

Análisis del efecto del oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado

Nelson Moran y Ernesto Velásquez

Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta.
Maracaibo, Venezuela.

Correo electrónico: nelson_moran15@outlook.com y evelasquezt@gmail.com

Recibido: 21-01-2020 Aceptado: 09-07-2020

Resumen

La presente investigación trata sobre un análisis del efecto de oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado, el cual debe realizarse abarcando desde los nuevos criterios aplicados a las tecnologías. El desarrollo de la investigación se realizó por el método de la teoría de la rotura, tomando en cuenta las siguientes normativas: COVENIN 1618-98, COVENIN 1756-1-2001, COVENIN 1756-2-2001, ACI 350. La investigación se consideró descriptiva, debido a que se coloca en carácter de estudio el análisis del efecto del oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado, donde se enmarca la determinación de un diseño óptimo del estanque metálico circular elevado mediante las normas COVENIN 1618 y 1756 parte 1 y parte 2 con la finalidad de establecer según los parámetros evaluados, cual es el impacto de la fuerza de oleaje producida por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado, tiene un diseño no experimental por su dimensión temporal en la que se recolectan los datos; a su vez, es transeccional debido a que la recolección de datos se realizó en un solo momento; la investigación es documental, ya que se basa en una recopilación de conceptos, ecuaciones, hipótesis y condiciones de diseño ya establecidos por las normativas descritas y otros investigadores, donde se pudo demostrar que, la carga hidrodinámica que es la fuerza de impacto de oleaje inducida por un sismo si tiene efectos en el diseño estructural del estanque metálico circular elevado

Palabras clave: Sismo, oleaje, tanque circular

Analysis of the effect of waves produced by earthquake in the design of elevated circular metallic tank

Abstract

The present investigation deals the effect's analysis to waves produced by earthquake in the design's elevated circular metallic tank, which must be carried out covering the new criteria applied to new technologies, so, it represents a practical contribution to renew design knowledge of structures, in order to assurance an optimal and safe design. Development of the research was carried out by the method of breakage theory, considering the following regulations: COVENIN 1618-98, COVENIN 1756-1-2001, COVENIN 1756-2-2001, and ACI 350. The investigation was considered descriptive, due to fact, the analysis of the effect of the swell produced by earthquake in the design's elevated circular metallic tank is placed in this studied, where the determination of an optimal design's elevated circular metallic tank is framed by the COVENIN 1618 standards and 1756 part 1 and part 2 in order to establish according to the parameters evaluated, what is the impact's wave force produced by earthquake in the design of a high circular metallic tank, has a non-experimental design due to its temporal dimension in which the data is collected; in turn, it is transactional because the data collection was done in a single moment; The research is documentary, since it is based on a compilation of concepts, equations, hypotheses and design conditions already established by the regulations described and other researchers, where it could be shown that the hydrodynamic load that is the impact force of waves induced by an earthquake if it has effects on the structural design's elevated circular metal tank

Key words: Earthquake, waves, circular tank.

Introducción

La presente investigación trata sobre el análisis del efecto de impacto de oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado. El motivo para este estudio se debe a que actualmente se observan fallas en algunos estanques elevados, y, como consecuencia existen pérdidas económicas y hasta humanas, asimismo se verá afectada la población abastecida por dicho tanque puesto que no trabajará según lo diseñado. En estos estanques elevados presentan agrietamientos, colapsos parciales o totales que deshabilitan la función de un estanque elevado y por consiguiente generan un malestar en la sociedad por la falta de distribución de agua potable. Razón por la cual, esta investigación representa una renovación del conocimiento existente sobre el análisis del efecto de impacto de oleaje producido por sismo en estanques elevados.

La investigación se basó en el método de la teoría de la rotura, bajo los parámetros y criterios de diseño establecido en las normas COVENIN 1618[1] y COVENIN 1756-1-2001[2] (edificaciones sismorresistentes parte 1: requisitos) COVENIN 1756-2-2001[3] (edificaciones sismorresistentes parte 2: comentarios). La finalidad de esta investigación fue analizar el efecto de impacto de oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado, para ello se llevaron a cabo los siguientes objetivos específicos: diseñar la estructura de un estanque metálico circular elevado mediante la norma COVENIN 1618 y COVENIN 1756-1-2001 (edificaciones sismorresistentes parte 1: requisitos) COVENIN 1756-2-2001 (edificaciones sismorresistentes parte 2: comentarios) sin la influencia de la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo, diseñar la estructura de un estanque metálico circular elevado mediante la norma COVENIN 1618 y COVENIN 1756-1-2001 (edificaciones sismorresistentes parte 1: requisitos) COVENIN 1756-2-2001 (edificaciones sismorresistentes parte 2: comentarios) con la influencia de la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo y analizar comparativamente los resultados obtenidos para determinar la incidencia de la fuerza de impacto de oleaje en el diseño de un estanque metálico circular elevado.

Para el diseño estructural del estanque metálico circular elevado se utilizó el software de diseño estructural STAAD PRO Vi8.

Para la metodología de la determinación de las cargas primarias, sus combinaciones y criterios de diseño se utilizaron las normas, COVENIN 1618, COVENIN 1756-1-2001 “Edificaciones sismorresistentes parte 1: requisitos”, COVENIN 1756-2-2001 “Edificaciones sismorresistentes parte 2: comentarios”, COVENIN 2003-89 “Acciones del viento en las estructuras” [4] y también con el estudio de la ACI 350-3:2001 “Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquido”[5].

Materiales y Métodos

Diseño de la investigación

Esta investigación tuvo un diseño no experimental y transeccional, ya que se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Se analizó el efecto del oleaje producido por sismo en el diseño de un estanque metálico circular elevado mediante las normas COVENIN 1618 y 1756 parte 1 y parte 2 y mediante los resultados obtenidos se observó el comportamiento del estanque con la influencia del efecto de oleaje producido por sismo.

Población y muestra

La población son todos los análisis de diseño de estanques elevados con diferentes materiales y de diferentes formas bajo los diferentes métodos de cálculo existentes.

La muestra de esta investigación es el diseño de un tanque metálico de forma cilíndrico elevado bajo el método de la teoría de la rotura.

Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos de esta investigación ha sido utilizando la técnica de tipo documental o bibliográfica, ya que se basó en primera instancia al uso de las normas COVENIN 1618:1998 “Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites”, COVENIN 1756-1:2001 “Edificaciones Sismorresistentes” Parte 1: Requisitos; COVENIN 1756-1:2001 “Edificaciones Sismorresistentes” Parte 2: Comentarios; y también con el estudio de ACI 350-3:2001 “Diseño Sísmico de Estructuras Contenedoras de Líquido”.

Resultados

1. Diseño de la estructura de un estanque metálico circular elevado mediante la norma COVENIN 1618 [1] y COVENIN 1756 parte 1[2] y parte 2[3] sin la influencia de la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo

Geometría y dimensionamiento de los elementos estructurales

El diseño está conformado por una torre aporricada de 15 mts que posee 5 niveles separados cada 3 mts, los cuales se encuentran enlazados mediante cruces de San Andrés que rigidizan los desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z”, las columnas presentan una sección circular de un diámetro exterior de 0.55 mts y un espesor de 0.010 mts, mientras que las vigas y las cruces de San Andrés presentan una sección circular de 0.323 mts y un espesor de 0.016 mts.

Sobre la torre se encuentra una plataforma cuadrada de 9 x 9 mts, conformada por un emparrillado metálico armado en dos direcciones de perfiles IPE 200, sobre el emparrillado descansa una losa de concreto de 0.25 mts de espesor.

Por encima de la plataforma se encuentra el tanque metálico circular de diámetro $D = 5.00$ mts, altura de 4 mts y una cúpula esférica con una altura de 0.317 mts, donde el nivel máximo de agua alcanza los 3 mts y la cámara de aire es de 1 mts; dentro del tanque se encuentra un soporte metálico formado una viga perimetral y unas cuatro columnas curvas que se unen en la cima del tanque en un anillo de compresión, estos soportes del tanque son formados por perfiles HEA 100 con el fin de ofrecer una mayor rigidez a la estructura del tanque, el espesor de las láminas de la pared del tanque es de 0.016 mts y las láminas de la cúpula esférica tienen un espesor de 0.013 mts. En la figura 1 se muestra en perspectivas 3D, la estructura descrita.

Las características de los materiales que se utilizaron son:

- Concreto: $F'c = 180$ kgf/cm², de resistencia a la compresión a los 28 días, libre de cloruros y sulfatos.

- Acero de refuerzo del concreto: barra estriada con un punto de fluencia $Fy = 4200$ kgf/cm².

- Acero de los perfiles tubulares de la torre: acero API 5LX-52, con un esfuerzo de fluencia $Fy = 3660$ kgf/cm² y un esfuerzo último $Fu = 4640$ kgf/cm².

- Acero de los perfiles de la plataforma y estructura del tanque: ASTM A36 con un esfuerzo de fluencia $Fy = 5620$ kgf/cm² y un esfuerzo último $Fu = 2530$ kgf/cm².

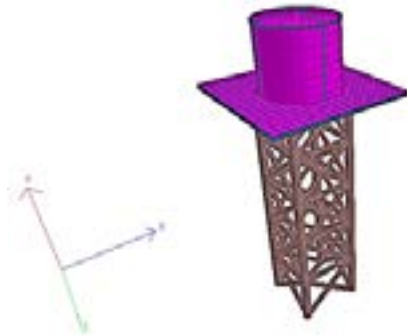


Figura 1. Perspectiva en 3D de la estructura

Modelo matemático

La estructura en si misma está conformada por nodos y *beams*, los nodos son los puntos de unión entre dos o más elementos estructurales, los cuales en la torre presentan la siguiente numeración, tal como se muestra en la Figura 2.

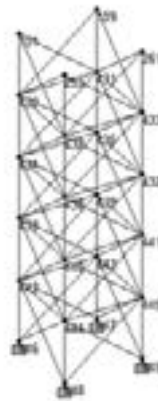


Figura 2. Numeración de los nodos en la torre

Los beams son los elementos estructurales que están entre nodo y nodo, cuya numeración es la siguiente, tal como se muestra en la Figura 3:

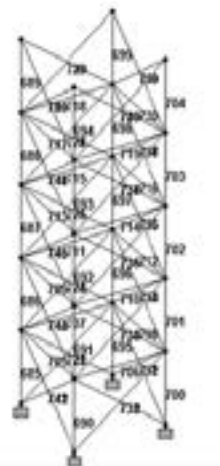


Figura 3. Numeración de los beams en la torre

La plataforma consta de dos tipos de elementos, el primero es el emparrillado metálico conformado por nodos y *beams* en dos direcciones, cuyas numeraciones se presentan a continuación, en las Figuras 4 y 5 respectivamente:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133
134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152
153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171
172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209
210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247
248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266
267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285
286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304
305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323
324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342
343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361

Figura 4. Numeración de los nodos del emparrillado de la plataforma

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	
400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	
457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475
127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	
476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	
495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513
163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	
514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	
533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551
199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	
552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570
217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	
571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589
235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	
590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608
253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	
609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627
271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	
628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646
289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	
647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665
307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	
666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684
325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	

Figura 5. Numeración de los beams del emparrillado de la plataforma

El segundo elemento es el piso del tanque compuesto por una losa de concreto que se apoya sobre el emparrillado metálico, esta losa está conformada por nodos y plates, cuya numeración se presenta a continuación, la Figura 6 para la numeración de los nodos y la Figura 7 para la numeración de los plates de losa de la plataforma.



Figura 6. Numeración de los nodos de la losa de la plataforma

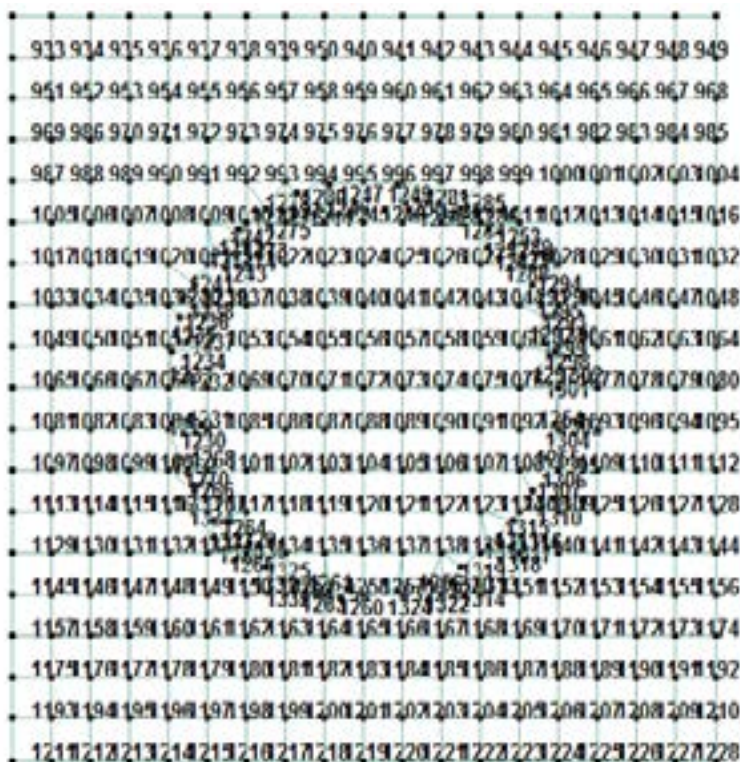


Figura 7. Numeración de los plates de la losa de la plataforma

Sobre la plataforma se encuentra el tanque el cual presenta una estructura metálica que sirve como soporte para rigidizar a este en cuestión, esta estructura está conformada por nodos y *beams* curvos, cuya numeración se presenta en la Figuras 8 y 9 para los nodos y los *beams* curvos respectivamente.



Figura 8. Numeración de los nodos de la estructura del tanque

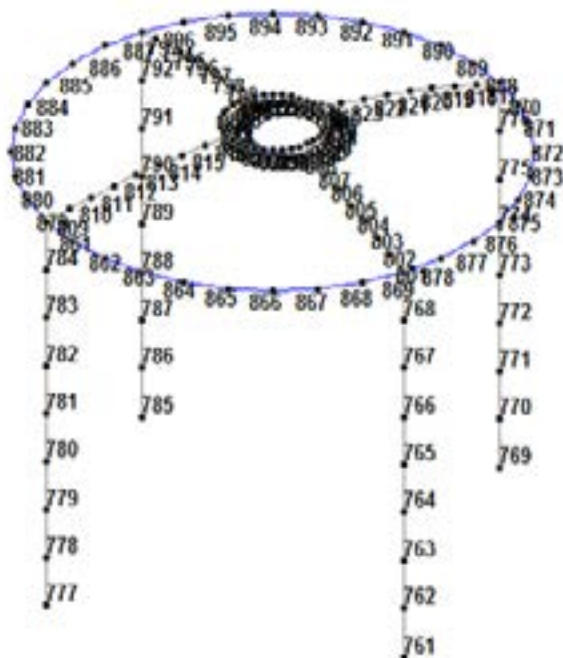


Figura 9. Numeración de los *beams* de la estructura del tanque

Las paredes del tanque están conformadas por plates curvos de manera perimetral, con un espesor de 0.016 mts, en la unión de cada uno de estos plates se encuentra un nodo, dicha numeración de los nodos y los plates se muestran en la Figura 10 y 11 respectivamente.

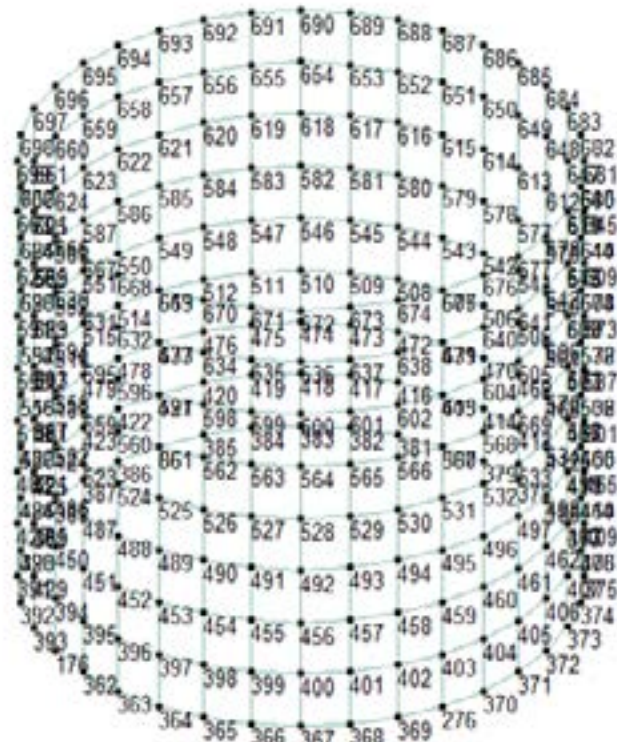


Figura 10. Numeración de los nodos de la pared del tanque



Figura 11. Numeración de los plates de la pared del tanque

Por último se tiene la cúpula esférica del tanque la cual está formada por nodos y plates de espesor de 0.013 mts, cuyas numeraciones se muestran en la Figuras 12 y 13.

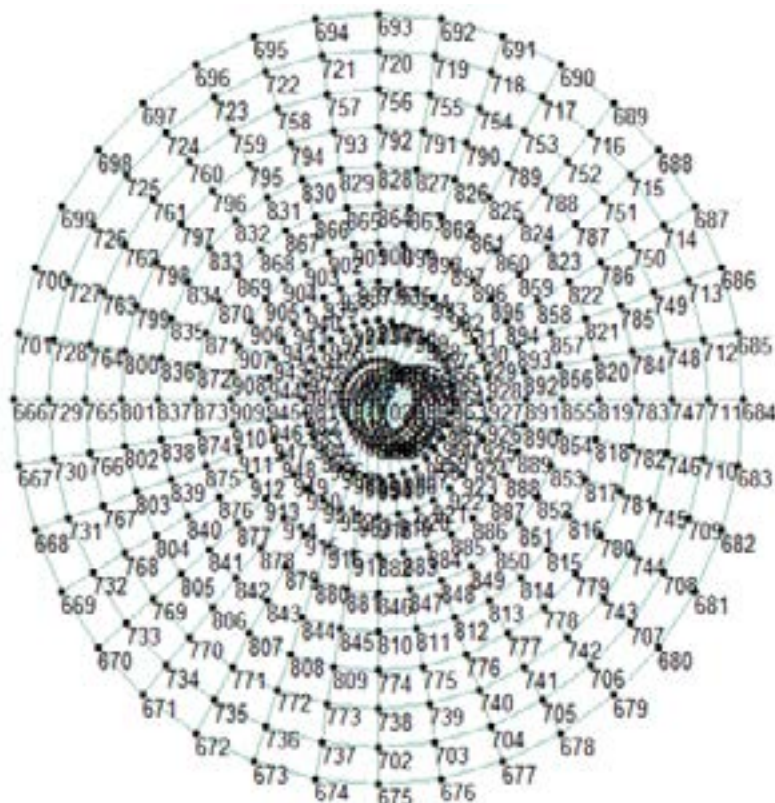


Figura 12. Numeración de los nodos de la cúpula del tanque



Figura 13. Numeración de los plates de la cúpula del tanque

Sistema de cargas

A continuación, se presentan las cargas primarias y sus respectivas combinaciones para el análisis y diseño estructural:

Cargas primarias

1. Carga Permanente (CP)
2. Carga variable (CV)
3. Carga variable de techo (CVt)
4. Carga de viento dirección x (W_x)
5. Carga de viento dirección z (W_z)
6. Carga sísmica dirección x (S_x)
7. Carga sísmica dirección y (S_y)
8. Carga sísmica dirección z (S_z)
9. Carga de fluido (CF)
10. Carga por temperatura (CT)

Combinaciones de cargas:

10. $1.4 CP$
11. $1.2 CP + 1.6 CV + 0.5 CVt$
12. $1.2 CP + 1.6 CVt + 0.5 CV$
13. $1.2 CP + 1.6 CVt + 0.8 W_x$
14. $1.2 CP + 1.6 CVt - 0.8 W_x$
15. $1.2 CP + 1.6 CVt + 0.8 W_z$
16. $1.2 CP + 1.6 CVt - 0.8 W_z$
17. $1.2 CP + 1.3 W_x + 0.5 CV + 0.5 CVt$
18. $1.2 CP - 1.3 W_x + 0.5 CV + 0.5 CVt$
19. $1.2 CP + 1.3 W_z + 0.5 CV + 0.5 CVt$
20. $1.2 CP - 1.3 W_z + 0.5 CV + 0.5 CVt$
21. $0.9 CP + 1.3 W_x$
22. $0.9 CP - 1.3 W_x$

23. $0.9 CP + 1.3 Wz$

24. $0.9 CP - 1.3 Wz$

25. $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz \rightarrow (\gamma = 1$ en los garajes, en las áreas destinadas a concentraciones públicas y en todas aquellas áreas donde la CV sea mayor que 500. A excepción de pisos y terrazas en edif. destinadas a viviendas $\gamma = 0.5)$

26. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

27. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz$

28. $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz$

29. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

30. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz$

31. $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz$

32. $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz$

33. $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz$

34. $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz$

35. $1.2 CP + \gamma CV - 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz$

36. $1.2 CP + \gamma CV + 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz$

37. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

38. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

39. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

40. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

41. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

42. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

43. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz$

44. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz$

45. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz$

46. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz$

47. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz$

48. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz$

49. $0.9 CP + 1 S_x + 0.3 S_y + 0.3 S_z$

50. $0.9 CP + 0.3 S_x + 1 S_y + 0.3 S_z$

51. $0.9 CP + 0.3 S_x + 0.3 S_y + 1 S_z$

52. $0.9 CP - 1 S_x - 0.3 S_y - 0.3 S_z$

53. $0.9 CP - 0.3 S_x - 1 S_y - 0.3 S_z$

54. $0.9 CP - 0.3 S_x - 0.3 S_y - 1 S_z$

55. $0.9 CP - 1 S_x + 0.3 S_y + 0.3 S_z$

56. $0.9 CP + 1 S_x - 0.3 S_y + 0.3 S_z$

57. $0.9 CP + 1 S_x + 0.3 S_y - 0.3 S_z$

58. $0.9 CP - 1 S_x - 0.3 S_y + 0.3 S_z$

59. $0.9 CP - 1 S_x + 0.3 S_y - 0.3 S_z$

60. $0.9 CP + 1 S_x - 0.3 S_y - 0.3 S_z$

61. $0.9 CP - 0.3 S_x + 1 S_y + 0.3 S_z$

62. $0.9 CP + 0.3 S_x - 1 S_y + 0.3 S_z$

63. $0.9 CP + 0.3 S_x + 1 S_y - 0.3 S_z$

64. $0.9 CP - 0.3 S_x - 1 S_y + 0.3 S_z$

65. $0.9 CP - 0.3 S_x + 1 S_y - 0.3 S_z$

66. $0.9 CP + 0.3 S_x - 1 S_y - 0.3 S_z$

67. $0.9 CP - 0.3 S_x + 0.3 S_y + 1 S_z$

68. $0.9 CP + 0.3 S_x - 0.3 S_y + 1 S_z$

69. $0.9 CP + 0.3 S_x + 0.3 S_y - 1 S_z$

70. $0.9 CP - 0.3 S_x - 0.3 S_y + 1 S_z$

71. $0.9 CP - 0.3 S_x + 0.3 S_y - 1 S_z$

72. $0.9 CP + 0.3 S_x - 0.3 S_y - 1 S_z$

Chequeo del desplazamiento lateral

73. $0.7 * D * S_x + 0.7 * D * 0.3 * S_y + 0.7 * D * 0.3 * S_z$

74. $0.7 * D * 0.3 * S_x + 0.7 * D * S_y + 0.7 * D * 0.3 * S_z$

75. $0.7 * D * 0.3 * S_x + 0.7 * D * 0.3 * S_y + 0.7 * D * S_z$

76. CV

77. CP + CV

*** Chequeo de presión del suelo *** Infraestructura

78. $0.75 CP + 0.75 CV + 0.75 W_x$

79. $0.75 CP + 0.75 CV - 0.75 W_x$

80. $0.75 CP + 0.75 CV + 0.75 W_z$

81. $0.75 CP + 0.75 CV - 0.75 W_z$

82. $0.75 CP + 0.75 W_x$

83. $0.75 CP - 0.75 W_x$

84. $0.75 CP + 0.75 W_z$

85. $0.75 CP - 0.75 W_z$

86. $1.1 CP + CV + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$

87. $1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$

88. $1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$

89. $1.1 CP + CV - 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$

90. $1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$

91. $1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.22 S_y - 0.72 S_z$

92. $1.1 CP + CV - 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$

93. $1.1 CP + CV + 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$

94. $1.1 CP + CV + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$

95. $1.1 CP + CV - 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$

96. $1.1 CP + CV - 0.72 S_x + 0.22 S_y - 0.22 S_z$

97. $1.1 CP + CV + 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$

98. $1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$

99. $1.1 CP + CV + 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$

100. $1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$

101. $1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$

102. $1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$

$$103. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$104. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$105. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$106. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$107. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} - 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$108. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$109. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$110. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$111. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$112. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$113. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$114. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$115. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$116. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$117. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$118. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$119. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$120. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$121. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$122. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$123. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$124. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$125. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$126. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$127. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$128. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$129. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$130. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

131. $0.9 CP - 0.22 S_x - 0.22 S_y + 0.72 S_z$

132. $0.9 CP - 0.22 S_x + 0.22 S_y - 0.72 S_z$

133. $0.9 CP + 0.22 S_x - 0.22 S_y - 0.72 S_z$

134. $1.1 CP + CV$

Carga permanente (CP)

Es el peso propio de la estructura el cual es estimado por el Staad Pro.

Carga variable (CV) y carga variable de techo (CVt)

Fue escogida según su uso, para el techo fue 300 kgf/m^2 y para el techo fue de 150 kgf/m^2 .

Viento.

Carga de viento, se presentan los datos referenciales y valores de las fuerzas del viento sobre la estructura de la torre en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de viento en torres cuadradas

ANÁLISIS DE VIENTO EN TORRES CUADRADAS		
DATOS:		
Clasificación según su uso GRUPO=	A	
Factor de importancia eólica $a =$	1.15	
Relación de esbeltez=	3.75	<5
Clasificación según las características de respuesta TIPO=	ES TIPO	
Estructura tipo=	ABIERTA	
Material de la estructura =	ACERO	
Velocidad básica del viento V(km/h)=	125	
Tipo de exposición $T_e =$	D	
Altura máxima de la estructura sobre el terreno Z (m)=	15.00	
$\beta =$	10	
$Z_g =$	200	
Coefficiente de arrastre sobre una superficie k=	0.003	
Coefficiente de fricción $\mu =$	0.83	
Y=	0.000333	
f1=	1.25	
f2=	0.001	
Mayor dimensión de la planta en la dirección analizada L(m)=	4.0000	
Período natural de vibración de la estructura 1 (seg) =	0.67500	
f3=	11.86613	
Factor relativo al perfil de presiones $\Psi =$	0.00175	
Dimensión horizontal perpendicular al viento W (m) =	4.000	
Relación W/h=	0.266667	

Factor de resonancia $\zeta =$						0.19	
$R =$						0.003945	
$\lambda =$						1.12	
Coeficiente de amortiguamiento estructural $\varepsilon =$						0.01	
Factor de exposición (intensidad de turbulencia) $\delta_1 =$						0.166996	
Factor de respuesta ante ráfagas $G_h =$						1.411031	
$K_z =$						1.20797	$Z_m \leq 4.50$
$K_z =$						1.536852	$Z_m > 4.50$
Presión dinámica q_z (kg/m ²) =						105.273	$Z_m \leq 4.50$
Presión dinámica q_z (kg/m ²) =						133.934	$Z_m > 4.50$
Descripción	Tipo de Perfil	Ancho (m)	Longitud (m)	Cantidad	Área (m ²)		
Verticales		0.55	3	2	3.3		
Horiz		0.323	4	2	2.584		
Diagonales		0.323	5	2	3.23		
$A_2 =$	5.81400	Para un modulo		$A_f =$	9.11400	m ²	
$A_1 =$	3.30000						
Área proyectada de un módulo A (m ²) =						12	
Área efectiva $A_e = A_f$ (m ²) =						9.11400	
Relacion $A_e/A =$						0.7595	
Coeficiente forma(perfiles de caras planas y cantos vivos) C_{f1}						1.8	
Coeficiente forma (perfiles de caras curvas) $C_{f2} =$						1.761957	
Coeficiente de forma ponderado $C_{fp} =$						1.8	
Presión 1 (Kg/m ²) =						267.3776	$Z \leq 4.50m$
Presión 2 (Kg/m ²) =						340.1737	$Z > 4.50m$
FUERZA F_1 (kg) =						2436.879	$Z \leq 4.50m$
FUERZA F_2 (kg) =						3100.343	$Z > 4.50m$
FUERZAS DE VIENTO SOBRE LA ESTRUCTURA							
DE LA TORRE							
	N°	P1=P2	P3=P4				
	(kg)	(kg)					
	E-0	1218.5	1218.5		2437		
	E-1	1266	1266		2532		
	E-2	1361	1361		2722		
	E-3	1455.5	1455.5		2911		
	E-4	1550.5	1550.5		3101		
PRESION EN EL TANQUE							
Pr tanque= 350.2622 kgf/m ²				Pr barlovento= 281.00			
Pr sotavento= -176.00							

Sismo

Carga sísmica, se presenta los valores de los espectros elásticos, horizontal y vertical en la Tabla 2 y de manera gráfica en la Figura 14.

Tabla 2. Tabla de valores de carga sísmica

		Tabla de valores					
To	0.2500	ESP. ELÁSTICO		ESP. HORIZON- TAL		ESP. VERTICAL	
		Espectro de Respues- ta		Espectro de Dise- ño H		Espectro de diseño	vertical
T*	1.0000						
T+	0.3000	0.0000	0.3900	0.0000	0.3900	0.0000	0.2730
T+ def	0.3000	0.0500	0.5304	0.0500	0.3563	0.0500	0.2494
R	4.00	0.1000	0.6708	0.1000	0.3280	0.1000	0.2296
C	1.0933	0.1500	0.8112	0.1500	0.3080	0.1500	0.2156
a	1.3000	0.200	0.9516	0.2000	0.2933	0.2000	0.2053
b	2.8000	0.2500	1.0920	0.2500	0.2820	0.2500	0.1974
F	1.0000	0.3000	1.0920	0.3000	0.2730	0.3000	0.1911
Ao	0.3000	0.3500	1.0920	0.3500	0.2730	0.3500	0.1911
p	1.0000	0.4000	1.0920	0.4000	0.2730	0.4000	0.1911
		0.4500	1.0920	0.4500	0.2730	0.4500	0.1911
		0.5000	1.0920	0.5000	0.2730	0.5000	0.1911
		0.5500	1.0920	0.5500	0.2730	0.5500	0.1911
		0.6000	1.0920	0.6000	0.2730	0.6000	0.1911
		0.6500	1.0920	0.6500	0.2730	0.6500	0.1911
		0.7000	1.0920	0.7000	0.2730	0.7000	0.1911
		0.7500	1.0920	0.7500	0.2730	0.7500	0.1911
		0.8000	1.0920	0.8000	0.2730	0.8000	0.1911
		0.8500	1.0920	0.8500	0.2730	0.8500	0.1911
		0.9000	1.0920	0.9000	0.2730	0.9000	0.1911
		0.9500	1.0920	0.9500	0.2730	0.9500	0.1911
		1.0000	1.0920	1.0000	0.2730	1.0000	0.1911
		1.0500	1.0400	1.0500	0.2600	1.0500	0.1820
		1.1000	0.09927	1.1000	0.2482	1.1000	0.1737
		1.1500	0.9496	1.1500	0.2374	1.1500	0.1662
		1.2000	0.9100	1.2000	0.2275	1.2000	0.1593
		1.2500	0.8736	1.2500	0.2184	1.2500	0.1523
		1.3000	0.8400	1.3000	0.2100	1.3000	0.1470
		1.3500	0.8089	1.3500	0.2022	1.3500	0.1416
		1.4000	0.7800	1.4000	0.1950	1.4000	0.1365
		1.4500	0.7531	1.4500	0.1883	1.4500	0.1318
		1.5000	0.7280	1.5000	0.1820	1.5000	0.1274
		1.5500	0.7045	1.5500	0.1761	1.5500	0.1233
		1.6000	0.6825	1.6000	0.1706	1.6000	0.1194

1.6500	0.6618	1.6500	0.1655	1.6500	0.1158
1.7000	0.6424	1.7000	0.1606	1.7000	0.1124
1.7500	0.6240	1.7500	0.1560	1.7500	0.1092
1.8000	0.6067	1.8000	0.1517	1.8000	0.1062
1.8500	0.5903	1.8500	0.1476	1.8500	0.1033
1.9000	0.5747	1.9000	0.1437	1.9000	0.1006
1.9500	0.5600	1.9500	0.1400	1.9500	0.0980
2.0000	0.5460	2.0000	0.1365	2.0000	0.0956
2.0500	0.5327	2.0500	0.1332	2.0500	0.0932
2.1000	0.5200	2.1000	0.1300	2.1000	0.0910
2.1500	0.5079	2.1500	0.1270	2.1500	0.0889
2.2000	0.4964	2.2000	0.1241	2.2000	0.0869
2.2500	0.4853	2.2500	0.1213	2.2500	0.0849
2.3000	0.4748	2.3000	0.1187	2.3000	0.0831
2.3500	0.4647	2.3500	0.1162	2.3500	0.0813
2.4000	0.4550	2.4000	0.1138	2.4000	0.0796
2.4500	0.4457	2.4500	0.1114	2.4500	0.0780
2.5000	0.4368	2.5000	0.1092	2.5000	0.0764
3.5000	0.3120	3.5000	0.0780	3.5000	0.0546
4.5000	0.2427	4.5000	0.0607	4.5000	0.0425
5.5000	0.1985	5.5000	0.0496	5.5000	0.0347
6.5000	0.1680	6.5000	0.0420	6.5000	0.0294
7.5000	0.1456	7.5000	0.0364	7.5000	0.0255

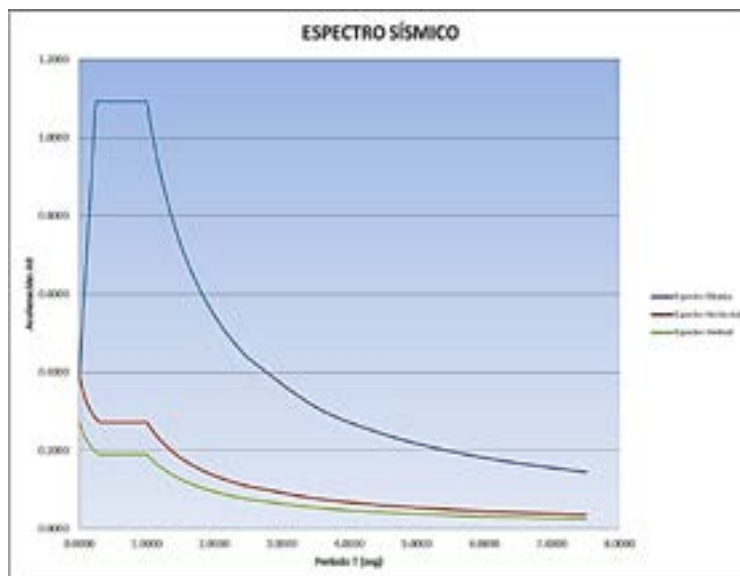


Figura 14. Espectro sísmico de diseño (Hoja de cálculo de Microsoft Excel)

Carga hidrostática de fluido

Una carga uniformemente variable en la pared del tanque (forma triangular) siendo 0 en la superficie del líquido y 3000 kgf/m² y una carga uniformemente distribuida en el fondo del tanque de 3000 kgf/m².

Carga por temperatura

Se ha tomado como carga mínima por temperatura un diferencial de temperatura $\Delta T = 20$ C.

Análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a las variables que resultaron de interés para la verificación y caracterización del comportamiento del sistema estructural propuesto, se utilizó STAAD Pro-V8i Profesional, como herramienta para aplicar los métodos de análisis.

Período de la estructura T_e (seg)

En la Tabla 3 se muestran el valor del periodo de la estructura, el cual debe estar fuera del intervalo $0.30 > T_e > 1.00$ para que la edificación no entre en resonancia. En este diseño el periodo de vibración de la estructura fue de 0.26837 seg mostrado en la Tabla 3 dicho valor se encuentra fuera del intervalo de resonancia, lo cual cumple con el criterio establecido en la norma COVENIN 1756.

Tabla 3. Período de la estructura

CALCULATED FREQUENCIES FOR LOAD CASE 6			
MODE	FREQUENCY (CY- CLES/SEC)	PERIOD(SEC)	ACCURACY
1	3.726	0.26837	2.074E16
2	3.726	0.26837	2.074E16
3	6.033	0.16576	1.583E-16
4	9.312	0.10739	5.313E-16
5	10.621	0.9415	6.126E-16
6	10.624	0.09412	2.041E-16

Masa participativa en dirección "X"

En la Tabla 4, en la columna de la izquierda se presentan los resultados de la masa participativa en dirección "X" para el sistema estructural. El % de la masa participativa en dirección X debe ser mayor o igual al 90%: el porcentaje de masa participativa obtenido es de 98.214% siendo este mayor al 90% lo cual cumple con el criterio establecido por la norma COVENIN 1756.

Tabla 4. Masa participativa y corte basal en dirección "X"

MAS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KG		
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z
94	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
96	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
97	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
98	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.02	0.00	0.00
99	0.05	0.00	0.00	98.212	88.904	98.163	53.66	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.05	98.214	88.904	98.213	1.85	0.00	0.00

		Total SRSS		SHEAR			66667.72	0.00	0.00
		Total 10 PCT		SHEAR			70637.70	0.00	0.00
		Total ABS		SHEAR			79222.29	0.00	0.00
		Total CQC		SHEAR			70668.38	0.00	0.00

Corte basal en dirección “X”

El valor obtenido del corte basal en dirección “X” es de $V_{bx} = 70.668.38$ kgf como se muestra en la Tabla 4, el cual cumple el chequeo del coeficiente sísmico y control del corte basal.

Masa participativa en dirección “Z”

En la Tabla 5, en la columna de la izquierda se presentan los resultados de la masa participativa en dirección “Z” para el sistema estructural. El % de la masa participativa en dirección Z debe ser mayor o igual al 90%: el porcentaje de masa participativa obtenido es de 98.213% siendo este mayor al 90% lo cual cumple con el criterio establecido por la norma COVENIN 1756[2].

Tabla 5. Masa participativa y corte basal en dirección “Z”

MAS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KG			
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z	
94	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
95	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
96	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
97	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
98	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00	
99	0.05	0.00	0.00	98.212	88.904	98.163	0.00	0.00	1.87	
100	0.00	0.00	0.05	98.214	88.904	98.213	0.00	0.00	53.61	

Total SRSS							SHEAR	0.00	0.00	66667.80
Total 10 PCT							SHEAR	0.00	0.00	70638.83
Total ABS							SHEAR	0.00	0.00	79221.74
Total CQC							SHEAR	0.00	0.00	70668.89

Corte basal en dirección “Z”

El valor obtenido del corte basal en dirección “Z” es de $V_{bz} = 70.668.89$ kgf como se muestra en la Tabla 5, el cual cumple chequeo del coeficiente sísmico y control del corte basal.

Deformación vertical:

A continuación, se presentan los resultados de los deformación verticales del sistema estructural, en la Tabla 6 se muestra que la deformación máxima actuante para la combinación de carga LOAD COMB 78 CP + CV es de $\Delta V_{act} = 4.738$ mm. La deformación admisible no es más que la relación de la luz del volado entre doscientos (200.00), $\Delta V_{adm} = 2,000.00$ mm/200.00. Siendo el desplazamiento en dirección “Y” menor que el valor admisible ($\Delta V_{adm} = 10.00$ mm), por tal motivo cumple con criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1618.

Tabla 6. Máxima deformación vertical (Y)

			Horizon- tal	Vertical	Horizontal	Resul- tant	Rotational		
	Node	L/C	X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
Max X	504	78 CP+CV	0.117	-0.266	-0.000	0.291	-0.000	0.000	-0.000
Min X	486	78 CP+CV	-0.119	-0.266	-0.000	0.292	-0.000	-0.000	0.000
Max Y	181	78 CP+CV	-0.001	0.215	-0.000	0.215	0.000	0.000	-0.000
Min Y	1	78 CP+CV	-0.002	-4.738	-0.001	4.738	-0.001	0.000	0.001
Max Z	508	78 CP+CV	-0.11	-0.25	0.110	0.294	0.000	0.000	0.000
Min Z	500	78 CP+CV	-0.11	-0.25	-0.110	0.294	-0.000	-0.000	0.000
Max rX	319	78 CP+CV	0.000	-1.874	0.001	1.874	0.001	0.000	-0.001
Min rX	43	78 CP+CV	-0.002	-1.876	-0.002	1.876	-0.001	0.000	0.001
Max rY	498	78 CP+CV	-0.051	-0.253	-0.021	0.259	-0.000	0.000	0.000
Min rY	510	78 CP+CV	-0.052	-0.253	0.020	0.259	0.000	-0.000	0.000
Max rZ	79	78 CP+CV	-0.002	-1.875	-0.001	1.875	-0.001	-0.000	0.001
Min rZ	283	78 CP+CV	0.001	-1.874	0.001	1.874	0.001	-0.000	-0.001
Max Rs	1	78 CP+CV	-0.002	-4738	-0.001	4.738	-0.001	0.000	0.001

Deformación lateral en dirección “X”

En la Tabla 7 se evidenció el máximo desplazamiento lateral en dirección “X”, mientras que en la Tabla 8 se observó la ubicación del nodo con el mayor desplazamiento lateral en dirección “X”, el cual fue en el nodo 1026, dicho desplazamiento tuvo un valor de $\Delta L_{x_{act}} = 17.918$ mm, este valor debe multiplicarse por 0.8 para obtener el desplazamiento elástico $\Delta L_{x_E} = 17.918$ mm x 0.8 = 14.3344 mm.

Al desplazamiento elástico de este nodo se le debe restar el desplazamiento elástico del nodo inferior inmediato para poder obtener la deriva, dicho nodo es el 181 (que se observó en la figura 15 y su desplazamiento en la Tabla 8) y tiene un desplazamiento de $\Delta L_{x_{act}} = 13.789$ mm, el cual, al multiplicarse por 0.8 se obtuvo el desplazamiento elástico $\Delta L_{x_E} = 13.789$ mm x 0.8 = 11.0312 mm; obtenido este valor se proceden a restar los desplazamientos para obtener la deriva $\delta_x = 14.3344$ mm – 11.0312 mm = 3.3032 mm.

El factor (FKx) actuante es la relación entre la deriva y la altura entre los dos nodos consecutivos de estudio por lo que el factor $FKx_{act} = 3.3032$ mm / 4,317.00 mm = 0.000765, siendo el FKx_{act} menor que el admisible $FK_{adm} = 0.012$, por tal motivo se da cumplimiento al criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1756:2001.

Tabla 7. Máximos desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z” en el nodo 1026

			Horiz- ontal	Verti- cal	Horiz- ontal	Resul- tant	Rotational		
	Node	L/C	X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	xZ rad
Max X	1026	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	17.918	0.229	5.376	18.709	0.000	0.000	0.001
Min X	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Y	361	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	13.789	6.949	4.143	15.987	0.001	0.000	0.001
Min Y	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Z	1026	74 2.8 SX+0.84 SY+2.84 SZ	5.377	0.229	17.918	18.709	0.001	0.000	0.000
Min Z	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max rX	361	74 2.8 SX+0.84 SY+2.84 SZ	4.142	6.947	13.787	15.985	0.001	0.000	0.001
Min rX	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max rY	519	74 2.8 SX+0.84 SY+2.84 SZ	4.797	1.937	15.282	16.134	0.001	0.001	0.000
Min rY	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max rZ	361	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	13.789	6.949	4.143	15.987	0.001	0.000	0.001
Min rZ	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Rs	1024	74 2.8 SX+0.84 SY+2.84 SZ	5.376	0.478	17.916	18.711	0.001	0.000	0.000

Tabla 8. Máximos desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z” en el nodo 181

		Horizontal	Vertical	Horizontal	Resultant	Rotational		
Node	LC	X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
181	742.8SX+0	13.789	0.552	4.137	14.407	0.000	0.000	0.001
	762.8SX+	4.137	0.552	13.789	14.407	0.001	0.000	0.000
182	742.8SX+0	13.789	1.000	4.137	14.431	0.000	0.000	0.001
	762.8SX+	4.137	0.67	13.788	14.411	0.001	0.000	0.000
183	742.8SX+0	13.789	1.407	4.136	14.465	0.000	0.000	0.001
	762.8SX+	4.137	0.746	13.786	14.412	0.001	0.000	0.000

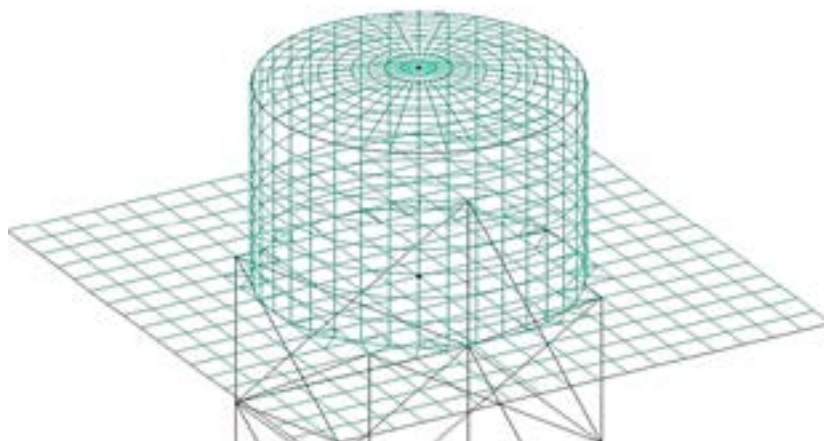


Figura 15. Nodos 1026 y 181

Deformación lateral en dirección “Z”

En la Tabla 9 se muestra el máximo desplazamiento lateral en dirección “Z”, mientras que en la Figura 15 se observó la ubicación del nodo con el mayor desplazamiento lateral en dirección “Z”, el cual fue en el nodo 1026, dicho desplazamiento tuvo un valor de $\Delta Lz_{act} = 17.918$ mm, este valor debe multiplicarse por 0.8 para obtener el desplazamiento elástico $\Delta Lz_E = 17.918$ mm x 0.8 = 14.3344 mm.

Al desplazamiento elástico de este nodo se le debe restar el desplazamiento elástico del nodo inferior inmediato para poder obtener la deriva, dicho nodo es el 181 (que se observó en la figura 15 y su desplazamiento en la Tabla 8) y tiene un desplazamiento de $\Delta Lz_{act} = 13.789$ mm, el cual, al multiplicarse por 0.8 se obtuvo el desplazamiento elástico $\Delta Lz_E = 13.789$ mm x 0.8 = 11.0312 mm; obtenido este valor se proceden a restar los desplazamientos $\delta_z = 14.3344$ mm – 11.0312 mm = 3.3032 mm.

El factor (FKz) actuante es la relación entre la deriva y la altura de entrepiso por lo que el factor $FKz_{act} = 3.3032$ mm / 4,317.00 mm = 0.000765, siendo el FKz_{act} menor que el admisible $FK_{adm} = 0.012$, por tal motivo se da cumplimiento al criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1756:2001.

Ratio

El miembro 785 presenta un valor de ratio actuante máximo de 0.372, el cual, es menor a 1, por consiguiente cumple con la norma COVENIN 1618[1].

El ratio mayor actuante en las columnas es de 0.153 correspondiente a los elementos estructurales 685, 690, 695 y 700, los cuales cumplen con la norma COVENIN 1618[1].

Losa

Barra estriada #5 (5/8”) a/c 0.15 m, dos capas armadas en dos direcciones.

2. Estructura de un estanque metálico circular elevado mediante la norma [1] y [2][3] con la influencia de la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo.

Geometría y dimensionamiento de los elementos estructurales

La geometría los elementos estructurales ya fueron definidos anteriormente (*véase sección Resultados, punto 1*)

Modelo matemático

El modelo matemático de la estructura ya fue definido anteriormente en la sección anterior (*véase sección Resultados, punto 1, Modelo matemático*)

Sistema de cargas

A continuación, se presentan las cargas primarias y sus respectivas combinaciones para el análisis y diseño estructural:

Cargas primarias

1. Carga Permanente (CP)
2. Carga variable (CV)

3. Carga variable de techo (CVt)
4. Carga de viento dirección x (W_x)
5. Carga de viento dirección z (W_z)
6. Carga sísmica dirección x (S_x)
7. Carga sísmica dirección y (S_y)
8. Carga sísmica dirección z (S_z)
9. Carga de fluido (CF)
10. Carga por temperatura (CT)
11. Carga hidrodinámica en X positivo
12. Carga hidrodinámica en X negativo
13. Carga hidrodinámica en Z positivo
14. Carga hidrodinámica en Z negativo

Combinaciones de cargas

15. 1.4 CP
16. 1.2 CP + 1.6 CV + 0.5 CVt
17. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.5 CV
18. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.8 W_x
19. 1.2 CP + 1.6 CVt - 0.8 W_x
20. 1.2 CP + 1.6 CVt + 0.8 W_z
21. 1.2 CP + 1.6 CVt - 0.8 W_z
22. 1.2 CP + 1.3 W_x + 0.5 CV + 0.5 CVt
23. 1.2 CP - 1.3 W_x + 0.5 CV + 0.5 CVt
24. 1.2 CP + 1.3 W_z + 0.5 CV + 0.5 CVt
25. 1.2 CP - 1.3 W_z + 0.5 CV + 0.5 CVt
26. 0.9 CP + 1.3 W_x
27. 0.9 CP - 1.3 W_x
28. 0.9 CP + 1.3 W_z
29. 0.9 CP - 1.3 W_z

30. $1.2 CP + \gamma CV + 1 S_x + 0.3 S_y + 0.3 S_z + 1.6 CHZP \rightarrow (\gamma = 1 \text{ en los garajes, en las áreas destinadas a concentraciones públicas y en todas aquellas áreas donde la CV sea mayor que } 500. \text{ A excepción de pisos y terrazas en edif. destinadas a viviendas } \gamma = 0.5)$

31. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 S_x + 1 S_y + 0.3 S_z$
32. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 S_x + 0.3 S_y + 1 S_z + 1.6 CHZP$
33. $1.2 CP + \gamma CV - 1 S_x - 0.3 S_y - 0.3 S_z + 1.6 CHXN$
34. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 S_x - 1 S_y - 0.3 S_z$
35. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 S_x - 0.3 S_y - 1 S_z + 1.6 CHZN$
36. $1.2 CP + \gamma CV - 1 S_x + 0.3 S_y + 0.3 S_z + 1.6 CHXN$
37. $1.2 CP + \gamma CV + 1 S_x - 0.3 S_y + 0.3 S_z + 1.6 CHXP$
38. $1.2 CP + \gamma CV + 1 S_x + 0.3 S_y - 0.3 S_z + 1.6 CHXP$
39. $1.2 CP + \gamma CV - 1 S_x - 0.3 S_y + 0.3 S_z + 1.6 CHXN$
40. $1.2 CP + \gamma CV - 1 S_x + 0.3 S_y - 0.3 S_z + 1.6 CHXN$
41. $1.2 CP + \gamma CV + 1 S_x - 0.3 S_y - 0.3 S_z + 1.6 CHXP$
42. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 S_x + 1 S_y + 0.3 S_z$
43. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 S_x - 1 S_y + 0.3 S_z$
44. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 S_x + 1 S_y - 0.3 S_z$
45. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 S_x - 1 S_y + 0.3 S_z$
46. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 S_x + 1 S_y - 0.3 S_z$
47. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 S_x - 1 S_y - 0.3 S_z$
48. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 S_x + 0.3 S_y + 1 S_z + 1.6 CHZP$
49. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 S_x - 0.3 S_y + 1 S_z + 1.6 CHZP$
50. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 S_x + 0.3 S_y - 1 S_z + 1.6 CHZN$
51. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 S_x - 0.3 S_y + 1 S_z + 1.6 CHZP$
52. $1.2 CP + \gamma CV - 0.3 S_x + 0.3 S_y - 1 S_z + 1.6 CHZN$
53. $1.2 CP + \gamma CV + 0.3 S_x - 0.3 S_y - 1 S_z + 1.6 CHZN$
54. $0.9 CP + 1 S_x + 0.3 S_y + 0.3 S_z + 1.6 CHXP$
55. $0.9 CP + 0.3 S_x + 1 S_y + 0.3 S_z$

56. $0.9 CP + 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz + 1.6 CHZP$

57. $0.9 CP - 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz + 1.6 CHXN$

58. $0.9 CP - 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

59. $0.9 CP - 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz + 1.6 CHZN$

60. $0.9 CP - 1 Sx + 0.3 Sy + 0.3 Sz + 1.6 CHXN$

61. $0.9 CP + 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz + 1.6 CHXP$

62. $0.9 CP + 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz + 1.6 CHXP$

63. $0.9 CP - 1 Sx - 0.3 Sy + 0.3 Sz + 1.6 CHXN$

64. $0.9 CP - 1 Sx + 0.3 Sy - 0.3 Sz + 1.6 CHXN$

65. $0.9 CP + 1 Sx - 0.3 Sy - 0.3 Sz + 1.6 CHXP$

66. $0.9 CP - 0.3 Sx + 1 Sy + 0.3 Sz$

67. $0.9 CP + 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

68. $0.9 CP + 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

69. $0.9 CP - 0.3 Sx - 1 Sy + 0.3 Sz$

70. $0.9 CP - 0.3 Sx + 1 Sy - 0.3 Sz$

71. $0.9 CP + 0.3 Sx - 1 Sy - 0.3 Sz$

72. $0.9 CP - 0.3 Sx + 0.3 Sy + 1 Sz + 1.6 CHZP$

73. $0.9 CP + 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz + 1.6 CHZP$

74. $0.9 CP + 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz + 1.6 CHZN$

75. $0.9 CP - 0.3 Sx - 0.3 Sy + 1 Sz + 1.6 CHZP$

76. $0.9 CP - 0.3 Sx + 0.3 Sy - 1 Sz + 1.6 CHZN$

77. $0.9 CP + 0.3 Sx - 0.3 Sy - 1 Sz + 1.6 CHZN$

Chequeo del desplazamiento lateral

78. $0.7 * D * Sx + 0.7 * D * 0.3 * Sy + 0.7 * D * 0.3 * Sz + 1.6 CHXP$

79. $0.7 * D * 0.3 * Sx + 0.7 * D * Sy + 0.7 * D * 0.3 * Sz$

80. $0.7 * D * 0.3 * Sx + 0.7 * D * 0.3 * Sy + 0.7 * D * Sz + 1.6 CHZP$

81. CV

82. CP + CV

*** Chequeo de presión del suelo *** Infraestructura

$$83. 0.75 CP + 0.75 CV + 0.75 W_x$$

$$84. 0.75 CP + 0.75 CV - 0.75 W_x$$

$$85. 0.75 CP + 0.75 CV + 0.75 W_z$$

$$86. 0.75 CP + 0.75 CV - 0.75 W_z$$

$$87. 0.75 CP + 0.75 W_x$$

$$88. 0.75 CP - 0.75 W_x$$

$$89. 0.75 CP + 0.75 W_z$$

$$90. 0.75 CP - 0.75 W_z$$

$$91. 1.1 CP + CV + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$92. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$$

$$93. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$$

$$94. 1.1 CP + CV - 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$$

$$95. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$$

$$96. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.22 S_y - 0.72 S_z$$

$$1.1 CP + CV - 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$97. 1.1 CP + CV + 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$98. 1.1 CP + CV + 0.72 S_x + 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$99. 1.1 CP + CV - 0.72 S_x - 0.22 S_y + 0.22 S_z$$

$$100. 1.1 CP + CV - 0.72 S_x + 0.22 S_y - 0.22 S_z$$

$$101. 1.1 CP + CV + 0.72 S_x - 0.22 S_y - 0.22 S_z$$

$$1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.72 S_y + 0.22 S_z$$

$$102. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$$

$$103. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$$

$$104. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x - 0.72 S_y + 0.22 S_z$$

$$105. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.72 S_y - 0.22 S_z$$

$$106. 1.1 CP + CV + 0.22 S_x - 0.72 S_y - 0.22 S_z$$

$$107. 1.1 CP + CV - 0.22 S_x + 0.22 S_y + 0.72 S_z$$

$$108. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$109. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$110. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} - 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$111. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$112. 1.1 \text{ CP} + \text{CV} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$113. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$114. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$115. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$116. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$117. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$118. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$119. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$120. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$121. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$122. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$123. 0.9 \text{ CP} - 0.72 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$124. 0.9 \text{ CP} + 0.72 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$125. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$126. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$127. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$128. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} + 0.22 \text{ Sz}$$

$$129. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$130. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.72 \text{ Sy} - 0.22 \text{ Sz}$$

$$131. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$132. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$133. 0.9 \text{ CP} + 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$134. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} - 0.22 \text{ Sy} + 0.72 \text{ Sz}$$

$$135. 0.9 \text{ CP} - 0.22 \text{ Sx} + 0.22 \text{ Sy} - 0.72 \text{ Sz}$$

$$136. 0.9 CP + 0.22 Sx - 0.22 Sy - 0.72 Sz$$

$$137. 1.1 CP + CV$$

Los cálculos de las cargas primarias para este diseño se realizaron de la misma manera que para el diseño 1, a excepción de la carga hidrodinámica.

Carga hidrodinámica

1. Presión hidrodinámica impulsiva

- Presión hidrodinámica impulsiva en la pared

$$P_{IW} = Q_{IW}(Y)(Ah)_i p g \cos(\varnothing)$$

$$Q_{IW} = 0.866[1 - (Y/h)^2] \tanh(0.866) \quad \text{Máxima presión ocurrirá con } \varnothing = 0$$

- En la base del tanque $y = 0$

$$Q_{IW}(Y=0) = 0.866 \left[1 - \left(\frac{0}{3} \right)^2 \right] \tanh(0.866)$$

$$Q_{IW} = 0.77$$

- Presión impulsiva en la base de la pared ($Y=0$)

$$(9.81m/s) (3m) \cos(0)$$

$$P_{IW} = 4.47 Kn / m (1000 / (9.81m / seg^2)) = 455.994 kg / m^2$$

Presión hidrodinámica impulsiva en la base de la losa ($Y=0$)

$$P_{ib} = 0.866(0.1974)(1000kg / m^3)(9.81m / seg^2)(3m) \sinh\left(0.866 \frac{5m}{2} 3m\right) / \cos \cos h\left(0.866 \frac{5m}{2} 3m\right)$$

$$P_{ib} = 3.108 Kn / m^2 1000 / (9.81m / seg^2) = 316.91 kg / m^2 \quad ? 317 kg / m^2$$

2. Presión hidrodinámica convectiva

- Presión hidrodinámica convectiva en la pared

$$P_{CW} = Q_{CW}(Y)(Ah)_c$$

$$Q_{CW} = 0.5625 \cosh\left(3.67 \left(\frac{y}{d}\right)\right) / \cosh\left(3.674 \left(\frac{h}{D}\right)\right) y$$

- Máxima presión ocurrirá con $\varnothing = 0$

- En la base de la pared $y = 0$

$$Q_{CW}(Y=0) = 0.5625 \cosh\left(3.674 \left(\frac{0}{5}\right)\right) / \cosh\left(3.674 \left(\frac{3}{5}\right)\right)$$

$$Q_{CW} = 0.12$$

- Presión convectiva en la base de la pared

$$P_{CW}(y=0) = (0.12)(0.0805)(1000\text{kg}/\text{m}^3)(5\text{m}) \left[\left(1 - \frac{1}{3}\right) \cos^2(0) \right] \cos(0)$$

$$P_{CW} = 32.34\text{kg}/\text{m}^2$$

En $y = h$

$$Q_{CW}(y=h) = 0.5625$$

- Presión convectiva en $y = h$

$$P_{CW}(y=h) = (0.5625)(0.0805) \left(\frac{1000\text{kg}}{\text{m}^2} \right) (5\text{m})(0.67x1)$$

$$P_{CW}(y=h) = 151.57\text{kg}/\text{m}^2$$

Presión convectiva en la base de la losa ($y = 0$)

$$P_{Cb} = Q_{Cb(x)} (Ah)_C p g D$$

$$Q_{Cb(x)} = 1.125 \left[\frac{1}{2} - \frac{4}{3} \left(\frac{1}{2} \right)^3 \right] \text{sech} \left(3.674 \left(\frac{3}{5} \right) \right)$$

$$Q_{Cb(x)} = 0.08$$

- Presión convectiva en la cima de la base de a losa

$$P_{Cb} = 0.080.0805 \frac{1000\text{kg}}{\text{m}^3} 5\text{m}$$

$$P_{Cb} = 32.2\text{kg}/\text{m}^2$$

Análisis de los Resultados

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a las variables que resultaron de interés para la verificación y caracterización del comportamiento del sistema estructural propuesto, se utilizó STAAD Pro-V8i Professional. Como herramienta para aplicar los métodos de análisis.

Período de la estructura T_e (seg)

En la Tabla 9 se muestra el valor del periodo de la estructura, el cual debe estar fuera del intervalo $0.30 > T_e > 1.00$ para que la edificación no entre en resonancia. En este diseño el periodo de vibración de la estructura fue de 0.26837 seg mostrado en la Tabla 9 dicho valor se encuentra fuera del intervalo de resonancia, lo cual cumple con el criterio establecido en la norma COVENIN 1756[2].

Tabla 9. Período de la estructura

CALCULATED FREQUENCIES FOR LOAD CASE 6			
MODE	FREQUENCY (CYCLES/ SEC)	PERIOD (SEC)	ACCURACY
1	3.726	0.26837	2.07E-16
2	3.726	0.26837	2.07E-16
3	6.033	0.16576	1.58E-16
4	9.312	0.10739	5.31E-16
5	10.26	0.09415	6.13E-16
6	10.62	0.09412	2.04E-16

Masa participativa en dirección “X”

En la Figura 23, en la columna de la izquierda se presentan los resultados de la masa participativa en dirección “X” (ver Tabla 10) para el sistema estructural. El % de la masa participativa en dirección X debe ser mayor o igual al 90%: el porcentaje de masa participativa obtenido es de 98.214% siendo este mayor al 90% lo cual cumple con el criterio establecido por la norma COVENIN 1756 [2][3].

Tabla 10. Masa participativa y corte basal en dirección “X”

MAS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KG		
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z
94	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
96	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
97	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
98	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.02	0.00	0.00
99	0.05	0.00	0.00	98.212	88.904	98.163	53.66	0.00	0.00
100	0.00	0.00	0.05	98.214	88.904	98.213	1.85	0.00	0.00

				Total SRSS	SHEAR		66667.72	0.00	0.00
				Total 10 PCT	SHEAR		70637.70	0.00	0.00
				Total ABS	SHEAR		79222.29	0.00	0.00
				Total CQC	SHEAR		70668.38	0.00	0.00

Corte basal en dirección “X”

El valor obtenido del corte basal en dirección “X” es de $V_{bx} = 70.668.38$ kgf como se muestra en la Tabla 11, el cual cumple el chequeo del coeficiente sísmico y control del corte basal.

Masa participativa en dirección “Z”

En la Tabla 11, en la columna de la izquierda se presentan los resultados de la masa participativa en dirección “Z” para el sistema estructural. El % de la masa participativa en dirección Z debe ser mayor o igual al 90%: el porcentaje de masa participativa obtenido es de 98.213% siendo este mayor al 90% lo cual cumple con el criterio establecido por la norma COVENIN 1756[2].

Tabla 11. Masa participativa y corte basal en dirección "Z"

MAS PARTICIPATION FACTORS IN PERCENT							BASE SHEAR IN KG		
MODE	X	Y	Z	SUMM-X	SUMM-Y	SUMM-Z	X	Y	Z
94	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
95	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
96	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
97	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
98	0.00	0.00	0.00	98.162	88.904	98.161	0.00	0.00	0.00
99	0.05	0.00	0.00	98.212	88.904	98.163	0.00	0.00	1.87
100	0.00	0.00	0.05	98.214	88.904	98.213	0.00	0.00	53.61

				Total SRSS	SHEAR		0.00	0.00	66667.80
				Total 10 PCT	SHEAR		0.00	0.00	70638.83
				Total ABS	SHEAR		0.00	0.00	79221.74
				Total CQC	SHEAR		0.00	0.00	70668.89

Corte basal en dirección "Z"

El valor obtenido del corte basal en dirección "Z" es de $V_{bz} = 70.668.89$ kgf como se muestra en la Tabla 11, el cual cumple chequeo del coeficiente sísmico y control del corte basal.

Deformación vertical:

A continuación, se presentan los resultados de los deformación verticales del sistema estructural, en la Tabla 12 se muestra que la deformación máxima actuante para la combinación de carga LOAD COMB 78 CP+CV es de $\Delta V_{act} = 4.738$ mm. La deformación admisible no es más que la relación de la luz del volado entre doscientos (200.00), $\Delta V_{adm} = 2,000.00$ mm/200.00. Siendo el desplazamiento en dirección "Y" menor que el valor admisible ($\Delta V_{adm} = 10.00$ mm), por tal motivo cumple con criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1618.

Tabla 12. Máxima deformación vertical (Y)

			Hori- zontal	Verti- cal	Hori- zontal	Re- sul- tant	Rotational		
	Node	L/C	X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	xZ rad
Max X	504	78 CP+CV	0.117	-0.266	0.000	0.291	-0.000	0.000	-0.000
Min X	486	78 CP+CV	-0.119	-0.266	0.000	0.292	-0.000	-0.000	0.000
Max Y	181	78 CP+CV	-0.001	0.215	0.000	0.215	0.000	0.000	-0.000
Min Y	1	78 CP+CV	-0.002	-4.738	-0.001	4.738	-0.001	0.000	0.001
Max Z	508	78 CP+CV	-0.11	-0.25	0.110	0.294	0.000	0.000	0.000
Min Z	500	78 CP+CV	-0.11	-0.25	-0.110	0.294	-0.000	-0.000	0.000
Max rX	319	78 CP+CV	0	-1.874	0.001	1.874	0.001	0.000	-0.001
Min rX	43	78 CP+CV	-0.002	-1.876	-0.002	1.876	-0.001	0.000	0.001
Max rY	498	78 CP+CV	-0.051	-0.253	-0.021	0.259	-0.000	0.000	0.000
Min rY	510	78 CP+CV	-0.052	-0.253	0.02	0.259	0.000	-0.000	0.000

Max rZ	79	78 CP+CV	-0.002	-1.875	-0.001	1.875	-0.001	-0.000	0.001
Min rZ	283	78 CP+CV	0.001	-1.874	0.001	1.874	0.001	-0.000	-0.001
Max Rs	1	78 CP+CV	-0.002	-4738	-0.001	4.738	-0.001	0.000	0.001

Deformación lateral en dirección “X”

En la Tabla 13 se muestra el máximo desplazamiento lateral en dirección “X”, con la ubicación del nodo de mayor desplazamiento lateral en dirección “X”, el cual fue en el nodo 1026, dicho desplazamiento tuvo un valor de $\Delta L_{x_{act}} = 19.819$ mm, este valor debe multiplicarse por 0.8 para obtener el desplazamiento elástico $\Delta L_{x_E} = 19.819$ mm x 0.8 = 15.8552 mm.

Al desplazamiento elástico de este nodo se le debe restar el desplazamiento elástico del nodo inferior inmediato para poder obtener la deriva, dicho nodo es el 181 (el cual se observó en la Tabla 14 y su desplazamiento en la Figura 16) y tiene un desplazamiento de $\Delta L_{x_{act}} = 15.184$ mm, el cual, al multiplicarse por 0.8 se obtuvo el desplazamiento elástico $\Delta L_{x_E} = 15.184$ mm x 0.8 = 12.1472 mm; obtenido este valor se proceden a restar los desplazamientos para obtener la deriva $\delta_x = 15.184$ mm – 12.1472 mm = 3.0368 mm.

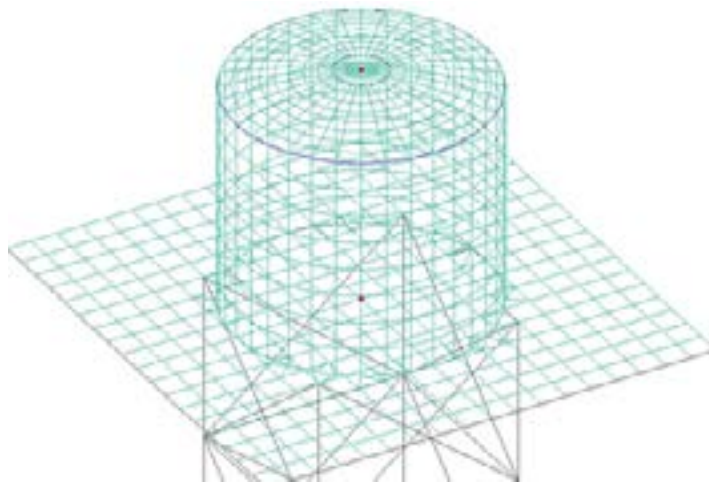
El factor (FKx) actuante es la relación entre la deriva y la altura entre los dos nodos consecutivos de estudio por lo que el factor $FK_{x_{act}} = 3.0368$ mm / 4,317.00 mm = 0.000703, siendo el $FK_{x_{act}}$ menor que el admisible $FK_{adm} = 0.012$, por tal motivo se da cumplimiento al criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1756:2001.

Tabla 13. Máximos desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z” en el nodo 1026

	Node	L/C	Horiz-	Verti-	Horiz-	Result-	Rotational		
			zontal	cal	zontal	tant	rX	rY	rZ
			X mm	Y mm	Z mm	mm	rad	rad	rad
Max X	1026	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	19.819	0.229	5.376	20.536	0.000	0.000	0.001
Min X	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Y	361	76 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	4.144	7.327	15.184	17.361	0.002	0.000	0.001
Min Y	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Z	1026	76 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	5.377	0.229	19.819	20.536	0.001	0.000	0.000
Min Z	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max rX	361	76 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	4.142	6.56	15.184	17.647	0.002	0.000	0.001
Min rX	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max rY	519	76 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	4.833	2.075	16.845	17.053	0.001	0.002	0.000
Min rY	531	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	17.427	0.887	4.885	18.113	0.000	-0.000	0.001
Max rZ	361	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	15.186	6.561	4.142	17.053	0.001	0.000	0.001
Min rZ	446	74 2.8 SX+0.84 SY+0.84 SZ+1.6 CHXP	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Max Rs	1010	74 0.84 SX+0.84 SY+2.8 SZ+1.6 CHXP	5.376	0.505	19.815	20.538	0.001	0.000	0.000

Tabla 14. Máximos desplazamientos laterales en direcciones “X” y “Z” en el nodo 181

Node	L/C	Horiz- zontal	Ver- tical	Horiz- zontal	Resul- tant	Rotational		
		X mm	Y mm	Z mm	mm	rX rad	rY rad	rZ rad
181	74 2.8 SX + 0.84 SY + 0.84 SZ + 1.6 CHXP	15.184	0.552	4.137	15.747	0.000	0.000	0.001
	74 2.8 SX + 0.84 SY + 0.84 SZ + 1.6 CHXP	4.137	0.552	15.184	15.747	0.001	0.000	0.000
182	76 0.84 SX+ 0.84 SY + 2.8 SZ + 1.6 CHZP	15.184	0.940	4.137	15.766	0.000	0.000	0.001
	74 2.8 SX + 0.84 SY + 0.84 SZ + 1.6 CHXP	4.137	0.670	15.183	15.751	0.001	0.000	0.000

**Figura16. Nodos 1026 y 181****Deformación lateral en dirección “Z”**

En la Tabla 13 se muestra el máximo desplazamiento lateral en dirección “Z”, mientras que en la figura 16 se observó la ubicación del nodo con el mayor desplazamiento lateral en dirección “Z”, el cual fue en el nodo 1026, dicho desplazamiento tuvo un valor de $\Delta Lz_{act} = 19.819$ mm, este valor debe multiplicarse por 0.8 para obtener el desplazamiento elástico $\Delta Lz_E = 19.819$ mm x 0.8 = 15.8552 mm.

Al desplazamiento elástico de este nodo se le debe restar el desplazamiento elástico del nodo inferior inmediato para poder obtener la deriva, dicho nodo es el 181 (el cual se muestra en la figura 16 y su desplazamiento en la Tabla 14) y tiene un desplazamiento de $\Delta Lz_{act} = 15.184$ mm, el cual, al multiplicarse por 0.8 se obtuvo el desplazamiento elástico $\Delta Lz_E = 15.184$ mm x 0.8 = 12.1472 mm; obtenido este valor se proceden a restar los desplazamientos para obtener la deriva $\delta_z = 15.184$ mm – 12.1472 mm = 3.0368 mm.

El factor (FKz) actuante es la relación entre la deriva y la altura entre los dos nodos consecutivos de estudio por lo que el factor $FKz_{act} = 3.0368$ mm / 4,317.00 mm = 0.000703, siendo el FKz_{act} menor que el admisible $FKz_{adm} = 0.012$, por tal motivo se da cumplimiento al criterio de diseño establecido por la norma COVENIN 1756 [1].

Ratio

El miembro 785 presenta un valor de ratio actuante máximo de 0.372, el cual, es menor a 1, por consiguiente cumple con la norma COVENIN 1618[1].

El ratio mayor actuante en las columnas es de 0.164 correspondiente a los elementos estructurales 685, 690, 695 y 700, los cuales cumplen con la norma COVENIN 1618[1].

Losa

Barra estriada #5 (5/8") a/c 0.15 m, dos capas armadas en dos direcciones.

3. Análisis comparativo sobre la incidencia de la fuerza de impacto de oleaje en el diseño del tanque metálico circular elevado.

En esta sección se presenta un cuadro comparativo donde se observaron los resultados de los diferentes análisis del comportamiento estructural según diferentes parámetros e indicadores señalados previamente por la norma COVENIN 1753[6], y se indica la propuesta realizada para esta investigación.

Tabla 15. Cuadro comparativo

Descripción	Diseño 1 (COVENIN)	Diseño 2 (Influencia de la ola por sismo)	Observaciones
Dimensiones de columna (m)	D = 0.55m e = 0.010m	D = 0.55m e = 0.010m	No se observó diferencia
Dimensiones de viga de torre (m)	D = 0.323m e = 0.016m	D = 0.323m e = 0.016m	No se observó diferencia
Dimensiones de las cruces (m)	D = 0.323m e = 0.016m	D = 0.323m e = 0.016m	No se observó diferencia
Dimensiones de viga de emparrillado	IPE200	IPE200	No se observó diferencia
Pórtico del tanque	HEA100	HEA100	No se observó diferencia
Periodo de la estructura (seg)	0.26837	0.26837	No se observó diferencia
Frecuencia (ciclos/seg)	3.726	3.726	No se observó diferencia
MPX (%)	98.214	98.214	No se observó diferencia
MPZ (%)	98.213	98.213	No se observó diferencia
VBX (kgf)	70668.38	70668.38	No se observó diferencia
VBZ (kgf)	70668.89	70668.89	No se observó diferencia
Deriva en dirección X (mm)	3.3032	3.0368	Se observó una pequeña diferencia en la deriva debido al efecto de la carga hidrodinámica consecuente del sismo
Deriva en dirección Z (mm)	3.3032	3.0368	Se observó una pequeña diferencia en la deriva debido al efecto de la carga hidrodinámica consecuente del sismo
FKX	0.000765	0.000703	Este factor al ser directamente proporcional a la deriva, varía de la misma manera que el parámetro anterior

FKZ	0.000765	0.000703	Este factor al ser directamente proporcional a la deriva, varía de la misma manera que el parámetro anterior
Deformación vertical (mm)	4.738	4.738	No se observó diferencia
Ratio actuante mayor del tanque	0.372	0.372	No se observó diferencia
Ratio mayor en las columnas de la torre	0.153	0.164	Se observó un incremento en el ratio producto del oleaje por sismo.
Acero de refuerzo en losa	Barra estriada #5 a/c 0.15 m, dos capas armadas en dos direcciones	Barra estriada #5 a/c 0.15 m, dos capas armadas en dos direcciones	No se observó diferencia

No se observó la influencia de la fuerza de la ola inducida por una fuerza sísmica, debido al criterio de resonancia, ya que este criterio exige que los elementos sean altamente rígidos para evitar el fenómeno de resonancia en la estructura; este criterio al ser tan exigente diseña los elementos estructurales de una manera que la fuerza hidrodinámica producida por la ola es irrelevante para ellos mismos.

Conclusiones

- Según los resultados obtenidos en la presente investigación se muestran las siguientes conclusiones:

- Según el análisis de resultados obtenidos del diseño de un estanque metálico circular elevado bajo la aplicación de las normas COVENIN 1618[1], COVENIN 1756-1 [2] y COVENIN 1756-2[3] se concluye que se ha obtenido un diseño de secciones óptimas que cumple con todos los parámetros, indicadores, criterios y especificaciones técnicas establecidas en las normas previamente mencionadas.

- Según el análisis de resultados obtenidos con respecto al diseño de un estanque metálico circular elevado bajo la influencia de la fuerza hidrodinámica de la ola es decir la fuerza de impacto de oleaje producido por sismo y la aplicación de las normas COVENIN 1618[1], COVENIN 1756-1[2], COVENIN 1756-2[3] y la ACI 350[5] se concluye que se ha logrado obtener un diseño de secciones que cumple con todos los parámetros, indicadores, criterios y especificaciones técnicas establecidas en las normas previamente mencionadas más la acción de la fuerza hidrodinámica de la ola es decir la fuerza de impacto de oleaje producida por sismo.

- Del análisis comparativo de resultados obtenidos para el diseño de un estanque metálico de sección circular se concluye que los esfuerzos se incrementan en toda la estructura debido a la carga hidrodinámica, es decir de la fuerza de impacto de oleaje inducida por el sismo, pero en condiciones estables debido a la aplicación del criterio de que el periodo de la estructura no coincida con el periodo de vibración del suelo producto de un sismo para evitar una resonancia de la estructura.

- La carga hidrodinámica que es la fuerza de impacto de oleaje inducida por un sismo si tiene efectos en el diseño estructural del estanque metálico circular elevado.

Referencias Bibliográficas

[1] COVENIN 1618 (1998), Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites.

[2] COVENIN 1756-1 (2001), Edificaciones Sismorresistentes Parte 1: requisitos. Ministerio de Desarrollo y Tecnología. Caracas, Venezuela.

[3] COVENIN 1756-2 (2001), Edificaciones Sismorresistentes Parte 2: comentarios). Ministerio de Desarrollo y Tecnología. Caracas, Venezuela.

[4] COVENIN 2003-89 (1986), Acciones del viento en las estructuras. Ministerio del Desarrollo Urbano. Caracas, Venezuela.

[5] ACI 350-3 (2001) Diseño Sísmico de Estructuras Contenedoras de Líquidos.

[6] COVENIN 1753 (2006), Proyectos y Construcción de Obras en Concreto Armado. Ministerio de Desarrollo y Tecnología. Caracas, Venezuela.