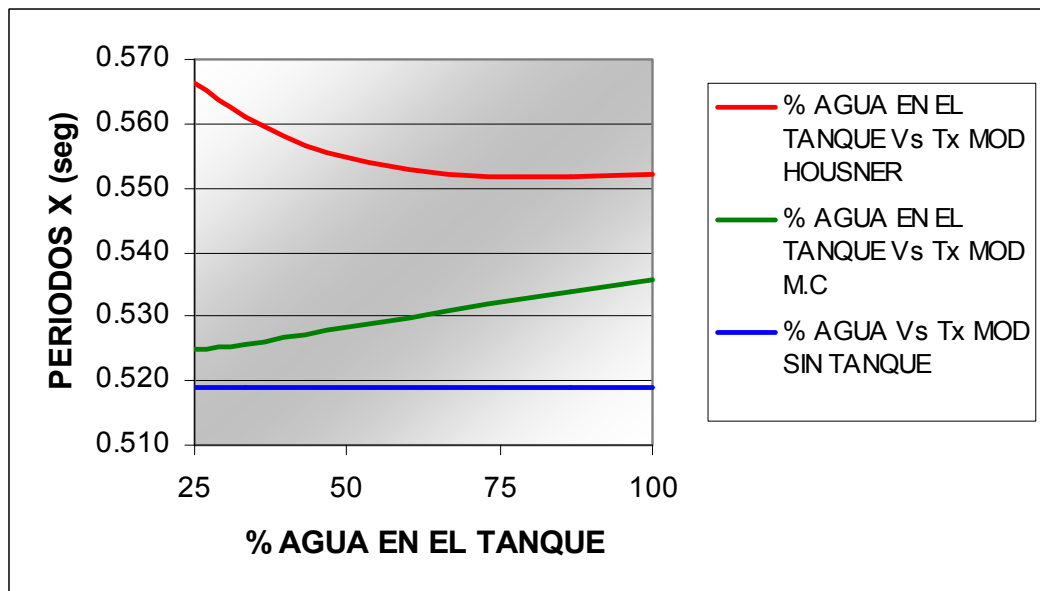


Figura 78. Porcentaje de agua Vs Periodos X Edificio Procyón.

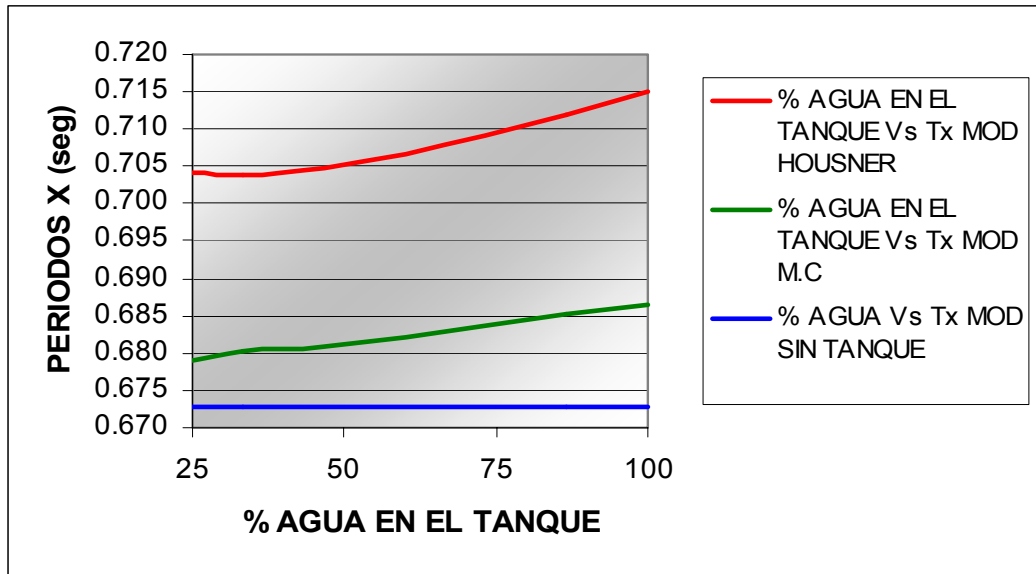
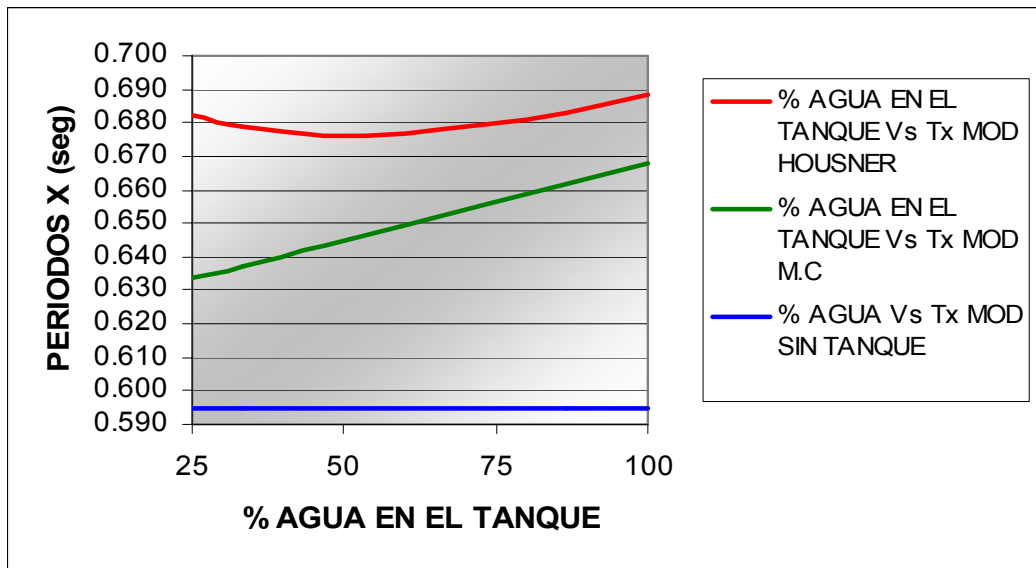


Figura 79. Porcentaje de agua Vs Periodos X Edificio Teruel.



La tendencia observada en este grupo de gráficas, nos muestra que los resultados obtenidos por el modelo propuesto por HOUSNER son superiores a los propuestos por el modelo de masa concentrada (M.C), y al modelo sin tanque, revelando que si se tienen en cuenta los efectos hidrodinámicos se obtienen comportamientos satisfactorios, debido a que por tener periodos grandes los desplazamientos por ende deberán disminuir. Si solamente

concentramos una masa y los resultados los comparamos con los del modelo sin tanque el efecto obtenido es positivo, aunque para el edificio Miramonti se logre con un volumen de almacenamiento aproximadamente del 80% al 100%.

4.3.2 Comparación de Periodos de las estructuras en el sentido Y

Figura 80. Porcentaje de agua Vs Periodos Y Edificio Miramonti

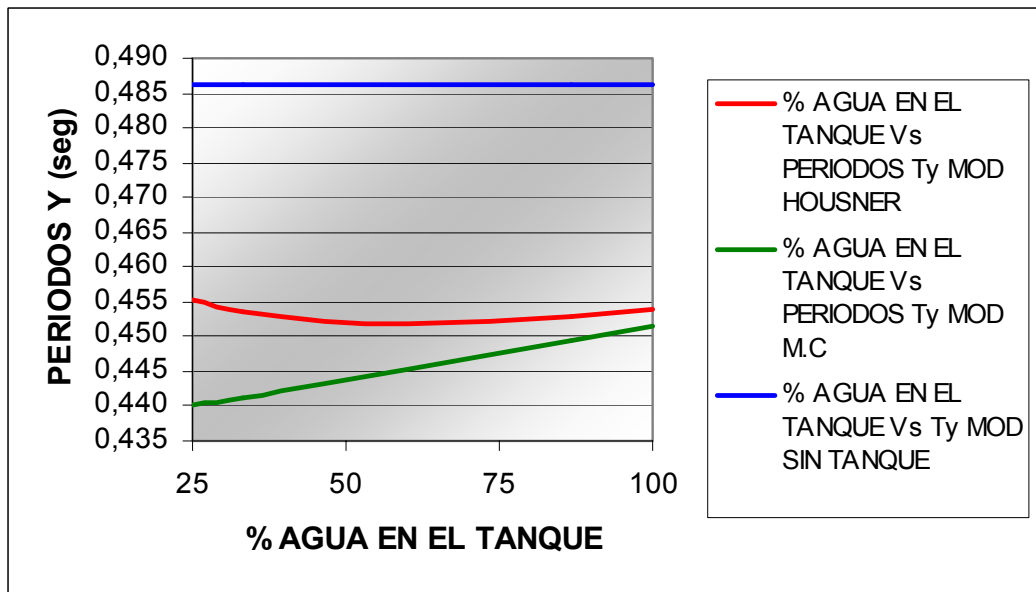


Figura 81. Porcentaje de agua Vs Periodos Y Edificio Omega

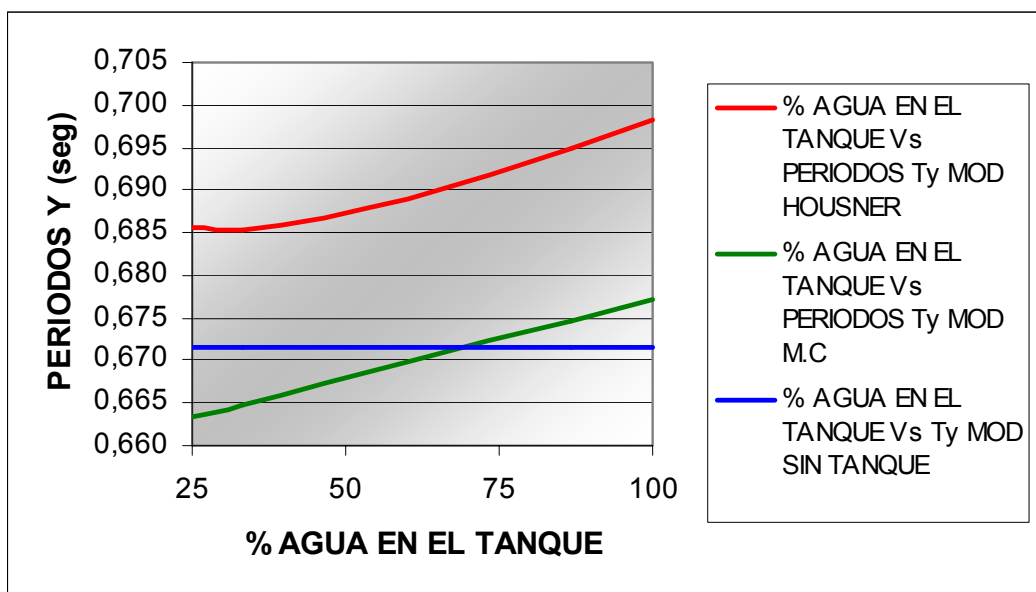


Figura 82. Porcentaje de agua Vs Periodos Y Edificio Procyón.

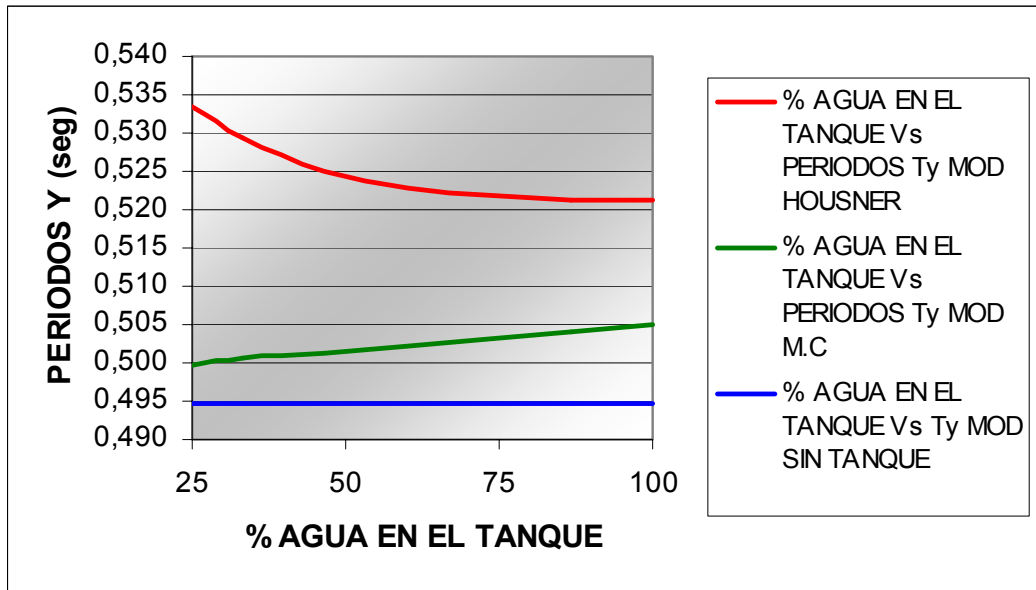
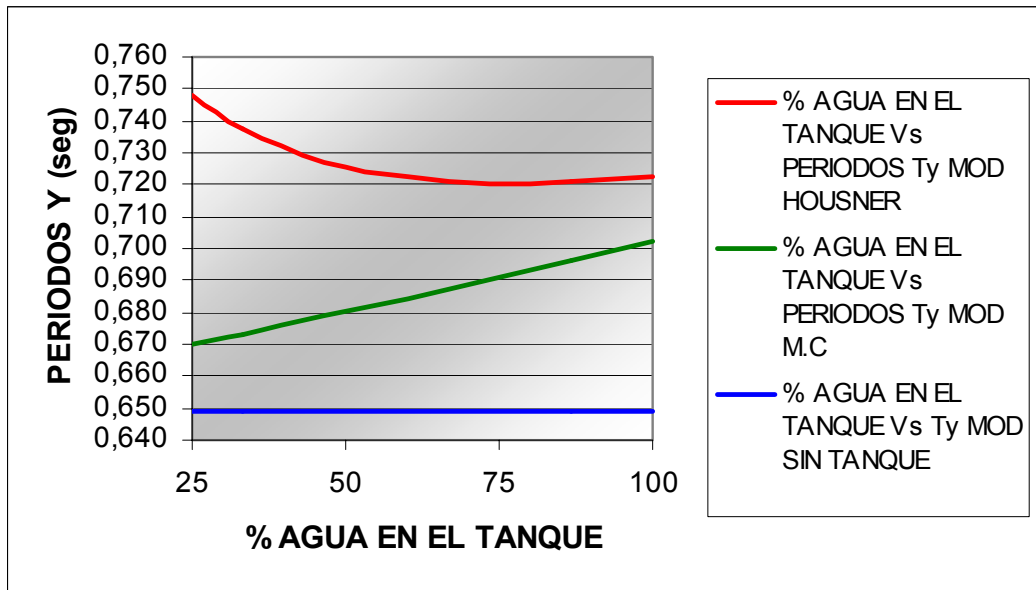


Figura 83. Porcentaje de agua Vs Periodos Y Edificio Teruel.



Se observa que en todos los edificios excepto el Miramonti los resultados obtenidos por el modelo de Housner y el de masa concentrada ayudan a que los periodos aumenten en esta dirección, acentuándose mas el efecto en el primero, si estos se comparan sin la presencia del tanque los resultados son positivos, obteniendo como se mencionó anteriormente consecuencias

satisfactorias. Es probable que debido a la configuración estructural que presenta el edificio Miramonti, siendo muy rígida la estructura en la dirección Y el comportamiento obtenido en la grafica se vea reflejado de esa manera.

Los resultados que se muestran en las siguientes graficas fueron analizados de igual manera como se obtuvieron los datos de los periodos en ambos sentidos, teniendo en cuenta los mayores coeficientes de participación modal en el sentido del desplazamiento a evaluar.

4.3.3 Comparación de los desplazamientos de las estructuras en el sentido X

Figura 84. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), NSR-98, Edificio Miramonti.

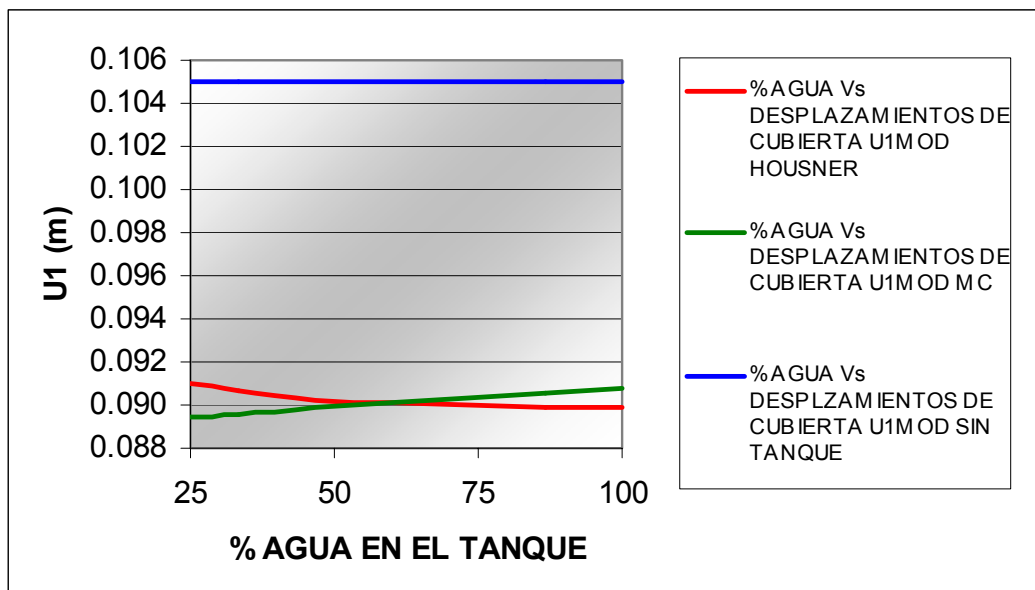


Figura 85. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), NSR-98, Edificio Omega.

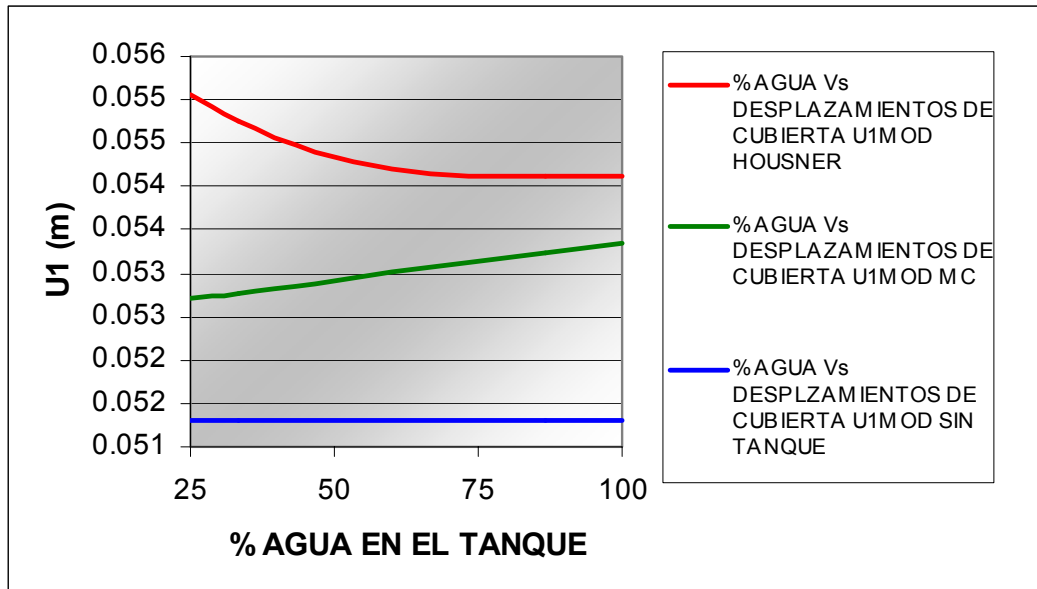


Figura 86. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), NSR-98 Edificio Procyón.

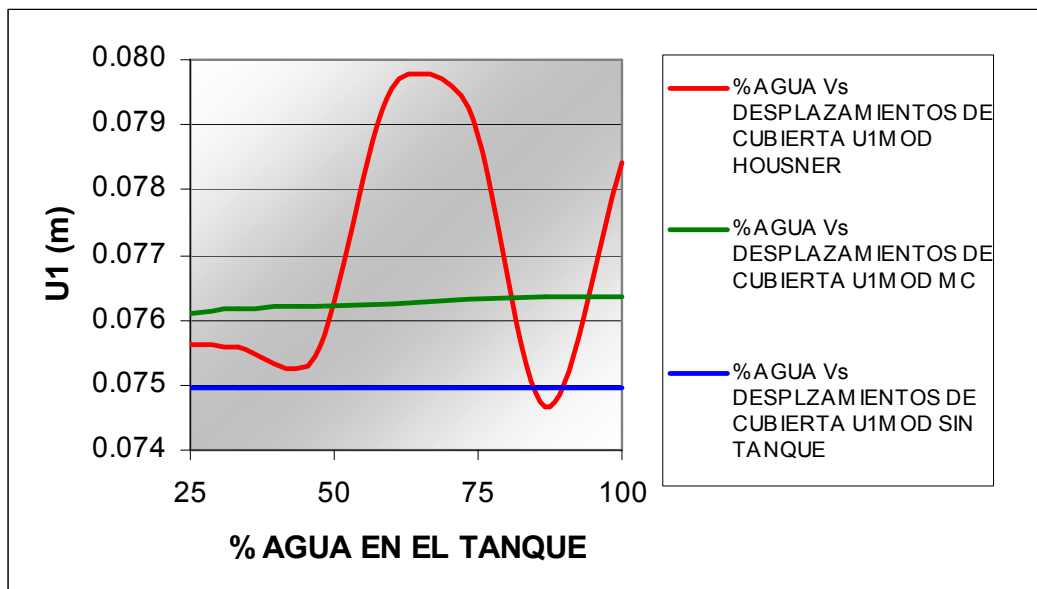
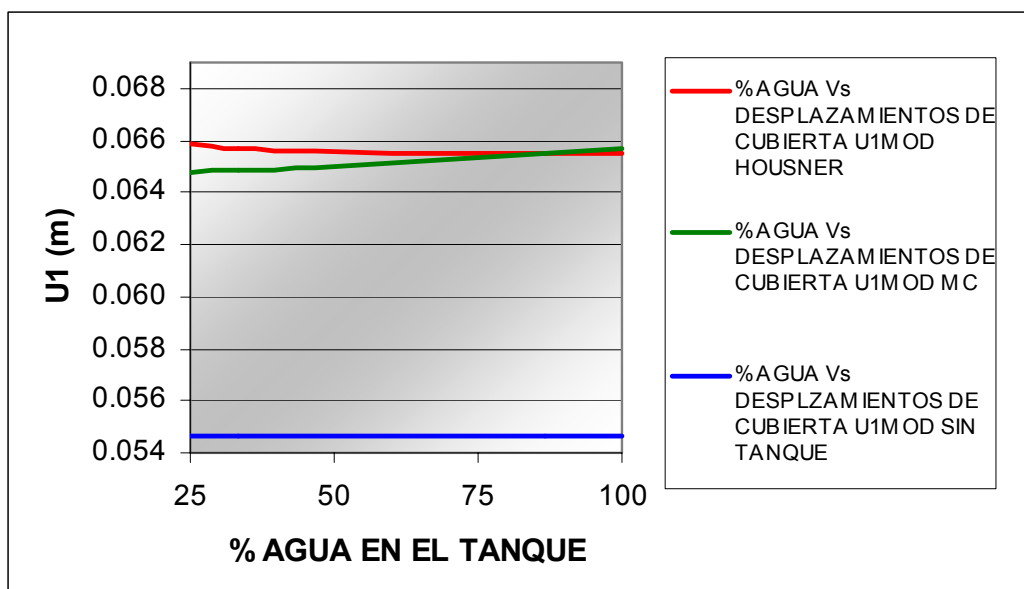


Figura 87. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), Edificio Teruel.



En las graficas anteriores observamos una disminuci3n en los desplazamientos utilizando el tanque elevado de agua, en el edificio Miramonti, En este sentido el tanque esta actuando como un disipador en la edificaci3n anteriormente mencionada, corroborando de esta manera la afirmaci3n hecha en las graficas de % agua Vs T_x , el resto de los edificios se observa un aumento, a pesar de que su periodo T_x aumenta, es posible que esto se deba a la configuraci3n de el tipo de apoyo del tanque de almacenamiento o a la configuraci3n estructural de la edificaci3n. Aunque en el resto de edificaciones los desplazamientos no hayan disminuido, la diferencia que existe cuando hay o no, la presencia del tanque no es tan representativa.

Tambi3n es posible que este efecto sea producido por la localizaci3n en planta en la que se encuentra el tanque de almacenamiento.

4.3.4 Comparación de los desplazamientos de las estructuras en el sentido Y

Figura 88. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), NSR-98, Edificio Miramonti.

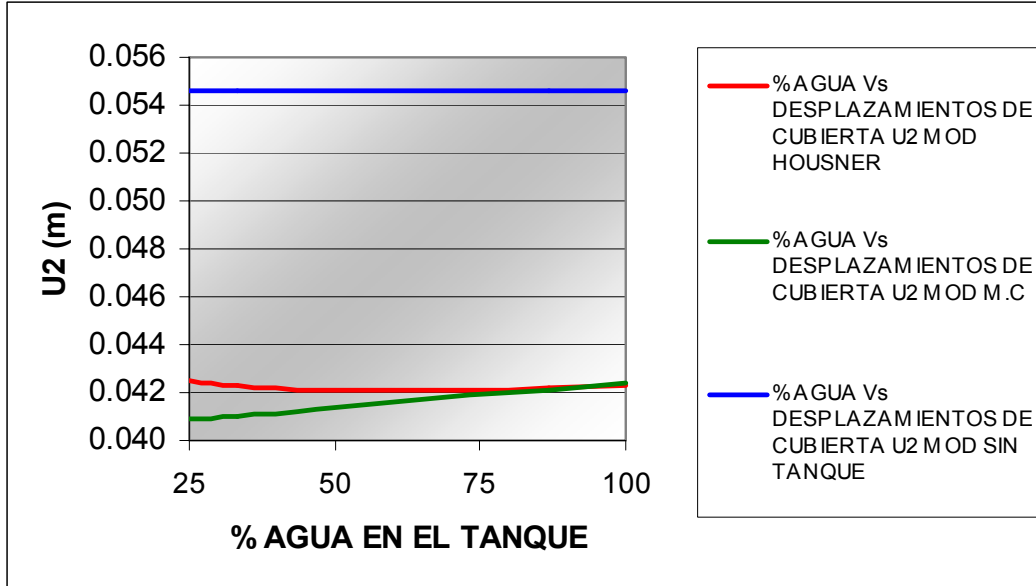


Figura 89. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), NSR-98, Edificio Omega.

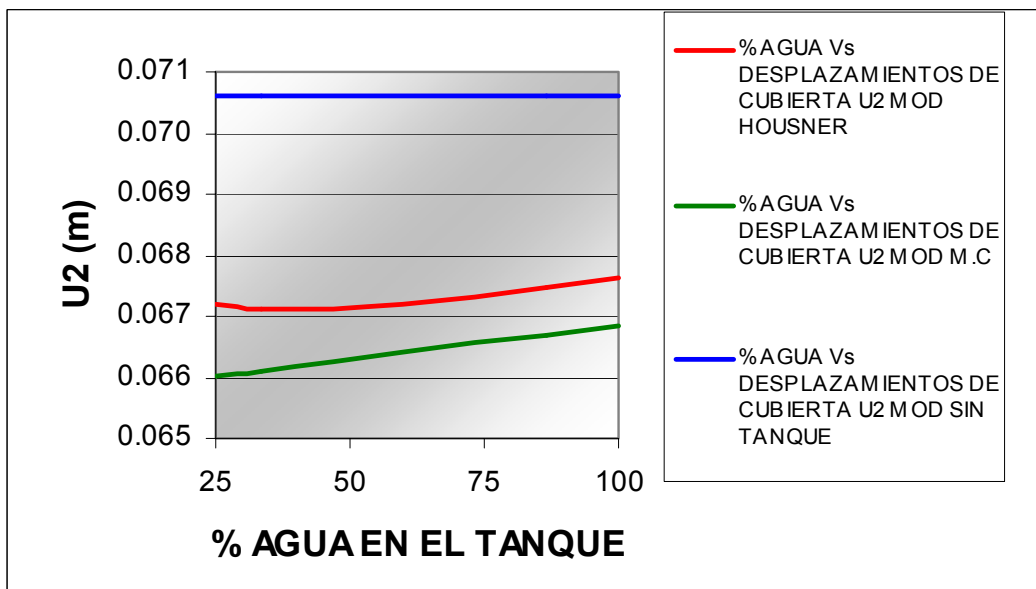


Figura 90. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), NSR-98, Edificio Procyón.

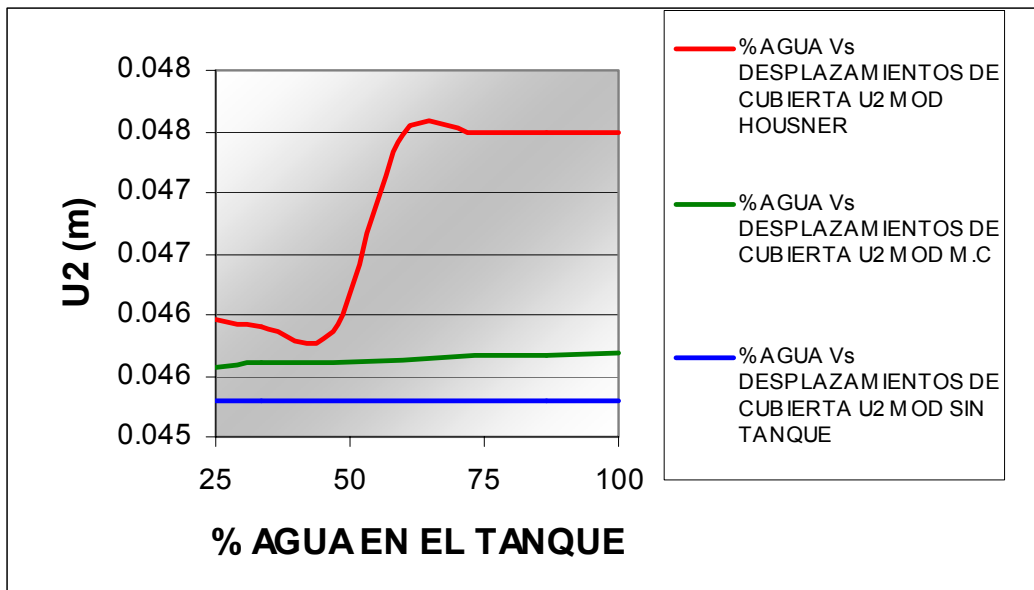
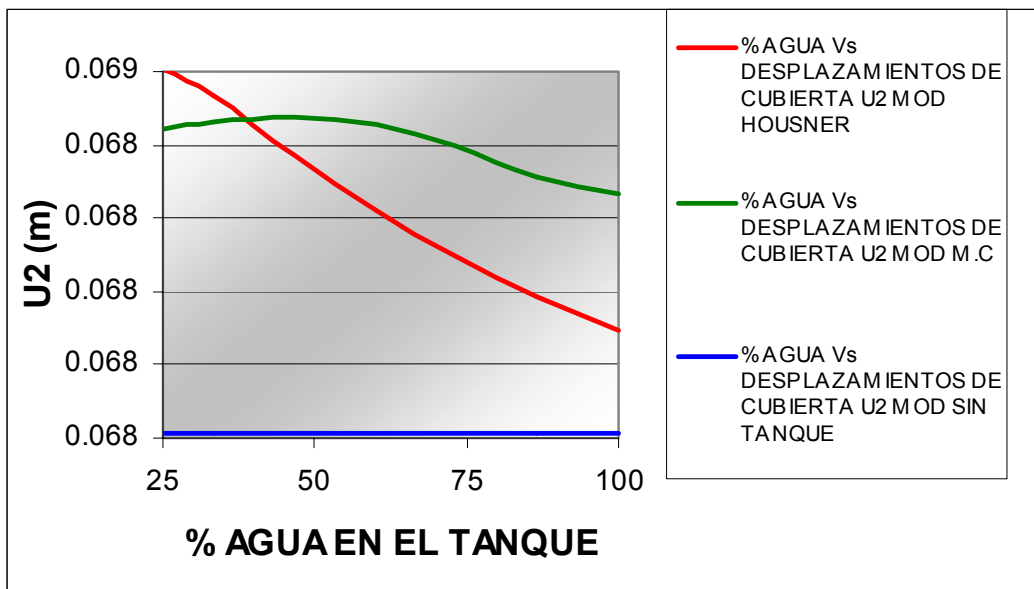


Figura 91. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), NSR-98, Edificio Teruel.



De igual manera, ocurre en los desplazamientos de esta dirección, en algunos edificios el tanque actúa como disipador, ya que disminuyen los desplazamientos y están aumentando los periodos. Mientras en el edificio

Miramonti los periodos decrecen con el tanque los desplazamientos disminuyen con este, es posible que este efecto suceda por la configuración estructural de la edificación en ese sentido, en el cual se encuentran armados los muros de carga.

De igual manera en el edificio Omega se observa una disminución en los desplazamientos, como se mencionó en el grupo de graficas de desplazamientos en la dirección X, es probable que este comportamiento se vea influenciado, tanto por la posición del tanque como por la configuración de sus apoyos.

Las siguientes graficas nos muestran los resultados obtenidos para el cortante en la base de las distintas edificaciones para distintos volúmenes de agua almacenada en el tanque, los resultados de los cortantes tanto en dirección X como en dirección Y obtenidos para distintos niveles de agua fueron sumados independientemente, tanto para el espectro en X como para el espectro en Y.

4.3.5 Comparación del Cortante Basal en X, SISMO X

Figura 92. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, NSR-98 Edificio Miramonti

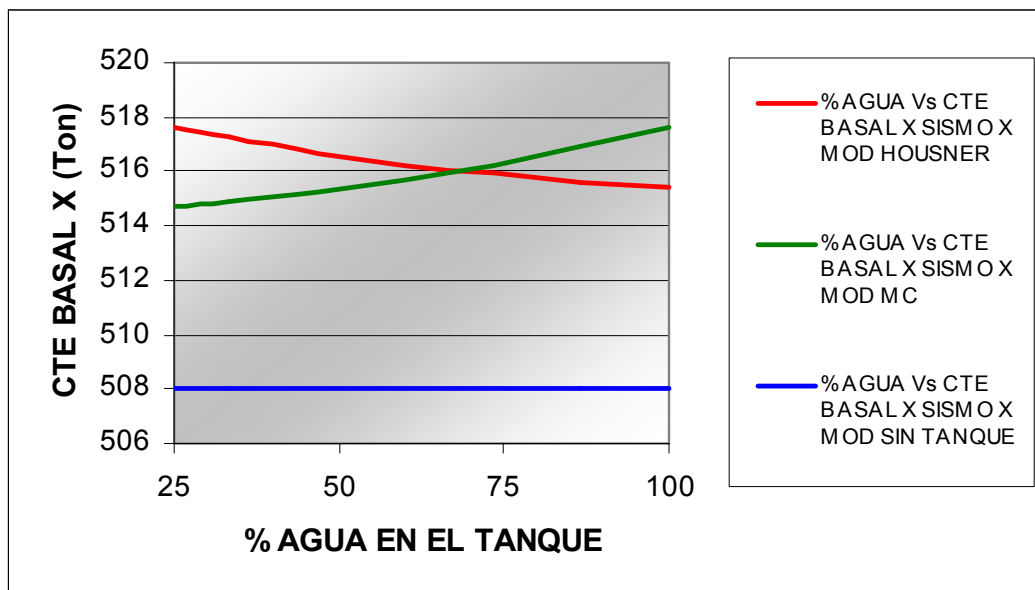


Figura 93. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, NSR-98 Edificio Omega.

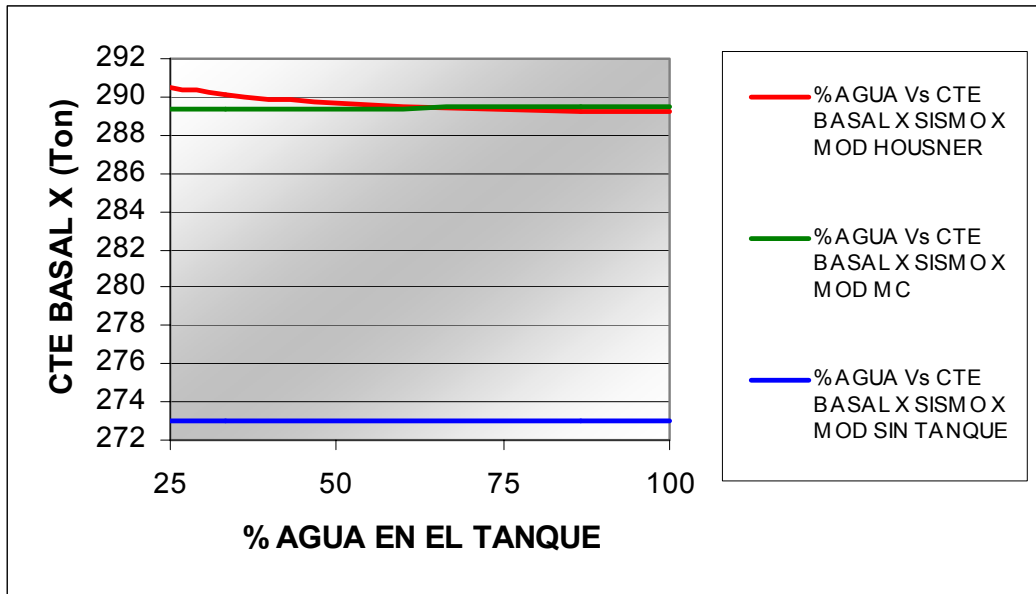


Figura 94. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, NSR-98 Edificio Procyón.

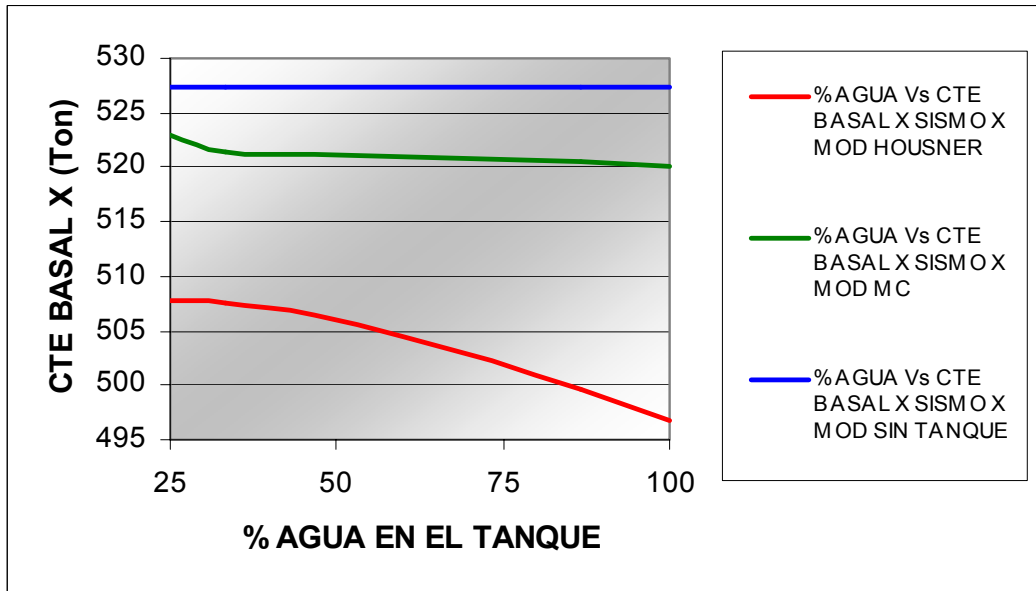
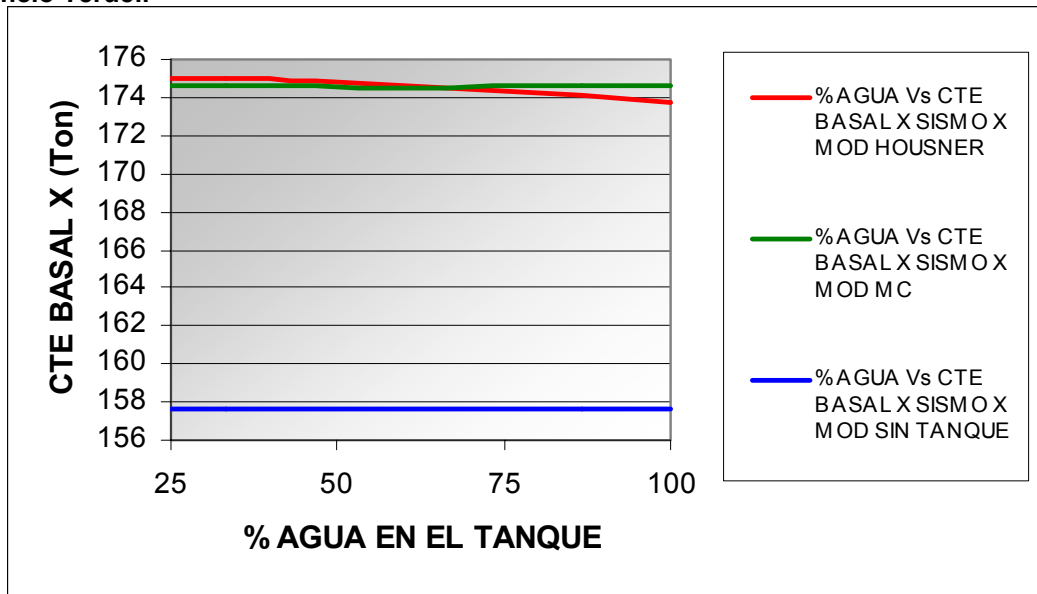


Figura 95. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, NSR-98 Edificio Teruel.



Como se puede apreciar cuando el sismo entra en dirección X en todas las estructuras analizadas en esta investigación, se observa una tendencia hacia el aumento del cortante basal en la misma dirección, exceptuando el edificio Procyón en el cual se invierte esta, es claramente apreciable que el cambio en el cortante basal es mucho mayor en el caso en el que este disminuye.

4.3.6 Comparación del Cortante Basal en Y, SISMO X

Figura 96. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, NSR-98 Edificio Miramonti.

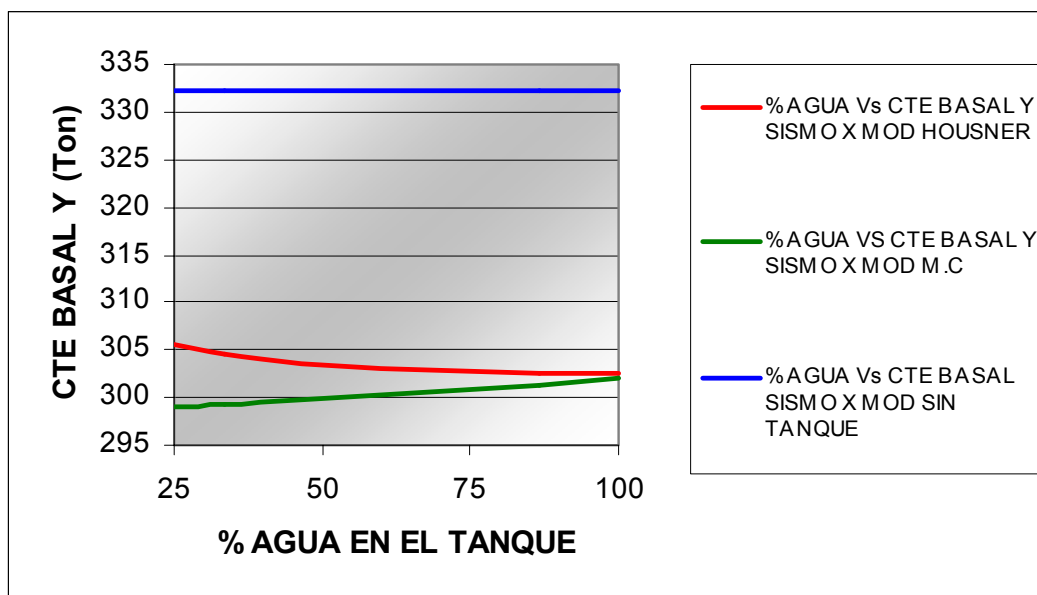


Figura 97. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, NSR-98 Edificio Omega.

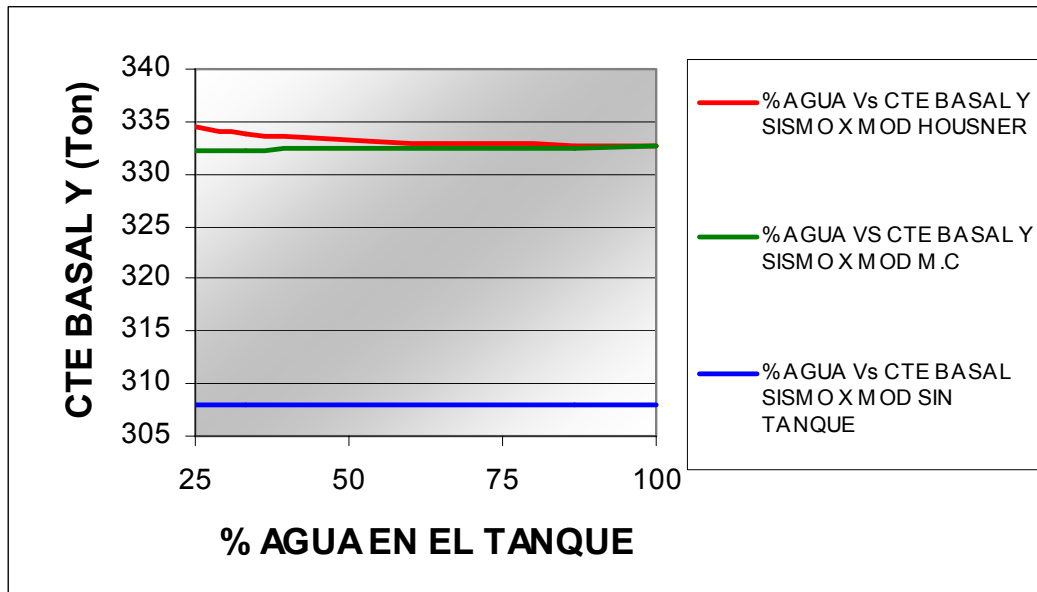


Figura 98. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, NSR-98 Edificio Procyón.

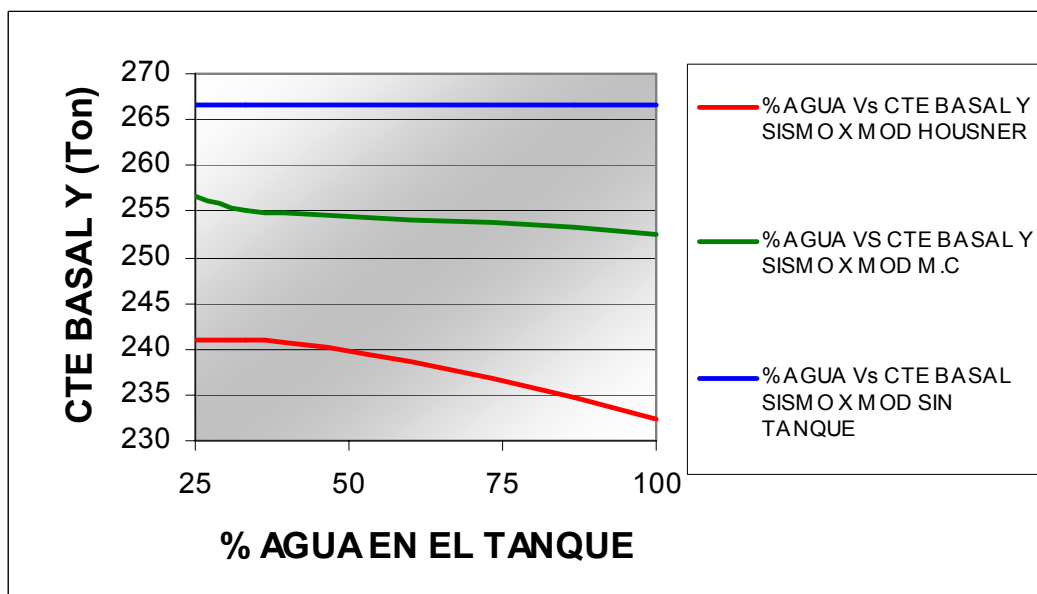
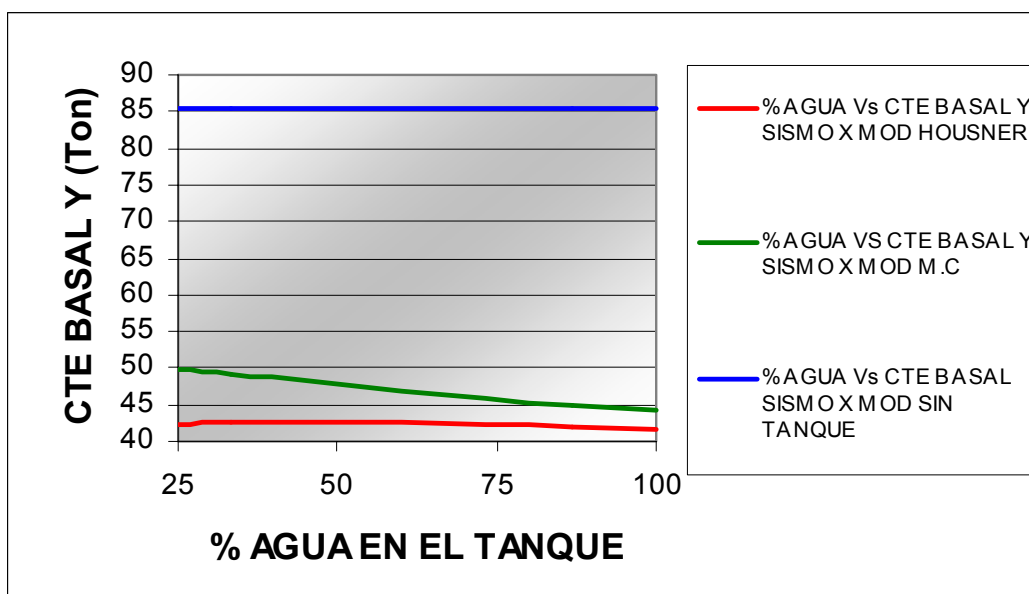


Figura 99. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, NSR-98 Edificio Teruel.



La tendencia para el caso en donde se analiza el cortante en dirección Y, con el sismo entrando en el sentido X, se invierte con el caso anterior, notándose que en tres de las estructuras estudiadas el cortante en la base disminuye siendo este un punto favorable para las estructuras analizadas, exceptuando el edificio Omega donde no se logra este efecto.

4.3.7 Comparación del Cortante Basal en X, SISMO Y

Figura 100. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, NSR-98 Edificio Miramonti.

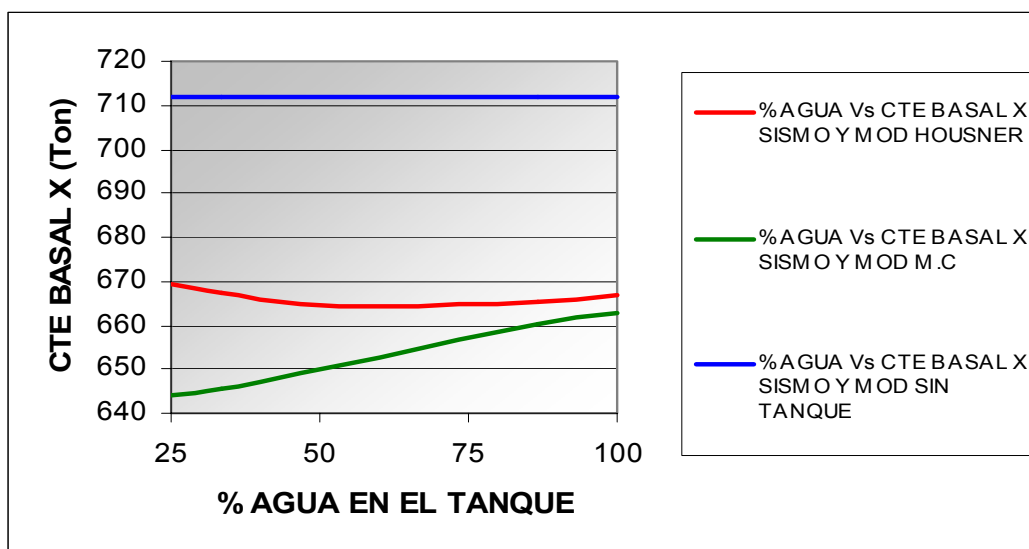


Figura 101. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, NSR-98 Edificio Omega.

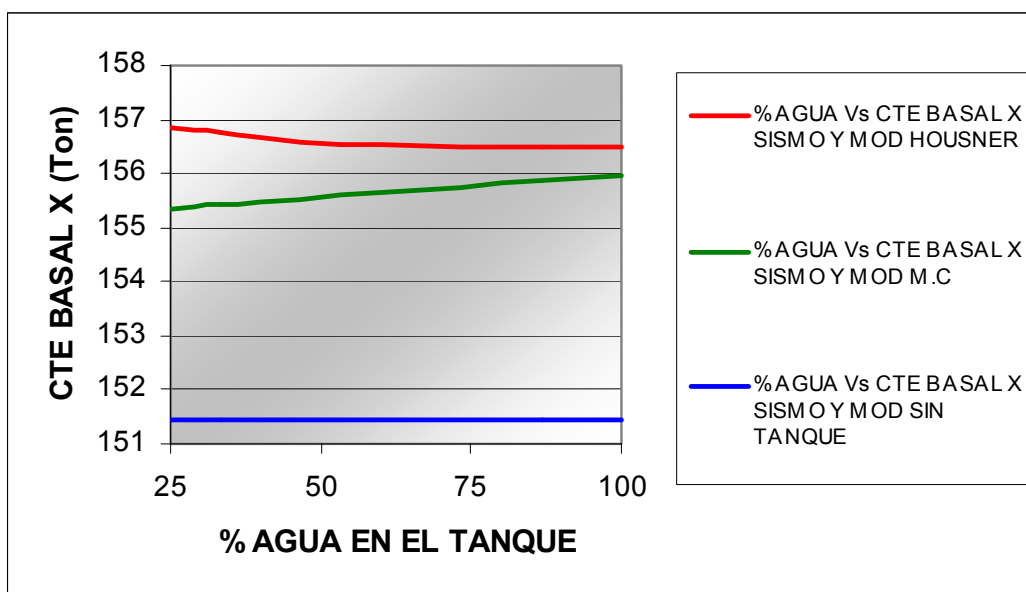


Figura 102. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, NSR-98 Edificio Procyón.

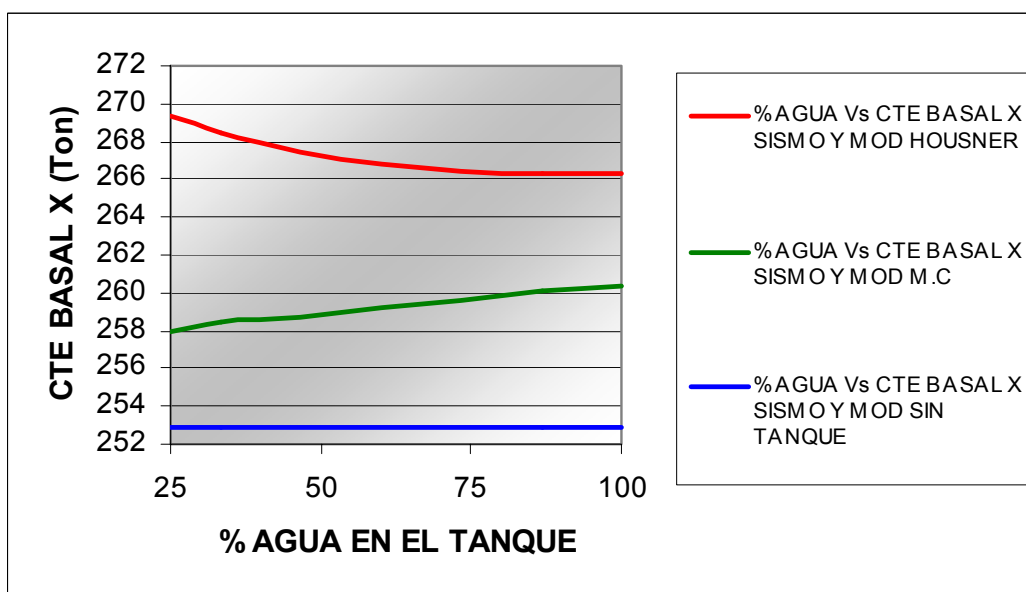
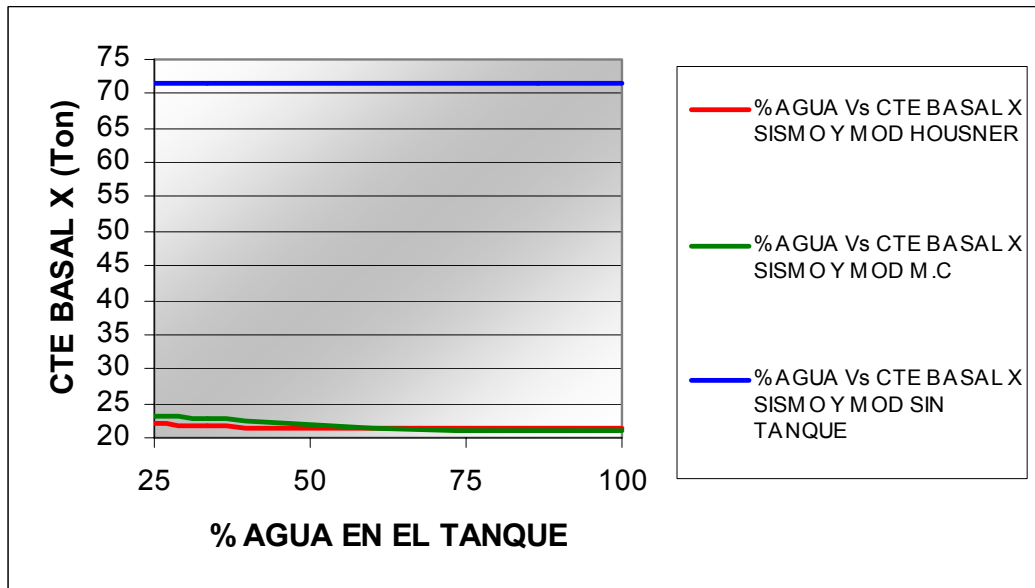


Figura 103. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, NSR-98 Edificio Teruel.



Quando el sismo entra en dirección Y, y se evalúan los cortantes en el sentido perpendicular al sismo, se observan disminuciones muy marcadas en 2 de las 4 estructuras estudiadas cuando estas tienen el tanque de almacenamiento, exceptuando el edificio Procyón y Omega donde ocurre lo contrario, el aumento producido en estas dos estructuras no es tan significativo como el de las estructuras restantes.

4.3.8 Comparación del Cortante Basal en Y, SISMO Y

Figura 104. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, NSR-98 Edificio Miramonti.

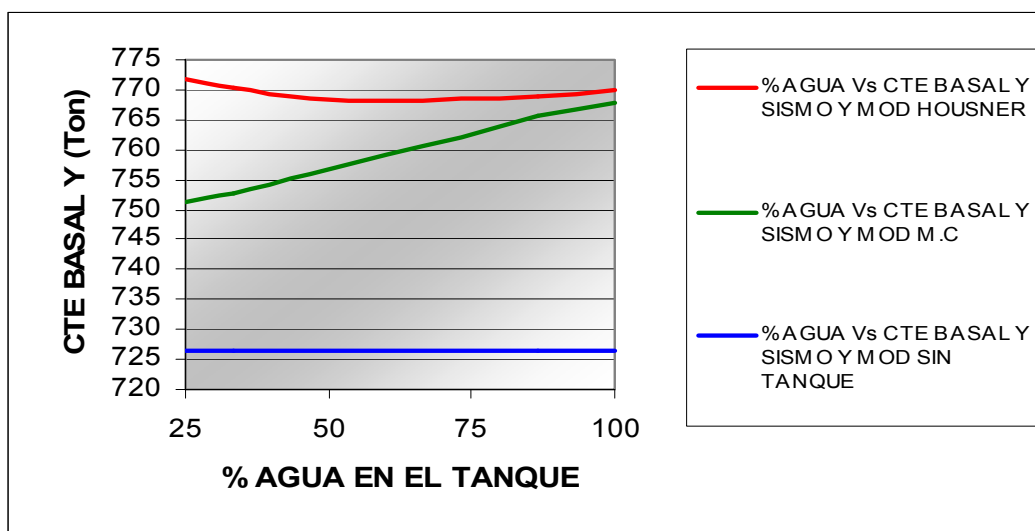


Figura 105. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, NSR-98 Edificio Omega.

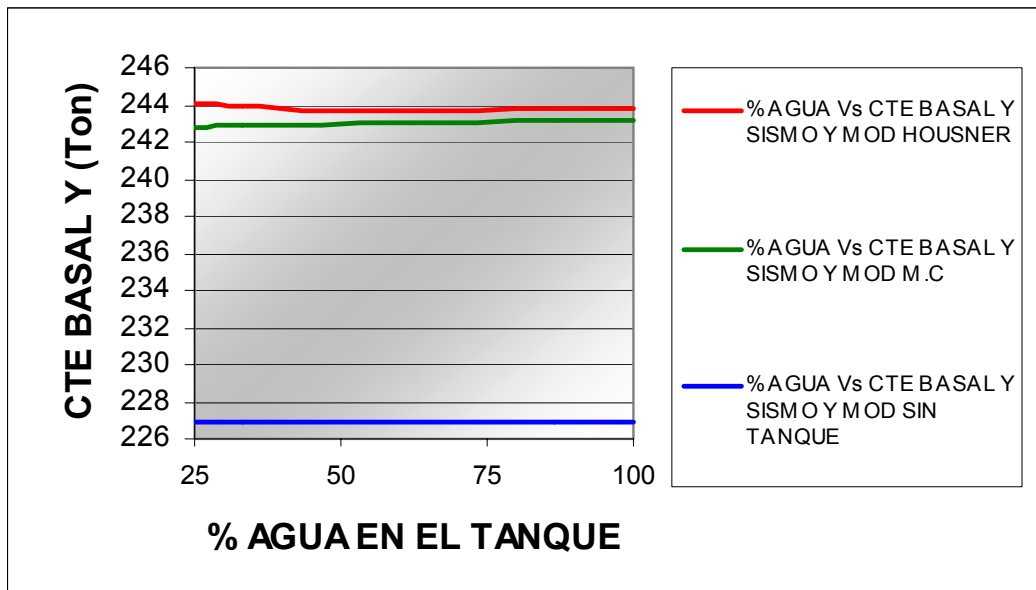


Figura 106. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, NSR-98 Edificio Procyón.

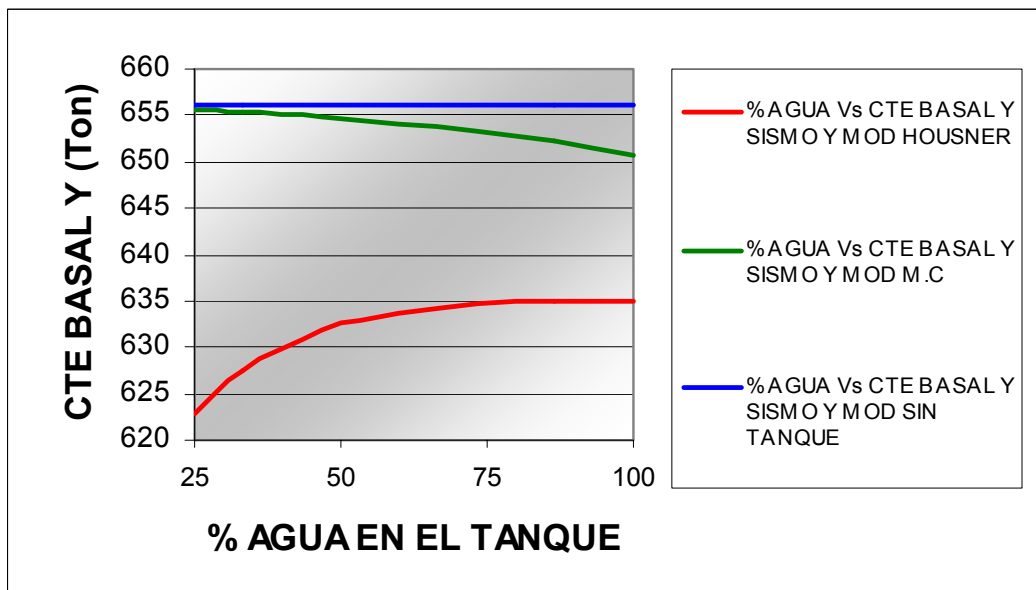
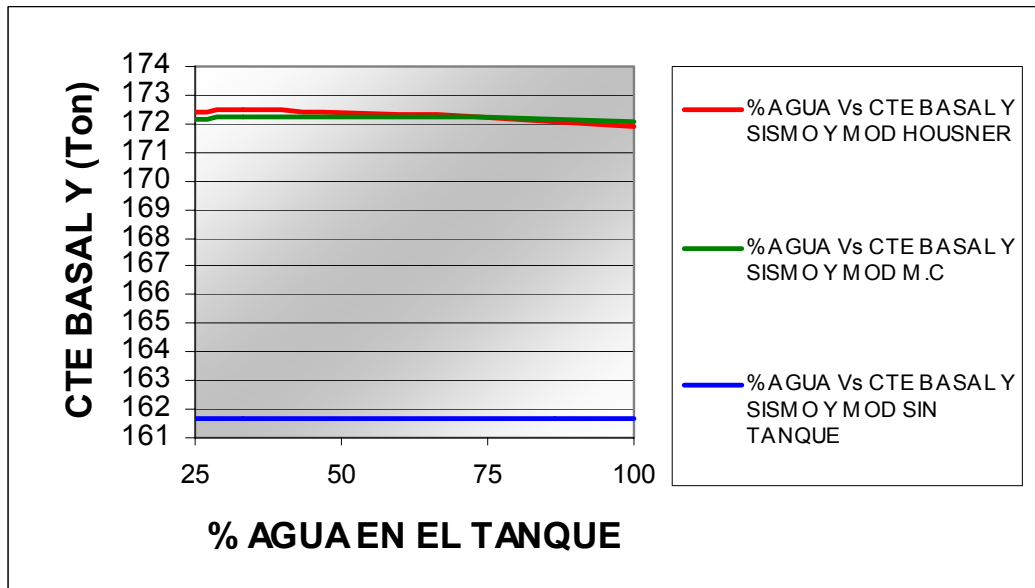


Figura 107. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, NSR-98 Edificio Teruel.



Como se puede apreciar cuando el sismo entra en dirección Y en todas las estructuras analizadas en esta investigación, se observa una tendencia hacia el aumento del cortante basal, exceptuando el edificio Procyón en el cual se invierte esta, de igual manera ocurrió para esta edificación cuando se analizaba el cortante en el sentido X y cuando el sismo entra en esa misma dirección, siendo esta vez más notorio el valor del cortante basal cuando este tiende al aumento, ocurriendo en el edificio Miramonti.

4.3.9 Comparación de Pu en las columnas, SISMO X

Figura 108. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo X, NSR-98 Edificio Miramonti.

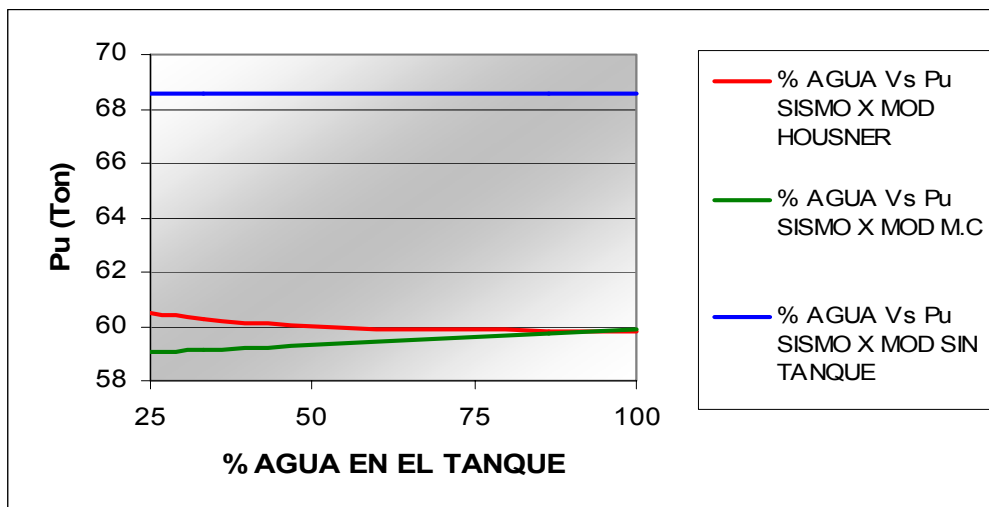


Figura 109. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo X, NSR-98 Edificio Omega.

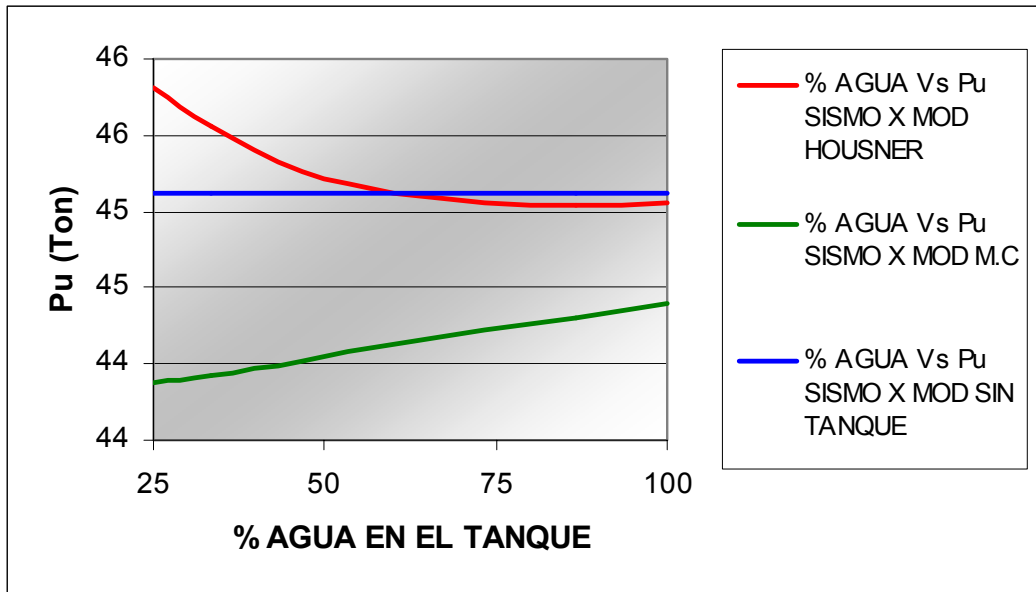


Figura 110. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo X, NSR-98 Edificio Procyón.

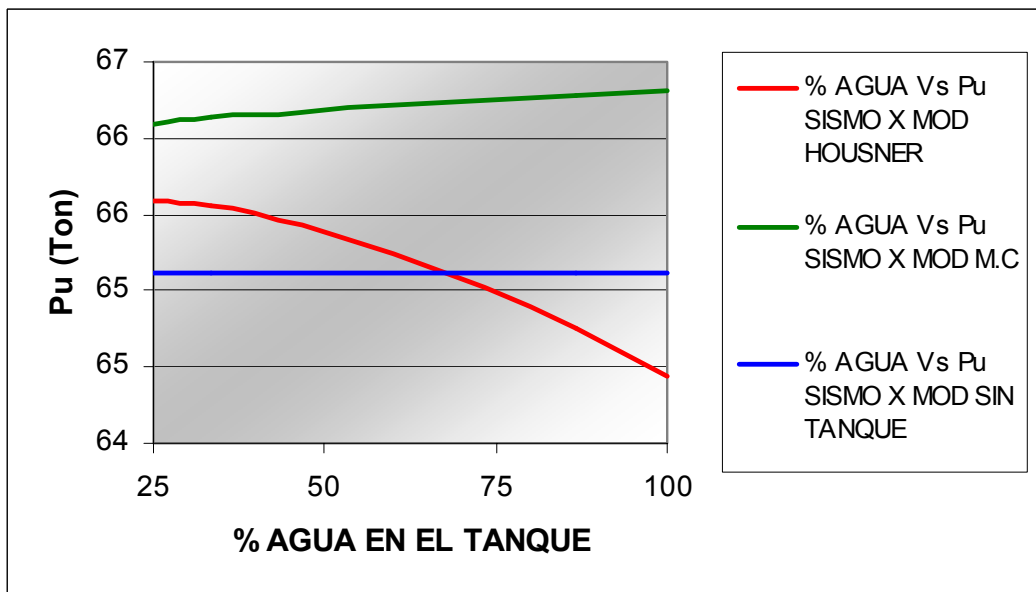
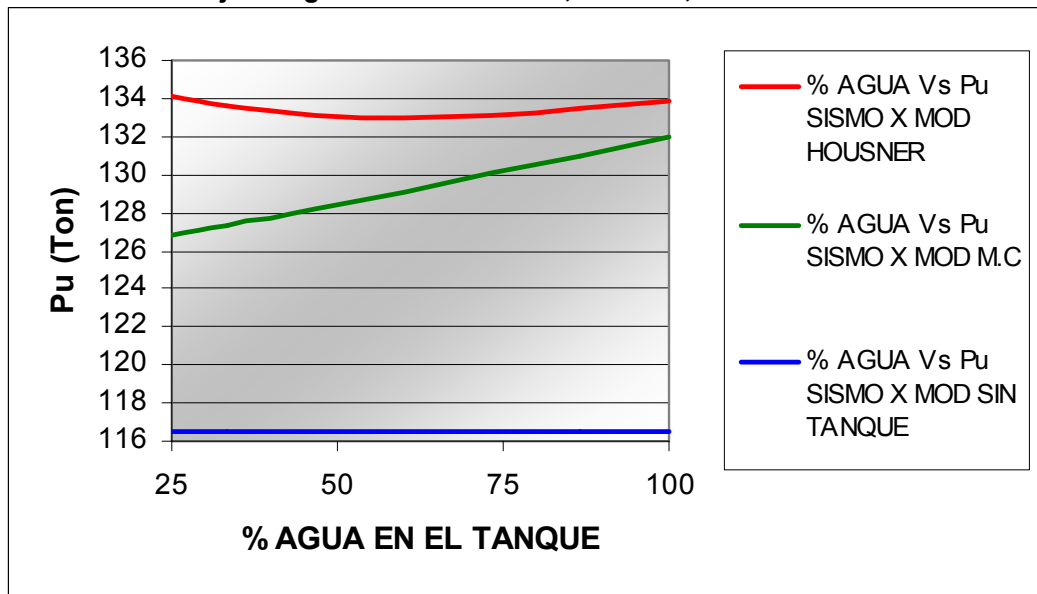


Figura 111. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo X, NSR-98 Edificio Teruel.



En este grupo de graficas observamos un comportamiento muy variable en todas las edificaciones, se nota un incremento en las columnas del edificio Teruel, si se tiene en cuenta los efectos producidos por el tanque de almacenamiento y por el contrario una disminuci3n en las columnas del edificio Miramonti, mientras que para el resto de edificaciones hay oscilaciones en las Pu de las columnas con respecto al volumen de agua almacenada si se tiene en cuenta los resultados que se obtienen aplicando el modelo de Housner.

4.3.10 Comparaci3n de Pu en las columnas, SISMO Y

Figura 112. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo Y, NSR-98 Edificio Miramonti.

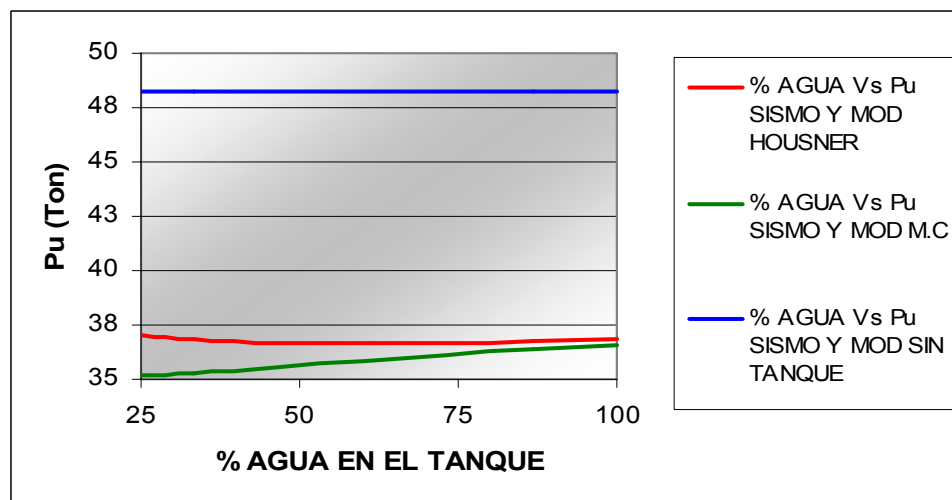


Figura 113. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo Y, NSR-98 Edificio Omega.

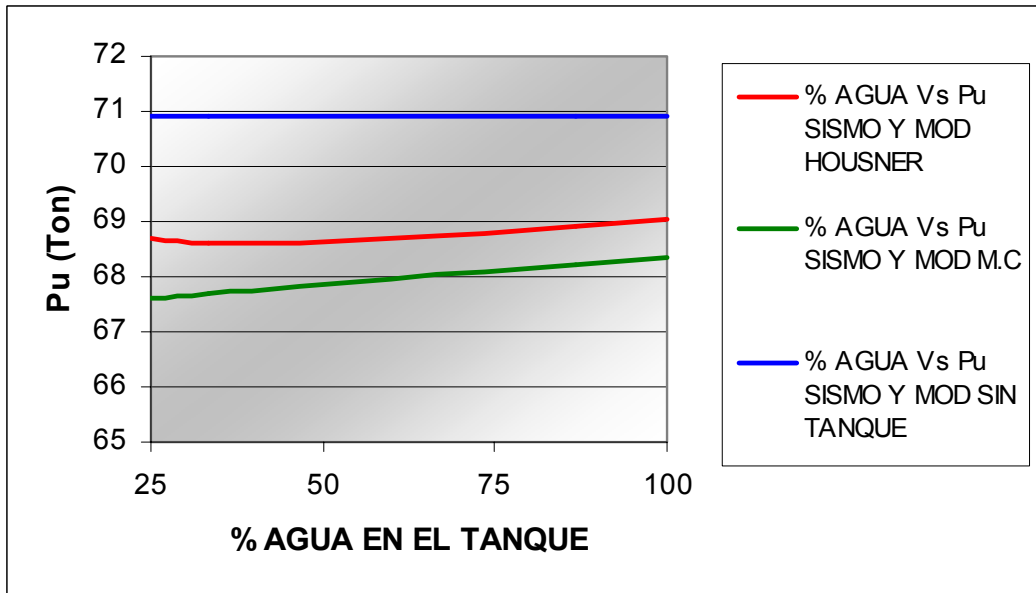


Figura 114. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo Y, NSR-98 Edificio Procyón.

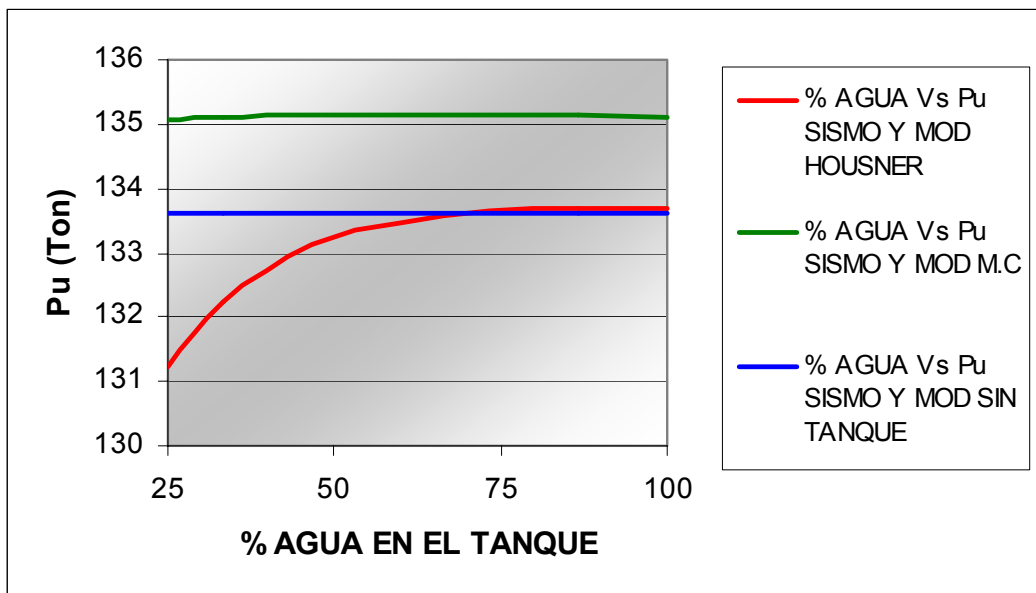
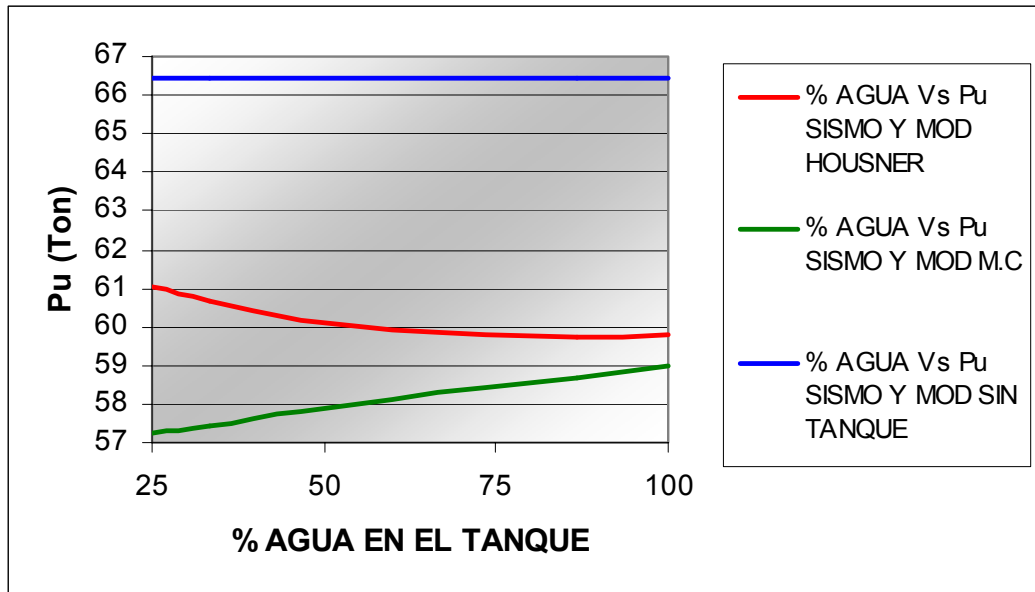


Figura 115. Porcentaje de agua Vs Pu columnas, Sismo Y, NSR-98 Edificio Teruel.



La tendencia que se observa en estas graficas cuando las columnas son afectadas si el sismo entra en el sentido Y, es hacia una disminuci3n en todos los valores de Pu, cuando se concentra la masa y cuando se tienen en cuenta los efectos hidrodinámicos, exceptuando el edificio Omega el cual presenta un leve incremento en el modelo de masa concentrada y en el modelo de Housner a un determinado Volumen.

4.4 COMPARACI3N DE LAS RESPUESTAS DINÁMICAS DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS, UTILIZANDO LOS DIFERENTES MODELOS PROPUESTOS, ESPECTRO ZONA 2

Las graficas que se muestran a continuaci3n son las obtenidas para el espectro de la zona 2 del estudio de microzonificaci3n del área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga, estas gráficas conservan la misma tendencia en todos los casos que se analizaron para el espectro de la NSR-98, la diferencia radica en aumentos considerables en las respuestas dinámicas evaluadas, cabe destacar que para todas las estructuras estudiadas solamente se muestran las graficas que contienen como variables dependientes fuerzas

inerciales, ya que los periodos son iguales para cualquier espectro propuesto debido a que son propiedades intrínsecas de la estructura.

4.4.1 Comparación del Cortante Basal en X, SISMO X

Figura 116 . Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, Zona 2 Edificio Miramonti

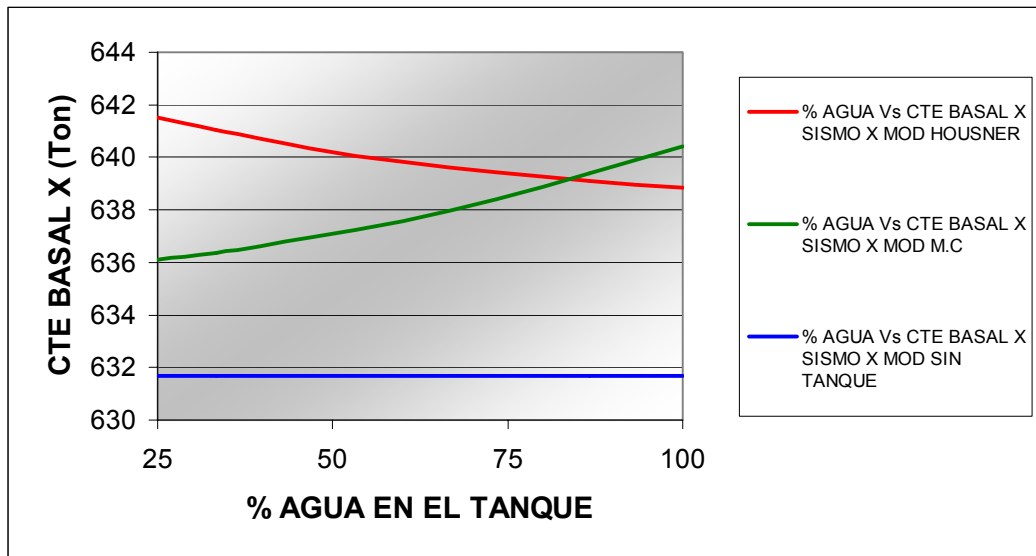


Figura 117. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, Zona 2 Edificio Omega.

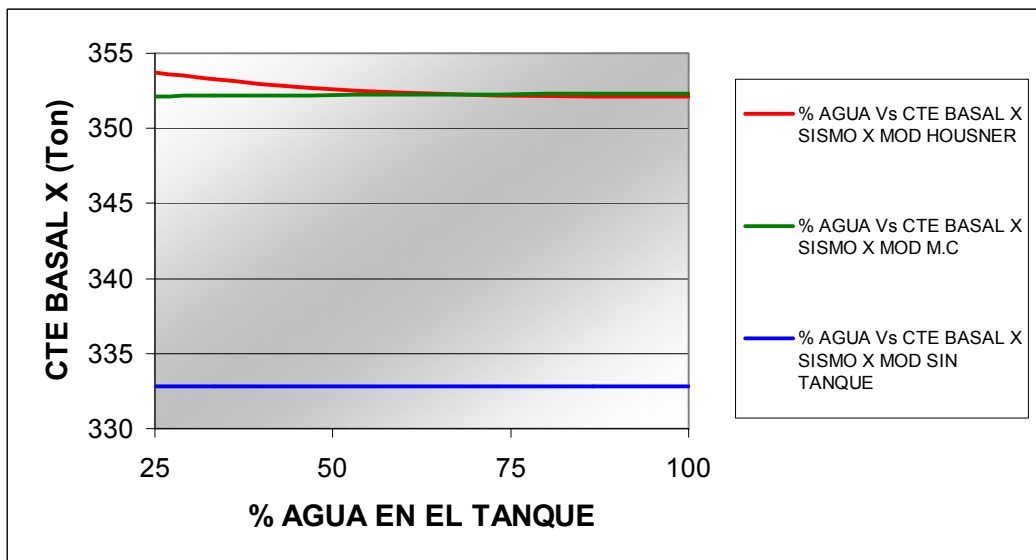


Figura 118. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, Zona 2 Edificio Procyón.

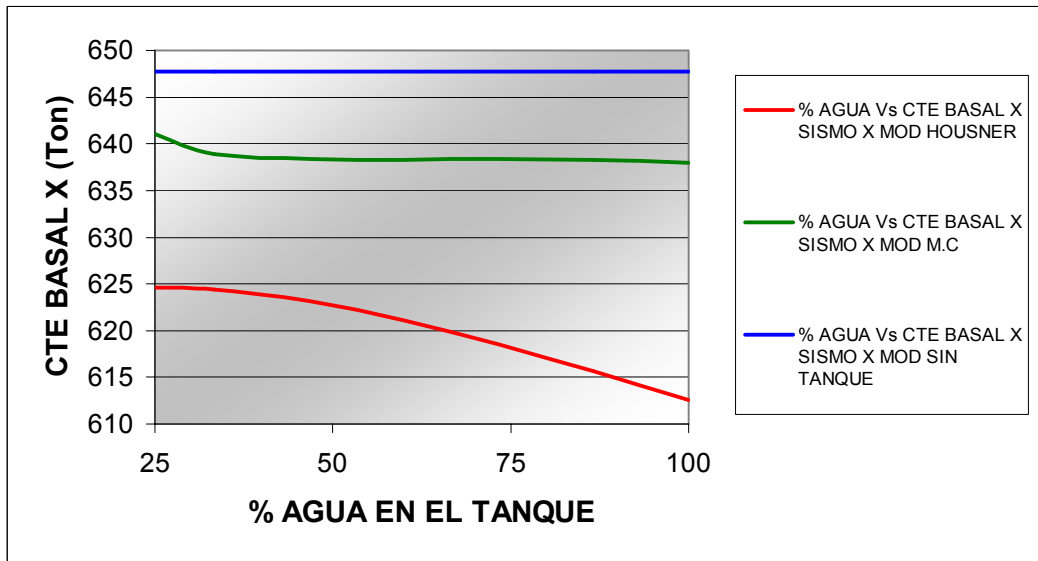
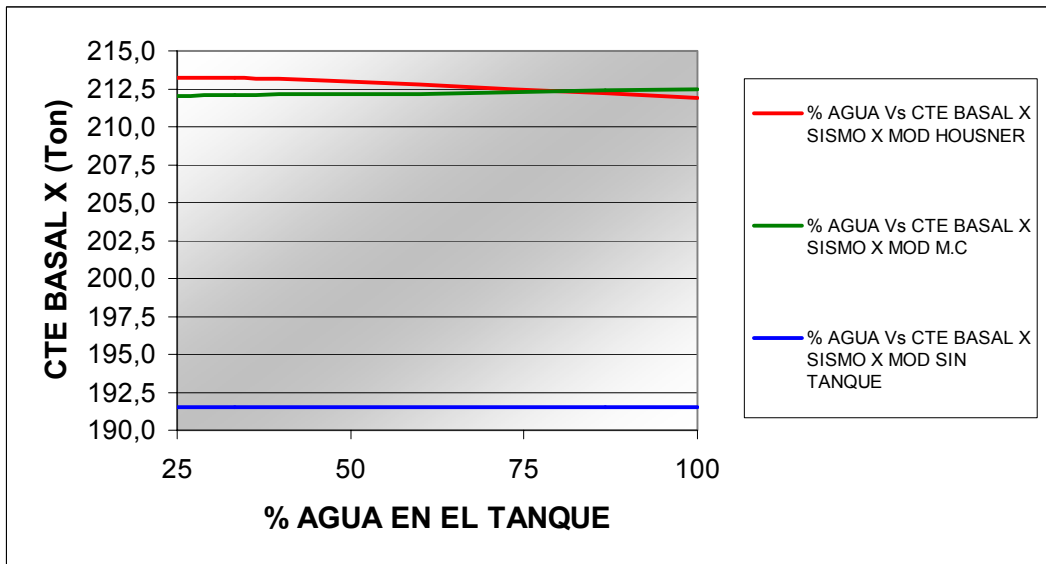


Figura 119. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo X, Zona 2 Edificio Teruel.



4.4.2 Comparación del Cortante Basal en Y, SISMO X

Figura 120. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, Zona 2 Edificio Miramonti.

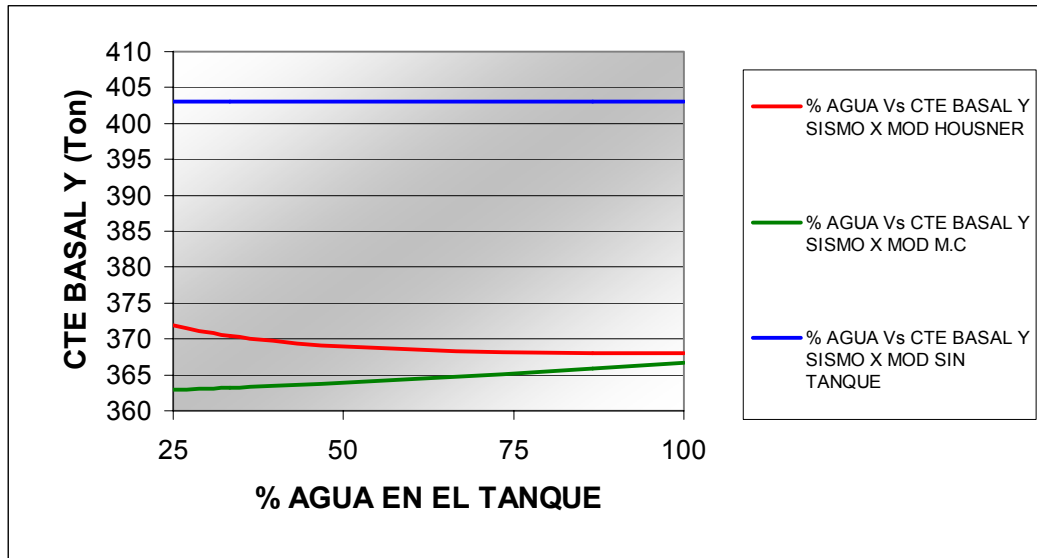


Figura 121. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, Zona 2 Edificio Omega.

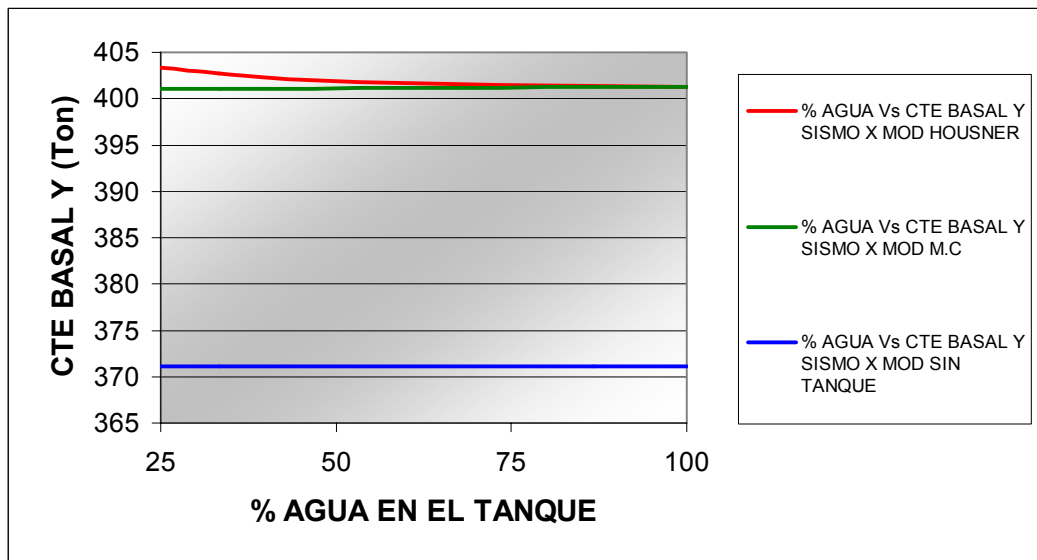


Figura 122. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, Zona 2 Edificio Procyón.

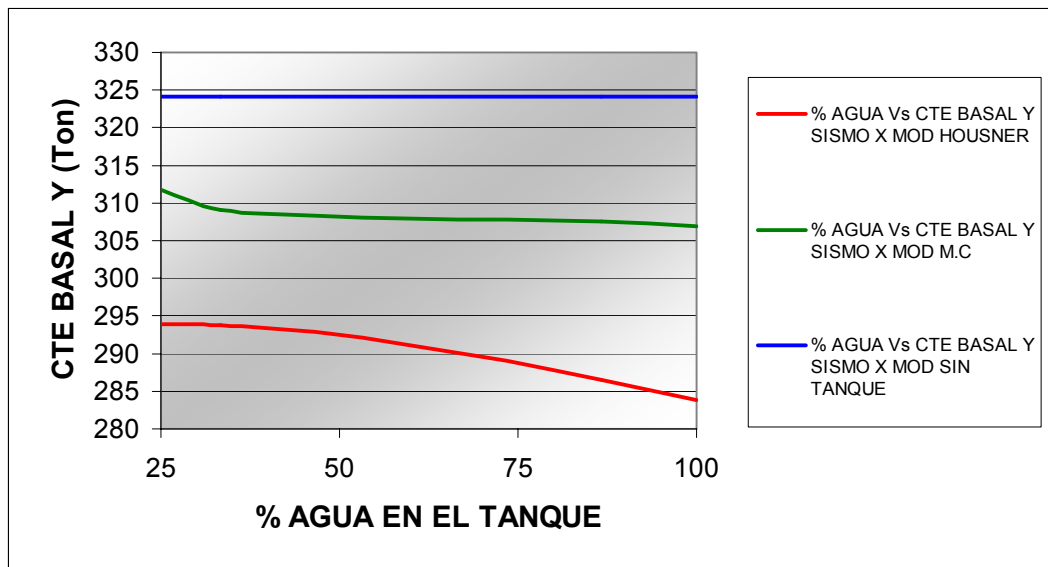
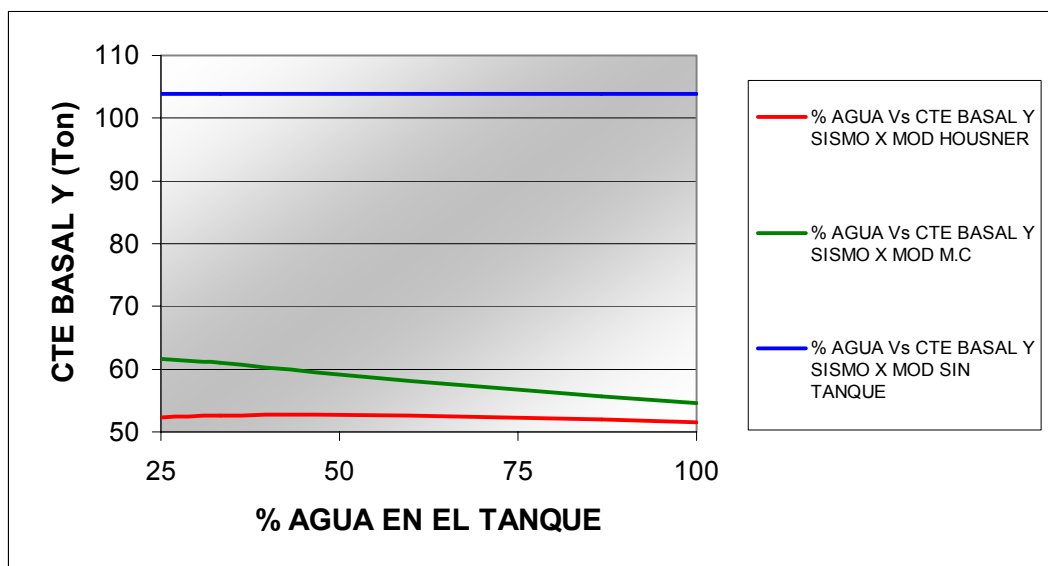


Figura 123. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo X, Zona 2 Edificio Teruel.



4.4.3 Comparación del Cortante Basal en X, SISMO Y

Figura 124. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, Zona 2 Edificio Miramonti.

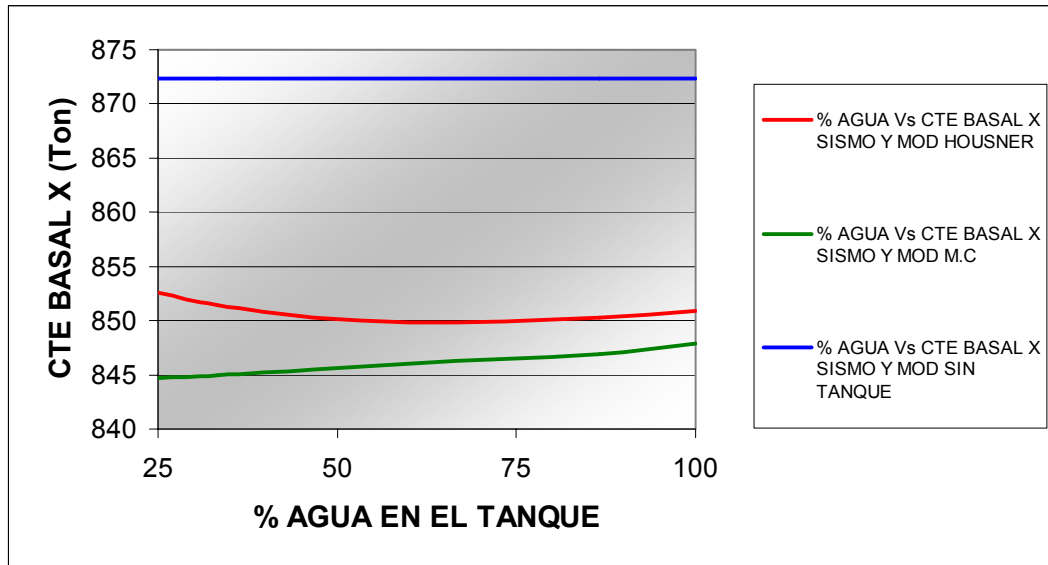


Figura 125. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, Zona 2 Edificio Omega.

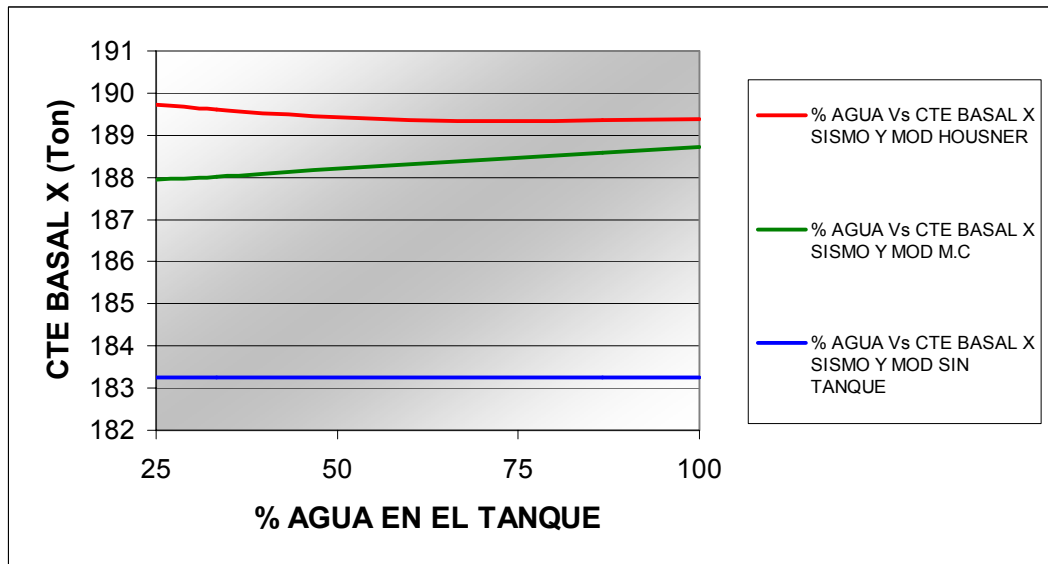


Figura 126. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, Zona 2 Edificio Procyón.

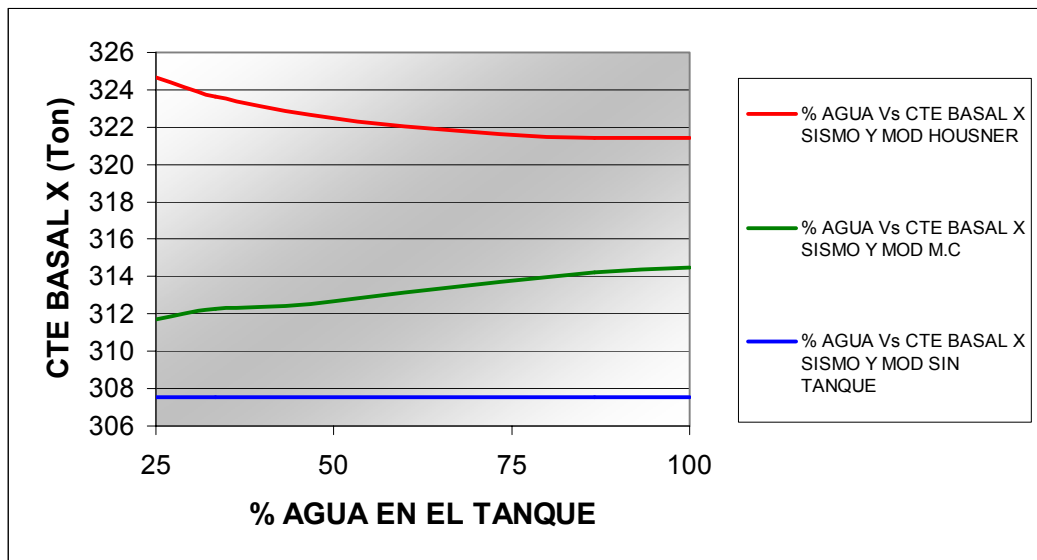
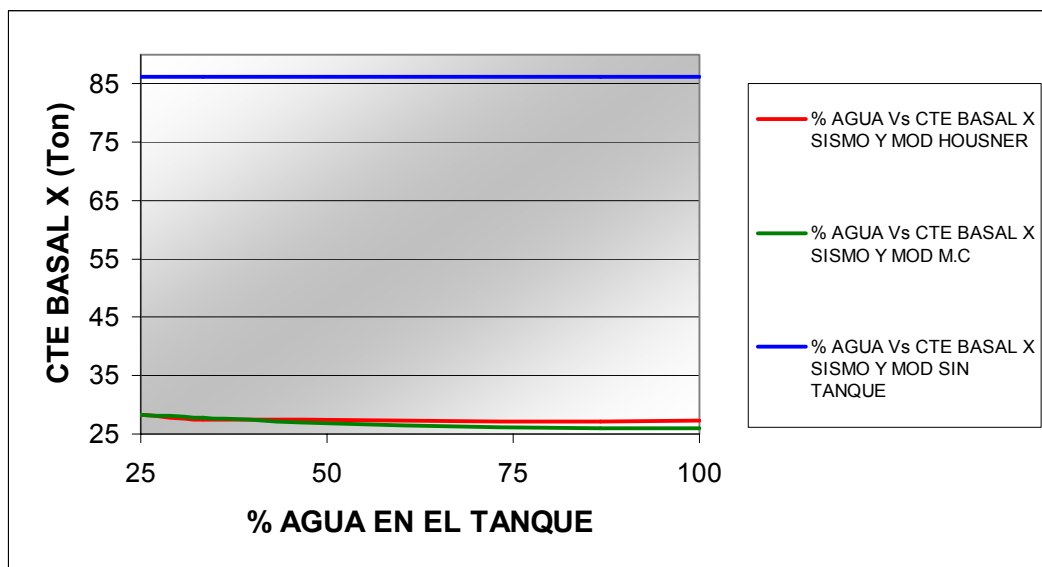


Figura 127. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido X, Sismo Y, Zona 2 Edificio Teruel.



4.4.4 Comparación del Cortante Basal en Y, SISMO Y

Figura 128. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, Zona 2 Edificio Miramonti.

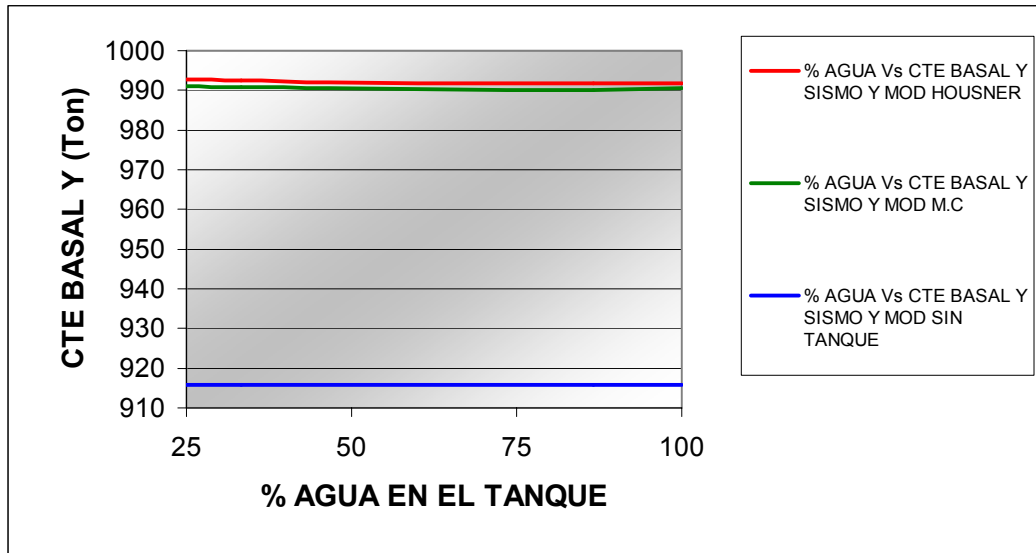


Figura 129. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, Zona 2 Edificio Omega.

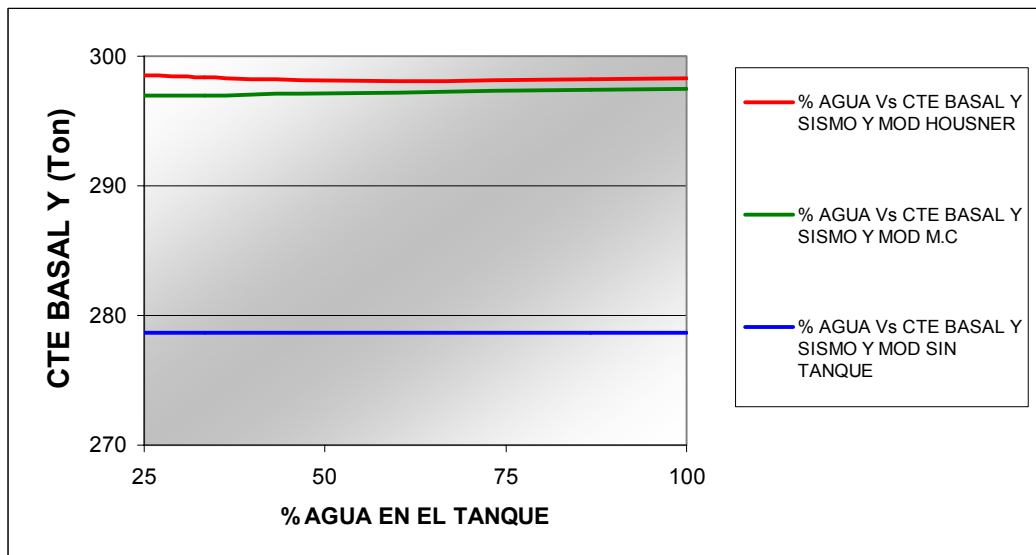


Figura 130. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, Zona 2 Edificio Procyón.

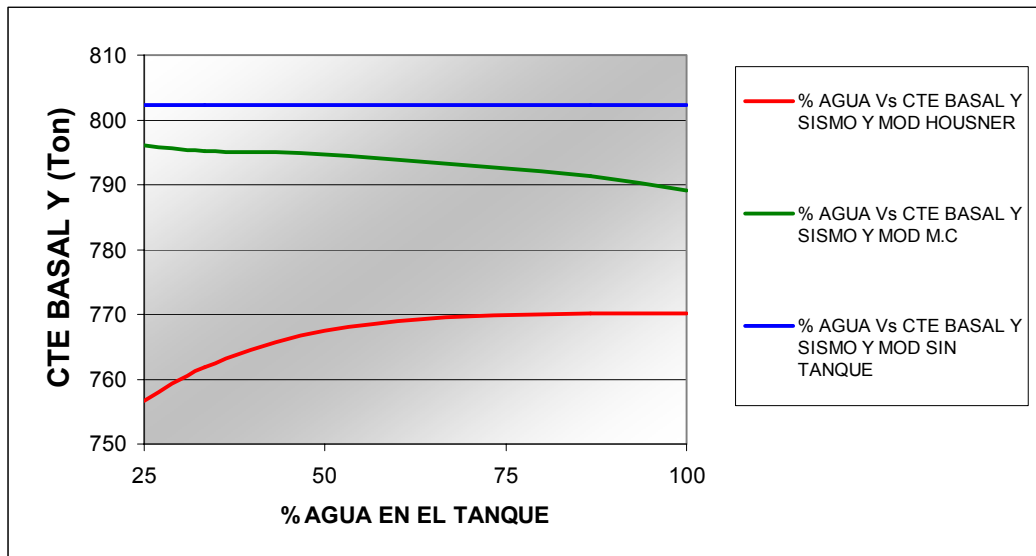
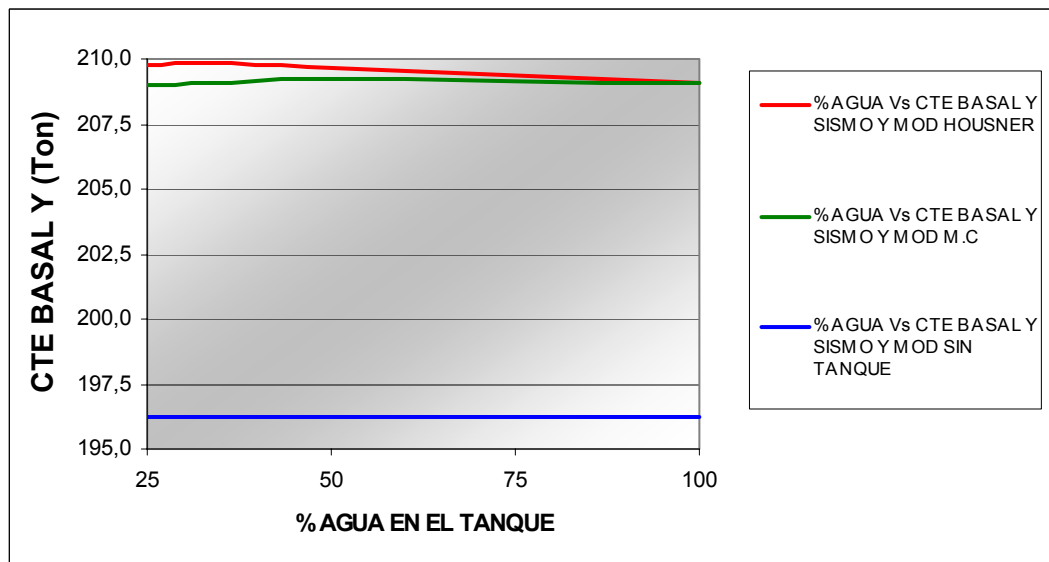


Figura 131. Porcentaje de agua Vs Cortante Basal en el sentido Y, Sismo Y, Zona 2 Edificio Teruel.



4.4.5 Comparación de Pu en las Columnas, SISMO X

Figura 132. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Miramonti.

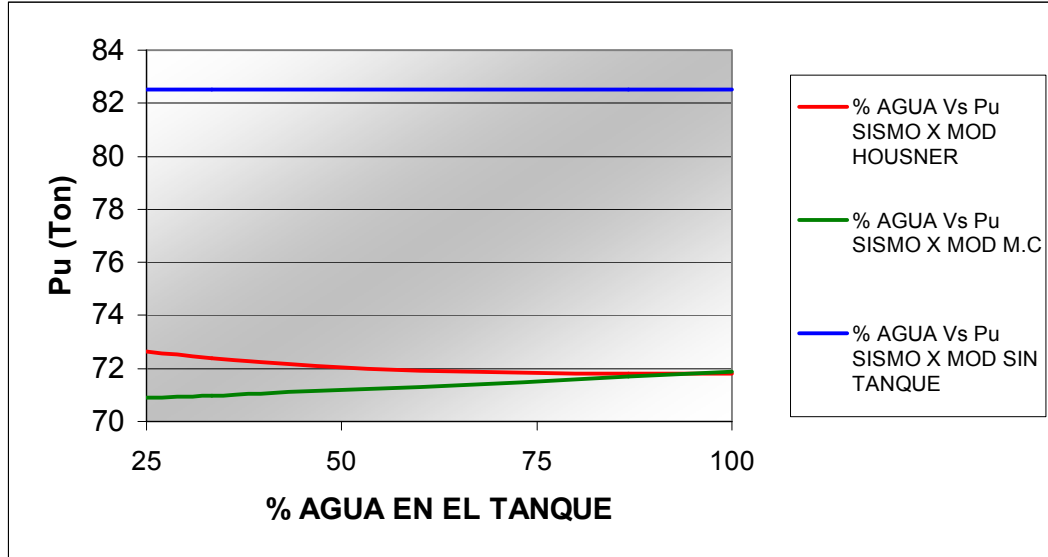


Figura 133. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Omega.

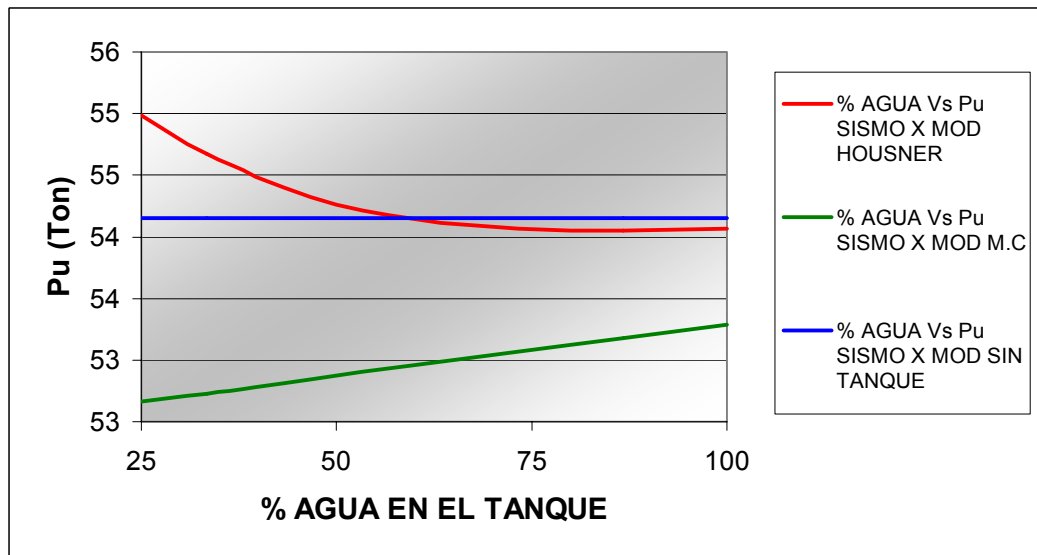


Figura 134. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Procyón.

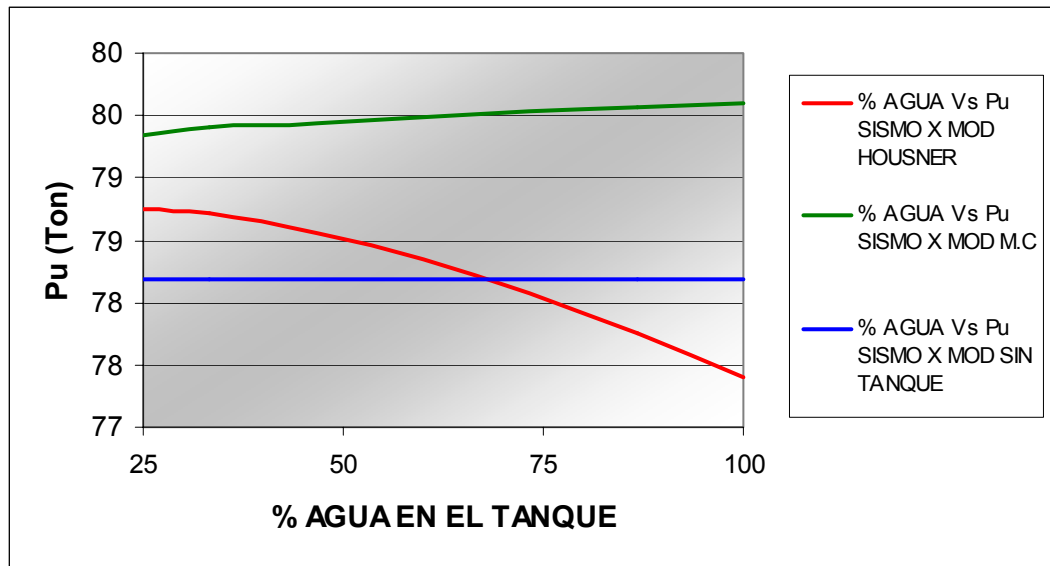
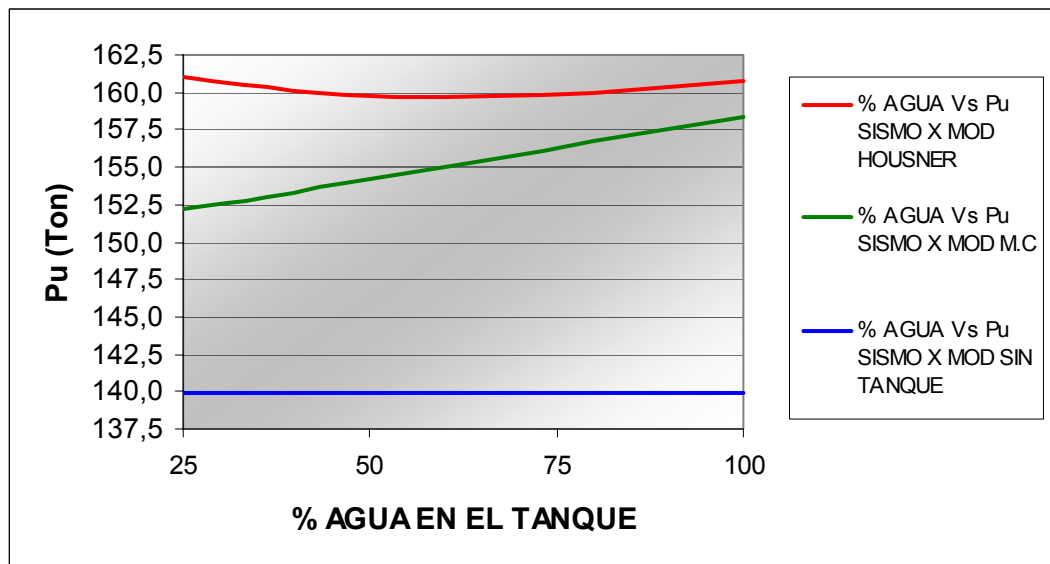


Figura 135. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo X, Zona 2, Edificio Teruel.



4.4.6 Comparación de Pu en las columnas, SISMO Y

Figura 136. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo Y, Zona 2, Edificio Miramonti.

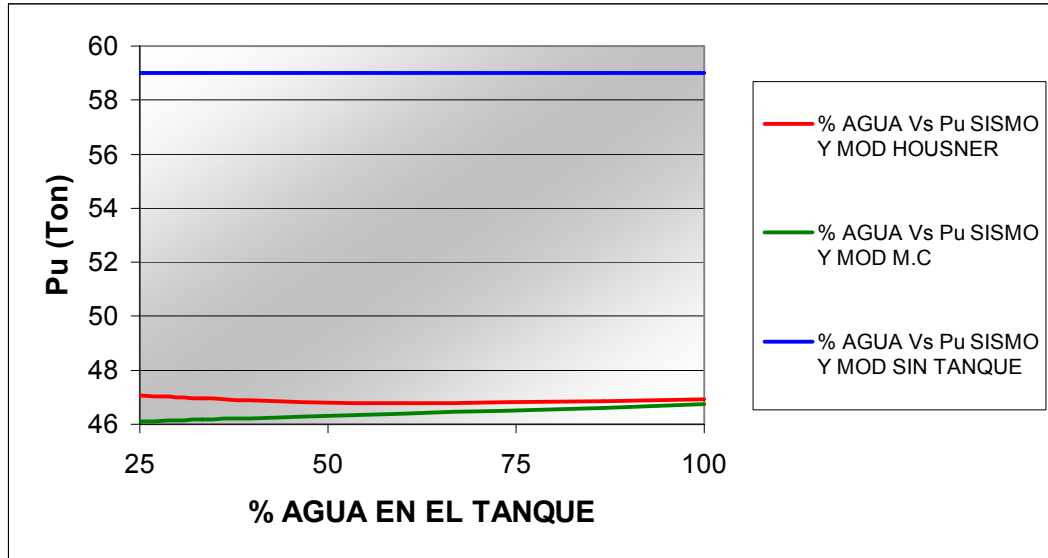


Figura 137. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo Y, Zona 2, Edificio Omega.

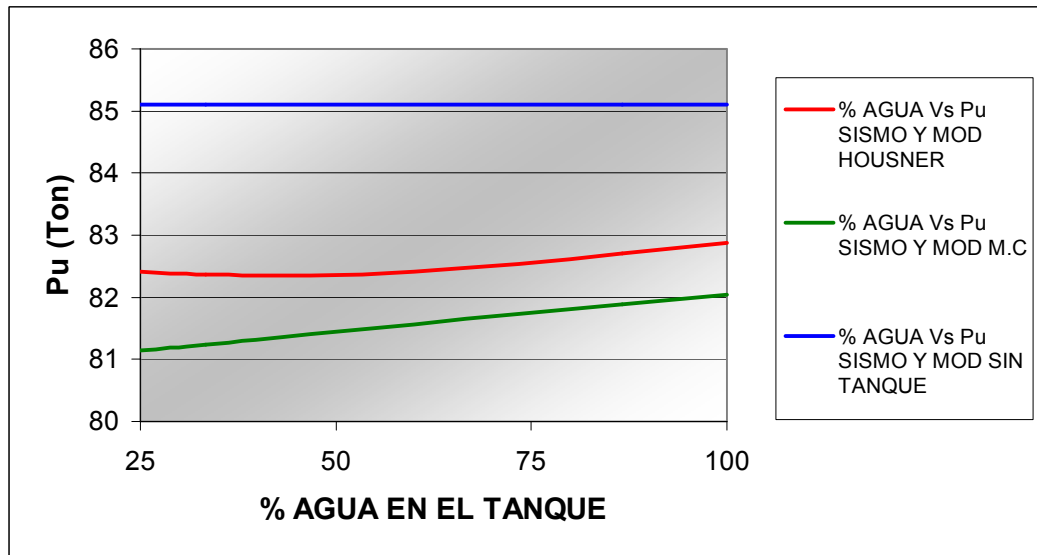


Figura 138. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo Y, Zona 2, Edificio Procyón.

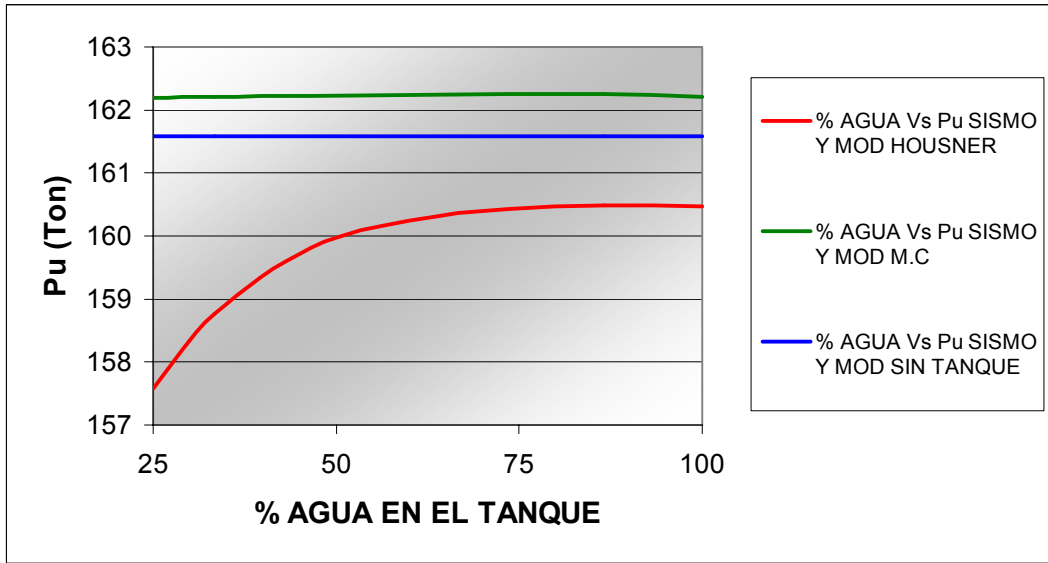
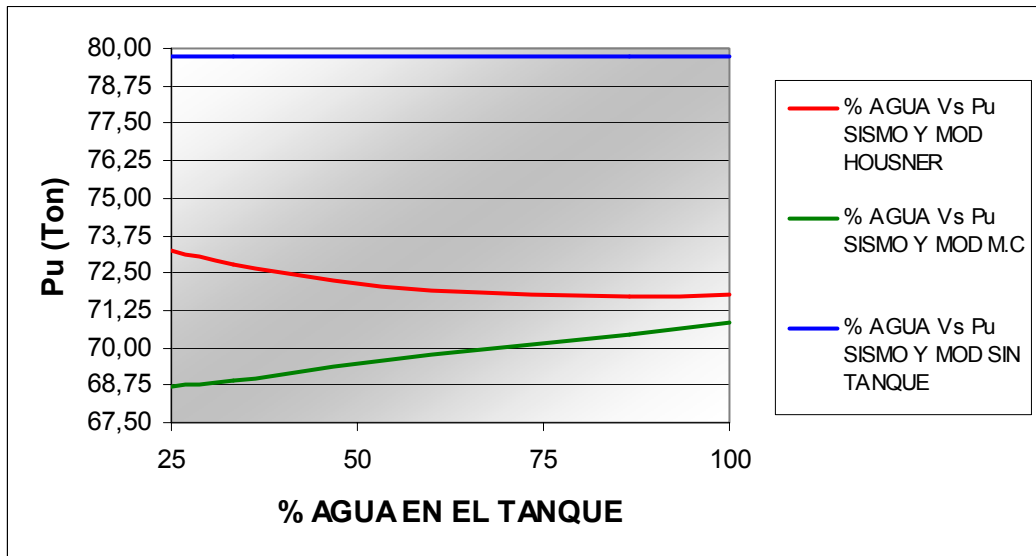


Figura 139. Porcentaje de agua Vs Pu, Sismo Y, Zona 2, Edificio Teruel.



4.4.7 Comparación de los desplazamientos de las estructuras en el sentido X

Figura 140. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), ZONA 2, Edificio Miramonti.

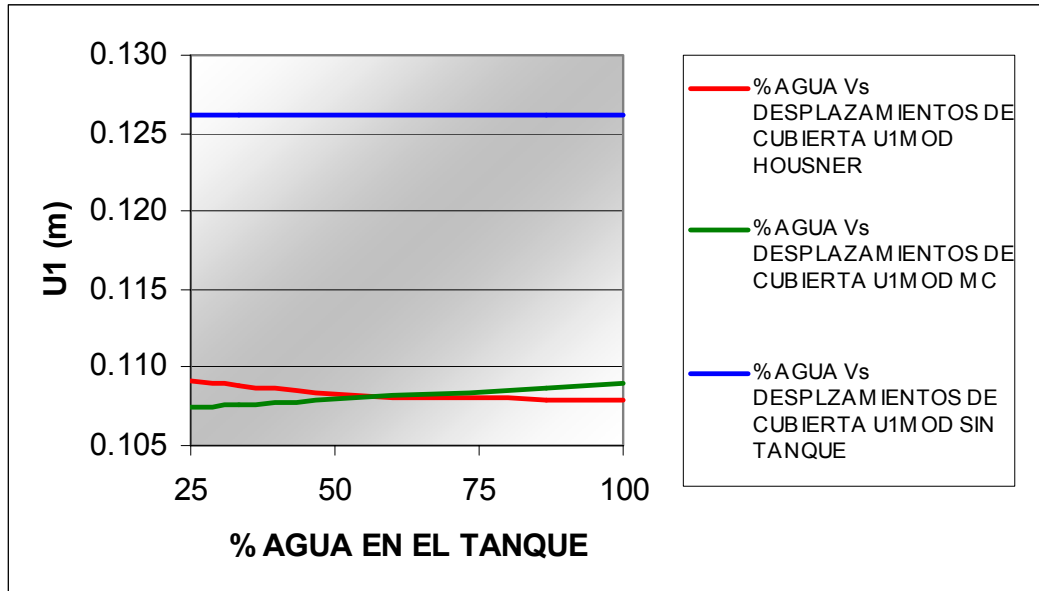


Figura 141. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), ZONA 2, Edificio Omega.

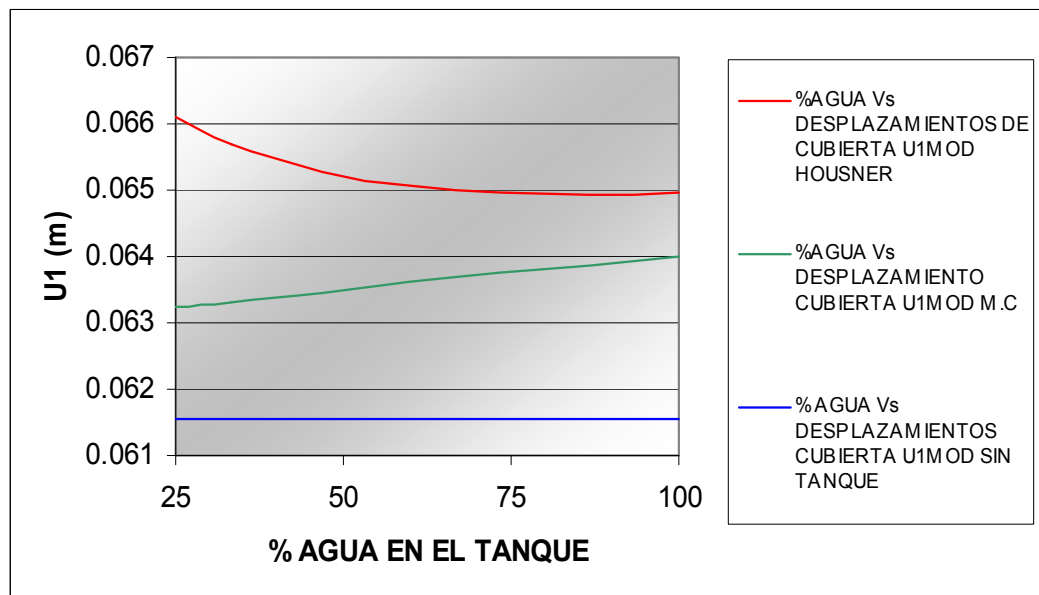


Figura 142. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), ZONA 2, Edificio Procyón.

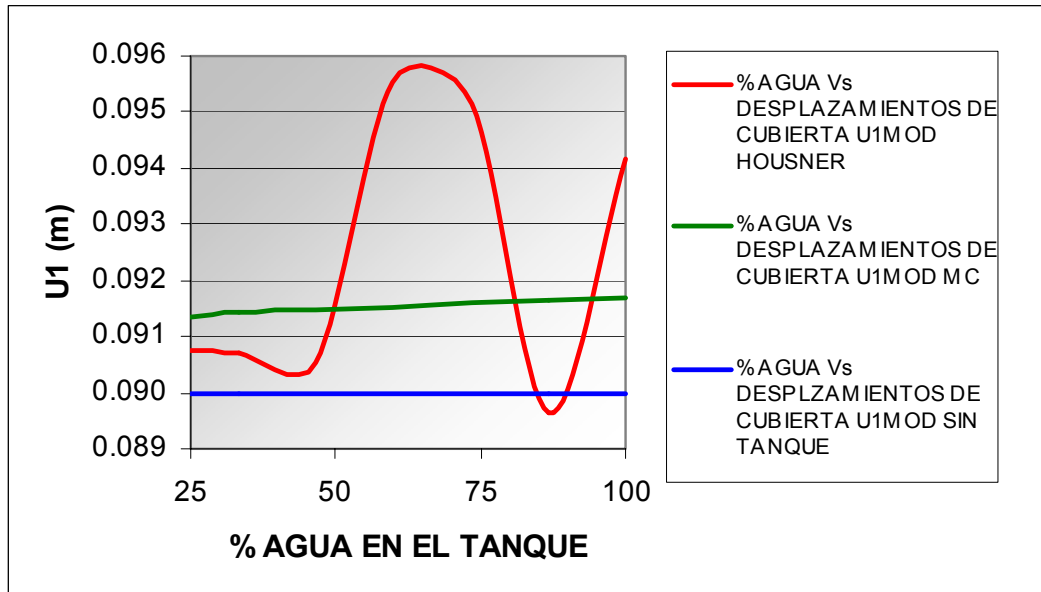
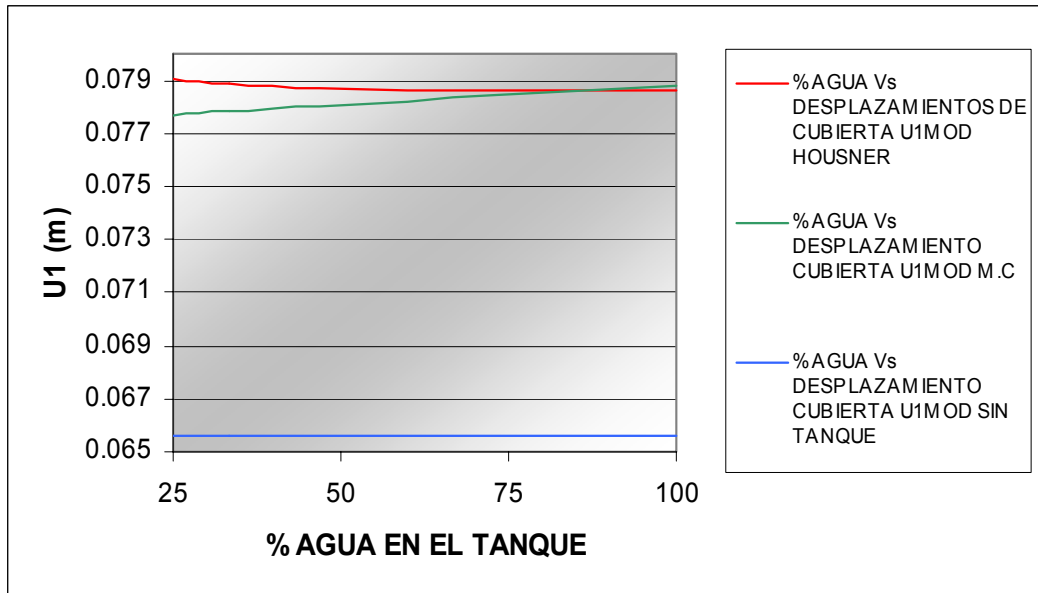


Figura 143. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido X (U1), ZONA 2, Edificio Teruel.



4.4.8 Comparación de los desplazamientos de las estructuras en el sentido Y

Figura 144. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), ZONA 2, Edificio Miramonti.

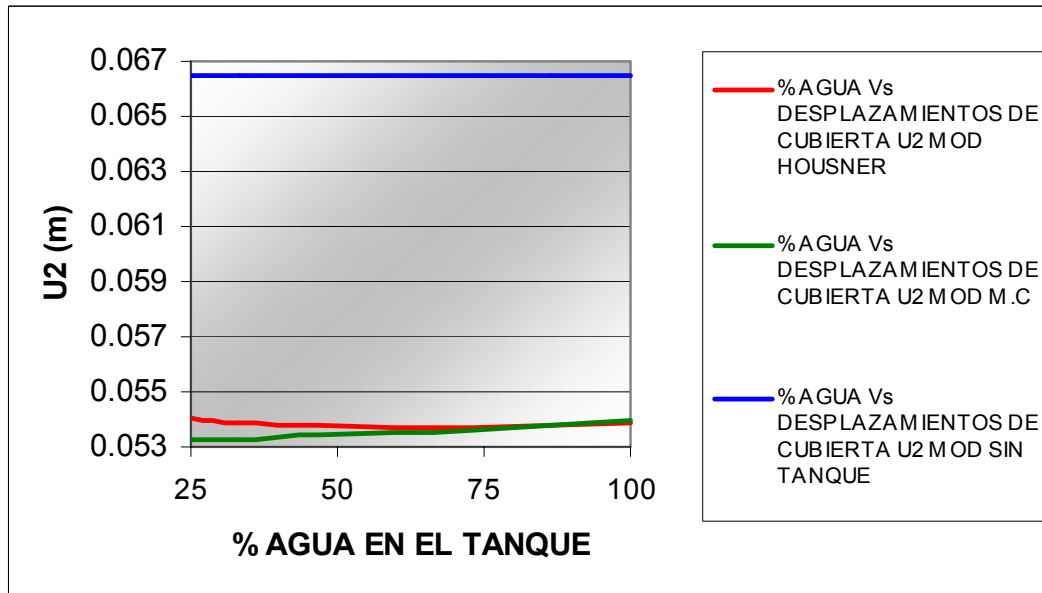


Figura 145. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), ZONA 2, Edificio Omega.

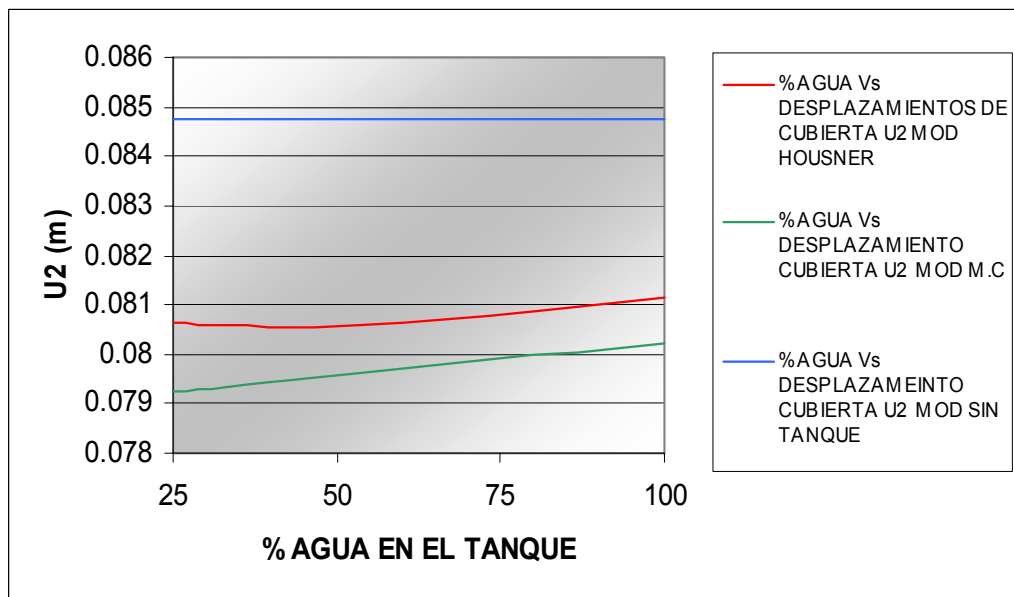


Figura 146. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), ZONA 2, Edificio Procyón.

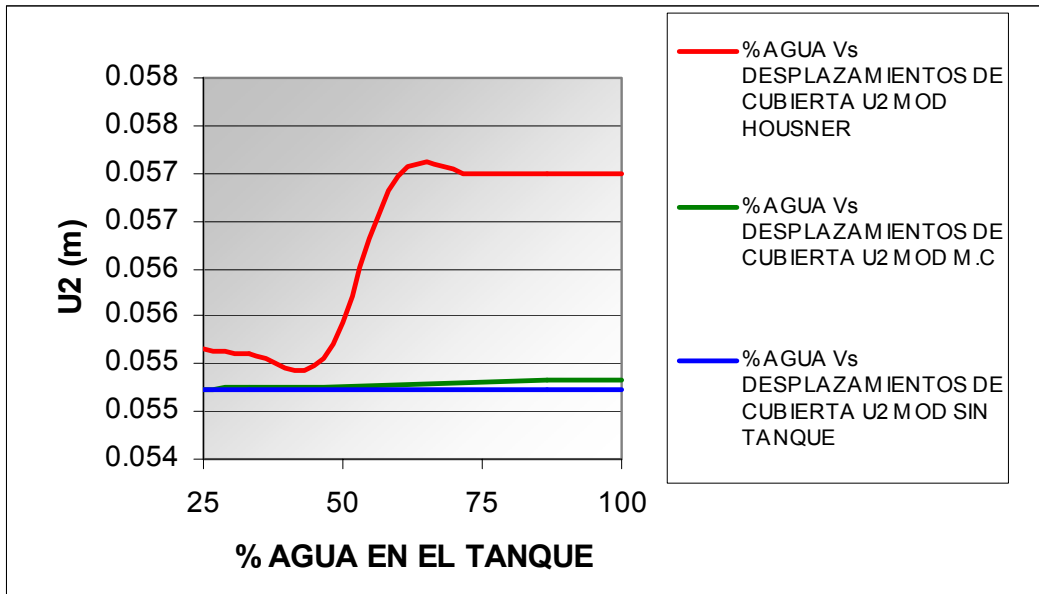
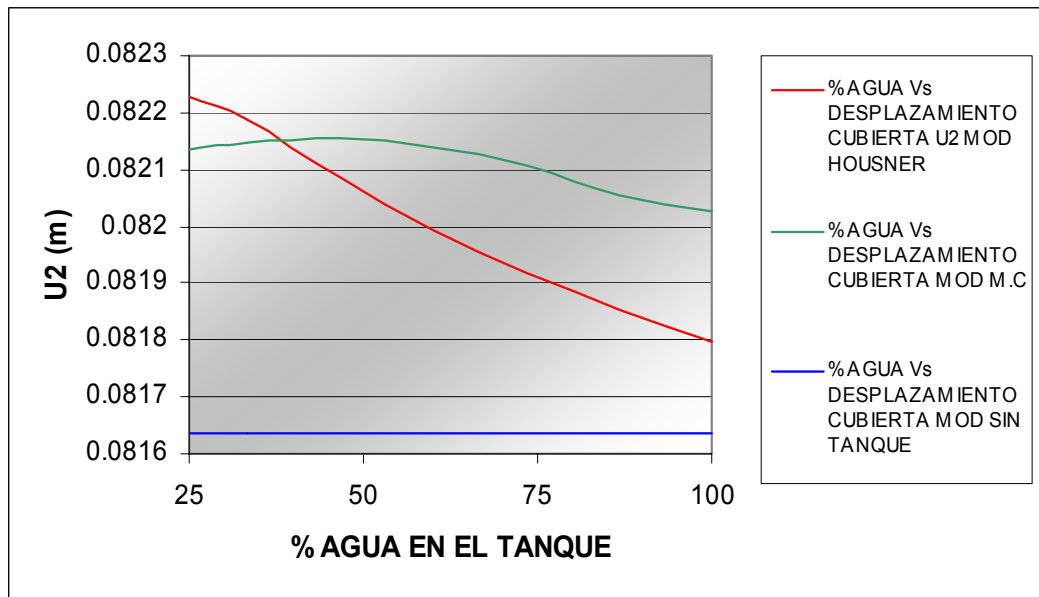


Figura 147. Porcentaje de agua Vs Desplazamientos en el sentido Y (U2), ZONA 2, Edificio Teruel.



CONCLUSIONES

Las metodologías tradicionales de análisis y diseño para estanques elevados de agua sugieren concentrar la masa del líquido contenido, sin considerar los efectos hidrodinámicos que se producen en este tipo de estructuras, debido a esto se han realizado diferentes estudios como los propuestos por G.W HOUSNER para tanques de paredes rígidas, los cuales son el tema de investigación de este proyecto y MALHOTRA para tanques de paredes flexibles, los dos métodos, si bien, simulan el comportamiento del agua, no son aplicados en muchos casos en los códigos sismorresistentes de algunos países, despreciando el efecto positivo o negativo que el líquido pueda brindar a la estructura.

El software SAP-2000, puede generar modelos que ayuden a simplificar las características del modelo equivalente propuesto por G.W HOUSNER, tales como la rigidez de los resortes, la masa impulsiva y de igual manera la masa convectiva, que es la encargada de producir los efectos hidrodinámicos. Debido a lo anteriormente mencionado se elaboraron diferentes modelos, que si bien, lograron cumplir con las características anteriormente mencionadas no fueron lo suficientemente confiables en el momento de analizar los resultados de las respuestas dinámicas a evaluar, es por eso que el modelo mas probable, que logró una positiva interacción líquido-estructura es el expuesto en el capítulo 3 de el presente proyecto, logrando errores entre los valores de período de vibración del líquido de alrededor del 0.02% y el 0.8% 4 estructuras analizadas.

Las características dinámicas de la estructura, fueron evaluadas por medio de modelos en los cuales se incluía o no el tanque de almacenamiento, variando la configuración estructural, el tipo de apoyo del tanque de almacenamiento y el

modelo que representa el líquido contenido, de esta forma se pudo observar si el apéndice ayuda a disminuir el efecto sísmico o si por el contrario, lo acentúa; las respuestas dinámicas evaluadas fueron: desplazamientos, cortantes basales y fuerzas en columnas y vigas; obteniendo como resultado variaciones que dependen tanto de la cantidad de agua almacenada en el tanque como también la configuración estructural.

La variación del volumen almacenado en los tanques de almacenamiento, juegan un papel muy importante a la hora de analizar las respuestas de las edificaciones ante las sollicitaciones sísmicas que puedan llegar a presentarse. Los resultados obtenidos muestran que las respuestas críticas de la edificación no están relacionadas con un nivel específico de agua dentro del tanque, razón por la cual resulta erróneo llegar a pensar que las respuestas críticas de la edificación ocurren cuando el tanque se encuentra ocupado al 100% de su volumen.

Para los periodos en la dirección X se observó que el tanque actúa como un disipador debido al aumento observado que oscila entre un 3% y un 14% entre el modelo de HOUSNER y el modelo sin tanque, de igual manera se observó un aumento en los periodos al comparar el modelo de masa concentrada y el modelo sin tanque, exceptuando el Edificio MIRAMONTI en el cual se logra el efecto disipador cuando el volumen de agua dentro del tanque se encuentra entre el 80 y 100% aproximadamente, con una variación observada entre un 1% y 11%. Entre los modelos de masa concentrada y HOUSNER se observó una variación entre el 4 y 8%. Para los desplazamientos en el sentido X se observa una variación entre el 1% y el 17% para el modelo de HOUSNER y el modelo sin tanque, de igual manera para el modelo de masa concentrada y modelo sin tanque; para los casos en que el tanque actúa como disipador las variaciones obtenidas entre los dos modelos y el modelo sin tanque oscilan entre el 2% y 15%. La diferencia entre el modelo de HOUSNER y el de masa concentrada oscila entre el 1% y 5%. La sumatoria de los cortantes en el sentido X, cuando el sismo entra en la misma dirección, aumentan, razón por

la cual el tanque actúa como un acentuador del efecto sísmico, su incremento vario entre un 2% y un 10% para los dos modelos propuestos y el modelo sin tanque; el porcentaje de variación entre el modelo de HOUSNER y el modelo de masa concentrada esta entre el 0.5% y el 5%. Por otra parte la sumatoria de los cortantes en la dirección Y cuando el sismo entra en dirección X disminuyen presentando una variación entre el 9% y el 52%, es importante destacar que las variaciones anteriormente mencionadas ocurren cuando el tanque se encuentra con su máxima capacidad.

Para los periodos en la dirección Y, se observó que el tanque actúa como un disipador aumentando los periodos de un 4% a un 14%, exceptuando el caso del edificio Miramonti donde se disminuyen los períodos debido a la rigidez que presenta esta estructura, los cambios oscilan entre un 7% para el modelo de HOUSNER y el modelo sin tanque y un 10% entre el modelo de masa concentrada y el modelo sin tanque. En cuanto a los desplazamientos de las cubiertas en el sentido Y, se observa una reducción de estos entre un 4% y 25%, para el edificio Miramonti y Omega cuando existe la presencia del tanque de almacenamiento. Para la sumatoria de los cortantes en la base en dirección X cuando el sismo entra en forma perpendicular a esta dirección, se observó una disminución en los edificios Miramonti y Teruel, esta disminución varia entre el 7% y el 70%, comparando el modelo de HOUSNER y el modelo sin tanque, para el modelo de masa concentrada y sin tanque se encontró una variación entre un 10% y un 70%, para los edificios Omega y Procyón se noto un efecto inverso aumentando los cortantes en la base entre un 4% y un 6% para el modelo de HOUSNER y sin tanque y un 3% para el modelo de masa concentrada y sin tanque. Cuando el sismo entra en dirección Y la sumatoria de los cortantes en esa misma dirección aumentan en todos los edificios exceptuando el Procyón, en donde disminuyen en un 5%, el porcentaje de aumento esta entre un 0.2% y un 3% para el modelo de Housner y el edificio sin tanque, para el modelo de masa concentrada y modelo sin tanque aumenta un 6% en todos los edificios, exceptuando el Procyón donde disminuyen un 1%.

Como se observó en los resultados obtenidos hay tendencias que no se mantienen en todas las estructuras, razón por la cual no se puede llegar a una conclusión evidente de cual tipo de apoyo del tanque y cual estructura brinda un mejor comportamiento, pero si se puede llegar a la conclusión que al analizar estructuras con tanques elevados de concreto, el implementar el modelo de HOUSNER al análisis es la decisión más acertada si se quieren obtener respuestas más reales. Se observó que el sistema de apoyo de dos columnas para tanques de almacenamiento presenta los elementos críticos donde el tanque de almacenamiento esta soportado.

Al momento de realizar la evaluación de los momentos y cortantes en el tanque se observó que en todas las edificaciones las respuestas fueron similares, los valores de cortante y momento cuando las estructuras eran afectadas con el sismo en dirección X oscilaban entre 8% y 17%, mientras que cuando el sismo entraba en dirección Y los valores se encontraban entre 5% y 21%, se debe tener en cuenta que los porcentajes anteriormente mencionados se analizaron con diferentes volúmenes de agua almacenada en el tanque.

RECOMENDACIONES

Los autores recomiendan profundizar en esta investigación, realizando un análisis no lineal de las estructuras, utilizando el modelo propuesto en el presente estudio, ya que este simula de una manera satisfactoria las características dinámicas de los líquidos almacenados, por otra parte se recomienda ampliar la muestra de edificaciones para el siguiente estudio y de esta manera obtener una información mas detallada de los resultados arrojados en el presente proyecto; la muestra que se recomienda es de dos sistemas similares de los estudiados en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- **NEWMARK, Natham; ROSENBLUETH, Emilio.** Fundamentals of Earthquake Engineering. PRENTICE-HALL, 1971.
- **AGREDO, Hernán; RIVERA, Sergio.** Análisis y Diseño Antisísmico de Tanques de Almacenamiento y Tuberías de Conducción, Tesis de grado, 1984.
- **AGREDO, Hernán.** Estudio comparativo de métodos de análisis dinámicos para tanques de almacenamiento. Tesis de maestría, 2004.
- **AIS,** Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismorresistente NSR – 98.
- **SARRIA, Alberto;** Ingeniería Sísmica, Ediciones Uniandes, 1982.
- **URIBE ESCAMILLA; Jairo.** Análisis de estructuras, editorial escuela colombiana de Ingeniería, 1992.
- **SUÁREZ, DÍAZ, Jaime.** Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión Y Deslizamientos, 1998.
- **INGEOMINAS.** Estudio de Microzonificación Sismogeotectónica Indicativa de Bucaramanga.
- **CITERRA.** Manual de análisis y diseño en SAP – 2000.
- **MALDONADO; Esperanza; CHIO; Gustavo.** DINÁMICA ESTRUCTURAL, Escuela de Ingeniería Civil, 1995.

- **GARCÍA, GEI; Daniel.** Tanques y recipientes apoyados y elevados- Análisis de acciones sísmicas. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza, Departamento Ingeniería Civil, 2003. Artículo

PÄGINAS DE INTERNET

- **SALVA HUERTAS, Ildelfonso.** Eficiencia Estructural de Diferentes Tanques de Concreto.
<http://civil.uprm.edu/professor/godoy/INCI6027/IldelfonsoSalva.pdf>.
- **MUÑOZ; Mauricio.** Análisis Paramétrico de Estanques Elevados de Agua.
www.revistabit.cl/body_articulo.asp?ID_Articulo=765
- **MODELING OF SLOSHING.**
www.nd.edu/~syalla/Dissertation_pdf_files/chapter2.

SOFTWARE

- **SAP – 2000.** Nonlinear version 8.16. Integrated Structural Analysis and Design software. CSI Computer and Structures Inc. Berkeley CA.

ANEXOS

ANEXO A

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA ALMACENADA

En este anexo se consignan las tablas que contienen las características dinámicas del agua almacenada en el tanque; esas características fueron calculadas utilizando el modelo mecánico equivalente propuesto por G.W Housner. Cabe anotar que la variación de agua dentro del tanque se realizó primero con base en el nivel del agua y luego se decidió hacer la variación por porcentaje para poder comparar los diferentes modelos ya que los tanques de los edificios tienen diferentes alturas.

Tabla A1. Relación entre el % de agua en el tanque del ED Miramonti y la masa del agua.

% AGUA EN EL TANQUE	M MASA DEL AGUA
100	4,33
86,67	3,76
73,33	3,18
60	2,60
46,67	2,02
33,33	1,44
25	1,16

Tabla A2. Características dinámicas del agua almacenada en el tanque del ED Miramonti; sismo en la dirección X.

% AGUA EN EL TANQUE	m_{0x}	m_{1x}	Z_{0x}	Z_{1x}	$K_x / 2$	T_x	x	η_x
100	1,29	2,97	2,35	2,96	5,16	3,37	0,58	1,09
86,67	0,97	2,69	2,37	3,22	4,22	3,55	0,61	0,96
73,33	0,70	2,36	2,40	3,63	3,27	3,78	0,65	0,81
60	0,47	2,00	2,42	4,26	2,34	4,11	0,71	0,66
46,67	0,28	1,60	2,45	5,30	1,50	4,59	0,79	0,51
33,33	0,14	1,17	2,47	7,24	0,80	5,37	0,92	0,36
25	0,09	0,94	2,48	8,97	0,52	5,98	1,03	0,29

Tabla A3. Características dinámicas del agua almacenada en el tanque del ED Miramonti; sismo en la dirección Y.

% AGUA EN EL TANQUE	m_{0y}	m_{1y}	Z_{0y}	Z_{1y}	$K_y / 2$	T_y	y	η_y
100	1,58	2,74	1,89	2,19	6,63	2,86	0,60	1,96
86,67	1,19	2,52	1,91	2,33	5,60	2,98	0,63	1,61
73,33	0,86	2,25	1,93	2,56	4,47	3,15	0,67	1,29
60	0,57	1,93	1,95	2,94	3,30	3,40	0,72	0,99
46,67	0,35	1,57	1,97	3,60	2,17	3,78	0,80	0,72
33,33	0,18	1,16	2,00	4,86	1,18	4,40	0,93	0,49
25	0,11	0,94	2,01	5,99	0,78	4,88	1,03	0,38

Tabla A4. Relación entre el % de agua en el tanque del ED Teruel y la masa del agua.

% AGUA EN EL TANQUE	M
	MASA DEL AGUA
100	2,95
86,67	2,55
73,33	2,16
60	1,77
46,67	1,38
33,33	0,98
25	0,79

Tabla A5. Características dinámicas del agua almacenada en el tanque del ED Teruel; sismo en la dirección X.

% AGUA EN EL TANQUE	m_{0x}	m_{1x}	Z_{0x}	Z_{1x}	$K_x / 2$	T_x	x	η_x
100	1,43	1,57	1,37	1,53	6,00	2,27	0,58	2,68
86,67	1,09	1,48	1,37	1,53	5,35	2,34	0,61	2,33
73,33	0,79	1,36	1,38	1,59	4,54	2,44	0,65	1,93
60	0,53	1,21	1,39	1,74	3,56	2,59	0,71	1,50
46,67	0,32	1,01	1,42	2,04	2,48	2,83	0,79	1,09
33,33	0,17	0,76	1,44	2,67	1,42	3,25	0,92	0,71
25	0,11	0,62	1,45	3,25	0,95	3,60	1,03	0,55

Tabla A6. Características dinámicas del agua almacenada en el tanque del ED Teruel; sismo en la dirección Y.

% AGUA EN EL TANQUE	m_{0y}	m_{1y}	Z_{0y}	Z_{1y}	$K_y / 2$	T_y	y	η_y
100	0,94	1,97	2,18	2,66	3,84	3,18	0,60	1,02
86,67	0,71	1,79	2,20	2,87	3,17	3,34	0,63	0,91
73,33	0,51	1,58	2,23	3,21	2,48	3,55	0,67	0,79
60	0,34	1,35	2,25	3,75	1,79	3,85	0,72	0,66
46,67	0,21	1,08	2,27	4,64	1,16	4,29	0,80	0,53
33,33	0,11	0,79	2,30	6,32	0,62	5,02	0,93	0,38
25	0,07	0,64	2,31	7,81	0,41	5,58	1,03	0,30

Tabla A7. Relación entre el % de agua en el tanque del ED Omega y la masa del agua.

% AGUA EN EL TANQUE	M MASA DEL AGUA
100	1,64
86,67	1,42
73,33	1,21
60	0,99
46,67	0,77
33,33	0,55
25	0,44

Tabla A8. Características dinámicas del agua almacenada en el tanque del ED Omega; sismo en la dirección X.

% AGUA EN EL TANQUE	m_{0x}	m_{1x}	Z_{0x}	Z_{1x}	$K_x / 2$	T_x	x	η_x
100	0,58	1,06	2,09	2,45	2,27	3,03	0,97	1,79
86,67	0,44	0,97	2,11	2,61	1,90	3,17	1,02	1,49
73,33	0,31	0,86	2,13	2,89	1,51	3,35	1,08	1,20
60	0,21	0,74	2,16	3,33	1,11	3,62	1,16	0,93
46,67	0,13	0,60	2,18	4,09	0,73	4,03	1,29	0,69
33,33	0,06	0,44	2,21	5,54	0,39	4,69	1,51	0,46
25	0,04	0,36	2,22	6,83	0,26	5,22	1,67	0,36

Tabla A9. Características dinámicas del agua almacenada en el tanque del ED Omega; sismo en la dirección Y.

% AGUA EN EL TANQUE	m_{0y}	m_{1y}	Z_{0y}	Z_{1y}	$K_y / 2$	T_y	y	η_y
100	1,25	0,50	0,87	1,28	3,99	1,58	-1,41	0,05
86,67	1,01	0,50	0,82	1,11	3,92	1,58	-1,41	0,05
73,33	0,77	0,49	0,78	0,97	3,76	1,60	-1,43	0,05
60	0,55	0,47	0,75	0,87	3,47	1,63	-1,46	0,05
46,67	0,35	0,43	0,74	0,83	2,94	1,70	-1,52	0,05
33,33	0,18	0,36	0,75	0,91	2,08	1,85	-1,67	0,06
25	0,12	0,31	0,76	1,03	1,54	2,00	-1,80	0,06

Tabla A10. Relación entre el % de agua en el tanque del ED Procyón y la masa del agua.

% AGUA EN EL TANQUE	M MASA DEL AGUA
100	1,54
86,67	1,34
73,33	1,13
60	0,93
46,67	0,72
33,33	0,51
25	0,41

Tabla A11. Características dinámicas del agua almacenada en el tanque del ED Procyón; sismo en la dirección X.

% AGUA EN EL TANQUE	m_{0x}	m_{1x}	Z_{0x}	Z_{1x}	$K_x / 2$	T_x	x	η_x
100	1,16	0,48	0,82	1,20	3,99	1,53	1,44	-0,52
86,67	0,94	0,47	0,77	1,04	3,91	1,54	1,46	-0,52
73,33	0,72	0,46	0,74	0,91	3,76	1,56	1,47	-0,53
60	0,51	0,44	0,71	0,82	3,46	1,59	1,51	-0,56
46,67	0,32	0,41	0,71	0,79	2,92	1,66	1,56	-0,63
33,33	0,17	0,34	0,71	0,86	2,06	1,81	1,71	-0,81
25	0,11	0,29	0,72	0,98	1,52	1,95	1,86	-1,11

Tabla A12. Características dinámicas del agua almacenada en el tanque del ED Procyón; sismo en la dirección Y.

% AGUA EN EL TANQUE	m_{0y}	m_{1y}	Z_{0y}	Z_{1y}	$K_x / 2$	T_y	y	η_y
100	0,48	1,04	2,23	2,73	1,96	3,23	0,98	0,95
86,67	0,36	0,94	2,25	2,96	1,62	3,39	1,03	0,85
73,33	0,26	0,83	2,27	3,31	1,26	3,61	1,10	0,75
60	0,18	0,71	2,29	3,87	0,91	3,91	1,19	0,63
46,67	0,11	0,57	2,32	4,80	0,59	4,37	1,32	0,50
33,33	0,05	0,42	2,34	6,54	0,31	5,10	1,54	0,37
25	0,03	0,34	2,36	8,10	0,21	5,68	1,71	0,30

Los desplazamientos de la masa convectiva que aparecen señalados con azul, fueron tomados de los resultados de cada modelo con el modo de vibración fundamental para el agua almacenada del software SAP-2000.

ANEXO B

RESPUESTAS DE LAS ESTRUCTURAS ESTUDIADAS

En este anexo se consignan las tablas que contienen los datos de las respuestas de la estructura, esas respuestas que se estudiaron fueron:

- **Periodos de vibración de la estructura.** estos periodos fueron tomados con coeficientes de participación de masa de mínimo 90% como lo recomienda la NSR-98. Además los periodos que aparecen consignados son los que corresponden a los modos en X & Y con el mayor coeficiente de participación.
- **Desplazamientos de la cubierta.** Los desplazamientos de la cubierta son los que corresponden de igual manera que los periodos a los modos con el mayor coeficiente de participación modal.
- **Cortantes dinámicos en la base de la estructura.** estas respuestas representan las sumatorias de los cortantes para todos los nodos que representan apoyos de la estructura, en cada dirección.
- **Cargas axiales y momentos biaxiales máximos en columnas.** Se analizaron en este aparte como se dice solo las cargas máximas que se presentaban en las columnas lo cual implica que no siempre se tenían las mismas columnas mas cargadas para cada modelo analizado.
- **Cortantes y momentos máximos en vigas.** Con estas respuestas sucede lo mismo que sucede con las columnas.

Estas respuestas de la estructura, se hallaron tomando como sollicitación sísmica el espectro de diseño de la NSR – 98 y el espectro para la zona 2 del estudio de microzonificación del área metropolitana de Bucaramanga. Cabe anotar que las repuestas se tomaron para los diferentes modelos de estructura que se tenían, que eran el modelo de G.W Housner, el modelo de masa concentrada y el modelo de la estructura sin tanque.

Tabla B1. Periodos de vibración del ED Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
100	0,914433	0,453921	0,910151	0,451418	0,906000	0,486087
86,667	0,913412	0,452839	0,906287	0,449437	0,906000	0,486087
73,333	0,913228	0,452117	0,902344	0,447414	0,906000	0,486087
60	0,914011	0,451783	0,898389	0,445386	0,906000	0,486087
46,667	0,916355	0,452160	0,894422	0,443351	0,906000	0,486087
33,333	0,921894	0,453703	0,890444	0,441311	0,906000	0,486087
25	0,927216	0,455359	0,888519	0,440324	0,906000	0,486087

Tabla B2. Desplazamientos de cubierta del ED Miramonti. NSR-98

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100	0.0899	0.0423	0.0908	0.0424	0.1050	0.0546
86,667	0.0899	0.0422	0.0906	0.0421	0.1050	0.0546
73,333	0.0900	0.0421	0.0903	0.0419	0.1050	0.0546
60	0.0901	0.0421	0.0901	0.0416	0.1050	0.0546
46,667	0.0903	0.0421	0.0898	0.0413	0.1050	0.0546
33,333	0.0906	0.0423	0.0896	0.0410	0.1050	0.0546
25	0.0909	0.0425	0.0895	0.0409	0.1050	0.0546

Tabla B3. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en X y espectro NSR-98, ED Miramonti

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	515,41	302,57	3562,11	517,61	301,96	3569,52	508,02	332,22	3626,10
86,66	515,62	302,60	3563,45	516,92	301,37	3565,57	508,02	332,22	3626,10
73,33	515,91	302,76	3565,61	516,23	300,76	3561,48	508,02	332,22	3626,10
60	516,25	303,05	3568,50	515,67	300,20	3558,05	508,02	332,22	3626,10
46,66	516,66	303,52	3572,43	515,27	299,73	3555,57	508,02	332,22	3626,10
33,33	517,25	304,47	3578,76	514,90	299,27	3553,05	508,02	332,22	3626,10
25	517,63	305,54	3584,02	514,73	299,05	3551,82	508,02	332,22	3626,10

Tabla B4. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en X y espectro Zona 2, ED Miramonti

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	638,84	367,98	4322,40	640,41	366,63	4329,98	631,68	403,07	4406,79
86,66	639,09	368,01	4323,97	639,39	365,87	4324,97	631,68	403,07	4406,79
73,33	639,43	368,19	4326,57	638,40	365,09	4319,86	631,68	403,07	4406,79
60	639,84	368,54	4330,07	637,57	364,38	4315,52	631,68	403,07	4406,79
46,66	640,33	369,15	4334,88	636,94	363,77	4312,32	631,68	403,07	4406,79
33,33	641,04	370,38	4342,69	636,35	363,18	4309,08	631,68	403,07	4406,79
25	641,50	371,89	4349,28	636,09	362,90	4307,51	631,68	403,07	4406,79

Tabla B5. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en Y & espectro NSR-98, ED Miramonti

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	666,82	769,86	4369,39	662,90	767,93	4351,17	712,09	726,51	4415,36
86,66	665,51	768,95	4362,00	660,09	765,48	4334,44	712,09	726,51	4415,36
73,33	664,69	768,40	4357,41	656,48	762,22	4312,52	712,09	726,51	4415,36
60	664,37	768,21	4355,70	652,87	759,01	4290,64	712,09	726,51	4415,36
46,66	664,99	768,70	4359,31	649,27	755,83	4268,81	712,09	726,51	4415,36
33,33	667,11	770,27	4371,52	645,67	752,68	4247,00	712,09	726,51	4415,36
25	669,33	771,87	4384,12	643,94	751,18	4236,49	712,09	726,51	4415,36

Tabla B6. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en Y & espectro Zona 2, ED Miramonti

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	850,86	991,73	5581,53	847,89	990,56	5572,51	872,37	915,76	5435,35
86,66	850,26	991,67	5579,15	846,89	990,02	5567,92	872,37	915,76	5435,35
73,33	849,92	991,69	5577,96	846,45	990,16	5567,03	872,37	915,76	5435,35
60	849,85	991,79	5577,94	845,99	990,34	5566,00	872,37	915,76	5435,35
46,667	850,26	992,03	5580,12	845,50	990,56	5564,81	872,37	915,76	5435,35
33,333	851,45	992,47	5585,67	844,97	990,80	5563,47	872,37	915,76	5435,35
25	852,62	992,84	5590,91	844,71	990,92	5562,77	872,37	915,76	5435,35

Tabla B7. Cargas axiales máximas en columnas utilizando el espectro NSR-98, ED Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100	59,818600	36,833000	59,869300	36,589400	68,598700	48,203700
86,667	59,818400	36,728400	59,712600	36,369900	68,598700	48,203700
73,333	59,853000	36,661300	59,550200	36,104300	68,598700	48,203700
60	59,923400	36,633700	59,397000	35,838500	68,598700	48,203700
46,667	60,049800	36,678800	59,258200	35,572400	68,598700	48,203700
33,333	60,292800	36,842000	59,116100	35,306100	68,598700	48,203700
25	60,506000	37,012500	59,046400	35,177400	68,598700	48,203700

Tabla B8. Cargas axiales máximas en columnas utilizando el espectro Zona 2, ED Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100	71,799500	46,931300	71,870300	46,757100	82,500300	58,989800
86,667	71,800300	46,859000	71,683300	46,620800	82,500300	58,989800
73,333	71,843000	46,814000	71,489600	46,512800	82,500300	58,989800
60	71,928600	46,797500	71,306600	46,401600	82,500300	58,989800
46,667	72,080700	46,834200	71,140500	46,287400	82,500300	58,989800
33,333	72,371700	46,955400	70,970500	46,169900	82,500300	58,989800
25	72,626600	47,078600	70,887000	46,112000	82,500300	58,989800

Tabla B9. Momentos máximos en columnas, sismo X y espectro NSR-98, ED Miramonti.

COL 617 – COL 45

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	2,760360	27,596730	2,769630	27,662550	3,227360	23,748540
86,667	2,761410	27,607420	2,767210	27,637160	3,227360	23,748540
73,333	2,762990	27,624460	2,764530	27,610720	3,227360	23,748540
60	2,765020	27,646990	2,762320	27,589050	3,227360	23,748540
46,667	2,767690	27,677540	2,760840	27,574500	3,227360	23,748540
33,333	2,771870	27,726240	2,759330	27,559190	3,227360	23,748540
25	2,775350	27,765170	2,758580	27,551520	3,227360	23,748540

Tabla B10. Momentos máximos en columnas, sismo X y espectro Zona 2, ED Miramonti.
COL 617 – COL 45

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	3,326100	33,381460	3,339380	33,457670	3,885720	28,788980
86,667	3,327480	33,393410	3,336810	33,425340	3,885720	28,788980
73,333	3,329430	33,413710	3,334130	33,391710	3,885720	28,788980
60	3,331840	33,441300	3,331970	33,363620	3,885720	28,788980
46,667	3,334890	33,479590	3,330670	33,343830	3,885720	28,788980
33,333	3,339510	33,541990	3,329320	33,323090	3,885720	28,788980
25	3,343340	33,592610	3,328660	33,312720	3,885720	28,788980

Tabla B11. Momentos máximos en columnas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Miramonti.
COL 619 – COL 596 – COL 624 – COL 601

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	16,330830	3,983560	16,253780	3,963420	21,784980	6,227420
86,667	16,293130	3,974270	16,171950	3,943510	21,784980	6,227420
73,333	16,269220	3,968370	16,069900	3,918810	21,784980	6,227420
60	16,259690	3,966010	15,967830	3,894110	21,784980	6,227420
46,667	16,276760	3,970210	15,865750	3,869430	21,784980	6,227420
33,333	16,336830	3,985020	15,763650	3,844720	21,784980	6,227420
25	16,399370	4,000450	15,714350	3,832780	21,784980	6,227420

Tabla B12. Momentos máximos en columnas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Miramonti

COL 619 – COL 596 – COL 624 – COL 601

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	20,805540	5,068070	20,770790	5,056430	26,723470	7,633970
86,667	20,784750	5,062610	20,730620	5,046160	26,723470	7,633970
73,333	20,772370	5,059320	20,703740	5,038990	26,723470	7,633970
60	20,768600	5,058270	20,675840	5,031560	26,723470	7,633970
46,667	20,781000	5,061420	20,646880	5,023880	26,723470	7,633970
33,333	20,818850	5,071210	20,616880	5,015910	26,723470	7,633970
25	20,856560	5,081020	20,602010	5,011960	26,723470	7,633970

Tabla B13. Momentos máximos en vigas, sismo X y espectro NSR-98, ED Miramonti. VIG 338

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	14,646300	29,786710	14,673500	29,841160	13,510100	27,554680
86,667	14,650400	29,795050	14,651900	29,796810	13,510100	27,554680
73,333	14,659500	29,813620	14,629500	29,750690	13,510100	27,554680
60	14,673400	29,841960	14,609400	29,709540	13,510100	27,554680
46,667	14,694500	29,885040	14,593200	29,676000	13,510100	27,554680
33,333	14,731000	29,959870	14,576300	29,641310	13,510100	27,554680
25	14,761500	30,022360	14,568000	29,624140	13,510100	27,554680

Tabla B14. Momentos máximos en vigas, sismo X y espectro Zona 2, ED Miramonti. VIG 338

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	17,588600	35,770020	17,621800	35,836320	16,234300	33,109020
86,667	17,593600	35,780180	17,595900	35,783180	16,234300	33,109020
73,333	17,604800	35,802860	17,568900	35,727860	16,234300	33,109020
60	17,621700	35,837350	17,544800	35,678340	16,234300	33,109020
46,667	17,647200	35,889580	17,525100	35,637730	16,234300	33,109020
33,333	17,691400	35,980070	17,504700	35,595690	16,234300	33,109020
25	17,728200	36,055580	17,494600	35,574890	16,234300	33,109020

Tabla B15. Momentos máximos en vigas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Miramonti.

VIG 227 – VIG 231

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	21,065700	34,272480	20,986400	34,142300	17,720200	32,354900
86,667	21,016100	34,191250	20,878400	33,965740	17,720200	32,354900
73,333	20,984600	34,139620	20,744300	33,746630	17,720200	32,354900
60	20,971900	34,118810	20,610200	33,527480	17,720200	32,354900
46,667	20,994000	34,154910	20,476100	33,308290	17,720200	32,354900
33,333	21,072100	34,282710	20,341900	33,089070	17,720200	32,354900
25	21,153400	34,415560	20,277100	32,983220	17,720200	32,354900

Tabla B16. Momentos máximos en vigas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Miramonti.
VIG 227 – VIG 231

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	26,840100	43,666750	26,821800	43,635420	21,672600	39,571390
86,667	26,812000	43,620460	26,766900	43,545000	21,672600	39,571390
73,333	26,795200	43,592640	26,729100	43,482290	21,672600	39,571390
60	26,789800	43,583700	26,690000	43,417340	21,672600	39,571390
46,667	26,805900	43,610090	26,649400	43,350120	21,672600	39,571390
33,333	26,855600	43,691670	26,607500	43,280640	21,672600	39,571390
25	26,904900	43,772790	26,586700	43,246280	21,672600	39,571390

Tabla B17. Cortantes máximos en vigas, sismo X y espectro NSR-98, ED Miramonti.
VIG 342

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	21,459000	21,890600	21,498600	21,933440	18,526200	18,377200
86,667	21,464900	21,896840	21,465400	21,900640	18,526200	18,377200
73,333	21,478300	21,910620	21,431000	21,866530	18,526200	18,377200
60	21,499100	21,931610	21,400100	21,836080	18,526200	18,377200
46,667	21,530800	21,963460	21,374800	21,811240	18,526200	18,377200
33,333	21,586200	22,018730	21,348600	21,785550	18,526200	18,377200
25	21,632600	22,064860	21,335700	21,772850	18,526200	18,377200

Tabla B18. Cortantes máximos en vigas, sismo X y espectro Zona 2, ED Miramonti.

VIG 342

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	25,771100	26,293450	25,818500	26,344980	22,273300	22,107740
86,667	25,778300	26,301040	25,778800	26,305630	22,273300	22,107740
73,333	25,794700	26,317870	25,737500	26,264740	22,273300	22,107740
60	25,820000	26,343420	25,700400	26,228140	22,273300	22,107740
46,667	25,858400	26,382040	25,669800	26,198100	22,273300	22,107740
33,333	25,925400	26,448890	25,638100	26,167030	22,273300	22,107740
25	25,981300	26,504630	25,622500	26,151660	22,273300	22,107740

Tabla B19. Cortantes máximos en vigas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Miramonti. VIG 231 – VIG 367

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	21,065700	34,272480	20,986400	34,142300	18,427700	32,097050
86,667	21,016100	34,191250	20,878400	33,965740	18,427700	32,097050
73,333	20,984600	34,139620	20,746900	33,663270	18,427700	32,097050
60	20,971900	34,118810	20,626800	33,467000	18,427700	32,097050
46,667	20,994000	34,154910	20,506900	33,270790	18,427700	32,097050
33,333	21,072100	34,282710	20,387000	33,074660	18,427700	32,097050
25	21,153400	34,415560	20,329100	32,980000	18,427700	32,097050

Tabla B20. Cortantes máximos en vigas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Miramonti. VIG 231 – VIG 367

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	26,840100	43,666750	26,821800	43,635420	22,539500	39,256510
86,667	26,812000	43,620460	26,766900	43,545000	22,539500	39,256510
73,333	26,795200	43,592640	26,731900	43,373850	22,539500	39,256510
60	26,789800	43,583700	26,711000	43,337950	22,539500	39,256510
46,667	26,805900	43,610090	26,689000	43,300230	22,539500	39,256510
33,333	26,855600	43,691670	26,665900	43,260690	22,539500	39,256510
25	26,904900	43,772790	26,654300	43,240950	22,539500	39,256510

Tabla B21. Periodos de vibración del ED Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
100	0,688327	0,722377	0,668100	0,702269	0,594764	0,648946
86,667	0,683253	0,720747	0,661721	0,696210	0,594764	0,648946
73,333	0,679290	0,720520	0,655514	0,690322	0,594764	0,648946
60	0,676700	0,722160	0,649322	0,684459	0,594764	0,648946
46,667	0,676057	0,726908	0,643148	0,678628	0,594764	0,648946
33,333	0,678864	0,737787	0,636840	0,672684	0,594764	0,648946
25	0,682500	0,748042	0,633853	0,669877	0,594764	0,648946

Tabla B22. Desplazamientos de cubierta del ED Teruel. NSR-98

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100	0.06551	0.068148	0.065664	0.068333	0.054674	0.068006
86,667	0.065482	0.068194	0.065504	0.068357	0.054674	0.068006
73,333	0.065475	0.068249	0.065325	0.068399	0.054674	0.068006
60	0.065504	0.068311	0.065132	0.068427	0.054674	0.068006
46,667	0.065582	0.068385	0.064995	0.068439	0.054674	0.068006
33,333	0.065726	0.068468	0.064821	0.068432	0.054674	0.068006
25	0.065835	0.068502	0.064725	0.068421	0.054674	0.068006

Tabla B23. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en X y espectro NSR-98, ED Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	173,76	41,57	759,18	174,62	44,20	753,38	157,63	85,55	754,85
86,667	174,06	41,99	757,84	174,64	45,05	749,98	157,63	85,55	754,85
73,333	174,34	42,34	756,96	174,60	45,96	746,47	157,63	85,55	754,85
60	174,60	42,60	756,75	174,52	46,95	742,89	157,63	85,55	754,85
46,667	174,84	42,70	757,49	174,60	48,08	740,09	157,63	85,55	754,85
33,333	174,98	42,51	759,69	174,61	49,29	737,04	157,63	85,55	754,85
25	174,98	42,23	761,65	174,59	49,89	735,53	157,63	85,55	754,85

Tabla B24. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en X y espectro Zona 2, ED Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	211,86	51,45	916,52	212,47	54,62	908,90	191,52	103,87	909,75
86,667	212,18	51,94	914,80	212,42	55,68	904,66	191,52	103,87	909,75
73,333	212,48	52,35	913,63	212,29	56,82	900,29	191,52	103,87	909,75
60	212,76	52,66	913,29	212,13	58,06	895,86	191,52	103,87	909,75
46,667	213,03	52,78	914,15	212,13	59,46	892,37	191,52	103,87	909,75
33,333	213,23	52,55	916,84	212,07	60,97	888,63	191,52	103,87	909,75
25	213,25	52,23	919,28	212,01	61,70	886,80	191,52	103,87	909,75

Tabla B25. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en Y & espectro NSR-98, ED Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	21,45	171,93	620,90	20,89	172,07	610,24	71,47	161,63	631,54
86,667	21,38	172,06	620,42	20,98	172,13	606,91	71,47	161,63	631,54
73,333	21,36	172,19	620,78	21,18	172,22	603,92	71,47	161,63	631,54
60	21,43	172,32	622,22	21,53	172,27	600,95	71,47	161,63	631,54
46,667	21,56	172,43	625,34	22,04	172,27	598,08	71,47	161,63	631,54
33,333	21,58	172,49	631,53	22,77	172,21	595,26	71,47	161,63	631,54
25	22,08	172,40	636,84	23,19	172,16	593,98	71,47	161,63	631,54

Tabla B26. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en Y & espectro Zona2, ED Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	27,26	209,05	746,86	26,06	209,06	733,66	86,22	196,25	758,90
86,667	27,14	209,20	746,26	26,02	209,10	729,56	86,22	196,25	758,90
73,333	27,11	209,36	746,69	26,14	209,18	725,89	86,22	196,25	758,90
60	27,22	209,51	748,46	26,44	209,22	722,27	86,22	196,25	758,90
46,667	27,45	209,67	752,31	26,97	209,19	718,80	86,22	196,25	758,90
33,333	27,54	209,83	759,92	27,78	209,10	715,44	86,22	196,25	758,90
25	28,32	209,78	766,51	28,27	209,03	713,93	86,22	196,25	758,90

Tabla B27. Cargas axiales máximas en columnas utilizando el espectro NSR-98, ED Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100	133,8979	59,7790	131,9153	58,9889	116,5631	66,4535
86,667	133,4691	59,7531	131,0049	58,6985	116,5631	66,4535
73,333	133,1596	59,7916	130,0623	58,4179	116,5631	66,4535
60	133,0226	59,9117	129,0852	58,1120	116,5631	66,4535
46,667	133,1334	60,1632	128,2174	57,7801	116,5631	66,4535
33,333	133,6424	60,6426	127,2603	57,4100	116,5631	66,4535
25	134,1383	61,0289	126,7816	57,2230	116,5631	66,4535

Tabla B28. Cargas axiales máximas en columnas utilizando el espectro Zona 2, ED Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100	160,7606	71,7546	158,3707	70,8186	139,8830	79,7484
86,667	160,2420	71,7248	157,2771	70,4715	139,8830	79,7484
73,333	159,8668	71,7722	156,1463	70,1362	139,8830	79,7484
60	159,6983	71,9179	154,9762	69,7706	139,8830	79,7484
46,667	159,8293	72,2206	153,9393	69,3736	139,8830	79,7484
33,333	160,4419	72,7952	152,7983	68,9307	139,8830	79,7484
25	161,0399	73,2574	152,2286	68,7070	139,8830	79,7484

Tabla B29. Momentos máximos en columnas, sismo X y espectro NSR-98, ED Teruel.
COL 355 – COL 14 – COL 363- COL 379- COL 373

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	7,338450	15,787740	7,855250	15,318540	15,631680	13,302280
86,667	7,433640	15,400500	7,989320	15,361050	15,631680	13,302280
73,333	7,513110	15,165780	8,119510	15,397470	15,631680	13,302280
60	7,570580	15,203660	8,246740	15,430230	15,631680	13,302280
46,667	7,593240	15,228900	8,374250	15,475110	15,631680	13,302280
33,333	7,550380	15,226850	8,492520	15,512960	15,631680	13,302280
25	7,487730	15,353780	8,568220	15,527950	15,631680	13,302280

Tabla B30. Momentos máximos en columnas, sismo X y espectro Zona 2, ED Teruel.
COL 355 – COL 14 – COL 363- COL 379- COL 373

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	8,972160	20,054680	9,638680	18,573940	18,778000	16,077460
86,667	9,095060	19,551400	9,816360	18,623140	18,778000	16,077460
73,333	9,198530	19,145180	9,989190	18,664020	18,778000	16,077460
60	9,273700	18,872010	10,157470	18,699170	18,778000	16,077460
46,667	9,303130	18,800980	10,323480	18,747210	18,778000	16,077460
33,333	9,246160	19,093900	10,474900	18,785240	18,778000	16,077460
25	9,163800	19,468460	10,598860	18,799300	18,778000	16,077460

Tabla B31. Momentos máximos en columnas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Teruel.
COL 355 – COL 14 – COL 363- COL 373- COL 11

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	25,870220	1,837800	26,384340	1,705720	27,196580	6,449950
86,667	25,923460	1,804380	26,549270	1,854300	27,196580	6,449950
73,333	25,949260	1,793670	26,722680	2,135760	27,196580	6,449950
60	25,936290	1,812980	26,896090	2,470830	27,196580	6,449950
46,667	25,860530	1,898830	27,068090	2,835050	27,196580	6,449950
33,333	25,670250	2,229840	27,241790	3,231050	27,196580	6,449950
25	25,484230	2,576320	27,322810	3,425290	27,196580	6,449950

Tabla B32. Momentos máximos en columnas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Teruel.
COL 355 – COL 14 – COL 363- COL 373- COL 11

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	31,247510	2,619010	31,860840	2,289940	32,803900	7,788490
86,667	31,311550	2,570260	32,060920	2,414960	32,803900	7,788490
73,333	31,342650	2,555900	32,271390	2,665620	32,803900	7,788490
60	31,327240	2,587600	32,482120	3,055580	32,803900	7,788490
46,667	31,236320	2,711650	32,691240	3,490640	32,803900	7,788490
33,333	31,012140	3,156490	32,902300	3,970440	32,803900	7,788490
25	30,790720	3,603090	33,000600	4,207470	32,803900	7,788490

Tabla B33. Momentos máximos en vigas, sismo X y espectro NSR-98, ED Teruel.
VIG 91

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	33,436400	31,162480	33,440700	31,156120	30,337300	28,231300
86,667	33,445100	31,168220	33,373200	31,089720	30,337300	28,231300
73,333	33,458600	31,178870	33,296300	31,014670	30,337300	28,231300
60	33,482900	31,200320	33,214300	30,934640	30,337300	28,231300
46,667	33,522800	31,237290	33,163700	30,883790	30,337300	28,231300
33,333	33,580300	31,292420	33,100700	30,820940	30,337300	28,231300
25	33,617100	31,328500	33,066600	30,787220	30,337300	28,231300

**Tabla B34. Momentos máximos en vigas, sismo X y espectro Zona 2, ED Teruel.
VIG 91**

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	40,497900	37,732010	40,442600	37,669770	36,635500	34,084880
86,667	40,494800	37,726650	40,344700	37,574970	36,635500	34,084880
73,333	40,499500	37,729180	40,236800	37,470790	36,635500	34,084880
60	40,520400	37,747380	40,124000	37,361860	36,635500	34,084880
46,667	40,565000	37,788760	40,050800	37,289670	36,635500	34,084880
33,333	40,640100	37,860370	39,965400	37,205580	36,635500	34,084880
25	40,693000	37,911650	39,921200	37,162110	36,635500	34,084880

**Tabla B35. Momentos máximos en vigas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Teruel.
VIG 102 – VIG 83**

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	10,649200	20,207590	10,724400	20,349890	9,557400	20,595900
86,667	10,661600	20,231200	10,745700	20,390280	9,557400	20,595900
73,333	10,670900	20,248770	10,769200	20,434670	9,557400	20,595900
60	10,675100	20,256750	10,790100	20,474340	9,557400	20,595900
46,667	10,670800	20,248590	9,527800	20,545640	9,557400	20,595900
33,333	10,647800	20,205320	9,579100	20,655850	9,557400	20,595900
25	10,619900	20,152520	9,602900	20,706930	9,557400	20,595900

**Tabla B36. Momentos máximos en vigas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Teruel.
VIG 102 – VIG 83**

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	12,830900	24,347220	12,918200	24,512450	11,491100	24,763050
86,667	12,845600	24,375150	12,942900	24,559280	11,491100	24,763050
73,333	12,856700	24,396260	12,970200	24,610870	11,491100	24,763050
60	12,862100	24,406490	12,994400	24,656740	11,491100	24,763050
46,667	12,857700	24,398180	11,464100	24,721010	11,491100	24,763050
33,333	12,831900	24,349580	11,525500	24,852860	11,491100	24,763050
25	12,799900	24,289110	11,553900	24,913910	11,491100	24,763050

Tabla B37. Cortantes máximos en vigas, sismo X y espectro NSR-98, ED Teruel. VIG 91

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	33,436400	31,162480	33,440700	31,156120	30,337300	28,231300
86,667	33,445100	31,168220	33,373200	31,089720	30,337300	28,231300
73,333	33,458600	31,178870	33,296300	31,014670	30,337300	28,231300
60	33,482900	31,200320	33,214300	30,934640	30,337300	28,231300
46,667	33,522800	31,237290	33,163700	30,883790	30,337300	28,231300
33,333	33,580300	31,292420	33,100700	30,820940	30,337300	28,231300
25	33,617100	31,328500	33,066600	30,787220	30,337300	28,231300

Tabla B38. Cortantes máximos en vigas, sismo X y espectro Zona 2, ED Teruel. VIG 91

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	40,497900	37,732010	40,442600	37,669770	36,635500	34,084880
86,667	40,494800	37,726650	40,344700	37,574970	36,635500	34,084880
73,333	40,499500	37,729180	40,236800	37,470790	36,635500	34,084880
60	40,520400	37,747380	40,124000	37,361860	36,635500	34,084880
46,667	40,565000	37,788760	40,050800	37,289670	36,635500	34,084880
33,333	40,640100	37,860370	39,965400	37,205580	36,635500	34,084880
25	40,693000	37,911650	39,921200	37,162110	36,635500	34,084880

Tabla B39. Cortantes máximos en vigas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Teruel. VIG 102 – VIG 91

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	10,649200	20,207590	10,724400	20,349890	11,165200	10,429310
86,667	10,661600	20,231200	10,745700	20,390280	11,165200	10,429310
73,333	10,670900	20,248770	10,769200	20,434670	11,165200	10,429310
60	10,675100	20,256750	10,790100	20,474340	11,165200	10,429310
46,667	10,670800	20,248590	10,808200	20,508530	11,165200	10,429310
33,333	10,647800	20,205320	10,823300	20,537030	11,165200	10,429310
25	10,619900	20,152520	10,829100	20,547940	11,165200	10,429310

Tabla B40. Cortantes máximos en vigas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Teruel. VIG 102 – VIG 91

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	12,830900	24,347220	12,918200	24,512450	13,436300	12,549260
86,667	12,845600	24,375150	12,942900	24,559280	13,436300	12,549260
73,333	12,856700	24,396260	12,970200	24,610870	13,436300	12,549260
60	12,862100	24,406490	12,994400	24,656740	13,436300	12,549260
46,667	12,857700	24,398180	13,015100	24,695920	13,436300	12,549260
33,333	12,831900	24,349580	13,032100	24,728030	13,436300	12,549260
25	12,799900	24,289110	13,038500	24,740050	13,436300	12,549260

Tabla B41. Periodos de vibración del ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
100	0,552064	0,698342	0,535746	0,677159	0,518794	0,671498
86,667	0,551572	0,694928	0,533747	0,674657	0,518794	0,671498
73,333	0,551685	0,691669	0,531835	0,672262	0,518794	0,671498
60	0,552763	0,688867	0,529828	0,669746	0,518794	0,671498
46,667	0,555371	0,686630	0,527817	0,667223	0,518794	0,671498
33,333	0,560997	0,685418	0,525802	0,664693	0,518794	0,671498
25	0,566310	0,685541	0,524793	0,663426	0,518794	0,671498

Tabla B42. Desplazamientos de cubierta del ED Omega. NSR-98

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100	0.054130	0.067618	0.053341	0.066829	0.051293	0.070603
86,667	0.054109	0.067459	0.053230	0.066688	0.051293	0.070603
73,333	0.054127	0.067310	0.053121	0.066552	0.051293	0.070603
60	0.054209	0.067194	0.053005	0.066407	0.051293	0.070603
46,667	0.054387	0.067124	0.052886	0.066260	0.051293	0.070603
33,333	0.054747	0.067130	0.052765	0.066111	0.051293	0.070603
25	0.055071	0.067178	0.052703	0.066035	0.051293	0.070603

Tabla B43. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en X y espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	289,25	332,71	1828,85	289,46	332,58	1818,07	273,01	308,07	1805,30
86,667	289,27	332,72	1828,62	289,45	332,53	1816,39	273,01	308,07	1805,30
73,333	289,33	332,80	1829,13	289,43	332,48	1814,74	273,01	308,07	1805,30
60	289,47	332,99	1830,81	289,41	332,43	1812,94	273,01	308,07	1805,30
46,667	289,72	333,31	1834,26	289,38	332,37	1811,09	273,01	308,07	1805,30
33,333	290,16	333,91	1841,02	289,34	332,31	1809,17	273,01	308,07	1805,30
25	290,52	334,42	1846,94	289,32	332,27	1808,19	273,01	308,07	1805,30

Tabla B44. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en X y espectro Zona 2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	352,12	401,31	2203,52	352,31	401,28	2190,79	332,78	371,10	2174,69
86,667	352,14	401,34	2203,24	352,29	401,25	2188,80	332,78	371,10	2174,69
73,333	352,21	401,43	2203,85	352,27	401,21	2186,83	332,78	371,10	2174,69
60	352,38	401,64	2205,87	352,24	401,16	2184,70	332,78	371,10	2174,69
46,667	352,69	402,02	2210,01	352,20	401,11	2182,50	332,78	371,10	2174,69
33,333	353,24	402,72	2218,12	352,15	401,05	2180,24	332,78	371,10	2174,69
25	353,70	403,31	2225,24	352,13	401,02	2179,07	332,78	371,10	2174,69

Tabla B45. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en Y & espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	156,50	243,82	1897,25	155,96	243,21	1890,02	151,45	226,94	1864,99
86,667	156,49	243,74	1895,18	155,85	243,14	1887,98	151,45	226,94	1864,99
73,333	156,49	243,68	1893,30	155,75	243,07	1885,99	151,45	226,94	1864,99
60	156,52	243,66	1892,05	155,64	242,99	1883,87	151,45	226,94	1864,99
46,667	156,59	243,72	1891,69	155,53	242,92	1881,72	151,45	226,94	1864,99
33,333	156,74	243,88	1892,69	155,41	242,84	1879,52	151,45	226,94	1864,99
25	156,83	244,01	1893,91	155,35	242,80	1878,40	151,45	226,94	1864,99

Tabla B46. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en Y & espectro Zona2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	189,37	298,31	2287,32	188,71	297,51	2278,19	183,25	278,68	2250,89
86,667	189,35	298,21	2284,77	188,58	297,41	2275,70	183,25	278,68	2250,89
73,333	189,34	298,13	2282,45	188,44	297,31	2273,27	183,25	278,68	2250,89
60	189,36	298,10	2280,89	188,31	297,21	2270,68	183,25	278,68	2250,89
46,667	189,45	298,16	2280,39	188,16	297,10	2268,04	183,25	278,68	2250,89
33,333	189,61	298,35	2281,55	188,02	296,99	2265,36	183,25	278,68	2250,89
25	189,73	298,51	2283,01	187,94	296,94	2263,99	183,25	278,68	2250,89

Tabla B47. Cargas axiales máximas en columnas utilizando el espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100	45,053100	69,063500	44,397500	68,360300	45,113200	70,904900
86,667	45,036200	68,917800	44,306700	68,229800	45,113200	70,904900
73,333	45,051500	68,781600	44,218200	68,103200	45,113200	70,904900
60	45,118100	68,677400	44,123400	67,968500	45,113200	70,904900
46,667	45,263000	68,617100	44,026500	67,831600	45,113200	70,904900
33,333	45,556100	68,629100	43,927500	67,692600	45,113200	70,904900
25	45,819000	68,677200	43,877300	67,622300	45,113200	70,904900

Tabla B48. Cargas axiales máximas en columnas utilizando el espectro Zona 2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100	54,069400	82,879000	53,285600	82,035900	54,153500	85,106200
86,667	54,049200	82,704300	53,176800	81,879400	54,153500	85,106200
73,333	54,067600	82,541000	53,070700	81,727600	54,153500	85,106200
60	54,147500	82,416100	52,957200	81,566000	54,153500	85,106200
46,667	54,321300	82,343900	52,841200	81,401900	54,153500	85,106200
33,333	54,672700	82,358400	52,722700	81,235200	54,153500	85,106200
25	54,987900	82,416100	52,662400	81,150800	54,153500	85,106200

Tabla B49. Momentos máximos en columnas, sismo X y espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	6,755380	22,026240	6,846570	21,947020	4,426680	21,439610
86,667	6,758260	22,024960	6,859600	21,933790	4,426680	21,439610
73,333	6,759290	22,030530	6,872420	21,920490	4,426680	21,439610
60	6,757380	22,046960	6,886270	21,905830	4,426680	21,439610
46,667	6,750890	22,079370	6,900570	21,890420	4,426680	21,439610
33,333	6,736580	22,141060	6,915330	21,874220	4,426680	21,439610
25	6,724070	22,193960	6,931050	21,865820	4,426680	21,439610

Tabla B50. Momentos máximos en columnas, sismo X y espectro Zona 2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	8,177040	26,671880	8,296960	26,572010	5,358360	25,978240
86,667	8,180850	26,670110	8,314110	26,555630	5,358360	25,978240
73,333	8,182020	26,676780	8,350210	26,539210	5,358360	25,978240
60	8,179030	26,696820	8,419660	26,521180	5,358360	25,978240
46,667	8,169600	26,736600	8,490820	26,502270	5,358360	25,978240
33,333	8,149080	26,812580	8,563760	26,482450	5,358360	25,978240
25	8,131160	26,877920	8,600910	26,472190	5,358360	25,978240

Tabla B51. Momentos máximos en columnas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	22,180930	5,508260	22,190130	5,481640	20,014320	5,541210
86,667	22,170900	5,501460	22,177490	5,475040	20,014320	5,541210
73,333	22,162640	5,495230	22,165090	5,468610	20,014320	5,541210
60	22,159950	5,490910	22,151770	5,461770	20,014320	5,541210
46,667	22,165330	5,489270	22,138100	5,454810	20,014320	5,541210
33,333	22,182510	5,491830	22,124080	5,447720	20,014320	5,541210
25	22,196410	5,495370	22,116940	5,444140	20,014320	5,541210

Tabla B52. Momentos máximos en columnas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	26,715830	6,612460	26,720010	6,580390	24,151130	6,730410
86,667	26,703100	6,604270	26,704290	6,572440	24,151130	6,730410
73,333	26,692490	6,596770	26,688890	6,564720	24,151130	6,730410
60	26,688620	6,591570	26,672340	6,556490	24,151130	6,730410
46,667	26,694510	6,589590	26,655360	6,548110	24,151130	6,730410
33,333	26,714720	6,592660	26,637960	6,539600	24,151130	6,730410
25	26,731320	6,596900	26,629100	6,535290	24,151130	6,730410

Tabla B53. Momentos máximos en vigas, sismo X y espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	15,066000	23,420790	14,884000	23,130880	14,350700	23,190630
86,667	15,061400	23,413530	14,858400	23,090230	14,350700	23,190630
73,333	15,066300	23,421130	14,833400	23,050470	14,350700	23,190630
60	15,086200	23,452330	14,806500	23,007800	14,350700	23,190630
46,667	15,128800	23,519410	14,778900	22,964060	14,350700	23,190630
33,333	15,214200	23,654060	14,750700	22,919250	14,350700	23,190630
25	15,290500	23,774160	14,736300	22,896430	14,350700	23,190630

Tabla B54. Momentos máximos en vigas, sismo X y espectro Zona 2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	18,082000	28,110610	17,864600	27,764600	17,256600	27,881620
86,667	18,076600	28,101940	17,834000	27,716020	17,256600	27,881620
73,333	18,082400	28,111080	17,804000	27,668530	17,256600	27,881620
60	18,106200	28,148510	17,771900	27,617570	17,256600	27,881620
46,667	18,157300	28,228960	17,738900	27,565350	17,256600	27,881620
33,333	18,259900	28,390390	17,705200	27,511850	17,256600	27,881620
25	18,351300	28,534380	17,688000	27,484620	17,256600	27,881620

Tabla B55. Momentos máximos en vigas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	13,059000	19,823670	13,055100	19,820190	5,446000	17,842780
86,667	13,051300	19,812280	13,046200	19,807030	5,446000	17,842780
73,333	13,044600	19,802600	13,037600	19,794160	5,446000	17,842780
60	13,041600	19,798240	13,028300	19,780360	5,446000	17,842780
46,667	13,043600	19,801540	13,018800	19,766230	5,446000	17,842780
33,333	13,053100	19,816180	13,009100	19,751780	5,446000	17,842780
25	13,061500	19,828780	13,004100	19,744440	5,446000	17,842780

Tabla B56. Momentos máximos en vigas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	15,701300	23,836320	15,694700	23,829060	6,536000	21,414160
86,667	15,691700	23,822040	15,683800	23,812860	6,536000	21,414160
73,333	15,683300	23,809820	15,673100	23,797020	6,536000	21,414160
60	15,679300	23,804040	15,661700	23,780050	6,536000	21,414160
46,667	15,681400	23,807550	15,650100	23,762690	6,536000	21,414160
33,333	15,692700	23,824800	15,638100	23,744930	6,536000	21,414160
25	15,702700	23,839890	15,632100	23,735910	6,536000	21,414160

Tabla B57. Cortantes máximos en vigas, sismo X y espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	17,313300	16,628730	17,131500	16,454660	15,447000	14,693880
86,667	17,308700	16,624310	17,105400	16,429580	15,447000	14,693880
73,333	17,314100	16,629530	17,079900	16,405060	15,447000	14,693880
60	17,335500	16,650050	17,052500	16,378740	15,447000	14,693880
46,667	17,380900	16,693800	17,024400	16,351770	15,447000	14,693880
33,333	17,471900	16,781420	16,995600	16,324150	15,447000	14,693880
25	17,553100	16,859580	16,980900	16,310080	15,447000	14,693880

Tabla B58. Cortantes máximos en vigas, sismo X y espectro Zona 2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	20,775300	19,953810	20,557100	19,744960	18,537800	17,633950
86,667	20,769800	19,948510	20,525800	19,714850	18,537800	17,633950
73,333	20,776300	19,954800	20,495100	19,685400	18,537800	17,633950
60	20,801900	19,979460	20,462200	19,653810	18,537800	17,633950
46,667	20,856600	20,032050	20,428500	19,621430	18,537800	17,633950
33,333	20,965900	20,137320	20,393900	19,588260	18,537800	17,633950
25	21,063500	20,231200	20,376300	19,571380	18,537800	17,633950

Tabla B59. Cortantes máximos en vigas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	15,180100	19,056130	15,102600	19,116080	12,915200	16,882830
86,667	15,156500	19,025270	15,087200	19,095300	12,915200	16,882830
73,333	15,134700	18,996690	15,072300	19,075070	12,915200	16,882830
60	15,118800	18,975740	15,056300	19,053440	12,915200	16,882830
46,667	15,111200	18,965400	15,039900	19,031390	12,915200	16,882830
33,333	15,119500	19,141770	15,023200	19,008890	12,915200	16,882830
25	15,129300	19,154340	15,014800	18,997480	12,915200	16,882830

Tabla B60. Cortantes máximos en vigas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	18,220500	22,872100	18,151300	22,968990	15,559500	20,318830
86,667	18,192700	23,031810	18,132500	22,943660	15,559500	20,318830
73,333	18,176000	23,008780	18,114200	22,918990	15,559500	20,318830
60	18,165100	22,993430	18,094600	22,892630	15,559500	20,318830
46,667	18,162600	22,988930	18,074600	22,865750	15,559500	20,318830
33,333	18,172900	23,001310	18,054200	22,838350	15,559500	20,318830
25	18,184700	23,016370	18,043800	22,824450	15,559500	20,318830

Tabla B61. Periodos de vibración del ED Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
100	0,715097	0,521406	0,686533	0,505108	0,672782	0,494563
86,667	0,711971	0,521391	0,685077	0,504082	0,672782	0,494563
73,333	0,709093	0,521800	0,683594	0,503076	0,672782	0,494563
60	0,706664	0,522868	0,682225	0,502125	0,672782	0,494563
46,667	0,704796	0,524984	0,680830	0,501135	0,672782	0,494563
33,333	0,703931	0,529359	0,680181	0,500667	0,672782	0,494563
25	0,704048	0,533555	0,678851	0,499690	0,672782	0,494563

Tabla B62. Desplazamientos de cubierta del ED Procyón. NSR-98

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100	0.0784	0.0475	0.0764	0.0457	0.0749	0.0453
86,667	0.0747	0.0475	0.0763	0.0457	0.0749	0.0453
73,333	0.0793	0.0475	0.0763	0.0457	0.0749	0.0453
60	0.0796	0.0475	0.0763	0.0456	0.0749	0.0453
46,667	0.0754	0.0459	0.0762	0.0456	0.0749	0.0453
33,333	0.0756	0.0459	0.0762	0.0456	0.0749	0.0453
25	0.0756	0.0460	0.0761	0.0456	0.0749	0.0453

Tabla B63. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en X y espectro NSR-98, ED Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100,00	496,80	232,23	2593,67	520,04	252,58	2681,37	527,45	266,47	2683,80
86,66	499,65	234,58	2605,73	520,49	253,20	2682,26	527,45	266,47	2683,80
73,33	502,28	236,75	2616,62	520,76	253,67	2682,65	527,45	266,47	2683,80
60,00	504,55	238,61	2625,87	520,90	253,97	2682,66	527,45	266,47	2683,80
46,66	506,42	240,11	2633,59	521,16	254,46	2682,78	527,45	266,47	2683,80
33,33	507,57	240,95	2638,80	521,51	254,98	2683,13	527,45	266,47	2683,80
25,00	507,72	241,00	2639,90	522,96	256,77	2684,81	527,45	266,47	2683,80

Tabla B64. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en X y espectro Zona 2, ED Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	612,59	283,84	3134,87	638,00	306,92	3233,66	647,78	324,15	3238,57
86,667	615,68	286,52	3148,31	638,32	307,49	3234,34	647,78	324,15	3238,57
73,333	618,57	289,01	3160,52	638,38	307,82	3234,36	647,78	324,15	3238,57
60	621,07	291,15	3170,96	638,26	307,92	3233,95	647,78	324,15	3238,57
46,667	623,15	292,87	3179,76	638,40	308,33	3233,94	647,78	324,15	3238,57
33,333	624,44	293,83	3185,76	638,85	309,02	3234,50	647,78	324,15	3238,57
25	624,62	293,89	3187,08	641,06	311,70	3237,44	647,78	324,15	3238,57

Tabla B65. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en Y & espectro NSR-98, ED Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	266,27	634,90	2973,37	260,35	650,73	3006,83	252,94	656,19	2996,83
86,667	266,29	634,97	2973,73	260,06	652,23	3008,71	252,94	656,19	2996,83
73,333	266,45	634,67	2972,91	259,62	653,27	3009,56	252,94	656,19	2996,83
60	266,81	633,75	2970,11	259,17	654,15	3010,10	252,94	656,19	2996,83
46,667	267,40	631,81	2963,85	258,68	654,93	3010,39	252,94	656,19	2996,83
33,333	268,40	627,40	2948,87	258,45	655,25	3010,44	252,94	656,19	2996,83
25	269,36	622,78	2932,42	257,91	655,65	3009,49	252,94	656,19	2996,83

Tabla B66. Cortantes dinámicos en la base de la estructura por sismo en Y & espectro Zona2, ED Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER			MOD M. CONCENTRADA			MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100	321,40	770,13	3576,83	314,49	789,18	3617,61	307,52	802,27	3632,75
86,667	321,43	770,21	3577,25	314,21	791,28	3620,30	307,52	802,27	3632,75
73,333	321,62	769,89	3576,31	313,68	792,68	3621,53	307,52	802,27	3632,75
60	322,02	768,91	3573,08	313,14	793,85	3622,32	307,52	802,27	3632,75
46,667	322,65	766,80	3565,80	312,53	794,85	3622,76	307,52	802,27	3632,75
33,333	323,65	761,92	3548,34	312,25	795,24	3622,84	307,52	802,27	3632,75
25	324,67	756,72	3529,15	311,71	796,01	3623,22	307,52	802,27	3632,75

Tabla B67. Cargas axiales máximas en columnas utilizando el espectro NSR-98, ED Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100	64,448	133,674	66,305	135,123	65,123	133,597
86,667	64,755	133,691	66,287	135,157	65,123	133,597
73,333	65,025	133,642	66,256	135,159	65,123	133,597
60	65,247	133,483	66,215	135,151	65,123	133,597
46,667	65,430	133,124	66,167	135,135	65,123	133,597
33,333	65,557	132,246	66,142	135,124	65,123	133,597
25	65,587	131,239	66,083	135,054	65,123	133,597

Tabla B68. Cargas axiales máximas en columnas utilizando el espectro Zona 2, ED Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100	77,395	160,467	79,596	162,205	78,192	161,582
86,667	77,758	160,487	79,574	162,246	78,192	161,582
73,333	78,077	160,429	79,534	162,248	78,192	161,582
60	78,341	160,239	79,486	162,239	78,192	161,582
46,667	78,559	159,813	79,431	162,219	78,192	161,582
33,333	78,709	158,773	79,404	162,206	78,192	161,582
25	78,745	157,580	79,340	162,191	78,192	161,582

Tabla B69. Momentos máximos en columnas, sismo X y espectro NSR-98, ED Procyón.
COL 850 – COL 970 – COL 741

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	5,924730	73,742160	6,415030	35,477390	6,576820	21,057080
86,667	5,983540	69,580550	6,430680	34,237790	6,576820	21,057080
73,333	6,037250	65,662580	6,445790	33,242140	6,576820	21,057080
60	6,082980	62,289900	6,461350	32,385780	6,576820	21,057080
46,667	6,119780	59,645740	6,484640	30,797080	6,576820	21,057080
33,333	6,140680	58,369450	6,498830	29,397210	6,576820	21,057080
25	6,142050	58,496160	6,526030	24,753590	6,576820	21,057080

**Tabla B70. Momentos máximos en columnas, sismo X y espectro Zona 2, ED Procyón.
COL 850 – COL 970 – COL 741**

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	8,067770	96,063270	7,724870	47,157500	7,932180	25,319810
86,667	7,440770	90,603160	7,742160	45,824450	7,932180	25,319810
73,333	7,288940	85,472910	7,758970	44,861020	7,932180	25,319810
60	7,341510	81,062830	7,777850	44,044410	7,932180	25,319810
46,667	7,383980	77,603310	7,810510	42,099190	7,932180	25,319810
33,333	7,408190	75,914940	7,831700	40,187200	7,932180	25,319810
25	7,409810	76,060060	7,872330	33,559870	7,932180	25,319810

**Tabla B71. Momentos máximos en columnas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Procyón.
COL 970 – COL 969 – COL 821 – COL 952**

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	48,020630	13,170420	33,269560	8,906290	33,264700	6,073640
86,667	48,001820	13,164580	33,305410	8,708150	33,264700	6,073640
73,333	48,459210	13,287080	33,327610	8,520570	33,264700	6,073640
60	49,676610	13,613220	33,345840	8,361580	33,264700	6,073640
46,667	52,164270	14,274510	33,362090	8,202020	33,264700	6,073640
33,333	57,512770	15,696960	33,368840	8,112450	33,264700	6,073640
25	62,645580	17,118130	33,370860	7,870620	33,264700	6,073640

**Tabla B72. Momentos máximos en columnas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Procyón.
COL 970 – COL 969 – COL 821 – COL 952**

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100	63,363960	15,854120	40,017600	10,735320	40,313920	7,310230
86,667	63,340950	15,846990	40,064630	10,506390	40,313920	7,310230
73,333	63,881700	15,995070	40,092950	10,296120	40,313920	7,310230
60	65,330690	16,387910	40,115900	10,126290	40,313920	7,310230
46,667	68,327020	17,180580	40,136010	9,957170	40,313920	7,310230
33,333	74,889600	18,879150	40,144250	9,852210	40,313920	7,310230
25	81,257500	20,571860	40,163870	9,538890	40,313920	7,310230

Tabla B73. Momentos máximos en vigas, sismo X y espectro NSR-98, ED Procyón. VIG 560 – VIG 68

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	9,270800	25,298590	11,230900	24,043210	11,270600	24,128140
86,667	8,862700	24,084240	11,246800	24,077300	11,270600	24,128140
73,333	10,738100	22,989140	11,261500	24,108740	11,270600	24,128140
60	10,802600	23,127140	11,276300	24,140390	11,270600	24,128140
46,667	10,854700	23,238490	11,298000	24,186920	11,270600	24,128140
33,333	10,885600	23,304630	11,310700	24,214150	11,270600	24,128140
25	10,889000	23,311960	11,333000	24,262120	11,270600	24,128140

Tabla B74. Momentos máximos en vigas, sismo X y espectro Zona 2, ED Procyón. VIG 560 – VIG 68

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	11,733500	32,281360	13,509200	28,921180	13,570600	29,052570
86,667	11,199800	30,690500	13,526900	28,959070	13,570600	29,052570
73,333	10,696100	29,190720	13,543600	28,994570	13,570600	29,052570
60	10,261700	27,898290	13,562100	29,034250	13,570600	29,052570
46,667	13,072300	27,986820	13,593600	29,101770	13,570600	29,052570
33,333	13,108500	28,064190	13,613100	29,143670	13,570600	29,052570
25	13,112600	28,072950	13,647600	29,217800	13,570600	29,052570

Tabla B75. Momentos máximos en vigas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Procyón. VIG 226 – VIG 971

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	35,836600	41,634610	36,214300	42,075790	36,130300	41,974370
86,667	35,747800	41,530990	36,226500	42,090070	36,130300	41,974370
73,333	35,533900	41,281230	36,229100	42,093130	36,130300	41,974370
60	34,942800	40,591660	36,229500	42,093640	36,130300	41,974370
46,667	21,181100	52,953430	36,227700	42,091630	36,130300	41,974370
33,333	19,165200	47,913590	36,226000	42,089710	36,130300	41,974370
25	27,621500	69,054170	36,209600	42,070740	36,130300	41,974370

Tabla B76. Momentos máximos en vigas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Procyón. VIG 226 – VIG 971

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	43,024900	49,985780	43,473400	50,509720	43,697500	50,765540
86,667	42,919800	49,863090	43,487700	50,526420	43,697500	50,765540
73,333	42,666700	49,567650	43,490300	50,529570	43,697500	50,765540
60	20,579500	51,449850	43,490200	50,529550	43,697500	50,765540
46,667	26,878200	67,196280	43,487400	50,526310	43,697500	50,765540
33,333	24,677500	61,694480	43,484900	50,523530	43,697500	50,765540
25	35,181600	87,954430	43,483100	50,521440	43,697500	50,765540

Tabla B77. Cortantes máximos en vigas, sismo X y espectro NSR-98, ED Procyón. VIG 107

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	11,389500	6,947040	11,952300	7,307120	12,674400	7,805710
86,667	11,419800	6,964480	11,975100	7,322870	12,674400	7,805710
73,333	11,458000	6,987430	11,989400	7,333220	12,674400	7,805710
60	11,499000	7,012820	11,991300	7,335420	12,674400	7,805710
46,667	11,538100	7,037280	11,985500	7,332600	12,674400	7,805710
33,333	11,564000	7,053450	11,991900	7,337140	12,674400	7,805710
25	11,567400	7,055460	12,064000	7,384770	12,674400	7,805710

Tabla B78. Cortantes máximos en vigas, sismo X y espectro Zona 2, ED Procyón. VIG 107

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	14,091600	8,605070	14,646600	8,959770	15,543100	9,576020
86,667	14,101900	8,608940	14,665400	8,973270	15,543100	9,576020
73,333	14,127800	8,623590	14,669500	8,977270	15,543100	9,576020
60	14,163600	8,645300	14,653800	8,968280	15,543100	9,576020
46,667	14,201900	8,669040	14,624600	8,950320	15,543100	9,576020
33,333	14,228900	8,685830	14,626200	8,951810	15,543100	9,576020
25	14,232900	8,688190	14,730000	9,020000	15,543100	9,576020

Tabla B79. Cortantes máximos en vigas, sismo Y & espectro NSR-98, ED Procyón. VIG 167

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	58,114000	38,968500	59,492800	39,868140	59,628200	39,944490
86,667	57,864100	38,804240	59,565800	39,915220	59,628200	39,944490
73,333	57,306500	38,436820	59,613500	39,945800	59,628200	39,944490
60	55,907600	37,512380	59,653500	39,971360	59,628200	39,944490
46,667	50,774900	34,101730	59,690100	39,994610	59,628200	39,944490
33,333	50,349800	33,769840	59,705600	40,004440	59,628200	39,944490
25	44,011300	29,572210	59,715900	40,010230	59,628200	39,944490

Tabla B80. Cortantes máximos en vigas, sismo Y & espectro Zona 2, ED Procyón. VIG 167

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100	69,883000	46,855150	71,569100	47,954260	72,268700	48,405570
86,667	69,587300	46,660750	71,663400	48,015040	72,268700	48,405570
73,333	68,934600	46,230340	71,723300	48,053330	72,268700	48,405570
60	67,304500	45,152390	71,772800	48,084870	72,268700	48,405570
46,667	61,301300	41,162650	71,817200	48,113070	72,268700	48,405570
33,333	60,781300	40,756830	71,835700	48,124800	72,268700	48,405570
25	53,598000	35,996720	71,877900	48,151770	72,268700	48,405570

Tabla B81. Desplazamientos de cubierta del ED Miramonti. ZONA 2

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100	0.1079	0.0539	0.1090	0.0540	0.1261	0.0665
86,667	0.1079	0.0538	0.1087	0.0538	0.1261	0.0665
73,333	0.1080	0.0537	0.1084	0.0536	0.1261	0.0665
60	0.1081	0.0537	0.1081	0.0535	0.1261	0.0665
46,667	0.1084	0.0538	0.1079	0.0534	0.1261	0.0665
33,333	0.1088	0.0539	0.1076	0.0533	0.1261	0.0665
25	0.1092	0.0540	0.1074	0.0532	0.1261	0.0665

Tabla B82. Desplazamientos de cubierta del ED Teruel. ZONA 2

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100	0.078631	0.081797	0.07882	0.082026	0.065631	0.081637
86,667	0.078598	0.081852	0.078629	0.082055	0.065631	0.081637
73,333	0.078590	0.081919	0.078415	0.082107	0.065631	0.081637
60	0.078625	0.081995	0.078184	0.082141	0.065631	0.081637
46,667	0.078718	0.082086	0.078021	0.082156	0.065631	0.081637
33,333	0.078891	0.082187	0.077811	0.082149	0.065631	0.081637
25	0.079021	0.082227	0.077696	0.082136	0.065631	0.081637

Tabla B83. Desplazamientos de cubierta del ED Omega. ZONA 2

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100	0.064957	0.081151	0.064011	0.080206	0.061568	0.084762
86,667	0.064931	0.080961	0.063877	0.080037	0.061568	0.084762
73,333	0.064954	0.080782	0.063746	0.079874	0.061568	0.084762
60	0.065052	0.080644	0.063607	0.079701	0.061568	0.084762
46,667	0.065265	0.080560	0.063465	0.079524	0.061568	0.084762
33,333	0.065698	0.080567	0.063319	0.079345	0.061568	0.084762
25	0.066088	0.080624	0.063245	0.079255	0.061568	0.084762

Tabla B84. Desplazamientos de cubierta del ED Procyón. ZONA 2

% AGUA EN EL TANQUE	MOD HOUSNER		MOD M. CONCENTRADA		MOD SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100	0.0942	0.0570	0.0917	0.0548	0.0900	0.0547
86,667	0.0897	0.0570	0.0916	0.0548	0.0900	0.0547
73,333	0.0952	0.0570	0.0916	0.0548	0.0900	0.0547
60	0.0955	0.0570	0.0915	0.0548	0.0900	0.0547
46,667	0.0906	0.0550	0.0915	0.0548	0.0900	0.0547
33,333	0.0907	0.0551	0.0914	0.0547	0.0900	0.0547
25	0.0908	0.0552	0.0913	0.0547	0.0900	0.0547

ANEXO C

PORCENTAJE DE CAMBIO EN LAS RESPUESTAS DE LAS ESTRUCTURAS ESTUDIADAS

En el presente anexo se busca observar de una manera porcentual los diferentes cambios, para poder determinar entre las variables en estudio que modelo es más factible en el momento de analizar el tipo de estructuras mencionadas en este proyecto, De esta manera se obtendrán los valores más significativos de cada variable.

Tabla C.1 Porcentaje de cambio en los periodos de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Miramonti

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
100.000	0.47	0.55	0.92	6.62	0.46	7.13
86.667	0.78	0.75	0.81	6.84	0.03	7.54
73.333	1.19	1.04	0.79	6.99	0.40	7.96
60.000	1.71	1.42	0.88	7.06	0.84	8.37
46.667	2.39	1.95	1.13	6.98	1.28	8.79
33.333	3.41	2.73	1.72	6.66	1.72	9.21
25.000	4.17	3.30	2.29	6.32	1.93	9.41

Tabla C.2 Porcentaje de cambio en los periodos de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Omega

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
100.000	2.96	3.03	6.03	3.84	3.16	0.84
86.667	3.23	2.92	5.94	3.37	2.80	0.47
73.333	3.60	2.81	5.96	2.92	2.45	0.11
60.000	4.15	2.78	6.15	2.52	2.08	0.26
46.667	4.96	2.83	6.59	2.20	1.71	0.64
33.333	6.27	3.02	7.52	2.03	1.33	1.01
25.000	7.33	3.23	8.39	2.05	1.14	1.20

Tabla C.3 Porcentaje de cambio en los periodos de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Procyón

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
100.000	3.99	3.13	5.92	5.15	2.00	2.09
86.667	3.78	3.32	5.50	5.15	1.79	1.89
73.333	3.60	3.59	5.12	5.22	1.58	1.69
60.000	3.46	3.97	4.79	5.41	1.38	1.51
46.667	3.40	4.54	4.54	5.79	1.18	1.31
33.333	3.37	5.42	4.43	6.57	1.09	1.22
25.000	3.58	6.35	4.44	7.31	0.89	1.03

Tabla C.4 Porcentaje de cambio en los periodos de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Teruel

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Tx	Ty	Tx	Ty	Tx	Ty
100.000	2.94	2.78	13.59	10.17	10.98	7.59
86.667	3.15	3.40	12.95	9.96	10.12	6.79
73.333	3.50	4.19	12.44	9.93	9.27	5.99
60.000	4.05	5.22	12.11	10.14	8.40	5.19
46.667	4.87	6.64	12.02	10.73	7.52	4.37
33.333	6.19	8.82	12.39	12.04	6.61	3.53
25.000	7.13	10.45	12.86	13.25	6.17	3.12

Tabla C.5 Porcentaje de cambio en los desplazamientos de la cubierta de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Miramonti. NSR-98

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD M. SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100.000	0.97	0.22	14.36	22.62	13.52	22.44
86.667	0.72	0.04	14.36	22.83	13.74	22.86
73.333	0.40	0.41	14.31	22.96	13.97	23.28
60.000	0.01	1.05	14.21	23.02	14.20	23.82
46.667	0.47	1.88	14.03	22.92	14.44	24.37
33.333	1.14	3.00	13.68	22.59	14.66	24.92
25.000	1.60	3.77	13.38	22.25	14.76	25.18

Tabla C.6 Porcentaje de cambio en los desplazamientos de la cubierta de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Omega. NSR-98

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD M. SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100.000	1.46	1.17	5.24	4.23	3.84	5.35
86.667	1.62	1.14	5.20	4.45	3.64	5.55
73.333	1.86	1.13	5.24	4.66	3.44	5.74
60.000	2.22	1.17	5.38	4.83	3.23	5.94
46.667	2.76	1.29	5.69	4.93	3.01	6.15
33.333	3.62	1.52	6.31	4.92	2.79	6.36
25.000	4.30	1.70	6.86	4.85	2.68	6.47

Tabla C.7 Porcentaje de cambio en los desplazamientos de la cubierta de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Procyón. NSR-98

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD M. SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100.000	2.63	3.80	4.44	4.63	1.86	0.86
86.667	2.19	3.83	0.37	4.64	1.83	0.84
73.333	3.72	3.86	5.43	4.63	1.78	0.80
60.000	4.18	3.86	5.81	4.59	1.71	0.76
46.667	1.00	0.54	0.64	1.24	1.63	0.71
33.333	0.77	0.65	0.83	1.33	1.59	0.68
25.000	0.63	0.85	0.87	1.45	1.50	0.60

Tabla C.8 Porcentaje de cambio en los desplazamientos de la cubierta de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Teruel. NSR-98

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD M. SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100.000	0.23	0.27	16.54	0.21	16.74	0.48
86.667	0.03	0.24	16.51	0.28	16.53	0.51
73.333	0.23	0.22	16.50	0.36	16.30	0.57
60.000	0.57	0.17	16.53	0.45	16.06	0.62
46.667	0.90	0.08	16.63	0.55	15.88	0.63
33.333	1.38	0.05	16.82	0.67	15.65	0.62
25.000	1.69	0.12	16.95	0.72	15.53	0.61

Tabla C.9 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada, NSR-98 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.43	0.20	0.21	1.43	8.92	1.76	1.85	9.11	1.56
86.667	0.25	0.41	0.06	1.47	8.91	1.73	1.72	9.29	1.67
73.333	0.06	0.66	0.12	1.53	8.87	1.67	1.59	9.47	1.78
60.000	0.11	0.94	0.29	1.59	8.78	1.59	1.48	9.64	1.88
46.667	0.27	1.25	0.47	1.67	8.64	1.48	1.41	9.78	1.95
33.333	0.45	1.71	0.72	1.78	8.35	1.31	1.34	9.92	2.01
25.000	0.56	2.13	0.90	1.86	8.03	1.16	1.30	9.99	2.05

Tabla C.10 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada, NSR-98. Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.07	0.04	0.59	5.62	7.40	1.29	5.68	7.37	0.70
86.667	0.06	0.06	0.67	5.62	7.41	1.28	5.68	7.35	0.61
73.333	0.04	0.10	0.79	5.64	7.43	1.30	5.67	7.34	0.52
60.000	0.02	0.17	0.98	5.69	7.48	1.39	5.67	7.33	0.42
46.667	0.12	0.28	1.26	5.77	7.57	1.58	5.66	7.31	0.32
33.333	0.28	0.48	1.73	5.91	7.74	1.94	5.65	7.29	0.21
25.000	0.41	0.64	2.10	6.03	7.88	2.25	5.64	7.28	0.16

Tabla C.11 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada, NSR-98 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	4.47	8.06	3.27	5.81	12.85	3.36	1.41	5.21	0.09
86.667	4.00	7.35	2.85	5.27	11.97	2.91	1.32	4.98	0.06
73.333	3.55	6.67	2.46	4.77	11.15	2.50	1.27	4.80	0.04
60.000	3.14	6.05	2.12	4.34	10.45	2.16	1.24	4.69	0.04
46.667	2.83	5.64	1.83	3.99	9.89	1.87	1.19	4.51	0.04
33.333	2.67	5.50	1.65	3.77	9.58	1.68	1.13	4.31	0.02
25.000	2.91	6.14	1.67	3.74	9.56	1.64	0.85	3.64	0.04

Tabla C.12 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada, NSR-98 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.49	5.95	0.76	9.29	51.41	0.57	9.73	48.34	0.19
86.667	0.33	6.79	1.04	9.44	50.92	0.39	9.74	47.34	0.64
73.333	0.15	7.87	1.39	9.58	50.51	0.28	9.72	46.28	1.11
60.000	0.04	9.27	1.83	9.72	50.20	0.25	9.68	45.11	1.58
46.667	0.14	11.17	2.30	9.84	50.08	0.35	9.72	43.80	1.96
33.333	0.21	13.76	2.98	9.92	50.31	0.64	9.72	42.38	2.36
25.000	0.22	15.35	3.43	9.92	50.63	0.89	9.71	41.68	2.56

Tabla C.13 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.59	0.25	0.42	6.36	0.25	1.04	6.91	5.39	1.45
86.667	0.81	0.45	0.63	6.54	0.45	1.21	7.30	5.09	1.83
73.333	1.23	0.80	1.03	6.66	0.80	1.31	7.81	4.68	2.33
60.000	1.73	1.20	1.49	6.70	1.20	1.35	8.32	4.28	2.82
46.667	2.36	1.67	2.08	6.62	1.67	1.27	8.82	3.88	3.32
33.333	3.21	2.28	2.85	6.32	2.28	0.99	9.33	3.48	3.81
25.000	3.79	2.68	3.37	6.01	2.68	0.71	9.57	3.28	4.05

Tabla C.14 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.35	0.25	0.38	3.23	0.25	1.70	2.89	6.69	1.32
86.667	0.41	0.25	0.38	3.22	0.25	1.59	2.82	6.66	1.22
73.333	0.47	0.25	0.39	3.22	0.25	1.50	2.76	6.63	1.11
60.000	0.56	0.27	0.43	3.24	0.27	1.43	2.69	6.61	1.00
46.667	0.68	0.33	0.53	3.28	0.33	1.41	2.62	6.58	0.89
33.333	0.84	0.43	0.70	3.37	0.43	1.46	2.55	6.55	0.77
25.000	0.94	0.50	0.82	3.43	0.50	1.53	2.51	6.53	0.71

Tabla C.15 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo en dirección y, de los modelos propuestos para cada %de agua almacenada, NSR-98 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	2.22	2.43	1.11	5.00	2.43	0.78	2.84	0.83	0.33
86.667	2.34	2.65	1.16	5.01	2.65	0.77	2.74	0.60	0.39
73.333	2.56	2.85	1.22	5.07	2.85	0.80	2.57	0.45	0.42
60.000	2.86	3.12	1.33	5.20	3.12	0.89	2.40	0.31	0.44
46.667	3.26	3.53	1.55	5.40	3.53	1.10	2.22	0.19	0.45
33.333	3.71	4.25	2.05	5.76	4.25	1.60	2.13	0.14	0.45
25.000	4.25	5.01	2.56	6.09	5.01	2.15	1.93	0.08	0.42

Tabla C.16 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	2.59	0.08	1.72	69.99	0.08	1.69	70.76	6.07	3.37
86.667	1.88	0.04	2.18	70.08	0.04	1.76	70.64	6.10	3.90
73.333	0.85	0.02	2.72	70.10	0.02	1.70	70.35	6.15	4.37
60.000	0.47	0.03	3.42	70.01	0.03	1.48	69.87	6.18	4.84
46.667	2.21	0.09	4.36	69.83	0.09	0.98	69.15	6.18	5.30
33.333	5.20	0.16	5.74	69.79	0.16	0.00	68.14	6.15	5.74
25.000	4.80	0.14	6.73	69.11	0.14	0.83	67.55	6.12	5.95

Tabla C.17 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.25	0.37	0.17	1.12	8.70	1.91	1.36	9.04	1.74
86.667	0.05	0.58	0.02	1.16	8.70	1.88	1.21	9.23	1.86
73.333	0.16	0.84	0.16	1.21	8.65	1.82	1.05	9.42	1.97
60.000	0.35	1.13	0.34	1.27	8.57	1.74	0.92	9.60	2.07
46.667	0.53	1.46	0.52	1.35	8.42	1.63	0.83	9.75	2.14
33.333	0.73	1.94	0.77	1.46	8.11	1.45	0.73	9.90	2.22
25.000	0.84	2.42	0.96	1.53	7.74	1.31	0.69	9.97	2.25

Tabla C.18 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.05	0.01	0.58	5.49	7.53	1.31	5.54	7.52	0.74
86.667	0.04	0.02	0.66	5.50	7.53	1.30	5.54	7.51	0.64
73.333	0.02	0.06	0.77	5.52	7.56	1.32	5.53	7.50	0.56
60.000	0.04	0.12	0.96	5.56	7.60	1.41	5.52	7.49	0.46
46.667	0.14	0.23	1.24	5.64	7.69	1.60	5.51	7.48	0.36
33.333	0.31	0.41	1.71	5.79	7.85	1.96	5.50	7.47	0.25
25.000	0.44	0.57	2.07	5.91	7.99	2.27	5.49	7.46	0.20

Tabla C.19 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	3.98	7.52	3.06	5.43	12.44	3.20	1.51	5.32	0.15
86.667	3.55	6.82	2.66	4.95	11.61	2.79	1.46	5.14	0.13
73.333	3.10	6.11	2.28	4.51	10.84	2.41	1.45	5.04	0.13
60.000	2.69	5.45	1.95	4.12	10.18	2.09	1.47	5.01	0.14
46.667	2.39	5.01	1.68	3.80	9.65	1.82	1.45	4.88	0.14
33.333	2.26	4.91	1.51	3.60	9.35	1.63	1.38	4.67	0.13
25.000	2.56	5.72	1.56	3.57	9.34	1.59	1.04	3.84	0.03

Tabla C.20 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.28	5.80	0.83	9.60	50.46	0.74	9.86	47.41	0.09
86.667	0.11	6.71	1.11	9.74	49.99	0.55	9.84	46.39	0.56
73.333	0.09	7.86	1.46	9.86	49.60	0.43	9.79	45.30	1.04
60.000	0.30	9.31	1.91	9.98	49.30	0.39	9.71	44.10	1.53
46.667	0.42	11.23	2.38	10.10	49.18	0.48	9.72	42.75	1.91
33.333	0.54	13.81	3.08	10.18	49.41	0.77	9.69	41.30	2.32
25.000	0.58	15.36	3.53	10.19	49.72	1.04	9.67	40.59	2.52

Tabla C.21 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.35	0.12	0.16	2.47	7.66	2.62	2.81	7.55	2.46
86.667	0.40	0.17	0.20	2.53	7.65	2.58	2.92	7.50	2.38
73.333	0.41	0.15	0.20	2.57	7.66	2.56	2.97	7.51	2.37
60.000	0.45	0.15	0.21	2.58	7.67	2.56	3.02	7.53	2.35
46.667	0.56	0.15	0.27	2.53	7.69	2.59	3.08	7.55	2.33
33.333	0.76	0.17	0.40	2.40	7.73	2.69	3.14	7.57	2.30
25.000	0.93	0.19	0.50	2.26	7.76	2.78	3.17	7.59	2.29

Tabla C.22 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	0.35	0.27	0.40	3.23	6.58	1.59	2.89	6.33	1.20
86.667	0.41	0.27	0.40	3.22	6.55	1.48	2.82	6.30	1.09
73.333	0.47	0.27	0.40	3.21	6.52	1.38	2.76	6.27	0.98
60.000	0.56	0.30	0.45	3.23	6.51	1.32	2.68	6.23	0.87
46.667	0.68	0.36	0.54	3.27	6.53	1.29	2.61	6.20	0.76
33.333	0.84	0.46	0.71	3.35	6.59	1.34	2.53	6.17	0.64
25.000	0.94	0.53	0.83	3.41	6.64	1.41	2.50	6.15	0.58

Tabla C.23 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Ed. Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	2.15	2.41	1.13	4.32	4.01	1.54	2.21	1.63	0.42
86.667	2.25	2.66	1.19	4.33	4.00	1.53	2.13	1.37	0.34
73.333	2.47	2.88	1.25	4.38	4.04	1.55	1.96	1.19	0.31
60.000	2.76	3.14	1.36	4.50	4.16	1.64	1.79	1.05	0.29
46.667	3.14	3.53	1.57	4.69	4.42	1.84	1.60	0.92	0.28
33.333	3.52	4.19	2.06	4.98	5.03	2.32	1.52	0.88	0.27
25.000	3.99	4.94	2.60	5.28	5.68	2.85	1.35	0.78	0.26

Tabla C.24 Porcentaje de cambio en el cortante basal cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA			% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE			% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE		
	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3	SU1	SU2	SU3
100.000	4.41	0.00	1.77	68.38	6.12	1.59	69.77	6.12	3.33
86.667	4.11	0.05	2.24	68.52	6.19	1.67	69.82	6.14	3.87
73.333	3.56	0.08	2.79	68.55	6.26	1.61	69.68	6.18	4.35
60.000	2.84	0.14	3.50	68.43	6.33	1.38	69.32	6.20	4.83
46.667	1.75	0.23	4.45	68.16	6.40	0.87	68.72	6.19	5.28
33.333	0.86	0.35	5.85	68.05	6.47	0.13	67.78	6.14	5.73
25.000	0.17	0.36	6.86	67.15	6.45	0.99	67.21	6.11	5.93

Tabla C.25 Porcentaje de cambio en el valor Pu de las columnas, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100.000	0.08	0.66	12.80	23.59	12.73	24.09
86.667	0.18	0.98	12.80	23.81	12.95	24.55
73.333	0.51	1.52	12.75	23.95	13.19	25.10
60.000	0.88	2.17	12.65	24.00	13.41	25.65
46.667	1.32	3.02	12.46	23.91	13.62	26.20
33.333	1.95	4.17	12.11	23.57	13.82	26.76
25.000	2.41	4.96	11.80	23.22	13.92	27.02

Tabla C.26 Porcentaje de cambio en el valor Pu de las columnas, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100.000	1.46	1.02	0.13	2.60	1.59	3.59
86.667	1.62	1.00	0.17	2.80	1.79	3.77
73.333	1.85	0.99	0.14	2.99	1.98	3.95
60.000	2.20	1.03	0.01	3.14	2.19	4.14
46.667	2.73	1.14	0.33	3.23	2.41	4.33
33.333	3.57	1.36	0.97	3.21	2.63	4.53
25.000	4.24	1.54	1.54	3.14	2.74	4.63

Tabla C.27 Porcentaje de cambio en el valor Pu de las columnas, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100.000	2.80	1.07	1.04	0.06	1.78	1.13
86.667	2.31	1.08	0.56	0.07	1.76	1.15
73.333	1.86	1.12	0.15	0.03	1.71	1.16
60.000	1.46	1.23	0.19	0.09	1.65	1.15
46.667	1.11	1.49	0.47	0.35	1.58	1.14
33.333	0.89	2.13	0.66	1.01	1.54	1.13
25.000	0.75	2.82	0.71	1.77	1.45	1.08

Tabla C.28 Porcentaje de cambio en el valor Pu de las columnas, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100.000	1.48	1.32	12.95	10.04	11.64	11.23
86.667	1.85	1.76	12.67	10.08	11.02	11.67
73.333	2.33	2.30	12.46	10.02	10.38	12.09
60.000	2.96	3.00	12.37	9.84	9.70	12.55
46.667	3.69	3.96	12.45	9.47	9.09	13.05
33.333	4.78	5.33	12.78	8.74	8.41	13.61
25.000	5.48	6.24	13.10	8.16	8.06	13.89

Tabla C.29 Porcentaje de cambio en el valor Pu de las columnas, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100.000	0.10	0.37	12.97	20.44	12.88	20.74
86.667	0.16	0.51	12.97	20.56	13.11	20.97
73.333	0.49	0.64	12.92	20.64	13.35	21.15
60.000	0.86	0.85	12.81	20.67	13.57	21.34
46.667	1.30	1.17	12.63	20.61	13.77	21.53
33.333	1.94	1.67	12.28	20.40	13.98	21.73
25.000	2.40	2.05	11.97	20.19	14.08	21.83

Tabla C.30 Porcentaje de cambio en el valor Pu de las columnas, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100.000	1.45	1.02	0.16	2.62	1.60	3.61
86.667	1.61	1.00	0.19	2.82	1.80	3.79
73.333	1.84	0.99	0.16	3.01	2.00	3.97
60.000	2.20	1.03	0.01	3.16	2.21	4.16
46.667	2.72	1.14	0.31	3.25	2.42	4.35
33.333	3.57	1.36	0.95	3.23	2.64	4.55
25.000	4.23	1.54	1.52	3.16	2.75	4.65

Tabla C.31 Porcentaje de cambio en el valor Pu de las columnas, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100.000	2.77	1.07	1.02	0.69	1.76	0.38
86.667	2.28	1.08	0.56	0.68	1.74	0.41
73.333	1.83	1.12	0.15	0.71	1.69	0.41
60.000	1.44	1.23	0.19	0.83	1.63	0.40
46.667	1.10	1.48	0.47	1.10	1.56	0.39
33.333	0.88	2.12	0.66	1.74	1.53	0.38
25.000	0.75	2.84	0.70	2.48	1.45	0.38

Tabla C.32 Porcentaje de cambio en el valor Pu de las columnas, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	Pux	Puy	Pux	Puy	Pux	Puy
100.000	1.49	1.30	12.99	10.02	11.67	11.20
86.667	1.85	1.75	12.71	10.06	11.06	11.63
73.333	2.33	2.28	12.50	10.00	10.42	12.05
60.000	2.96	2.99	12.41	9.82	9.74	12.51
46.667	3.69	3.94	12.48	9.44	9.13	13.01
33.333	4.76	5.31	12.81	8.72	8.45	13.56
25.000	5.47	6.21	13.14	8.14	8.11	13.85

Tabla C.33 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	0.33	0.24	14.47	13.94	14.18	14.15
86.667	0.21	0.11	14.44	13.98	14.26	14.07
73.333	0.06	0.05	14.39	14.03	14.34	13.99
60.000	0.10	0.21	14.33	14.10	14.41	13.92
46.667	0.25	0.37	14.24	14.20	14.46	13.87
33.333	0.45	0.60	14.11	14.35	14.50	13.83
25.000	0.60	0.77	14.01	14.47	14.53	13.80

Tabla C.34 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	1.33	0.36	34.47	2.66	35.34	2.31
86.667	1.48	0.41	34.50	2.66	35.47	2.25
73.333	1.65	0.50	34.51	2.68	35.59	2.19
60.000	1.87	0.64	34.49	2.75	35.72	2.13
46.667	2.17	0.86	34.43	2.90	35.85	2.06
33.333	2.58	1.21	34.29	3.17	35.99	1.99
25.000	2.99	1.48	34.17	3.40	36.13	1.95

Tabla C.35 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	7.64	51.89	9.91	71.44	2.46	40.65
86.667	6.95	50.79	9.02	69.74	2.22	38.50
73.333	6.34	49.37	8.20	67.93	1.99	36.66
60.000	5.86	48.01	7.51	66.20	1.76	34.98
46.667	5.63	48.37	6.95	64.70	1.40	31.63
33.333	5.51	49.64	6.63	63.92	1.19	28.37
25.000	5.88	57.68	6.61	64.00	0.77	14.93

Tabla C.36 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	6.58	2.97	53.05	15.74	49.75	13.16
86.667	6.96	0.26	52.45	13.62	48.89	13.40
73.333	7.47	1.50	51.94	12.29	48.06	13.61
60.000	8.20	1.47	51.57	12.51	47.24	13.79
46.667	9.33	1.59	51.42	12.65	46.43	14.04
33.333	11.09	1.84	51.70	12.64	45.67	14.25
25.000	12.61	1.12	52.10	13.36	45.19	14.33

Tabla C.37 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	0.47	0.51	25.04	36.03	25.39	36.36
86.667	0.74	0.77	25.21	36.18	25.77	36.68
73.333	1.23	1.25	25.32	36.28	26.23	37.07
60.000	1.79	1.81	25.36	36.31	26.70	37.47
46.667	2.53	2.54	25.28	36.25	27.17	37.86
33.333	3.51	3.52	25.01	36.01	27.64	38.26
25.000	4.18	4.19	24.72	35.76	27.87	38.45

Tabla C.38 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	0.04	0.48	9.77	0.59	9.81	1.08
86.667	0.03	0.48	9.73	0.72	9.75	1.19
73.333	0.01	0.48	9.69	0.83	9.70	1.31
60.000	0.04	0.53	9.68	0.91	9.65	1.43
46.667	0.12	0.63	9.70	0.94	9.59	1.56
33.333	0.26	0.80	9.77	0.89	9.54	1.69
25.000	0.36	0.93	9.83	0.83	9.51	1.75

Tabla C.39 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	30.72	32.38	30.73	53.88	0.01	31.81
86.667	30.62	33.85	30.70	53.86	0.12	30.25
73.333	31.23	35.87	31.36	54.29	0.19	28.72
60.000	32.87	38.58	33.04	55.38	0.24	27.36
46.667	36.04	42.54	36.23	57.45	0.29	25.95
33.333	41.98	48.32	42.16	61.31	0.31	25.13
25.000	46.73	54.02	46.90	64.52	0.32	22.83

Tabla C.40 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	1.95	7.19	4.88	71.51	2.99	73.55
86.667	2.36	2.69	4.68	72.02	2.38	71.25
73.333	2.89	16.02	4.59	72.19	1.74	66.89
60.000	3.57	26.62	4.63	71.89	1.10	61.69
46.667	4.46	33.02	4.91	70.56	0.47	56.05
33.333	5.77	30.99	5.61	65.43	0.17	49.91
25.000	6.73	24.79	6.30	60.06	0.46	46.89

Tabla C.41 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	0.40	0.23	14.40	13.76	14.06	13.95
86.667	0.28	0.10	14.37	13.79	14.13	13.87
73.333	0.14	0.07	14.32	13.84	14.20	13.78
60.000	0.00	0.23	14.25	13.91	14.25	13.71
46.667	0.13	0.41	14.18	14.01	14.28	13.66
33.333	0.31	0.65	14.06	14.17	14.32	13.61
25.000	0.44	0.83	13.96	14.30	14.34	13.58

Tabla C.42 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	1.45	0.37	34.47	2.60	35.42	2.23
86.667	1.60	0.43	34.50	2.59	35.55	2.17
73.333	2.01	0.52	34.51	2.62	35.83	2.11
60.000	2.86	0.66	34.49	2.69	36.36	2.05
46.667	3.78	0.88	34.41	2.84	36.89	1.98
33.333	4.84	1.23	34.25	3.11	37.43	1.90
25.000	5.46	1.51	34.10	3.35	37.70	1.87

Tabla C.43 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	4.25	50.91	1.68	73.64	2.61	46.31
86.667	3.89	49.42	6.20	72.05	2.40	44.75
73.333	6.06	47.51	8.11	70.38	2.18	43.56
60.000	5.61	45.67	7.45	68.77	1.95	42.51
46.667	5.46	45.75	6.91	67.37	1.53	39.86
33.333	5.41	47.06	6.61	66.65	1.27	37.00
25.000	5.88	55.88	6.59	66.71	0.75	24.55

Tabla C.44 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	6.92	7.38	52.22	19.83	48.67	13.44
86.667	7.35	4.75	51.57	17.77	47.72	13.67
73.333	7.92	2.51	51.01	16.02	46.80	13.86
60.000	8.70	0.92	50.61	14.81	45.91	14.02
46.667	9.88	0.29	50.46	14.49	45.02	14.24
33.333	11.73	1.62	50.76	15.80	44.22	14.41
25.000	13.54	3.44	51.20	17.42	43.56	14.48

Tabla C.45 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	0.17	0.23	22.15	33.61	22.28	33.76
86.667	0.26	0.32	22.22	33.68	22.43	33.90
73.333	0.33	0.40	22.27	33.73	22.53	33.99
60.000	0.45	0.53	22.28	33.74	22.63	34.09
46.667	0.65	0.74	22.24	33.70	22.74	34.19
33.333	0.97	1.09	22.10	33.57	22.85	34.29
25.000	1.22	1.36	21.95	33.44	22.91	34.35

Tabla C.46 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	0.02	0.48	9.60	1.75	9.61	2.23
86.667	0.00	0.48	9.56	1.87	9.56	2.35
73.333	0.01	0.49	9.52	1.99	9.51	2.46
60.000	0.06	0.53	9.51	2.06	9.45	2.58
46.667	0.15	0.63	9.53	2.09	9.39	2.71
33.333	0.29	0.80	9.60	2.05	9.34	2.84
25.000	0.38	0.93	9.65	1.98	9.31	2.90

Tabla C.47 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	36.84	32.29	36.38	53.89	0.74	31.90
86.667	36.75	33.70	36.35	53.87	0.62	30.42
73.333	37.24	35.63	36.89	54.30	0.55	29.00
60.000	38.60	38.21	38.29	55.39	0.49	27.81
46.667	41.26	42.04	41.00	57.45	0.44	26.58
33.333	46.40	47.81	46.17	61.28	0.42	25.80
25.000	50.57	53.63	50.39	64.46	0.37	23.36

Tabla C.48 Porcentaje de cambio en el valor M2 Y M3 de las columnas, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2 Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	M2	M3	M2	M3	M2	M3
100.000	1.93	12.56	4.74	66.37	2.87	70.60
86.667	2.34	6.04	4.55	67.00	2.26	68.99
73.333	2.88	4.12	4.45	67.18	1.62	65.77
60.000	3.56	15.32	4.50	66.78	0.98	60.77
46.667	4.45	22.32	4.78	65.18	0.34	55.18
33.333	5.74	20.50	5.46	59.47	0.30	49.02
25.000	6.70	14.36	6.14	53.74	0.60	45.98

Tabla C.49 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.19	0.18	7.76	7.49	7.93	7.66
86.667	0.01	0.01	7.78	7.52	7.79	7.52
73.333	0.20	0.21	7.84	7.58	7.65	7.38
60.000	0.44	0.44	7.93	7.66	7.52	7.25
46.667	0.69	0.70	8.06	7.80	7.42	7.15
33.333	1.05	1.06	8.29	8.03	7.31	7.04
25.000	1.31	1.33	8.48	8.22	7.26	6.99

Tabla C.50 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	1.21	1.24	4.75	0.98	3.58	0.26
86.667	1.35	1.38	4.72	0.95	3.42	0.43
73.333	1.55	1.58	4.75	0.98	3.25	0.60
60.000	1.85	1.90	4.88	1.12	3.08	0.79
46.667	2.31	2.36	5.14	1.40	2.90	0.98
33.333	3.05	3.11	5.68	1.96	2.71	1.17
25.000	3.62	3.69	6.15	2.45	2.62	1.27

Tabla C.51 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	17.45	4.96	17.74	4.63	0.35	0.35
86.667	21.20	0.03	21.36	0.18	0.21	0.21
73.333	4.65	4.64	4.72	4.72	0.08	0.08
60.000	4.20	4.20	4.15	4.15	0.05	0.05
46.667	3.92	3.92	3.69	3.69	0.24	0.24
33.333	3.76	3.76	3.42	3.41	0.35	0.36
25.000	3.92	3.92	3.39	3.38	0.55	0.55

Tabla C.52 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.01	0.02	9.27	9.41	9.28	9.39
86.667	0.21	0.25	9.29	9.42	9.10	9.19
73.333	0.49	0.53	9.33	9.45	8.89	8.97
60.000	0.80	0.85	9.39	9.52	8.66	8.74
46.667	1.07	1.13	9.50	9.62	8.52	8.59
33.333	1.43	1.51	9.66	9.78	8.35	8.40
25.000	1.64	1.73	9.76	9.89	8.25	8.30

Tabla C.53 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.38	0.38	15.88	5.60	15.56	5.24
86.667	0.66	0.66	15.68	5.37	15.13	4.74
73.333	1.15	1.15	15.56	5.23	14.58	4.12
60.000	1.72	1.73	15.51	5.17	14.02	3.50
46.667	2.47	2.48	15.59	5.27	13.46	2.86
33.333	3.47	3.48	15.91	5.62	12.89	2.22
25.000	4.14	4.16	16.23	5.99	12.61	1.90

Tabla C.54 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.03	0.02	58.30	9.99	58.28	9.98
86.667	0.04	0.03	58.27	9.94	58.26	9.92
73.333	0.05	0.04	58.25	9.90	58.23	9.86
60.000	0.10	0.09	58.24	9.88	58.20	9.80
46.667	0.19	0.18	58.25	9.89	58.17	9.73
33.333	0.34	0.32	58.28	9.96	58.14	9.66
25.000	0.44	0.43	58.30	10.02	58.12	9.63

Tabla C.55 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	1.04	1.05	0.81	0.81	0.23	0.24
86.667	1.32	1.33	1.06	1.06	0.27	0.27
73.333	1.92	1.93	1.65	1.65	0.27	0.28
60.000	3.55	3.57	3.29	3.29	0.27	0.28
46.667	41.53	20.51	41.38	20.73	0.27	0.28
33.333	47.10	12.15	46.96	12.40	0.26	0.27
25.000	23.72	39.08	23.55	39.22	0.22	0.23

Tabla C.56 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.70	0.70	10.25	1.89	10.88	1.19
86.667	0.78	0.78	10.36	1.77	11.06	1.00
73.333	0.91	0.91	10.43	1.69	11.25	0.78
60.000	1.07	1.06	10.47	1.65	11.42	0.59
46.667	10.71	1.45	10.43	1.69	0.31	0.24
33.333	10.04	2.18	10.24	1.90	0.23	0.29
25.000	9.58	2.68	10.00	2.15	0.47	0.54

Tabla C.57 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.19	0.19	7.70	7.44	7.87	7.61
86.667	0.01	0.01	7.73	7.47	7.74	7.47
73.333	0.20	0.21	7.78	7.52	7.60	7.33
60.000	0.44	0.44	7.87	7.61	7.47	7.20
46.667	0.69	0.70	8.01	7.75	7.37	7.10
33.333	1.06	1.07	8.24	7.98	7.26	6.99
25.000	1.32	1.33	8.43	8.17	7.20	6.93

Tabla C.58 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	1.20	1.23	4.56	0.81	3.40	0.42
86.667	1.34	1.37	4.54	0.78	3.24	0.59
73.333	1.54	1.57	4.57	0.82	3.07	0.76
60.000	1.85	1.89	4.69	0.95	2.90	0.95
46.667	2.30	2.35	4.96	1.23	2.72	1.13
33.333	3.04	3.09	5.49	1.79	2.53	1.33
25.000	3.61	3.68	5.97	2.29	2.44	1.42

Tabla C.59 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	13.14	10.41	13.54	10.00	0.45	0.45
86.667	17.20	5.64	17.47	5.34	0.32	0.32
73.333	21.02	0.67	21.18	0.47	0.20	0.20
60.000	24.34	3.91	24.38	3.97	0.06	0.06
46.667	3.83	3.83	3.67	3.67	0.17	0.17
33.333	3.71	3.70	3.41	3.40	0.31	0.31
25.000	3.92	3.92	3.37	3.37	0.56	0.57

Tabla C.60 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.14	0.16	9.54	9.67	9.41	9.52
86.667	0.37	0.40	9.53	9.65	9.19	9.29
73.333	0.65	0.68	9.54	9.66	8.95	9.04
60.000	0.98	1.02	9.59	9.70	8.69	8.77
46.667	1.27	1.32	9.69	9.80	8.53	8.59
33.333	1.66	1.73	9.85	9.97	8.33	8.39
25.000	1.90	1.98	9.97	10.09	8.23	8.28

Tabla C.61 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.07	0.07	19.25	9.38	19.20	9.31
86.667	0.17	0.17	19.17	9.28	19.03	9.13
73.333	0.25	0.25	19.12	9.22	18.92	8.99
60.000	0.37	0.38	19.10	9.21	18.80	8.86
46.667	0.58	0.60	19.15	9.26	18.68	8.72
33.333	0.92	0.94	19.30	9.43	18.55	8.57
25.000	1.18	1.20	19.45	9.60	18.48	8.50

Tabla C.62 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.04	0.03	58.37	10.16	58.36	10.13
86.667	0.05	0.04	58.35	10.11	58.33	10.07
73.333	0.07	0.05	58.33	10.06	58.30	10.01
60.000	0.11	0.10	58.31	10.04	58.27	9.95
46.667	0.20	0.19	58.32	10.05	58.24	9.88
33.333	0.35	0.34	58.35	10.12	58.20	9.82
25.000	0.45	0.44	58.38	10.18	58.19	9.78

Tabla C.63 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	1.03	1.04	1.54	1.54	0.51	0.50
86.667	1.31	1.31	1.78	1.78	0.48	0.47
73.333	1.89	1.90	2.36	2.36	0.47	0.46
60.000	52.68	1.79	52.90	1.33	0.47	0.46
46.667	38.19	24.81	38.49	24.45	0.48	0.47
33.333	43.25	18.11	43.53	17.71	0.49	0.48
25.000	19.09	42.56	19.49	42.28	0.49	0.48

Tabla C.64 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por momento, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.68	0.67	10.44	1.68	11.05	1.01
86.667	0.75	0.75	10.54	1.57	11.22	0.82
73.333	0.88	0.87	10.62	1.48	11.40	0.61
60.000	1.02	1.01	10.66	1.44	11.57	0.43
46.667	10.84	1.31	10.63	1.47	0.23	0.17
33.333	10.18	2.03	10.45	1.67	0.30	0.36
25.000	9.73	2.51	10.23	1.91	0.54	0.61

Tabla C.65 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.18	0.20	13.67	16.05	13.83	16.21
86.667	0.00	0.02	13.69	16.07	13.69	16.09
73.333	0.22	0.20	13.74	16.13	13.55	15.96
60.000	0.46	0.44	13.83	16.21	13.43	15.84
46.667	0.72	0.69	13.95	16.33	13.33	15.74
33.333	1.10	1.06	14.18	16.54	13.22	15.65
25.000	1.37	1.32	14.36	16.71	13.17	15.60

Tabla C.66 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	1.05	1.05	10.78	11.64	9.83	10.70
86.667	1.17	1.17	10.76	11.61	9.70	10.56
73.333	1.35	1.35	10.78	11.64	9.56	10.43
60.000	1.63	1.63	10.89	11.75	9.42	10.29
46.667	2.05	2.05	11.13	11.98	9.27	10.14
33.333	2.73	2.72	11.59	12.44	9.11	9.99
25.000	3.26	3.26	12.00	12.85	9.03	9.91

Tabla C.67 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	4.71	4.93	10.14	11.00	5.70	6.39
86.667	4.64	4.89	9.90	10.78	5.52	6.19
73.333	4.43	4.72	9.60	10.48	5.40	6.05
60.000	4.11	4.40	9.27	10.16	5.39	6.02
46.667	3.73	4.03	8.97	9.84	5.44	6.06
33.333	3.57	3.87	8.76	9.64	5.38	6.00
25.000	4.12	4.46	8.73	9.61	4.82	5.39

Tabla C.68 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.01	0.02	9.27	9.41	9.28	9.39
86.667	0.21	0.25	9.29	9.42	9.10	9.19
73.333	0.49	0.53	9.33	9.45	8.89	8.97
60.000	0.80	0.85	9.39	9.52	8.66	8.74
46.667	1.07	1.13	9.50	9.62	8.52	8.59
33.333	1.43	1.51	9.66	9.78	8.35	8.40
25.000	1.64	1.73	9.76	9.89	8.25	8.30

Tabla C.69 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.38	0.38	12.52	6.35	12.19	5.99
86.667	0.66	0.66	12.32	6.12	11.74	5.50
73.333	1.13	1.40	12.18	5.98	11.18	4.65
60.000	1.65	1.91	12.13	5.93	10.66	4.09
46.667	2.32	2.59	12.22	6.03	10.14	3.53
33.333	3.25	3.52	12.55	6.38	9.61	2.96
25.000	3.90	4.17	12.89	6.74	9.35	2.68

Tabla C.70 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.51	0.31	14.92	11.40	14.48	11.68
86.667	0.46	0.37	14.79	11.26	14.40	11.59
73.333	0.41	0.41	14.66	11.13	14.31	11.49
60.000	0.41	0.41	14.58	11.03	14.22	11.39
46.667	0.47	0.35	14.53	10.98	14.13	11.29
33.333	0.64	0.69	14.58	11.80	14.03	11.18
25.000	0.76	0.82	14.63	11.86	13.98	11.13

Tabla C.71 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	2.32	2.26	2.54	2.44	0.23	0.19
86.667	2.86	2.78	2.96	2.85	0.10	0.07
73.333	3.87	3.78	3.89	3.77	0.02	0.00
60.000	6.28	6.15	6.24	6.09	0.04	0.07
46.667	14.94	14.73	14.85	14.63	0.10	0.13
33.333	15.67	15.58	15.56	15.46	0.13	0.15
25.000	26.30	26.09	26.19	25.97	0.15	0.16

Tabla C.72 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, NSR-98, Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.70	0.70	4.62	48.39	3.95	48.75
86.667	0.78	0.78	4.51	48.45	3.76	48.85
73.333	0.91	0.91	4.43	48.49	3.55	48.96
60.000	1.07	1.06	4.39	48.51	3.36	49.06
46.667	1.27	1.27	4.43	48.49	3.20	49.15
33.333	1.62	1.62	4.63	48.38	3.06	49.22
25.000	1.93	1.92	4.88	48.25	3.01	49.24

Tabla C.73 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.18	0.20	13.57	15.92	13.73	16.08
86.667	0.00	0.02	13.60	15.94	13.60	15.96
73.333	0.22	0.20	13.65	16.00	13.46	15.83
60.000	0.46	0.44	13.74	16.08	13.33	15.71
46.667	0.73	0.70	13.86	16.20	13.23	15.61
33.333	1.11	1.07	14.09	16.41	13.12	15.51
25.000	1.38	1.33	14.27	16.59	13.07	15.46

Tabla C.74 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	1.05	1.05	10.77	11.63	9.82	10.69
86.667	1.17	1.17	10.75	11.60	9.69	10.55
73.333	1.35	1.35	10.77	11.63	9.55	10.42
60.000	1.63	1.63	10.88	11.74	9.40	10.28
46.667	2.05	2.05	11.12	11.97	9.26	10.13
33.333	2.73	2.73	11.58	12.43	9.10	9.98
25.000	3.26	3.26	11.99	12.84	9.02	9.90

Tabla C.75 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	3.79	3.96	9.34	10.14	5.77	6.44
86.667	3.84	4.06	9.27	10.10	5.65	6.29
73.333	3.69	3.94	9.11	9.95	5.62	6.25
60.000	3.35	3.60	8.88	9.72	5.72	6.35
46.667	2.89	3.14	8.63	9.47	5.91	6.53
33.333	2.72	2.97	8.46	9.30	5.90	6.52
25.000	3.37	3.68	8.43	9.27	5.23	5.81

Tabla C.76 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección x, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.14	0.16	9.54	9.67	9.41	9.52
86.667	0.37	0.40	9.53	9.65	9.19	9.29
73.333	0.65	0.68	9.54	9.66	8.95	9.04
60.000	0.98	1.02	9.59	9.70	8.69	8.77
46.667	1.27	1.32	9.69	9.80	8.53	8.59
33.333	1.66	1.73	9.85	9.97	8.33	8.39
25.000	1.90	1.98	9.97	10.09	8.23	8.28

Tabla C.77 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Miramonti.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.07	0.07	16.02	10.10	15.97	10.04
86.667	0.17	0.17	15.94	10.00	15.79	9.85
73.333	0.24	0.50	15.88	9.95	15.68	9.49
60.000	0.29	0.56	15.87	9.93	15.62	9.42
46.667	0.44	0.71	15.92	9.98	15.55	9.34
33.333	0.71	0.99	16.07	10.15	15.47	9.26
25.000	0.93	1.22	16.23	10.32	15.44	9.21

Tabla C.78 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Omega.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.38	0.42	14.60	11.16	14.28	11.54
86.667	0.33	0.38	14.47	11.78	14.19	11.44
73.333	0.34	0.39	14.40	11.69	14.10	11.35
60.000	0.39	0.44	14.34	11.63	14.01	11.24
46.667	0.48	0.54	14.33	11.61	13.92	11.14
33.333	0.65	0.71	14.38	11.66	13.82	11.03
25.000	0.77	0.83	14.44	11.72	13.77	10.98

Tabla C.79 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Procyón.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	2.36	2.29	3.30	3.20	0.97	0.93
86.667	2.90	2.82	3.71	3.60	0.84	0.81
73.333	3.89	3.79	4.61	4.49	0.75	0.73
60.000	6.23	6.10	6.87	6.72	0.69	0.66
46.667	14.64	14.45	15.18	14.96	0.62	0.60
33.333	15.39	15.31	15.90	15.80	0.60	0.58
25.000	25.43	25.24	25.84	25.64	0.54	0.52

Tabla C.80 Porcentaje de cambio en las vigas críticas por cortante, cuando el sismo entra en dirección y, de los modelos propuestos para cada % de agua almacenada, ZONA 2, Edificio Teruel.

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD SIN TANQUE	
	V	M	V	M	V	M
100.000	0.68	0.67	4.51	48.46	3.86	48.80
86.667	0.75	0.75	4.40	48.52	3.67	48.90
73.333	0.88	0.87	4.31	48.56	3.47	49.01
60.000	1.02	1.01	4.27	48.58	3.29	49.10
46.667	1.21	1.21	4.31	48.56	3.13	49.18
33.333	1.54	1.53	4.50	48.46	3.01	49.25
25.000	1.83	1.82	4.74	48.33	2.96	49.28

Tabla C.81 Porcentaje de cambio en los desplazamientos de la cubierta de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Miramonti. ZONA 2

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD M. SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100.000	0.97	0.21	14.40	18.96	13.56	18.79
86.667	0.72	0.05	14.40	19.07	13.77	19.03
73.333	0.40	0.16	14.35	19.14	14.00	19.27
60.000	0.02	0.34	14.25	19.16	14.23	19.44
46.667	0.47	0.63	14.07	19.11	14.47	19.61
33.333	1.13	1.09	13.72	18.91	14.69	19.79
25.000	1.58	1.43	13.42	18.71	14.79	19.88

Tabla C.82 Porcentaje de cambio en los desplazamientos de la cubierta de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Omega. ZONA 2

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD M. SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100.000	1.46	1.16	5.22	4.26	3.82	5.38
86.667	1.62	1.14	5.18	4.48	3.61	5.57
73.333	1.86	1.12	5.21	4.70	3.42	5.77
60.000	2.22	1.17	5.36	4.86	3.21	5.97
46.667	2.76	1.29	5.66	4.95	2.99	6.18
33.333	3.62	1.52	6.29	4.96	2.77	6.39
25.000	4.30	1.70	6.84	4.88	2.65	6.50

Tabla C.83 Porcentaje de cambio en los desplazamientos de la cubierta de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Procyón. ZONA 2

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD M. SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100.000	2.65	3.79	4.45	3.98	1.85	0.20
86.667	2.16	3.82	0.36	3.99	1.81	0.18
73.333	3.74	3.85	5.43	3.99	1.75	0.14
60.000	4.19	3.85	5.81	3.94	1.69	0.10
46.667	0.99	0.53	0.63	0.58	1.61	0.05
33.333	0.76	0.64	0.82	0.67	1.58	0.03
25.000	0.63	0.80	0.87	0.78	1.49	0.02

Tabla C.84 Porcentaje de cambio en los desplazamientos de la cubierta de los modelos propuestos para cada porcentaje de agua almacenada. Edificio Teruel. ZONA 2

% AGUA EN EL TANQUE	% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. CONCENTRADA		% CAMBIO MOD HOUSNER Y MOD M. SIN TANQUE		% CAMBIO MOD M. CONCENTRADA Y MOD M. SIN TANQUE	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
100.000	0.24	0.28	16.53	0.20	16.73	3.45
86.667	0.04	0.25	16.50	0.26	16.53	3.68
73.333	0.22	0.23	16.49	0.34	16.30	3.95
60.000	0.56	0.18	16.53	0.44	16.06	4.23
46.667	0.89	0.09	16.63	0.55	15.88	4.43
33.333	1.37	0.05	16.81	0.67	15.65	4.69
25.000	1.68	0.11	16.94	0.72	15.53	4.83

ANEXO D

En este anexo se muestran las columnas más críticas en altura y las vigas más críticas en planta, con el fin de determinar la posición de cada elemento con el resto de la estructura, en el anexo B se muestran los valores de carga que asume cada elemento y también la condición para la cual son críticos.

Figura D1. Columnas críticas ED Miramonti.

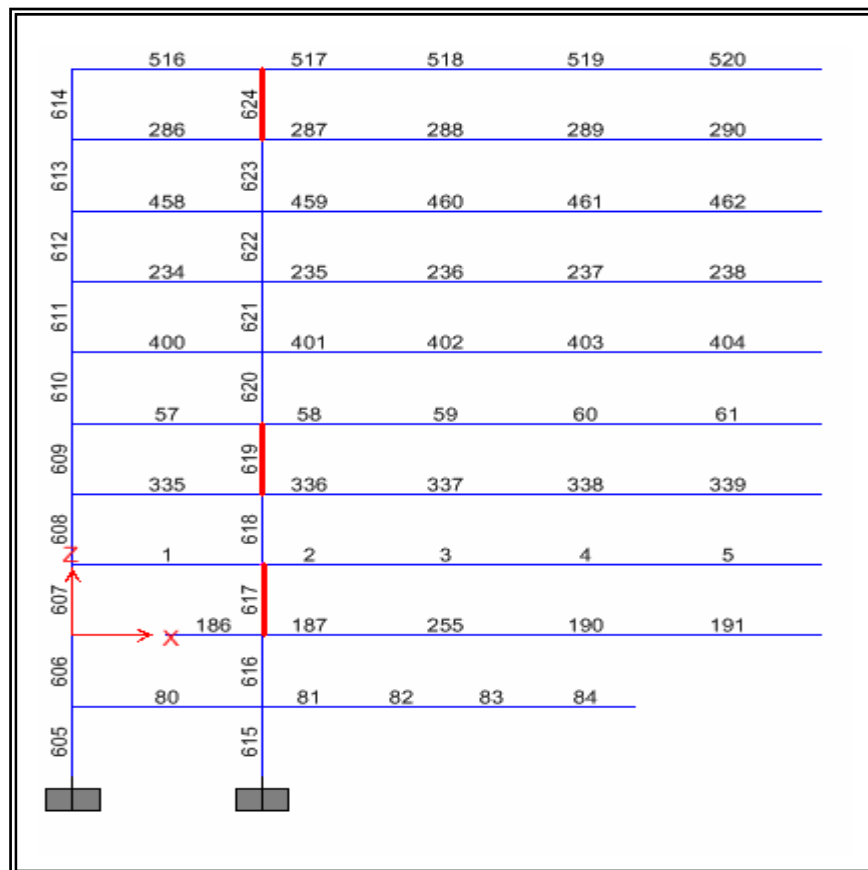


Figura D2. Columnas críticas ED Miramonti.

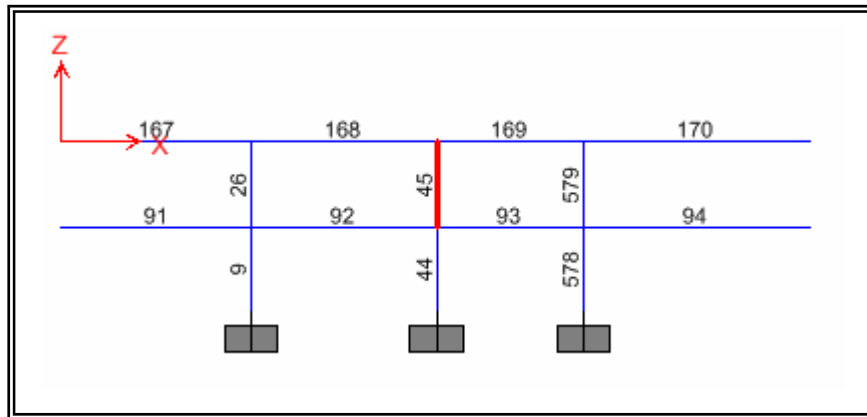


Figura D3. Columnas críticas ED Miramonti.

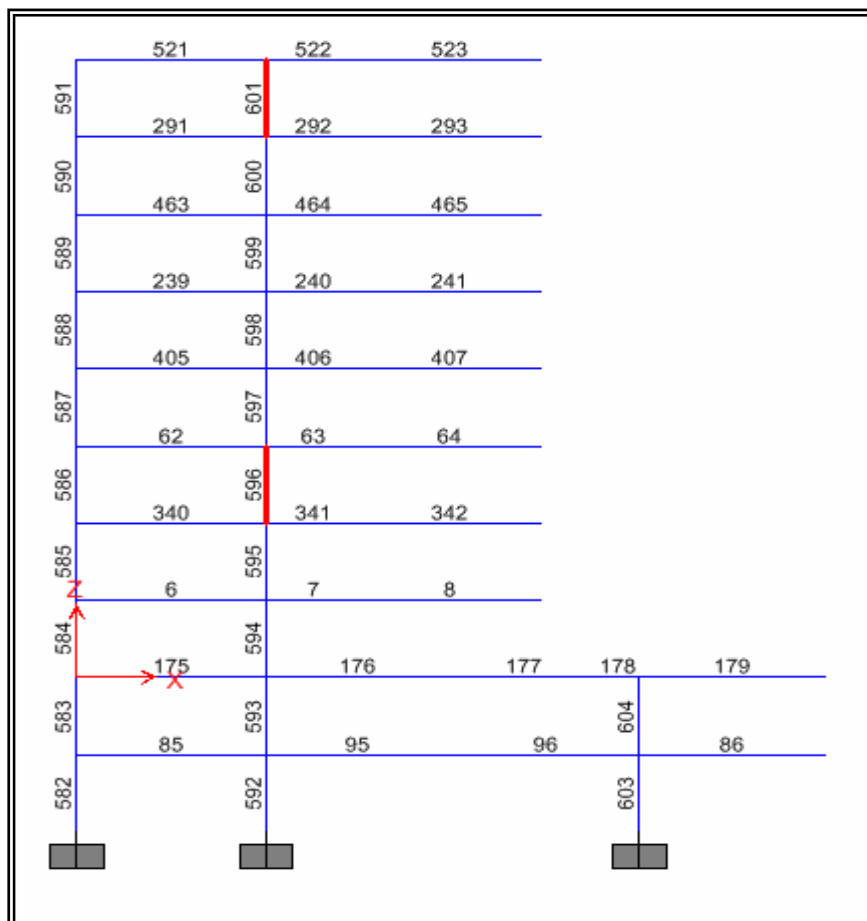


Figura D4. Vigas criticas ED Miramonti.

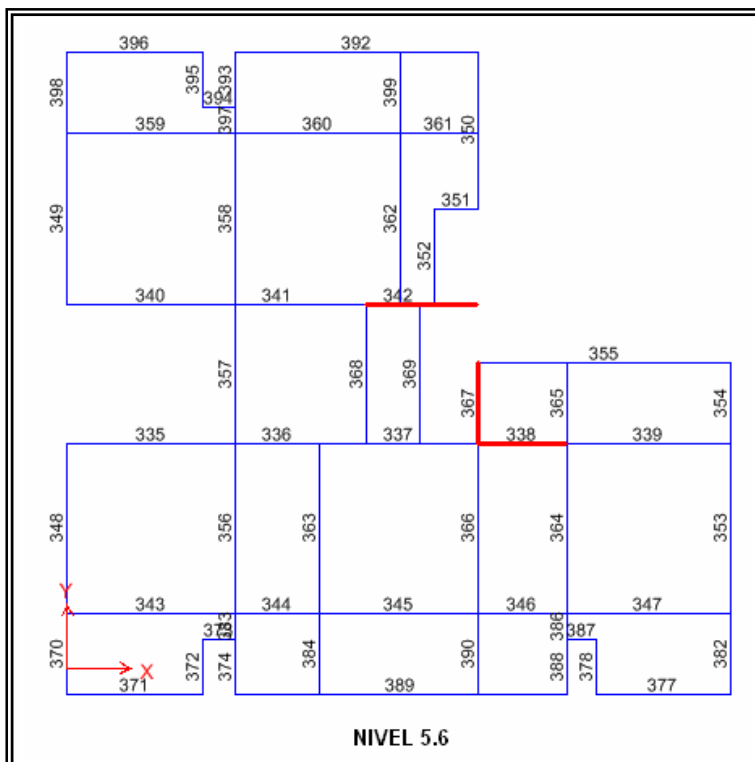


Figura D5. Vigas criticas ED Miramonti.

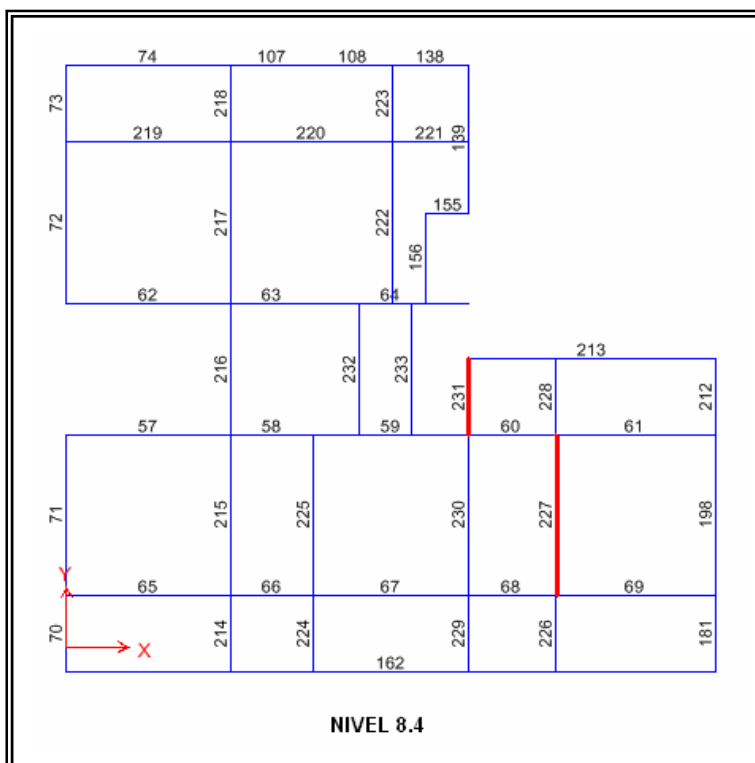


Figura D6. Columnas críticas ED Teruel.

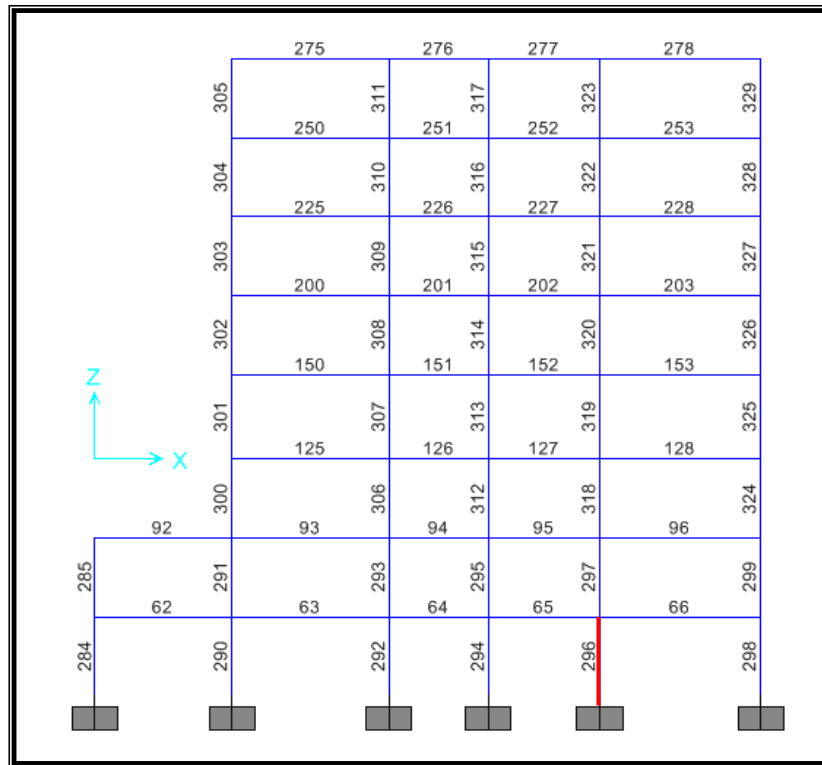


Figura D7. Columnas críticas ED Teruel.

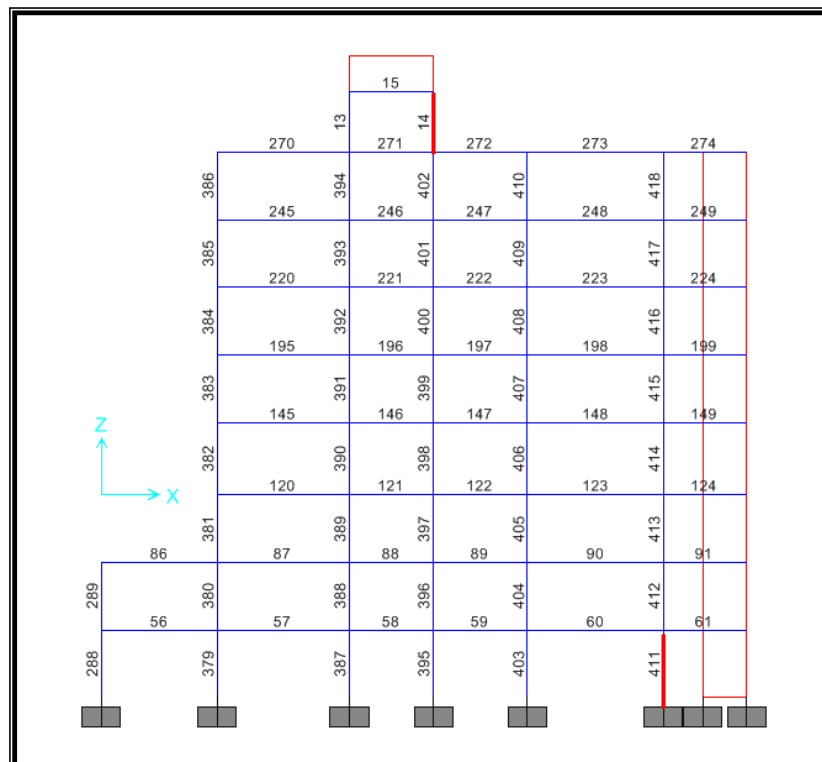


Figura D8. Columnas críticas ED Teruel.

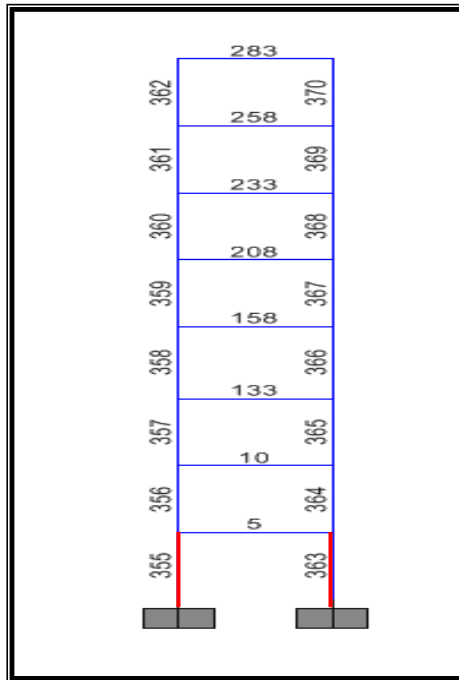


Figura D9. Vigas críticas ED Teruel.

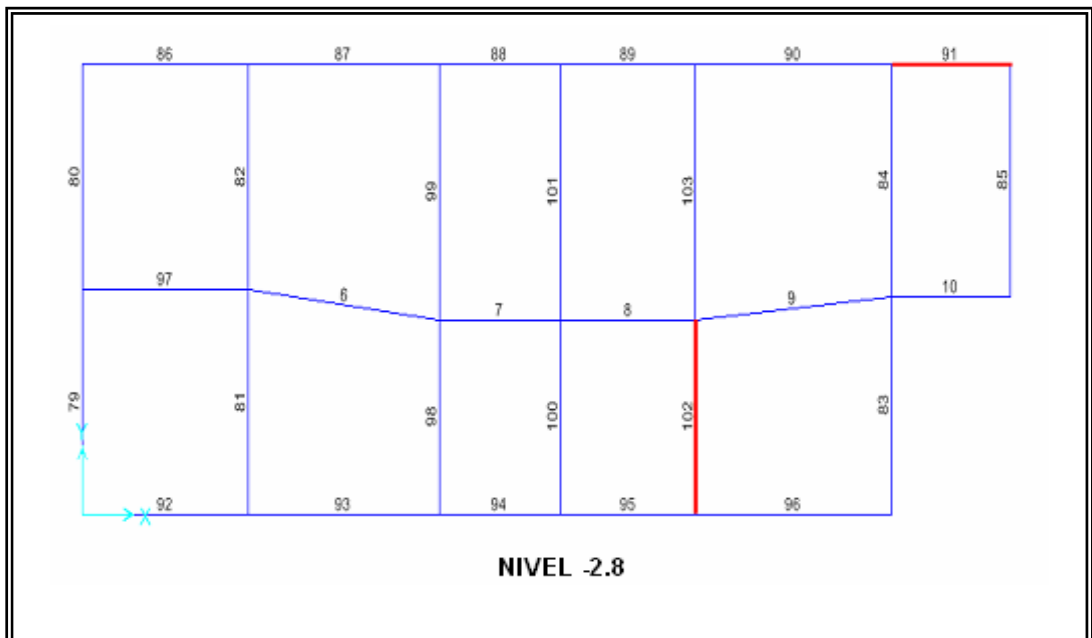


Figura D12. Vigas críticas ED Omega.

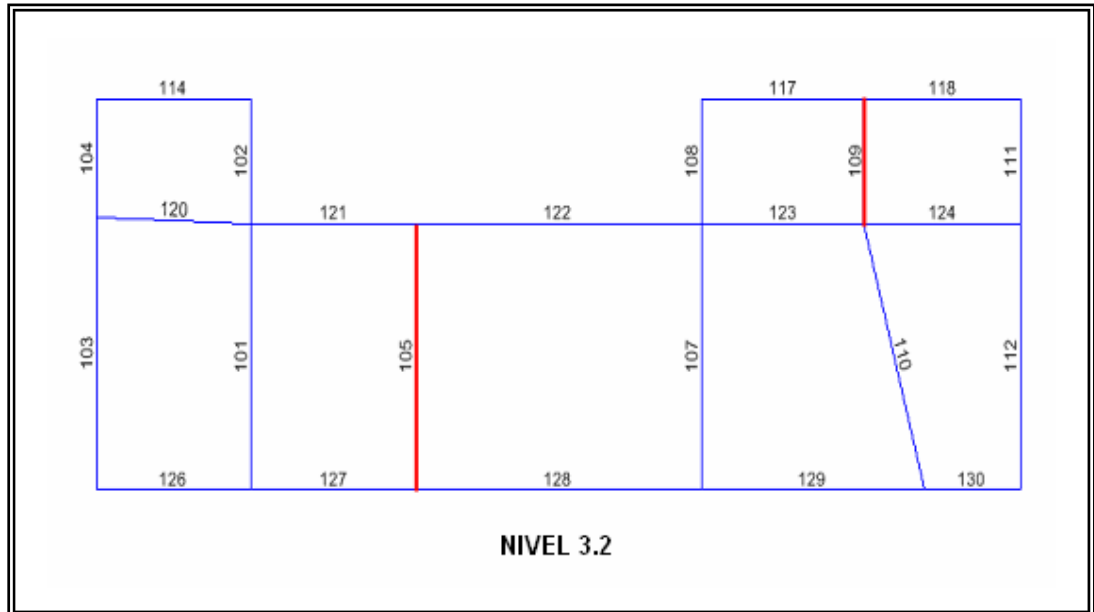


Figura D13. Columnas critica ED Procyón.

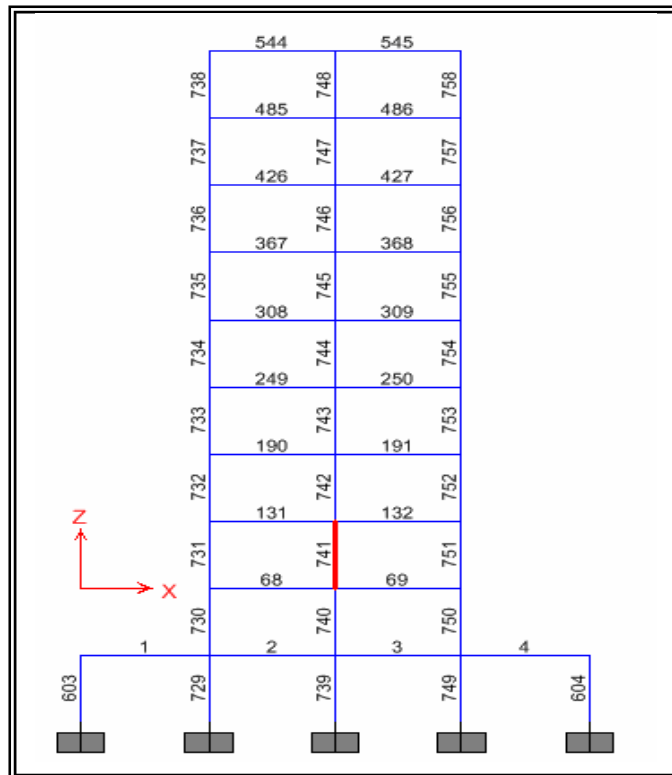


Figura D16. Columnas críticas ED Procyón.

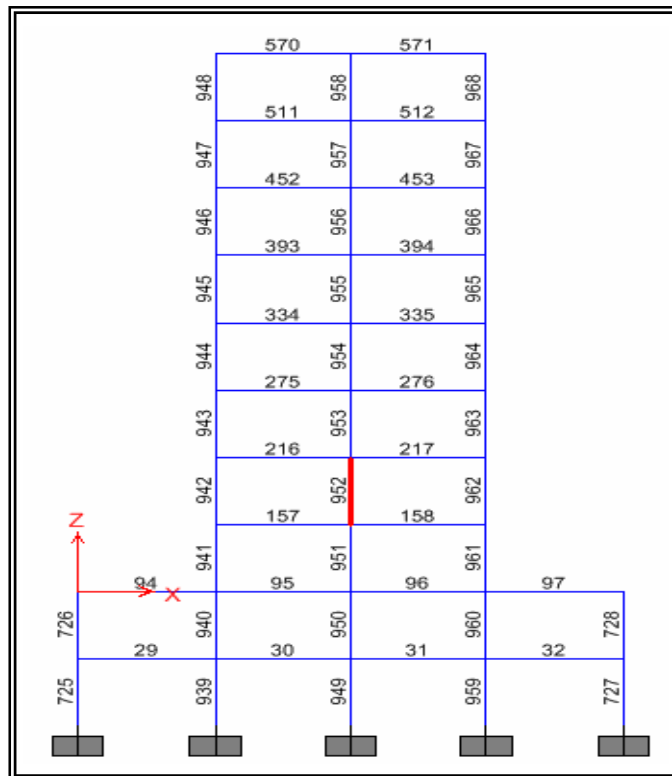


Figura D17. Vigas críticas ED Procyón.

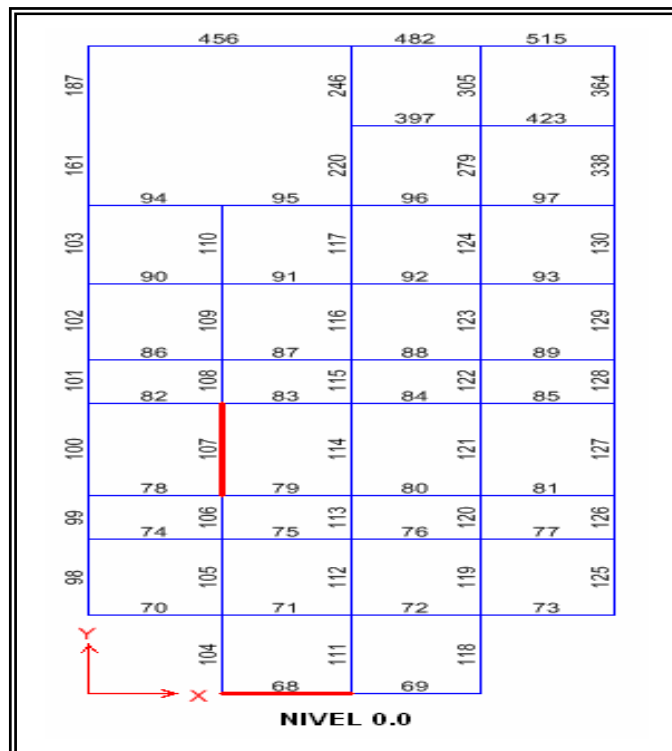


Figura D18. Vigas críticas ED Procyón.

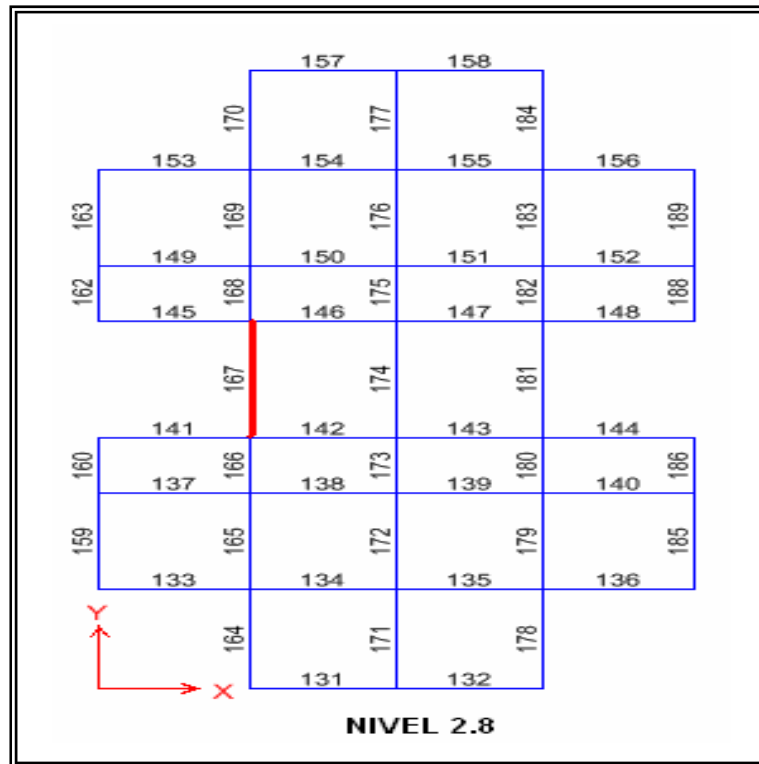


Figura D19. Vigas críticas ED Procyón.

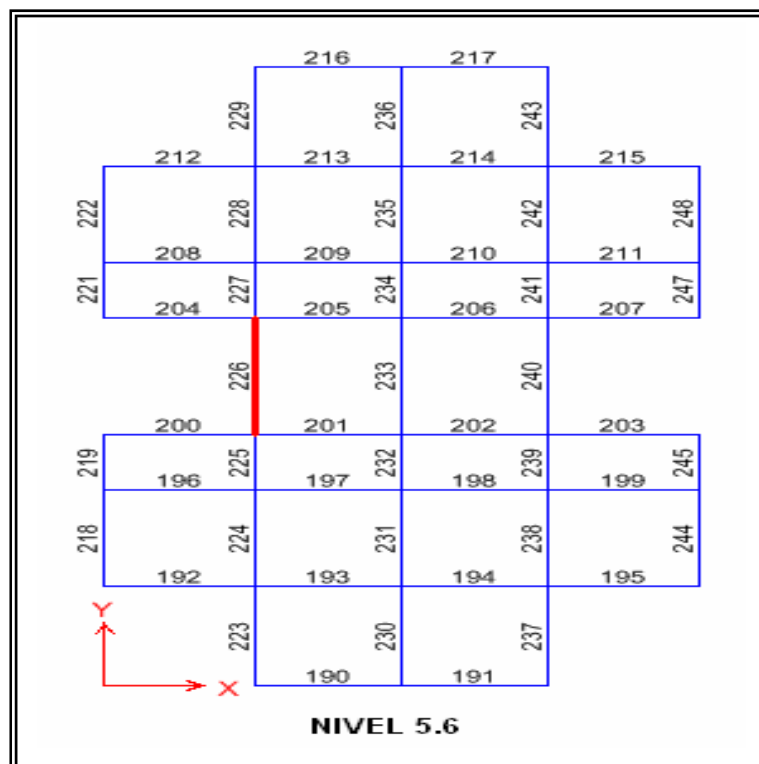


Figura D20. Vigas críticas ED Procyón.

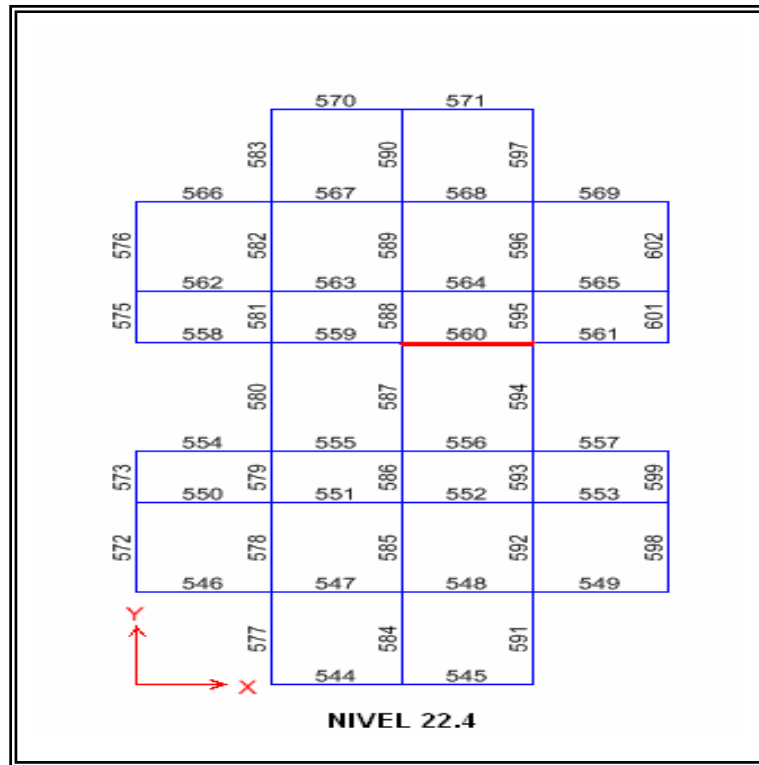
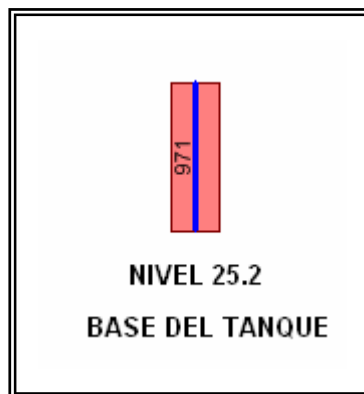


Figura D21. Vigas críticas ED Procyón.



FIN.....