

Elementos portantes de Ferrocemento para piscina antisísmica

Ferrocement amble elements for pool considering seismic load

¹Ernesto Pérez Cerezález^a, ²Ing. Zaray Salvador Medina^a

RESUMEN

Se presenta un trabajo, en el cual se diseñan elementos prefabricados de ferrocemento para una piscina de 25 m X 25 m sometida a una combinación de cargas que incluye la carga sísmica. El ferrocemento en América ha sido utilizado en la construcción de barcos, piscinas, viviendas, esculturas, etc. Es por eso y por sus grandes ventajas ante los desastres, que fue el material escogido para desarrollar esta investigación. El trabajo se expresa en varias partes. La primera hace una breve reseña histórica del material; ofrece una descripción de los materiales componentes, especificaciones y fabricación; luego realiza los modelos de análisis para la geometría, las relaciones de continuidad y las cargas que actuarán sobre el depósito. Por último se describen los métodos de diseño para los elementos de ferrocemento basado en los Estados Límites. La investigación utiliza para el cálculo a flexión el Método del Doctor mexicano Alfonso Olvera; teniendo en cuenta las cargas, sus diferentes combinaciones, así como sus efectos. Como elementos portantes de la pared de la piscina se proponen distintas variantes de losas cajón, de diferentes anchos, para tres tipos de mallas y con un espesor de 3 cm en todas sus partes. El modelo propuesto para la pared de la piscina, analizado a través del programa Staad Pro permite encontrar las acciones reales de las cargas. En el trabajo se realizan los análisis clásicos de ferrocemento pero teniendo en cuenta la carga sísmica que domina por su intensidad sobre el resto de las combinaciones y enriquece el análisis a la vez que amplía el horizonte en los usos de este importante material. Los métodos de análisis y diseño que se utilizan son actualizados y pueden servir de base a cualquier análisis de piscina de cualquier altura y material que se proponga.

Palabras clave: ferrocemento, carga sísmica, piscina

ABSTRACT

A work is presented, in which prefabricated ferrocement elements are designed for a pool of 25 m X 25 m subjected to a combination of loads that includes the seismic load. The ferrocement in America has been used in the construction of ships, pools, housings, sculptures, etc. is for that reason and for its big advantages before the disasters that it was the chosen material to develop this investigation. The work is expressed in several parts. The first one makes a brief historical review of the material; offers a description of the component materials, specifications and production; then carries out the analysis models for the geometry, the relationships of continuity and the loads that will act on the deposit. Lastly the design methods are described for the ferrocement elements based on the States Limits. The investigation uses for the calculation to flexion the Olvera's Method; taking into account the loads, the different combinations as well as the stresses. Variants are proposed slab drawer, of different widths, to three types of mesh and a thickness of 3 cm in all its parts. The model proposed for the wall of the pool, analyzed through the program Staad Pro allows to find the real actions of the loads. This paper analyzes performed classical ferrocement but considering seismic load that dominates in intensity over the rest of the combinations and enriches the analysis while the horizon wide uses of this important material. The analysis and design methods used are updated and can serve as a basis for any analysis of pools of any height and material that are proposed.

Keywords: ferrocement, seismic load, pool

¹Universidad de Camagüey ² Universidad de la Habana

^aIng. Civil

INTRODUCCIÓN

Actualmente el ferrocemento, material versátil de construcción, formado por una fina lámina de mortero altamente reforzada con mallas metálicas y barras o alambres de acero está encontrando mayores aplicaciones, mostrando un proceso de evolución favorable en la construcción de depósitos, silos, reservorios, piscinas, canales, techumbres, edificaciones, viviendas, barcos, estructuras marinas, en todo el mundo.

Unas de las primeras aplicaciones del ferrocemento fue la construcción de depósitos de agua de pequeña capacidad para viviendas aisladas y edificios multifamiliares y para el almacenaje de otros líquidos.

A lo largo de su desarrollo muchos estudiosos del material han diseñado piscinas de diferentes tipos y para distintos usos como recreativos y deportivos utilizando paneles prefabricado para las paredes y la cubierta y fundición in situ en el resto de los elementos pero toda ellas sin la inclusión del fenómeno del sismo, como carga acompañante. No existen en Cuba proyectos de piscinas de elementos de ferrocemento que sean capaces de contrarrestar los efectos del sismo. Diseñar distintas variantes de elementos de pared de ferrocemento de una piscina de 25m para varias combinaciones de carga incluyendo cargas sísmicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material componente de la investigación es el ferrocemento aunque la piscina incluye en la estructura elementos de soporte de hormigón armado.

Los métodos de análisis se basan en modelos tridimensionales que incluyen las representaciones de la geometría de la estructura que conforma la piscina, las condiciones de apoyo, rigidez, continuidad y las cargas utilizando el programa digital de análisis y diseño Staad Pro 2006 En esta investigación se utilizan métodos actualizados de diseño de ferrocemento, como el Método práctico de Olvera las normas de cargas vigentes en

Cuba, las normas de la ACI y se usan otros programas de computación como el ABAQUS para cualificar el análisis de la carga sísmica y el AUTOCAD.

El trabajo fue orientado por el CECAT del ISPJAE, Cuba, a través del profesor e investigador Dr. Hugo Wainstok con el objetivo de lograr proyectos que puedan comercializarse en zonas sísmicas de nuestra América.

RESULTADO

Tabla 1. Características y dimensiones de los elementos de pared escogidos.

Elementos	Ancho(mm)	Largo(mm)	Long. Nervio(mm)	Espesor (mm)
PF-1	1000	2300	150	30
PF-2	1150	2300	150	30

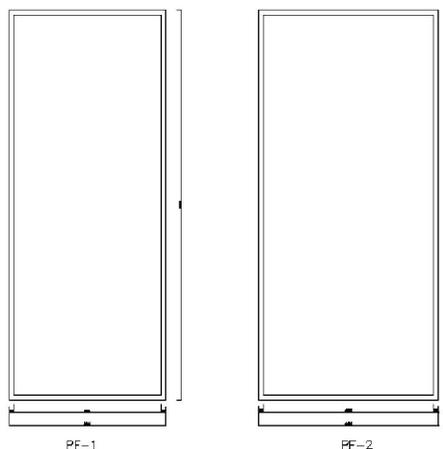


Tabla 2. Tipos de malla y espaciamiento

TIPOS DE MALLA	Ø(mm)	ESPACIAMIENTO (mm)
Hexagonal	1.5	15 x 19
Tejida	0.71	6.3 x 6.3
Soldada liviana	2.05	12.5 x 12.5

Tabla 3. Elementos de Trabajo del diseño del Ferrocemento

ELEMENTOS	MORTERO (m ³)	PESO(Kg)
PF-1	0.08694	208.66
PF-2	0.09729	233.50

Tabla 4. Resultados obtenidos para malla Hexagonal

Cuadro de acero							
Elementos	Tipo	Ø(mm)	Dimensiones		Long.(m)	Cantidad	Malla hexagonal (m ²)
			A (m)	B (m)			
PF-1	BD	8	0.950	0.120	1.20	8	5.62
	BR	12			2.28	6	
PF-2	BD	8	1.100	0.120	1.35	8	6.10
	BR	12			2.28	4	
	BR	8			2.28	2	

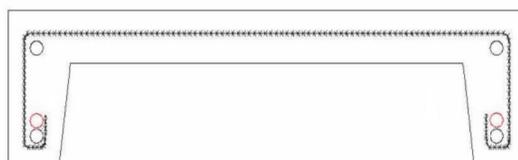
Tabla 5. Resultados obtenidos para malla tejida

Cuadro de acero							
Elementos	Tipo	Ø(mm)	Dimensiones		Long.(m)	Cantidad	Malla tejida (m ²)
			A (m)	B (m)			
PF-1	BD	8	0.950	0.120	1.20	8	4.77
	BR	12			2.28	6	
PF-2	BD	8	1.100	0.120	1.35	8	5.05
	BR	12			2.28	6	

Tabla 6. Resultados obtenidos para Malla soldada liviana

Cuadro de acero							
Elementos	Tipo	Ø(mm)	Dimensiones		Long.(m)	Cantidad	Malla soldada liviana (m ²)
			A (m)	B (m)			
PF-1	BD	8	0.950	0.120	1.20	10	6.90
	BR	12			2.28	4	
PF-2	BD	8	1.100	0.120	1.35	10	7.29
	BR	12			2.28	4	

En todos los casos la sección de los paneles PF1 y PF2 queda de la siguiente forma con una barra adicional al diseño original (barra en rojo). Esa barra como se expresa en las tablas puede ser de 12mm corrugada o de 8mm lisa.



DISCUSIÓN

Cálculo de las cargas que actúan sobre la edificación. Combinaciones de carga permanente, carga de uso y carga sísmica para el prediseño de los elementos de ferrocemento.

El procedimiento que se propone es diseñar los elementos de ferrocemento a flexión para las combinaciones de carga permanente, de uso incluyendo la carga sísmica. Los pasos que se siguen son:

- Se escogen los esquemas de análisis.
- Se calculan las cargas y las combinaciones.

Cargas permanentes: Peso propio de las vigas cerramiento y de la pared.

Cargas de sismo: $V = (A * I * C * W) / Q$ peso total de las vigas = 300kN

Q peso total de paredes 1000 x 2300mm = 460.71kN

Q peso total de paredes 1150 x 2300mm = 21.48kN

Piso = $24\text{kN/m}^3 \times 0.25\text{m} \times 0.25\text{m} \times 25\text{m} \times 8 = 300\text{kN}$

En total hay 100 paredes.

CP total = 782.19kN

$W = 1.2 (782.19)$

$W = 938.63\text{kN}$

$V = (0.3 \times 1.25 \times 1.54 \times 938.63) / 4$

$V = 135.52\text{kN}$

Para X y Y

Nivel	Wi	Hi	Wi*hi	Fi(kN)
1	938.63	3	2815.89	135.52

Las combinaciones son:

1.2 G + 1.6 Q

1.2 G + 1.4 E + 0.5 Q (para el sentido de X)

1.2 G + 1.4 E + 0.5 Q (para el sentido de Z)

- Se calculan los momentos y cortantes máximos más desfavorables.
- Se diseñan los elementos para las distintas variantes para los 3 tipos de malla, chequeando fracción de volumen, superficie específica y fisuración. Se calcula el momento último resistente. Se obtienen en todos casos tabulados Fracciones de Volumen mayor que el 8 % y Superficies específicas mayores que 0,5 y se cumple con la fisuración.
- Diseño de las variantes aplicando el método de Olvera.**

Método práctico de **Olveras**. Cálculo a flexión. Determinación de los Momentos resistentes máximos de las secciones.

$L_c = R_a (A_s \times L + A_{at}) / (A_s (R_a + \delta'_c) + 0.85 R'_b \times e)$ Longitud a Compresión

El momento último resistente se calcula por los métodos tradicionales de estados límites para el ferrocemento utilizando las resistencias de los aceros de la malla y el esqueleto a tracción, el área de estos aceros y las distancias a la línea de trabajo comprimida del elemento.

Tabla 7. Los momentos resistentes obtenidos por tipo de malla

Panel	Panel	Panel	Panel	Panel	Panel
1000x2300	1000x2300	1000x2300	1150x2300	1150x2300	1150x2300
Malla	Malla	Malla	Malla	Malla	Malla
hexagonal	tejida	soldada	hexagonal	tejida	soldada
M:22,2	M:17,1	M:23,1	M:23,2	M:17,3	M:24,3
Kn-m	Kn-m	Kn-m	Kn-m	Kn-m	Kn-m

Análisis para carga sísmica aplicando el programa Staad Pro

Se proponen 2 variantes para el análisis de la piscina.

VARIANTE 1

Se consideran los paneles laterales soporte de la piscina de 25 x 25 m tipo cajón como columnas de 2.3m de alto e inercia I según sus dimensiones. Estos paneles serán biempotrados en una viga zapata inferior de 25x25cm de alto y un cerramiento superior de dimensiones similares. Se consideran como cargas de diseño:

- Las laterales producidas en 2 paredes ortogonales de la piscina por el empuje de tierras considerando la arcilla de más densidad en la norma NC-53 "Densidad de los materiales"
- Las laterales producidas por el sismo según norma cubana de sismo considerando el 100% en el mismo sentido que la carga del empuje de tierras y el 30% de la carga de sismo a 90° de ésta y siguiendo el mismo sentido que la otra pared de diseño.
- La carga permanente teniendo en cuenta solamente el peso de los paneles y la viga cerramiento.

No se consideró la carga de uso que plantea la norma alrededor de la piscina.

Se obtienen los momentos actuantes en X, Y y Z y las fuerzas cortantes en X, Y y Z.

Los momentos máximos de diseño son:

$$M_Z = 28.645 \text{ Kn.m}$$

$$M_Y = 29.6 \text{ Kn.m}$$

Como se observa se obtienen momentos mayores a los momentos resistentes calculados en los elementos de la piscina prediseñados por lo que habrá que rediseñarlos. En el Acápite de Resultados se dan las tablas con el rediseño del elemento para tomar los Momentos máximos actuantes obtenidos. En todos los casos se resuelve con adicionar una barra de 8 mm o de 12 mm en cada nervio de los paneles de pared.

En el diseño final se cumplen los parámetros fundamentales del ferrocemento, es decir fracción de volumen, superficie específica y fisuración según establece la Norma Cubana.

Variante I

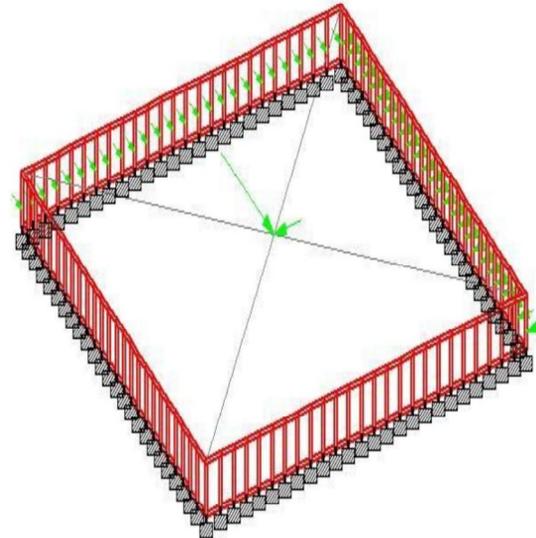


Figura 1. Modelo de geometría, relaciones de continuidad (ligaduras y apoyos) y cargas laterales empuje de tierras y sismo.

VARIANTE 2

Se consideran los paneles laterales soporte de la piscina de 25 x 25 tipo cajón como elementos continuos de paredes delgadas con inercias rectangulares de altura 2.3m y espesores 0.03m biempotrados. Estos paneles se empotrarán doblemente en una viga zapata inferior de 25x25m de alto y un cerramiento superior de dimensiones similares.

Las cargas de diseño serán similares a la variante I. Se obtiene las tensiones normales y tangenciales para las combinaciones de carga. Como el ferrocemento por su configuración no requiere de análisis a cortante salvo en excepciones sólo se toman las tensiones normales en X y Y.

Las tensiones máximas obtenidas son:

$$\bar{p} = 280 \text{ Kpa}$$

$$\bar{p} = 299 \text{ Kpa}$$

Al calcular las inercias se obtienen momentos menores que la Variante I por lo que se escoge la primera variante para diseñar.

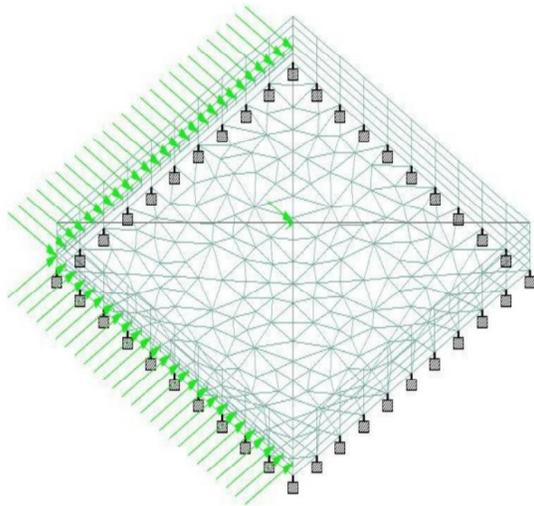


Figura 2. Modelo de geometría, relaciones de continuidad (ligaduras y apoyos) y cargas laterales de empuje de tierras, sismo Variante 2.

CONCLUSIONES

- Se obtiene un modelo tridimensional de las combinaciones de cargas incluyendo cargas sísmicas, para una piscina de ferrocemento de 25 x 25m, que permite valoraciones estructurales en el diseño, garantizando las características estático-resistentes del mismo.
- Se diseñan 2 tipos de paneles de ferrocemento de 1000x2300 y 1150x2300 para malla tejida, soldada y hexagonal capaces de tomar los estados tensionales del sistema de cargas y fáciles de prefabricar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Colectivo de autores 2011 . *El Ferrocemento*. Recuperado el 14 de abril de 2012 en, <http://www/mov.concrete.org/ferrocement/publications>
- Diaz, X, Pérez Cerezález, E. 1988. *Diseño de una casa de ferrocemento*. Trabajo de Diploma no publicado. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.
- Dorta, R. 2011. *Elementos nervados de ferrocemento* [versión electrónica]. Recuperado el 23 de marzo de 2012 en, http://www.betsime.disaic.cu/secciones/ger_ma_03.htm.

- Llanes, C. 2005. *El ferrocemento una opción frente a los desastres* [versión electrónica]. En Ponencia presentada en la IV Conferencia latinoamericana de ferrocemento. Recuperado el 24 de marzo de 2012 en <http://www.cecat.com/ferrocemento>
- Oficina Nacional de Normalización 2003. *Norma Cubana* . Norma cubana de Carga La Habana, Cuba: Autor.
- Oficina Nacional de Normalización 2007. *Código de buenas prácticas para el ferrocemento con telas de malla de alambre y armaduras de esqueleto*. Ciudad de La Habana, Cuba: [s.n].
- Olvera, A, Wainshtok, H. 1991. *Diseño y construcción de elementos de ferrocemento sometidos a flexión*. La Habana, Cuba: CECAT.
- Wainshtok, H, 2007. *El ferrocemento en Cuba*. En Ponencia presentada en 5ta Conferencia latinoamericana y del caribe de Ferrocemento, Quito, Ecuador.
- Wainshtok, H. 1998. *Ferrocemento. Diseño y Construcción* (3ra ed.), Quito, Ecuador: Offset Abad Cia.

CORRESPONDENCIA

Ernesto Pérez Cerezález
Centro de Estudio de Estructuras Compuestas y Sistemas Constructivos, Universidad de Camagüey.
ernesto.cerezalez@reduc.edu.cu