

UNIDAD DE APOYO TÉCNICO
PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE FERROCEMENTO



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
División de Salud y Ambiente
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por:



Agencia Suiza para el
Desarrollo y la Cooperación

UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA
EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE FERROCEMENTO



Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
División de Salud y Ambiente
Organización Panamericana de la Salud
Oficina Sanitaria Panamericana – Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud

Auspiciado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

Lima, 2003

Contenido

	Página
1. Objetivo	4
2. Definiciones y abreviaturas	4
2.1 Definiciones	4
2.2 Abreviaturas	5
3. Aplicación.....	6
4. Especificaciones complementarias	6
4.1. Diseño – Requisitos generales.....	6
4.2. Cemento	6
4.3. Agregados.....	6
4.4. Agua	7
4.5. Malla de refuerzo	8
4.6. Acero del armazón	9
4.7. Aditivos	9
4.8. Encofrado	10
4.9. Almacenamiento de los materiales en obra.....	10
4.10. Ensayo de los materiales	10
5. Requerimientos previos de diseño	10
5.1. Calidad del mortero.....	10
5.2. Calidad del refuerzo	11
6. Requerimientos complementarios.....	11
6.1. Colocación del refuerzo	11
6.2. Preparación del mortero	12
6.3. Aplicación del mortero.....	12
6.4. Curado	13
6.5. Recubrimientos.....	13
7. Consideraciones generales para el análisis y diseño de estructuras de ferrocemento	13
7.1. Diseño.....	13
7.2. Parámetros de diseño.....	14
7.3. Factores de resistencia y carga	15
7.4. Requisitos de servicio.....	16

8.	Métodos de diseño	16
8.1	Diseño por resistencia última	16
8.2	Diseño por cargas de servicio.....	18
9.	Consideraciones complementarias.....	19
10.	Bibliografía	20

Especificaciones técnicas para el diseño de estructuras de ferrocemento

1. Objetivo

Normalizar el diseño de las estructuras de ferrocemento para su utilización en el mejoramiento del saneamiento básico rural.

2. Definiciones y abreviaturas

2.1 Definiciones

- *Acero del armazón:* Se emplea para dar forma a la estructura y sobre ella se colocan las capas de malla de alambre o refuerzo. La característica del armazón es que los aceros que lo constituyen, se distribuyen uniformemente y se separan hasta un máximo de 30 cm entre ellos, generalmente no son consideradas como parte del refuerzo estructural, sino como varillas de separación para los refuerzos de la malla. El diámetro de estos elementos son mucho mayores que el acero de refuerzo.
- *Aditivo:* Material que no sea cemento portland agregado o agua, que se añade al concreto para modificar sus propiedades.
- *Agregado:* Material inerte que se mezcla con cemento portland y agua para producir concreto. El agregado a emplearse en estructuras de ferrocemento es el agregado fino (arena natural), que no deberá exceder de 7 mm de diámetro ni menor de 2 mm.
- *Agua:* El agua empleada en ferrocemento deberá ser fresca y limpia. En ningún caso podrá emplearse agua de mar o similar.
- *Armadura de refuerzo:* Es el refuerzo total del sistema que puede estar conformado por la malla de refuerzo y el acero del armazón o solamente la primera. Generalmente se considera al acero del armazón como parte del refuerzo total cuando las separaciones de las varillas que lo conforman están a no más de 7,5 cm de centro a centro, como sucede en las estructuras como botes, embarcaciones, secciones tubulares, tanques, etc. Las varillas del armazón que son espaciadas más allá de esta distancia no son consideradas como parte del refuerzo total.
- *Dirección longitudinal:* Se define así a la dirección en la cual se encuentra aplicada la carga de diseño en la estructura de ferrocemento.
- *Dirección transversal:* Se define así a la dirección perpendicular a la dirección longitudinal.
- *Ferrocemento:* Se define al ferrocemento como un tipo de construcción de concreto reforzado, con espesores delgados, en el cual generalmente el mortero está reforzado con capas de malla continua de diámetro relativamente pequeño. La malla puede ser metálica o de otros materiales adecuados.

- *Malla de refuerzo:* Generalmente consiste en alambres delgados, entretejidos o soldados; una de las características más importantes es que sea lo suficientemente flexible para poderla doblar en las esquinas agudas. La función principal de estas mallas es la de actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco, así como absorber los esfuerzos de tensión en el estado endurecido que el mortero por sí solo no podría soportar.
- *Mortero:* Es la mezcla de cemento y arena. Debido a que este mortero está sometido a grandes tensiones es necesario que su dosificación sea no menor a una parte de cemento por 1,5 a dos partes de arena y 0,3 partes de agua.

2.2 Abreviaturas

Las abreviaturas que se utilizan en las Especificaciones técnicas son las siguientes:

A_c	área transversal total de la sección de mortero en cm^2 .
A_s	área transversal efectiva del refuerzo en la sección considerada en cm^2 .
A_{si}	área efectiva de refuerzo por capa de malla en cm^2 .
b	ancho unitario de la sección de ferrocemento en cm.
$\beta_1 c = a$	distancia de la fibra de deformación unitaria máxima de compresión en cm.
c	distancia desde la fibra de deformación unitaria máxima al eje neutro en cm.
d_L, d_T	espaciamiento de centro a centro, de alambres alineados en forma longitudinal y transversal respectivamente en la malla de refuerzo en cm
d	diámetro del alambre de la malla de refuerzo en cm.
d_n	profundidad de la capa n de refuerzo en cm.
C_c	fuerza de compresión en el compuesto correspondiente en kg.
t	espesor de la sección de ferrocemento en cm.
E_f	módulo de elasticidad del refuerzo (varilla estructural), en kg/cm^2 .
E_{fL}, E_{fT}	módulo de elasticidad de la malla de refuerzo, en la dirección longitudinal y transversal respectivamente en kg/cm^2 .
E_m	módulo de elasticidad del mortero en kg/cm^2 .
f'_c	resistencia a la compresión de diseño de la matriz (mortero) en kg/cm^2 .
f_y	esfuerzo de fluencia del refuerzo en kg/cm^2 .
SI	superficie específica total del refuerzo en cm^{-1} .
η	factor de eficiencia global de la malla de refuerzo en la dirección de la carga considerada
n	número de capas del refuerzo
N_n	resistencia nominal de la carga a la tensión.
V_{fi}	fracción de volumen del refuerzo para la capa de la malla i en %

Vf	volumen total del refuerzo en la sección del compuesto en %
Vfmin	fracción mínima de volumen del refuerzo en la dirección de la carga en %
σ_r	esfuerzo del compuesto a la primera grieta en kg/cm ² .
σ_{mu}	resistencia última a la tensión del mortero en kg/cm ² .
σ_1	esfuerzo del suelo en el extremo del centro de momentos en kg/cm ² .
σ_2	esfuerzo en el suelo en el centro geométrico de la base del elemento en kg/cm ²
σ_d	esfuerzo admisible del terreno en kg/cm ² .

3. Aplicación

Las estructuras de ferrocemento serán utilizadas en obras de saneamiento básico rural, cuya utilización signifique una disminución de los costos de construcción, en comparación a otras estructuras.

Las especificaciones técnicas contemplan los requerimientos necesarios para el diseño racional de estructuras de ferrocemento

4. Especificaciones complementarias

4.1 Diseño - Requisitos generales

- Los requisitos que han de tenerse en cuenta para el diseño de las estructuras de ferrocemento serán los mismos que se tienen en cuenta para estructuras de Concreto Armado el cual se encuentra estipulado en la Norma E.060 de Concreto Armado, acápite 1.3.
- La confección de planos, especificaciones técnicas del proyecto estructural deberán cumplir con lo estipulado en el acápite b) del presente documento.

4.2 Cemento

- El cemento a utilizarse deberá cumplir con las estipulaciones señaladas por la norma NTP 334 para cementos.
- El cemento empleado deberá ser seleccionado en razón del tipo de esfuerzos y condiciones a la que estará expuesto la estructura de la obra.

4.3 Agregados

- El agregado fino que se utilizará para la producción de mortero de alta calidad en ferrocemento, deberá cumplir los requisitos de la norma técnica Peruana NTP 400.037 y NTP 400.010.

- b) El agregado que no cumpla con algunos de los requisitos a los que se refiere en el párrafo anterior, podrán ser empleado siempre que se demuestre a través de pruebas de laboratorio o con experiencias de obra, la producción de un mortero de calidad y con las propiedades requeridas.
- c) Los agregados finos que no cuenten con registro de servicios demostrable o aquellos que provienen de canteras, podrán ser aprobados previo cumplimiento de los ensayos que se considere convenientes; dicho procedimiento no invalida los ensayos de control en obra que deben efectuarse.
- d) El agregado fino a utilizarse en las estructuras de ferrocemento deberá ser procesado, transportado, manipulado, almacenado y pesado de manera tal que conserve su uniformidad, no sufra contaminación por sustancias extrañas y no presente segregación importante, que pueda perjudicar algunas propiedades del mortero utilizado en las estructuras de ferrocemento.
- e) El agregado fino puede estar conformado de arena natural, manufacturada o una combinación de ambas y sus partículas deben ser limpias, fuertes, de perfil preferentemente angular, libres de sustancias perjudiciales como polvo, terrones, pizarras, sales, álcalis, esquistos, materia orgánica u otras sustancias dañinas y deben ser capaces de producir una mezcla lo suficientemente trabajable con una relación agua - cemento mínima .
- f) Cuando el agregado fino es de procedencia marina, deberá ser tratado mediante el lavado con agua potable antes de ser empleado en la preparación del mortero.
- g) En la preparación de morteros que van a estar expuestos a procesos de congelación y deshielo, los agregados finos que no cumplan con el acápite 5.2.2 de la Norma NTP 400.037 podrán ser empleados, siempre que la mezcla de mortero preparado con el agregado demuestre tener un comportamiento satisfactorio al estar sometido a condiciones de intemperie similares a la esperada.
- h) Para estructuras especiales, se determinará si el agregado fino es reactivo, para lo cual se harán pruebas en laboratorio establecidas en las normas ASTM C-289, ASTM C-227 y ASTM C-295.

4.4 Agua

- a) El agua de mezclado del mortero que conforma una estructura de ferrocemento debe ser potable, evitar las impurezas para no interferir en las propiedades del mortero.
- b) En los casos de no se cuente con agua potable, el agua disponible deberá cumplir con los siguientes requisitos:
 - Ser limpia y libre de sustancias perjudiciales tales como sales, ácidos, aceites, materia orgánica u otras sustancias dañinas para el mortero, acero del armazón, malla de refuerzo y otros elementos embebidos.

- Las proporciones de los componentes del mortero, estarán en función de los ensayos en los que se ha empleado el agua de la fuente elegida.
 - Los cubos de mortero de prueba, preparados con el agua no potable y ensayada, en concordancia con la Norma ASTM C-109, deben tener resistencias a la compresión no menores al 90% del obtenido en muestras similares a los siete y 28 días, preparadas con agua potable.
- c) En ningún caso se utilizará agua de mar, a fin de evitar la corrosión de la malla o de la armadura de refuerzo.
- d) Para estructuras expuestas a condiciones extremas, deberá evaluarse el contenido total de sales u otras sustancias nocivas que se encuentren en el agregado fino y/o aditivos, al cual deben sumársele las que pueda aportar el agua de mezcla. Así mismo la suma total del contenido de ión cloruro, que puedan estar presentes en el agua y demás componentes de la mezcla, no deberán exceder a los valores señalados en la Tabla 4.4.4 del Capítulo 4 de la Norma E.060 de Concreto Armado.

4.5 *Malla de refuerzo*

- a) Los refuerzos a emplearse en las estructuras se seleccionarán de acuerdo al tipo de solicitaciones al que va a estar sometida la estructura, los mismos que se indican en la tabla 1.1. Así mismo, se podrán emplear otros tipos de mallas existentes en el mercado, cuyas características resistentes a la fluencia y módulo de elasticidad, cumplan con los ensayos suministradas por el fabricante.

Tabla 1.1 Clases de mallas, diámetros y los tipos de estructuras que son empleadas como refuerzo.

Tipos de malla	Diámetro (mm)	Tipos de estructuras
Malla de alambre hexagonal (malla de gallinero)	0,5 – 1,0	Reservorios circulares de pequeño y gran volumen, losas.
Malla cuadrada electro- soldada	4,2 – 9,5	Reservorios circulares de pequeño y gran volumen, cisternas, losas, tubos para alcantarillado.
Malla cuadrada tejida	1,5 – 2,2	Reservorios circulares de pequeño volumen (5 a 25m ³).
Malla cuadrada soldada	0,8 – 2,8	Tanques circulares de reserva, de pequeño volumen (5 a 25m ³).
Malla de metal expandido	----	Reservorios de pequeño volumen, Letrinas, paredes divisorias de ambientes.

- b) Para estructuras circulares de almacenamiento, se emplearán en formas combinadas, malla de alambre hexagonal con mallas electrosoldadas o barras corrugadas dispuestas en malla. Las mallas hexagonales absorben los esfuerzos que se producen por retracción del fraguado del mortero, en cambio las mallas electrosoldadas o barras dispuestas en malla, absorben los esfuerzos que se producen por el empuje hidrostático y otras cargas exteriores.
- c) Los esfuerzos deberán ser resistentes a la corrosión.
- d) Deberán considerarse el empleo de barras lisas de acero estructural para la confección de las mallas de refuerzo, siempre que sus diámetros no sean mayores de 5,5 mm.
- e) El volumen de la malla, deberá oscilar entre el 1% y 8% del volumen total del elemento estructural.

4.6 *Acero del armazón*

- a) Para la conformación del esqueleto o armazón de la estructura se emplearán barras lisas, corrugadas o mallas electrosoldadas. Generalmente se emplean para el armazón de una estructura de ferrocemento, barras de acero liso de $\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ " (6.35 a 19 mm respectivamente) las cuales son soldadas o amarradas.
- b) Cuando las varillas que conforman el armazón son espaciadas a distancias menores o iguales a 7,5 cm, estas serán consideradas como parte del refuerzo estructural de ferrocemento.

4.7 *Aditivos*

- a) Los aditivos empleados en ferrocemento deberán cumplir con las especificaciones de la norma ITINTEC 339.086. Para su empleo deberá contarse con la autorización del inspector de obra. No deberá modificarse el contenido de cemento en la mezcla ante la inclusión del aditivo.
- b) En caso de emplearse puzolanas como aditivos, estas deberán cumplir con lo estipulado en la norma ASTM C618.
- c) En caso de emplearse aditivos reductores de agua, acelerantes, retardantes, reductores de agua y acelerantes o reductores de agua y retardantes, estos deberán cumplir con lo señalado en la Norma ASTM C494-71.
- d) La cantidad de aditivo a emplearse, no deberá ser más del 1% del peso del cemento en la mezcla.
- e) Los aditivos a emplearse deberán ser de la misma composición, tipo y marca que los empleados para la selección de las proporciones de mezcla de mortero.

4.8 Encofrado

- a) Los encofrados y elementos de soporte, deberán diseñarse tal que al construirse sean seguros y capaces de soportar las sobrecargas producidas en el proceso de colocación del mortero. En el caso de muros, debe tenerse especial cuidado de la verticalidad de los encofrados para tener secciones uniformes. Podrán emplearse planchas de triplay, planchas metálicas, ladrillo, plástico, moldes de madera, etc.

4.9 Almacenamiento de los materiales en obra

- a) Los materiales que van a ser empleados como encofrados deberán mantenerse aislados de todos aquellos agentes externos, capaces de causar su deterioro o deformación.
- b) El almacenamiento de los materiales deberán realizarse de acuerdo a los criterios estipulados en el Acápite 3.6 de la Norma E.060 de Concreto Armado.

4.10 Ensayo de los materiales

- a) Los ensayos de certificación de la calidad de los materiales a emplearse en las estructuras de ferrocemento se efectuará en concordancia con las Normas ITINTEC o NTP correspondientes y podrán ser efectuados en cualquier etapa del proyecto.
- b) Los resultados obtenidos de los ensayos sobre la calidad de los materiales se llevarán en un registro anexo al cuaderno de obra en concordancia con lo estipulado en el Acápite 1.3, Sección 1.3.3.4 de la Norma E.060 de Concreto Armado.
- c) Cualquier material que pueda emplearse en la construcción de estructuras de ferrocemento, diferente a los indicados, deberá ser sometido a ensayos para certificar la calidad del mismo y los resultados obtenidos deberán ser comparados con las normas o especificaciones correspondientes al material propio.

5. Requerimientos previos de diseño

5.1. Calidad del mortero

a) Requerimientos generales

Los procesos de selección de los materiales, colocación y curado deberán realizarse en forma estricta tal que el mortero resultante pueda ser capaz de resistir a la compresión, sea impermeable y resistente al ataque de agentes internos y externos a fin de prolongar la durabilidad de la estructura.

b) Valores de la resistencia de diseño f'_c

En las estructuras de ferrocemento, se optará como mínimo un f'_c equivalente a 210 kg/cm^2 .

c) Selección de la proporción de mortero

- Para la preparación del mortero, la proporción en peso equivalente deberá ser de una parte de cemento por 1,5 a 2 partes de arena.
- La relación agua - cemento deberá ser lo más baja posible. Para estructuras de retención de agua como tanques de reserva, mantener una relación agua – cemento en peso de 0,3 a 0,4.
- La proporción de los aditivos que fueran necesario utilizarse estará de acuerdo con la Norma ASTM C618 o en concordancia con las especificaciones señaladas por el fabricante de los aditivos.

5.2 Calidad del refuerzo

a) Requerimientos generales

La selección de tipo de refuerzo a emplearse en estructuras de ferrocemento, se deberá conocer sus características resistentes, tales como esfuerzo de fluencia y módulo de elasticidad.

d) Valores de resistencia del refuerzo

Para la determinación de la resistencia del refuerzo, se adoptarán los siguientes criterios:

- Los valores mínimos de resistencia a la fluencia y módulo efectivo de mallas no deben ser menores que los especificados en la tabla 1.2.
- Para el empleo de otro tipo de refuerzo deberá determinarse sus características resistentes mediante ensayos de laboratorio o especificaciones proporcionadas por el fabricante.

6. Requerimientos complementarios

6.1. Colocación del refuerzo

- a) La malla de refuerzo y el acero del armazón deberán estar sujetos de tal forma que se mantengan en su posición, durante la aplicación del mortero y el vibrado.
- b) El rango de la longitud de traslape en el caso de mallas, deberá estar 25 cm y 30 cm; y para el caso de las varillas el traslape no deberá ser menos de 40 veces el diámetro del elemento.
- c) Las mallas de refuerzo deberán amarrarse a las varillas de acero del armazón, con alambre galvanizado o alambre de amarre No.16 en intervalos de 15 cm a 30 cm.

- d) El acero de las armaduras no deberán contener sustancias como grasa u otros contaminantes, en caso contrario deberán cepillarse antes de comenzar el trabajo de colocación del mortero.

6.2 Preparación del mortero

- a) Los materiales conformantes de la mezcla deberán ser dosificados por peso, incluida el agua, y deberán ser añadidos o alimentados a la mezcladora evitando el aglutinamiento. Se deberá controlar la relación agua – cemento.
- b) Todo el concreto se mezclará hasta que exista una distribución uniforme de los materiales, y descargará completamente antes de que la mezcladora se vuelva a cargar.
- c) La mezcladora preferentemente deberá ser de una cuchilla espiral o paletas dentro de un cilindro estacionario o a mano. Evitando en lo posible el uso de mezcladoras con cilindros rotatorios y aletas adheridas a los lados.
- d) La proporción de agua - cemento deberá ser lo más baja posible, y la proporción de arena - cemento deberá ser ajustada a fin de obtener una mezcla fluida para la penetración inicial entre la armadura, seguida de una mezcla más rígida pesada al final.
- e) El mortero deberá mezclarse en lotes, de tal forma que pueda trabajarse hasta una hora después de iniciada la mezcla, no deberá evitarse el remezclado del mortero.

6.3 Aplicación del mortero

- a) El mortero será colocado manualmente o mediante un dispositivo de pistola pulverizadora, a través de la malla. La mezcla deberá penetrar en todas las capas de refuerzo, hasta el encofrado.
- b) La aplicación se podrá realizar a través de dos técnicas como son:
 - Técnica en una capa: El mortero será aplicado de afuera hacia adentro de la malla, teniendo como apoyo temporal el encofrado. El recubrimiento final o capa de acabado que conforma la estructura, se colocará antes de que ocurra el fraguado del mortero principal.
 - Técnica en dos capas: El mortero será aplicado en dos etapas, la primera capa aplicada afuera de la malla y una vez endurecida luego de 24 horas se colocará la segunda capa. Con este método se evitará las cangrejas en el mortero.

6.4 Curado

- a) Las estructuras de ferrocemento deberán tener una buena hidratación a fin de lograr un buen endurecimiento. Se deberá conservar saturado al mortero, hasta que el espacio originalmente lleno de agua en la pasta de cemento se haya llenado al grado deseado por los productos de hidratación del cemento.
- b) El tiempo de curado debe ser por lo menos de siete días.

6.5 Recubrimientos

- a) Las estructuras de ferrocemento que se encuentren expuestas a condiciones ambientales severas o exigencias especiales utilizarán recubrimientos que cumplan con las siguientes características:
 - Buena adherencia al mortero endurecido
 - Tolerancia a la alcalinidad del ferrocemento
 - Resistencia química a la abrasión
 - Impermeabilidad al agua y a las sustancias químicas
- b) Las estructuras que no estén sometidas a esfuerzos considerables utilizarán un recubrimiento con espesor no menor a 0,15 cm y no mayor a 1,25 cm.
- c) El recubrimiento de las estructuras que se encuentren sometidas a condiciones ambientales severas en ningún caso deberá ser menor a 1,25 cm.
- d) La superficie sobre la que irán los recubrimientos no deberán contener polvo ni suciedad alguna, si hubo recubrimiento anterior deberá quitarse utilizando chorros de arena, cepillos de alambre, una herramienta o equipo adecuados.
- e) La aplicación de los recubrimientos por lo general deberán realizarse a temperaturas no menores a 10°C, y los adhesivos de resinas epóxicas aplicados al mortero se realizarán a temperaturas no menores de 15°C.

7. Consideraciones generales para el análisis y diseño de estructuras de ferrocemento

7.1 Diseño

Los componentes de las estructuras de ferrocemento se diseñaran usando cargas de servicio y esfuerzos permisibles de carga de servicio, en concordancia con las especificaciones técnicas establecidas en el presente documento; para tal efecto se utilizarán los factores de carga y resistencias establecidas en los acápites 9.2 y 10.2 respectivamente de la Norma E.060 de Concreto Armado.

Los miembros de las estructuras de ferrocemento, serán diseñados para satisfacer los criterios de servicio, de acuerdo con las estipulaciones planteadas en el Acápito 7.4 del presente documento.

7.2. *Parámetros de diseño*

7.2.1 *Módulo de elasticidad*

- Para el mortero (matriz), se determinará mediante ensayos de laboratorio y en todos los casos no será menor a 210,000 kg/cm².
- Los valores mínimos del módulo efectivo longitudinal (Ef_L) y transversal (Ef_T) para las diferentes mallas de refuerzo, se determinarán a partir de la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Valores mínimos de resistencia a la fluencia y módulos efectivos para Mallas y barras de acero recomendadas para el diseño (ACI 549.1R-93)

Características		Malla cuadrada Tejida	Malla cuadrada Soldada	Malla hexagonal	Malla de Metal Expandido	Barras longitudinales
Esfuerzo de Fluencia	f_y (kg/cm ²)	4,550	4,550	3,150	3,150	4,200
Módulo Efectivo	Ef_L (10 ³ kg/cm ²)	1,400	2,030	1,050	1,400	2,030
	Ef_T (10 ³ Kg/cm ²)	1,680	2,030	700	700	-----

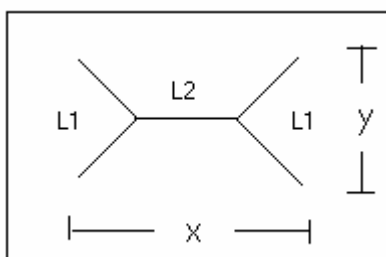
7.2.2 *Superficie específica*

Para malla cuadrada o rectangular, se calculará a partir de la siguiente formula:

$$SI = (\pi * d * n * (1/d_L + 1/d_T)) / t \quad (\text{cm}^{-1})$$

Para malla hexagonal, se calculará a partir de la siguiente formula:

$$SI = \pi * d * n * (4L1 + 2L2) / x * y * t \quad (\text{cm}^{-1})$$



Donde: d_L , d_T y d se expresan en la fórmula en cm; de igual forma para x , y , L_1 y L_2 . L_1 viene a ser la longitud total del alambre del extremo y L_2 , la longitud del alambre intermedio.

SI se divide en SI_L y SI_T , en la dirección longitudinal y transversal respectivamente, los valores de cada uno son determinados multiplicando el SI respectivo por el valor de η , que aparece en la tabla 1.3 del presente documento.

Para estructuras de almacenamiento de agua, la superficie específica no será menor de $1.6 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$.

7.2.3 *Volumen de refuerzo*

Para malla cuadrada o rectangular, se calculará a partir de la siguiente formula:

$$Vf = \pi * d^2 * n * (1/d_L + 1/d_T) * 25 / t \quad (\%)$$

Para malla hexagonal, se calculará a partir de la siguiente formula:

$$Vf = \pi * d^2 * n * (4L_1 + 2L_2) * 25 / (x * y * t) \quad (\%)$$

Vf se divide en Vf_L y Vf_T para las direcciones longitudinal y transversal respectivamente, los valores de cada uno de ellos se obtendrá al multiplicar Vf por el factor de eficiencia global η . Para estructuras de almacenamiento de agua, Vf debe oscilar entre 3.5% y 8%.

Para las diferentes mallas, la relación entre SI y Vf será la siguiente:

$$SI = 4 * Vf / d$$

7.3 *Factores de resistencia y carga*

- La resistencia de diseño para el refuerzo de la malla, se debe basar sobre la resistencia en el punto de fluencia f_y del refuerzo, el cual no deberá exceder de 7000 kg/cm^2 .
- La resistencia de diseño estipulada para un miembro o sección en términos de carga axial, momento de flexión, fuerza de corte o esfuerzo, serán tomados como la resistencia nominal calculada en concordancia con los requerimientos y las suposiciones realizadas, multiplicado por el factor de reducción de resistencia ϕ para satisfacer la siguiente relación:

$$U \leq \phi * N$$

Siendo U equivalente a la mínima fuerza de diseño requerida, N la resistencia nominal y ϕ es un factor de reducción de esfuerzo definido en el acápite 10.3 de la norma E.060 de Concreto Armado.

7.4. *Requisitos de servicio*

Los miembros y estructuras de ferrocemento deberán cumplir con los siguientes requisitos de servicio:

- a) *Control de grietas*: El valor máximo de anchura de las grietas, bajo condiciones de carga de servicio para ambientes no corrosivos no deberá ser menor de 0.10 mm y para ambientes corrosivos y/o estructuras de almacenamiento de agua será de 0.05 mm.
- b) *Resistencia a la corrosión*: Para asegurar la durabilidad de la estructura, se tendrá en consideración los siguientes factores:
 - El espesor del mortero deberá ser suficiente para evitar que el refuerzo vulnerado por líquidos corrosivos.
 - El refuerzo que se utilice en las estructuras de ferrocemento deberá ser galvanizado.

8. Métodos de diseño

8.1 *Diseño por resistencia última*

8.1.1. *Flexión*

Para el diseño de los miembros de ferrocemento se deberá considerar los criterios de equilibrio de fuerzas y las suposiciones siguientes:

- a) La deformación unitaria en el refuerzo y el mortero deberán asumirse directamente proporcional a la distancia del eje neutro.
- b) La deformación unitaria en la fibra extrema de compresión del mortero debe asumirse como igual a 0,003
- c) El esfuerzo que se encuentre por debajo de la fluencia (f_y), deberá tomarse como el producto del módulo de elasticidad del refuerzo (E_f) y la deformación unitaria. Los valores de E_f se definen en la tabla 1.2; los refuerzos que no se indiquen en esta tabla, se determinarán mediante ensayos o a través de las especificaciones del fabricante. Los esfuerzos que se encuentren por encima de la fluencia, se tomarán como valor equivalente al f_y .
- d) La resistencia a la tensión del mortero se considerará cero.

- e) La resistencia a la compresión del mortero se determinará a partir de la siguiente fórmula:

$$C_C = 0.85 * f'_c * b * \beta_1 * c$$

Donde el valor de β_1 puede tomarse del ítem f del acápite 11.2.1 de la norma E.060 de concreto armado

El área de refuerzo por capa de malla necesaria para resistir el esfuerzo en una sección agrietada de ferrocemento, se determinará a partir de la siguiente relación:

$$A_{Si} = \eta * V_{fi} * A_C \quad (Ec-1)$$

Donde el factor de eficiencia global η puede tomarse de los valores que se indican en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Valores de diseño recomendados del factor de eficiencia global del refuerzo para un miembro sometido a tensión o flexión uniaxial

Características		Malla cuadrada tejida	Malla cuadrada soldada	Malla hexagonal	Malla de metal expandido	Barras longitudinales
Factor de eficiencia global	Longitudinal η	0,50	0,50	0,45	0,65	1,00
	Transversal η	0,50	0,50	0,30	0,20	-
	A 45 grados η_θ	0,35	0,35	0,30	0,30	0,70

El factor de eficiencia global multiplicado por la fracción de volumen del refuerzo indicará la proporción de refuerzo equivalente en la dirección de la carga.

Los valores de la tabla 1.3, se deben emplear para secciones de 5 cm o menos de espesor.

8.1.2. Tensión

La resistencia nominal de los elementos agrietados del ferrocemento sujetos a una carga de tensión pura, podrá ser calculada a partir de la siguiente fórmula:

$$N_n = A_S * f_y$$

El valor de A_S está dado por:

$$A_S = n * A_{Si} \quad (Ec-2)$$

Donde:

A_s = área transversal efectiva del refuerzo en la dirección considerada en cm^2 .

n = número de capas de malla.

A_{si} = área efectiva de refuerzo por capa de malla en cm^2 obtenida de (Ec-1).

La resistencia de diseño " ϕN_n " deberá ser calculada en concordancia al acápite 7.3.2 del presente documento.

8.1.3. *Compresión*

La resistencia nominal de las secciones de ferrocemento sujetas a compresión axial podrán considerarse como $0.85 f'_c$, sin embargo el componente transversal del refuerzo contribuye con una resistencia adicional cuando se usan mallas de alambres rectangulares o cuadradas. En el caso de la malla expandida no contribuye con resistencia alguna.

Se deberá considerar los efectos de esbeltez de las secciones delgadas del elemento, ya que pueden reducir la resistencia a la compresión del mismo.

8.2. *Diseño por carga de servicio*

Todas las estructuras que se encuentren en contacto con líquidos o materiales granulares, serán diseñadas teniendo en consideración los esfuerzos permisibles por carga de servicio que se detallan en los acápites 8.2.3 y 8.2.4 de este capítulo.

8.2.1. *Flexión*

Se tendrá en consideración lo siguiente:

- a) Las deformaciones varían linealmente con la distancia del eje neutro.
- b) Las relaciones entre el esfuerzo y deformación del mortero y el refuerzo son lineales para esfuerzos menores ó iguales a los esfuerzos permisibles por carga de servicio.
- c) El mortero no resiste tensión alguna.
- d) Existe una adherencia perfecta entre el acero y el mortero.

Para el cálculo de los esfuerzos debido a una carga determinada se puede usar la sección agrietada transformada. Determinado el eje neutro, el análisis se procederá como para vigas o columnas de concreto reforzado con varias capas de acero y que están sujetas a flexión simple.

8.2.2. *Área de refuerzo*

El área efectiva por capa de refuerzo, se determinará a partir de la relación establecida en (Ec-1) del presente documento.

Para estructuras de almacenamiento de agua, el número de capas de refuerzo deberá estimarse a partir de la siguiente relación:

$$\sigma_{cr} = 24.5 * SI_L + \sigma_{mu} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Donde:

SI_L , podrá ser calculado a partir de la relación que se muestra en el acápite 7.2.2 del presente documento, dicho parámetro contiene al número de capas “n” que se desea conocer.

El valor que se asumirá para “ σ_{cr} ”, oscilará entre los 40 y 50 kg/cm², el cual generalmente corresponde a un ancho de grieta de 0.04 a 0.05mm.

8.2.3. *Esfuerzo de tensión permisible “fs”*

Para el refuerzo por lo general debe tomarse un esfuerzo no mayor a 0.60 fy (esfuerzo de fluencia del esfuerzo). Para estructuras sanitarias es preferible limitar los esfuerzos a tensión permisibles a 2100 kg/cm² o 0.5fy.

8.2.4. *Esfuerzo de compresión permisible “fc”*

Para el mortero o el compuesto de ferrocemento el esfuerzo de compresión permisible no deberá ser más de 45 f'c.

9. **Consideraciones complementarias**

- a) Para una sección transversal de ferrocemento de espesor “t”, las aberturas de la malla no deberán ser mayores a este espesor.
- b) El recubrimiento del refuerzo debe ser el doble del diámetro del alambre de la malla o de otro refuerzo utilizado. Un recubrimiento menor puede ser aceptable, siempre que el refuerzo sea resistente a la corrosión, que la superficie esté protegida por un recubrimiento apropiado y que el ancho de las grietas sean menores a 0.05 mm.
- c) Para estructuras de almacenamiento de agua, la fracción del volumen total del refuerzo, no deberá ser menor de 3.5% y la superficie específica total del refuerzo no menor de 1.6 cm⁻¹.
- d) Para el cálculo de la superficie específica se puede considerar la contribución de fibras agregadas a la matriz, mientras que se puede pasar por alto dicha contribución al determinar la fracción de volumen del refuerzo.
- e) En los casos que se utilice acero como armazón, este no deberá ocupar más del 50% del espesor total del elemento.

- f) Para una fracción de volumen de refuerzo dada, se puede lograr un mejor rendimiento en términos de resistencia, ancho de las grietas, impermeabilidad y ductibilidad, al distribuirlo uniformemente en el espesor e incrementar su superficie específica. El máximo número de capas de refuerzo en una sección de ferrocemento no deberá exceder a 8.

10. Bibliografía

- National Academy Of Sciences “Ferrocement : Application in Developing Countries “
- Committee 549 “state of the report on ferrocement” - ACI
- Committee 549 “Guide for the Design , construction and Repair of Ferrocement” - ACI
- Tecnologías apropiadas , Diseño y Construcción de Tanques de Ferrocemento - C. Ibarra Sandoval
- B.K Paul , R.P Pama “Ferrocement”
- Tópicos de Tecnología del Concreto - Ing Enrique Pasquel C.
- Diseño de Mezclas - Ing Enrique Rivva L.
- Durabilidad del Concreto ACI – 201 - Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (I.M.C.Y.C)
- Concrete And Chlorides- American Concrete Institute – Boletín ACI SP – 102
- Committee 544 “State of -the -Art Report on fiber Reinforced Concrete”
- Committee 515 “Guide for the Protection of concrete Against Chemical by Means of coatings and other corrosion Resistant Materials”
- Reglamento Nacional de Construcciones, Cámara Peruana de la Construcción, Diciembre de 1997.