

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN TANQUE
DE FERROCEMENTO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

TESIS

Presentada a la Junta Directiva
de la
Facultad de Ingeniería

POR

HUGO BERTY SIERRA JIMENEZ

Al conferírsele el título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, abril de 1,986

SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
CENTRAL - USAC.
NO
TESIS DE REFERENCIA

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08

T(1147)C

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR:

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

ANALISIS DE CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN TANQUE
DE FERROCEMENTO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escue
la de Ingeniería Civil.

Hugo B. Sierra Jiménez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

MIEMBROS JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Roberto Mayorga Rouge
VOCAL PRIMERO:	Ing. Jacinto Quan Chú
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Jorge Mario Morales
VOCAL TERCERO:	Ing. Pedro Aguilar Polanco
VOCAL CUARTO:	Br. Abel Abraham García M.
VOCAL QUINTO:	Br. José Carlos Farfán C.
SECRETARIO:	Ing. René Andrino Guzmán

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN

GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR:	Ing. Leonel Pinot Leiva
EXAMINADOR:	Ing. Jorge Mario Morales
EXAMINADOR:	Ing. Gabriel Ramírez Saravia
SECRETARIO:	Ing. René Andrino Guzmán

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES:

Margarita Jiménez
Fulvio Emiro Sierra (Q.E.P.D.)

A MI HIJA:

Luisa Fernanda Sierra Santizo

A MIS HERMÁNOS:

Elizabeth, Judith, Bernarda,
Fulvio, César, Enrique,
William, Tulio, Silvio.

A MI ABUELA:

Celina Jiménez

A MIS TIOS:

Marino, Eloisa, Mercedes

A MI FAMILIA EN GENERAL

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

a

Elvira Clavería Medina
Gonzalo Adolfo Santizo
Walter Adolfo
Manuel Estuardo
Mynor Roderico
Leticia Eugenia
Julio Alfredo Enrique

y

Carmen Otilia Clavería
Rolando Santizo
y Familia

*Por haberme dado la oportunidad de comi-
vir al lado de ellos,
sin lo cual habría sido
difícil alcanzar este triunfo*

AGRADEZCO A

Dr. Hans Gran Sorensen

*Por haber colaborado en mi búsqueda
de mejores oportunidades de vida*

A

Ing. Luis Fernando Leal
Lic. Andrés Botrán Briz
Ing. Roberto F. Zachrisson

*Por la oportunidad que me
brindaron para establecerme
en Guatemala.*

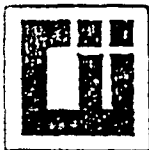
AGRADECIMIENTO

Al Centro de Investigaciones
de Ingeniería
y a su Personal

*Por su colaboración en la realización
del presente trabajo*

Al Ing. Francisco Javier Quiñónez

*Por la ayuda que me brindó
como Asesor del presente
trabajo de tesis*



Guatemala, 18 de abril 1986

Ing. Jorge Mario Morales
Jefe Area de Materiales
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería, USAC
Presente.

Ing. Morales:

Tengo el agrado de someter a su consideración el trabajo de Tesis "Análisis de Construcción y evaluación de un tanque de Ferrocemento de Almacenamiento de Agua", del estudiante de Ingeniería Civil, Hugo Berty Sierra Jiménez, quien contó con la asesoría del suscrito.

El trabajo en cuestión es de mucha importancia ya que presenta una de las primeras aplicaciones de la investigación en ferrocemento, por lo que me permito recomendar la aprobación correspondiente, siendo responsable con el autor de los resultados y conclusiones logradas.

Atentamente,


Ing. Francisco Javier Quiñonez
Asesor.



Guatemala, 21 de abril de 1986.

Ing. Rafael Angel Bolaños E
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente.

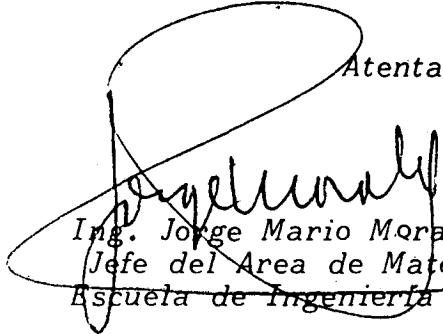
Señor Director:

Tengo el agrado de someter a su consideración el trabajo de Tesis titulado: "Análisis de Construcción y Evaluación de un Tanque de Ferrocemento de Almacenamiento de Agua", del estudiante Universitario Hugo Berti Sierra Jimenez, quien contó con la asesoría del Ing. Francisco Javier Quiñonez.

El trabajo realizado presenta una de las aplicaciones prácticas de la Tecnología del Ferrocemento en nuestro país y, promete ser un excelente sustituto de algunos sistemas convencionales de almacenamiento de agua. Por lo tanto, me permito recomendar su aprobación correspondiente.

Sin otro particular, lo saluda,

Atentamente,



Ing. Jorge Mario Morales G.
Jefe del Area de Materiales
Escuela de Ingeniería Civil.

JMM-11.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

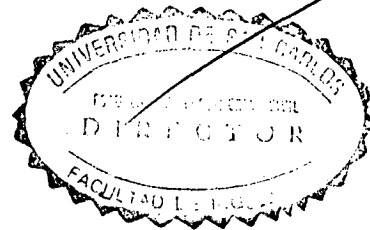
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Javier Quiñónez, y del Jefe del Area de Materiales de Construcción Ing. Jorge Mario Morales G., al trabajo de tesis del estudiante Hugo Berty Sierra Jiménez, titulado ANALISIS DE CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN TANQUE DE FERROCEMENTO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Rafael Angel Bolaños E.

Guatemala, 28 de abril de 1,986



RABE/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

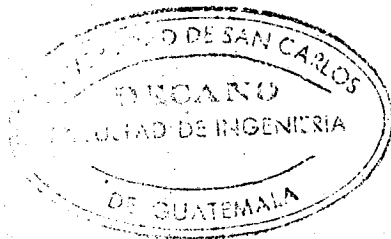
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Rafael Angel Bolaños Escobar, al trabajo de tesis ANALISIS DE CONSTRUCCION Y EVALUACION DE UN TANQUE DE FERROCEMENTO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA, del estudiante Hugo Berty Sierra Jiménez, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

R. Mayorga R.
Ing. Roberto Mayorga Rouge
DECANO



Guatemala, 28 de abril de 1,986

bbdeb.

I N D I C E

	PAG.
MOTIVACION	1
INTRODUCCION	2
ANTECEDENTES	4
1. MARCO TEORICO	6
1.1 PROPIEDADES MECANICAS MAS IMPORTANTES QUE GOBIERNAN EN EL DISEÑO DE FERROCEMENTO EN TENSION	6
1.2 RESISTENCIA A LA PRIMERA GRIETA	7
1.3 MECANISMO DE AGRIETAMIENTO	9
1.4 FACTORES QUE AFECTAN EN EL COMPORTAMIENTO DE AGRIETA- MIENTO DE FERROCEMENTO	10
1.5 ANCHO DE AGRIETAMIENTO	13
1.6 EFECTO DEL TIPO DE MALLA Y SU ORIENTACION	14
1.7 EFECTO DEL ESQUELETO COMO REFUERZO	15
1.8 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DE LOS MATERIALES	15
1.8.1 Acero de refuerzo	15
1.8.2 Armazón de la jaula de refuerzo	16
1.8.3 Cemento	16
1.8.4 Agregados	17
1.8.5 Agua	18
o 1.9 ESPECIFICACION DEL METODO CONSTRUCTIVO	18
1.9.1 Proporciones de la mezcla del mortero	18
1.9.2 Colocación del mortero	19
1.9.3 Revestimientos	19

	PAG.
2. MARCO EXPERIMENTAL	21
2.1 GENERALIDADES	21
2.2 CARACTERISTICAS DEL DEPOSITO	22
2.3 ANALISIS DEL DEPOSITO	22
2.4 DISEÑO DEL DEPOSITO	26
2.4.1 Determinación de los esfuerzos tangenciales	26
2.4.2 Determinación de los esfuerzos a la primera grieta	26
2.5 METODO CONSTRUCTIVO	29
2.5.1 Materiales empleados en la armazón del esqueleto del depósito	29
2.5.2 Fundición de la base para el levantado de block	30
2.5.3 Procedimiento del método constructivo	31
3. EVALUACION DE COSTOS	35
4. ANALISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS	39
4.1 ENSAYO DEL DEPOSITO	39
4.2 RESULTADOS DEL ENSAYO	39
4.3 ANALISIS DE RESULTADOS	41
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
6. REFERENCIAS	46
7. BIBLIOGRAFIA	48

MOTIVACION

El trabajo se refiere a un material no convencional denominado ferrocemento, que utiliza los recursos del lugar y su técnica constructiva no requiere personal calificado, cualidades que lo hacen ser ventajosamente competitivo en relación a los materiales tradicionales.

El ferrocemento es básicamente una forma de concreto reforzado a base de mortero de cemento, arena y alambres de diámetros pequeño que se entrelazan formando una malla.

Las características más significativas que lo diferencian del concreto es el de usar un alto porcentaje de alambres de pequeño diámetro; dando por resultado un aumento en la superficie específica con la finalidad de producir una reducida longitud de adherencia, lo que produce que el ancho de las grietas sea disminuido, haciéndolo deseable en estructuras de paredes delgadas, representando economía de los materiales y una reducción del peso propio.

Por la flexibilidad que ofrece el refuerzo, se ha podido adecuar a silos, depósitos, fosas sépticas, etc, que al ser realizadas en concreto resultarían a un elevado costo.

En el Centro de Investigaciones de Ingeniería, se han evaluado depósitos cuyas capacidades van de 250 a 1000 litros y el objetivo de este estudio es el de experimentar con depósitos de mayor capacidad que puedan ser usados en proyectos de introducción de agua potable.

INTRODUCCION

En la mayor parte de las actividades humanas es inevitable el uso - del agua y, al no contar con servicios adecuados que presten un buen servicio, origina una necesidad por conseguir una mayor disponibilidad de almacenamiento de agua.

Como una alternativa viable al problema del almacenamiento, se evalúa un depósito cilíndrico de un material no convencional denominado ferrocemento, escogiéndose la forma cilíndrica por ser la forma geométrica más eficiente en resistir los esfuerzos generados por las fuerzas en virtur de la presión del líquido.

El trabajo se dividió en 5 fases;

La primera fase se refiere a las propiedades mecánicas que gobiernan el diseño del ferrocemento a tensión como son: su comportamiento a los esfuerzos de tensión antes de llegar a la ruptura; su resistencia a la primera grieta, que, mediante estudios experimentales se han desarrollado fórmulas en función de la superficie específica y resistencia última del mortero a tensión; el agrietamiento con la finalidad de limitar su ancho para tener una buena funcionalidad de la estructura; el tipo de malla y su orientación.

La segunda fase se refiere a las especificaciones de los materiales usados que son: la malla hexagonal (de gallinero), cemento, arena y agua.

La tercera fase se refiere al análisis y diseño del depósito de ferrocemento para el almacenamiento de agua. Para el análisis se utilizó la teoría de cilindros de pared delgada y, para el diseño se utilizaron las recomendaciones de los esfuerzos a la primera grieta.

En la cuarta fase se refiere al método constructivo que, a diferencia de otros métodos, no requiere de mano de obra calificada.

En la quinta fase se hace referencia a los ensayos de presión interna de acuerdo a las condiciones de servicio.

En la sexta fase se hace referencia al aspecto económico, determinándose que la alternativa investigada, hace del ferrocemento un material ventajosamente competitivo con relación a los materiales tradicionales.

Finalmente, se expone un análisis del trabajo y las conclusiones y recomendaciones del mismo.

ANTECEDENTES

Las siguientes evidencias que se remontan desde 1852, dan indicios del progresivo uso del ferrocemento.

Joseph Loui Lambot, construyó algunos botes con un material que le llamó Ferciment, siendo la base del material una malla de alambre o barras interconectadas que formaban una malla entretrejida flexible.

Al inicio de 1940, Pier Luigi Nervi, resucitó la idea de Lambot cuando observó que reforzando el concreto con capas de malla de alambre se producía un material homogéneo de gran flexibilidad, elasticidad, ductilidad y resistencia al impacto.

A pesar de estas evidencias, no fue sino al principio de 1960 que empezó a tener aceptación en el Reino Unido, Nueva Zelandia y Australia.

En Nueva Zelandia se ha logrado dar un gran desarrollo en las Fincas al lograr un mayor almacenamiento de agua en depósitos de ferrocemento y a nivel comercial se encuentran tamaños que varían de 200 a 500 galones (1).

El Instituto Americano del Concreto (ACI) tiene establecido el comité 549 que tiene a su cargo lo relacionado con el ferrocemento.

En la Universidad de Illinois de Chicago se han hecho ensayos de modelos de tanques de agua de ferrocemento, donde el agrietamiento y las

características de permeabilidad fueron estudiados (2).

En Guatemala, a través del Centro de Investigaciones de Ingeniería, se han venido desarrollando trabajos de tesis de graduación referidas al uso del ferrocemento en bóvedas, láminas y digestores además, se han elaborado depósitos cuyas capacidades están entre 250 a 1200 litros (3).

Numerosas investigaciones llevadas a cabo durante 1960-1970, han mostrado que similar al concreto reforzado, el ferrocemento se agrieta, pero su ancho de agrietamiento es más pequeño y casi invisible al ojo humano.

CAPITULO I

1.1 PROPIEDADES MECANICAS MAS IMPORTANTES QUE GOBIERNAN EN EL DISEÑO DE FERROCEMENTO EN TENSION

Idealmente, el ferrocemento es un material homogéneo en el rango elástico y cuando un espécimen de ferrocemento está sometido a carga de tensión; tres etapas de comportamiento son observados y clasificados de acuerdo al ancho de las grietas descritas en el cuadro No. 1 (4).

CUADRO 1

FASES DE LOS ESFUERZOS DE TRABAJO Y DEFORMACIONES DE FERROCEMENTO BAJO CARGAS DE TENSION

Fase	Estado material	Funcionalidad	Ancho de grietas *(micrones)	Esfuerzos 20-50-100 psi	N/mm ²	Deformación unitaria x 10 ⁻⁶
1	Linealmente elástico	Impermeable	---	---	---	---
1a	Casi elástico	Impermeable	0.20	470	3.25	200
1b	No linealmente elástico	No corrosivo	20-50	514	3.55	290
2	Elástico plástico	No corrosivo	50-100	612	4.23	645
3	Plástico	Corrosivo	Más de 100	---	---	---

* 1 micrón = 10⁻⁶ m

Estudios experimentales en el comportamiento de especímenes de ferrocemento en tensión son mostrados a través de su curva esfuerzo-deformación (Figura 1); en el rango elástico los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones y no hay evidencias en la formación de grietas. Aumentando los esfuerzos su comportamiento es casi elástico, y, estos dos estados constituyen prácticamente el rango elástico de trabajo del ferrocemento; si se aumentan nuevamente los esfuerzos la curva deja de ser lineal, aumentando el número de grietas, no así su ancho, formando la fase elástica no lineal; si se continúa aumentando los esfuerzos no aparecen nuevas microgrietas, pero algunas de las existentes se propagan hasta que pueden ser observadas a simple vista, formando la fase elástica plástica (4).

1.2 RESISTENCIA A LA PRIMERA GRIETA

Se ha observado que los esfuerzos a la primera grieta están en función de la superficie específica del refuerzo y mediante estudios experimentales se ha planteado una fórmula experimental para determinar los esfuerzos a la primera grieta (5).

$$F_c = 140 SL + F_{mu}$$

F_c = esfuerzo a la primera grieta

SL = superficie específica en dirección de la carga

F_{mu} = resistencia última del mortero a tensión

Tanques cilíndricos de ferrocemento fueron ensayados a diferentes condiciones de carga, encontrándose que el agrietamiento ocurría en las paredes, cuando el esfuerzo de tensión excedía el esfuerzo de tensión a

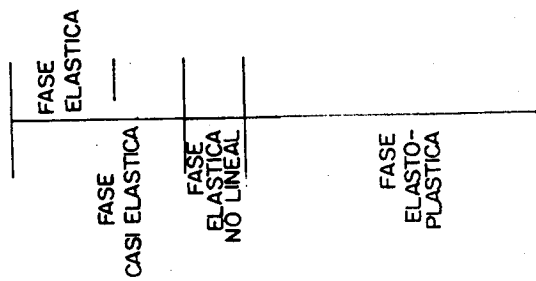
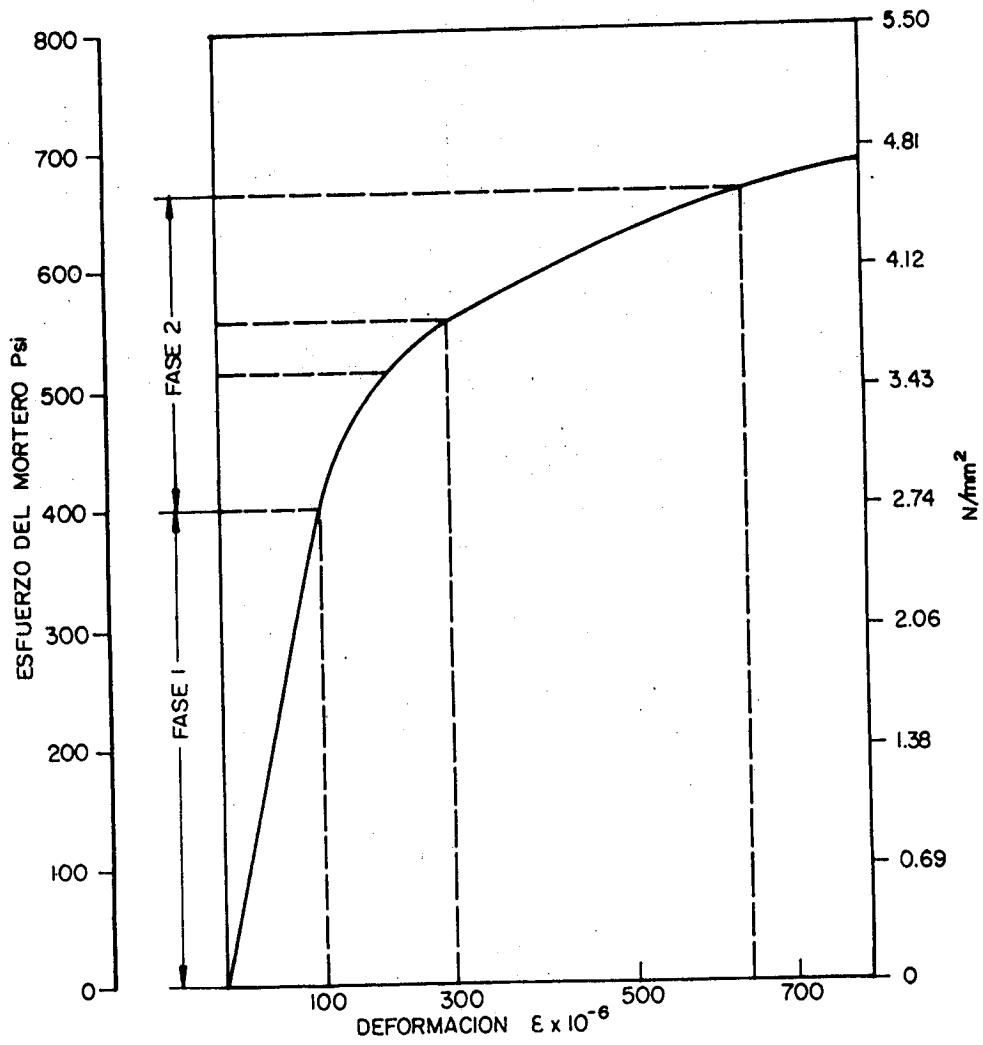


FIGURA I
CURVA IDEALIZADA DE FERROCEMENTO EN TENSION

la primera grieta, establecido 300 a 800 psi $(2.06 - 5.50 \text{ N/mm})^2$, lo que significa que F_c debe limitarse en este intervalo (6).

1.3 MECANISMO DE AGRIETAMIENTO

Los estados de agrietamiento de un material compuesto como el ferro cemento, puede ser ilustrado por el mecanismo clásico de agrietamiento del concreto reforzado, basado en la suposición que los esfuerzos de ten sión en el mortero rodeando el esfuerzo, están uniformemente distribuidos sobre una sección transversal efectiva y, además, existe una distribución de esfuerzos de adherencia a lo largo del refuerzo.

La formación de grietas descritas (7) y mostradas en la figura No. 2 sigue el siguiente mecanismo: las grietas primarias forman algunas sec ciones críticas, donde los esfuerzos de tensión exceden la resistencia del mortero, ocurriendo un deslizamiento entre el mortero y el refuerzo.

La superficie del mortero en la sección agrietada está libre de es fuerzos, y, la fuerza en el refuerzo es igual a la carga externa.

Al incrementarse la carga, nuevas grietas se forman al exceder los esfuerzos de tensión del mortero y el agrietamiento continuará en las g grietas existentes hasta que se transfiera suficiente esfuerzo al refuer zo.

Cuando se alcanza esta condición, la longitud entre las grietas per manece constante, pero su ancho aumentará cuando los esfuerzos de tensión en el refuerzo aumenten.

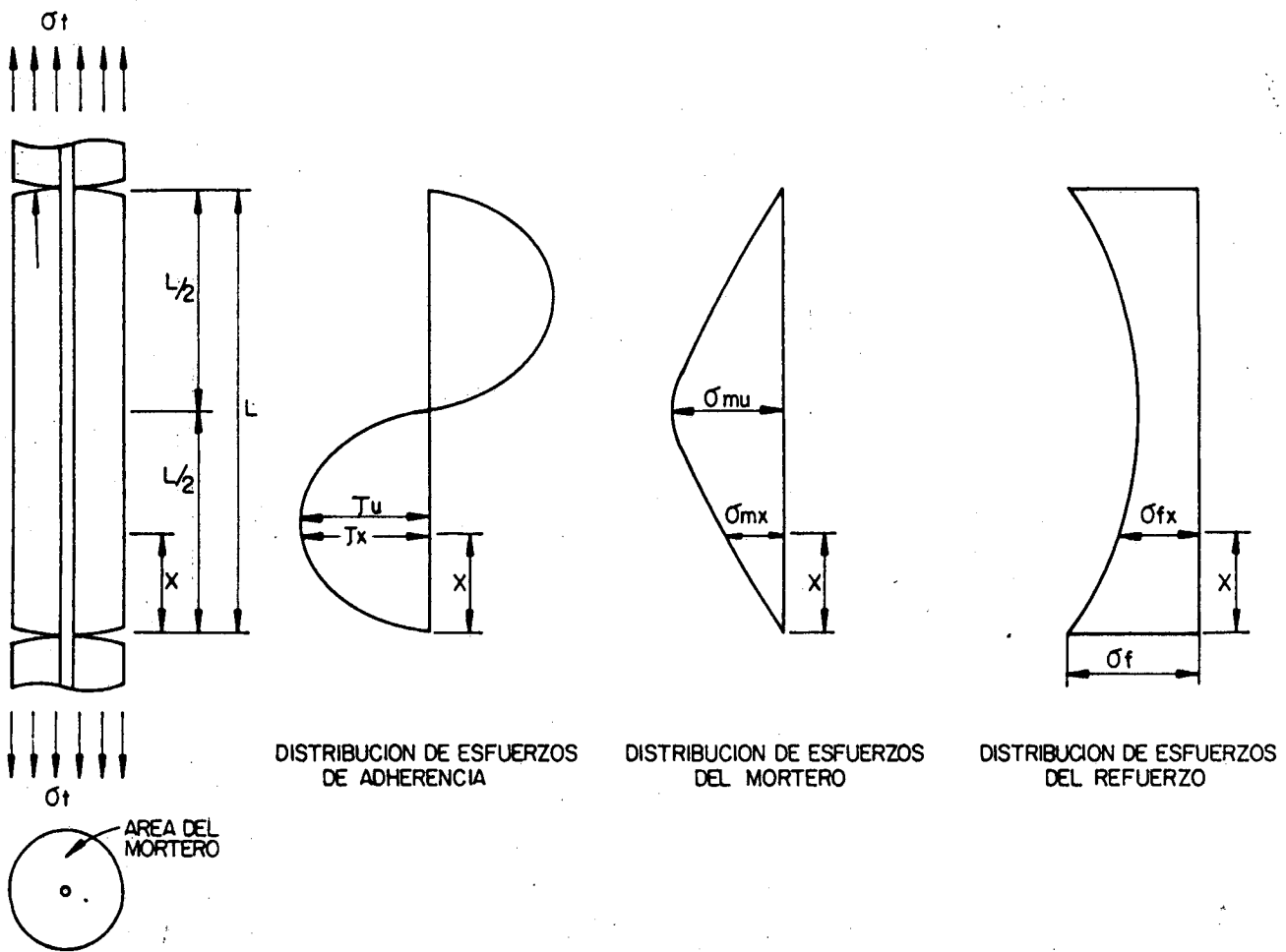


FIGURA 2: DISTRIBUCION DE ESFUERZOS EN EL MORTERO (REFUERZO EN DIRECCION DE LA CARGA).

1.4 FACTORES QUE AFECTAN EN EL COMPORTAMIENTO DE AGRIETAMIENTO DE FERROCEMENTO

Investigaciones han demostrado que el ancho de las grietas en estructuras de concreto reforzado pueden reducirse incrementando la adherencia entre el refuerzo y el concreto, aumentando la distribución del refuerzo y reduciendo el grueso del recubrimiento; estas condiciones son favorables en el ferrocemento ya que el ancho de la grieta es casi cero adyacente al refuerzo y aumentan hacia la superficie, por lo que su dis-

tancia debe ser reducida.

La superficie específica y el volumen de la fracción de refuerzo juegan un papel muy importante en el comportamiento del ferrocemento agrietado y sus influencias son descritas a continuación:

a) Efecto de la superficie específica a la primera grieta.

Se ha demostrado que los esfuerzos y las deformaciones a la primera grieta aumentan con la superficie específica del refuerzo como se puede apreciar en el cuadro No. 2 (8).

CUADRO 2

SUPERFICIE ESPECIFICA DEL REFUERZO		ESFUERZOS A LA PRIMERA GRIETA		DEFORMACIONES A LA PRIMERA GRIETA
$\text{plg}^2/\text{plg}^3$	cm^2/cm^3	psi	N/mm^2	10^{-5}
3.048	1.199	555	3.83	45
5.283	2.079	597	4.13	55
7.721	3.039	640	4.43	70
7.924	3.119	1038	7.13	100

=====
Ancho de grietas (0.04 mm a 0.05 mm)

Una relación entre la superficie específica del refuerzo y los esfuerzos a la primera grieta del compuesto se pueden observar en la figura No. 3, donde los esfuerzos a la primera grieta aumentan linealmente con la superficie específica, indiferentemente del tipo de malla, tamaño y abertura. Esto significa que las fuerzas de adherencia entre el acero

y el mortero juegan un papel muy importante en el comportamiento del ferrocemento agrietado; después de la aparición de la primera grieta; el número de grietas aumenta conforme aumenta la carga y el valor óptimo de la superficie específica; considerando los esfuerzos a la primera grieta parecen estar entre $3.5 \text{ plg}^2/\text{plg}^3 - 5.0 \text{ plg}^2/\text{plg}^3$ ($1.4 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ a $2.0 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$). (9)

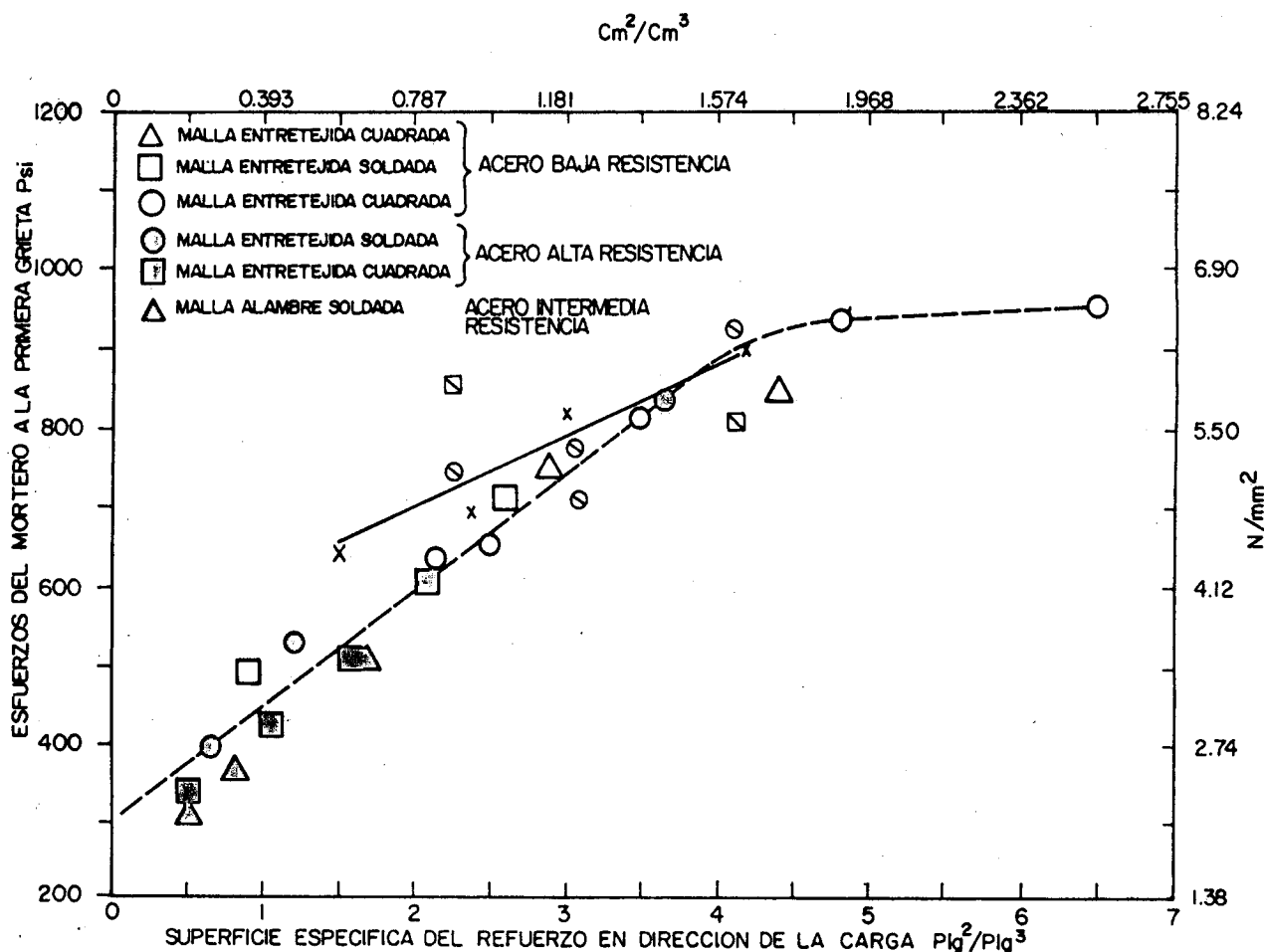


FIGURA 3
ESFUERZOS A LA PRIMERA GRIETA Vrs SUPERFICIE ESPECIFICA DEL REFUERZO

b) Efecto del volumen de la fracción del refuerzo:

Investigaciones han mostrado que aumentando el volumen del refuerzo, aumentan los esfuerzos a la primera grieta, sin embargo, este aumento es

diferente para cada tipo de malla empleada; además, no siempre se manifiesta que entre más pequeña sea la separación de los alambres más altos serán sus esfuerzos a la primera grieta para el mismo volumen, por ejemplo en la figura No. 4 se observa que la malla No. 6 de 1/6 plg de abertura, tiene esfuerzos más bajos a la primera grieta que la No. 4 de 1/4 plg de abertura, para el mismo volumen de refuerzo. Resultados similares a la primera grieta fueron obtenidos con malla entretrejida de 0.5 plg de abertura y malla de alambre soldado de 2 plg de abertura (10).

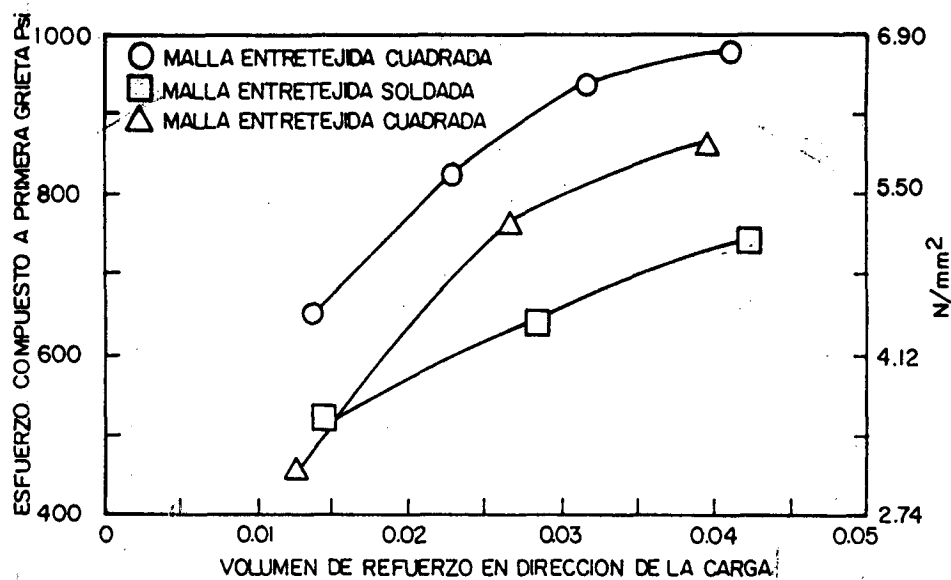


FIGURA 4: ESFUERZO A PRIMERA GRIETA Vs. VOLUMEN DE REFUERZO.

1.5 ANCHO DE AGRIETAMIENTO

El ancho de las grietas es uno de los parámetros más importantes a considerar en el servicio de la estructura, y los códigos de concreto reforzado limitan su valor dependiendo del tipo de estructura y de las condiciones del medio. En elementos de ferrocemento también se producen

agrietamientos aunque su ancho es mucho más pequeño.

La realidad es que bajo condiciones de servicio es inevitable el agrietamiento en elementos no preesforzados, indiferentemente de la cantidad de refuerzo usado, a menos que un nuevo tipo de cemento sea desarrollado; por ésto el agrietamiento debe ser aceptado y su objetivo en el diseño no es evitarlo, sino, limitar su ancho para asegurar un buen servicio de la estructura.

Se ha recomendado que el valor máximo del ancho de las grietas debe estar abajo de 0.1 - 0.2 mm para estructuras que sean usadas para el almacenamiento de agua. (11).

1.6 EFECTO DEL TIPO DE MALLA Y SU ORIENTACION

Se ha encontrado que el efecto de la orientación de la malla es más importante para mallas de metal expandido, y, está parcialmente asociado con las diferencias en el área efectiva de acero (Figura No. 5).

En paneles de ferrocemento se ha encontrado una mayor resistencia reforzándolos con malla de metal expandido en la dirección más débil ($F_u = 90$ ksi), que en otra dirección ($F_u^* = 59$ ksi). El área efectiva de acero en la dirección más débil fue de 18.7%, y en la otra dirección del 34.9%. La orientación también es muy importante para la malla de alambre soldado, donde las áreas de acero son iguales en ambas direcciones como se puede apreciar en la misma figura 5 (12).

* F_u = Esfuerzo último permisible del refuerzo.

1.7 EFECTO DEL ESQUELETO COMO REFUERZO

Se ha demostrado que las varillas de acero usadas para formar el arrazón de la estructura, no son efectivas para soportar tensión, principalmente por las siguientes razones (13).

- a) En la superficie de adherencia no son iguales los esfuerzos permibles, así que el refuerzo al no cargar no tiene participación en la resistencia.
- b) A causa de la separación del refuerzo, hay regiones de mortero no reforzado que contribuyen con su peso pero no con su resistencia.
- c) Las varillas actúan como concentradores de esfuerzo, cuando los esfuerzos son perpendiculares a sus ejes.

Se ha concluido, además, que las varillas que forman la estructura no contribuyen en la resistencia última en tensiones debido a su baja dispersión en el mortero, como también a su baja superficie específica.

1.8 ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DE LOS MATERIALES

1.8.1 Acero de Refuerzo.

La función de la malla es actuar como una formaleta para soportar el mortero en estado fresco y el de absorber los esfuerzos de tensión que el mortero por sí solo no sería capaz de resistir en estado seco.

Dentro de los diferentes tipos de mallas usadas, la malla hexagonal (malla de gallinero), es la más generalizada en la mayoría de los países por ser la más económica y fácil de manejar; enumérase a continuación sus características.

Peso por unidad de área	0.56 kg/m
Contenido de acero	410 kg/m ³
Diámetro del alambre	0.5 - 1.0 mm
Abertura de la malla	10 - 25 mm
Superficie específica	0.275 mm ² /mm ³

1.8.2 Armazón de la jaula de refuerzo.

La malla de alambre se ha de colocar a la armazón del esqueleto de refuerzo, y, las diferentes capas de malla deben ser cuidadosamente atadas a manera de proporcionar un espesor tan parejo como sea posible y el de evitar su movimiento durante la colocación del mortero.

Evitándose cualquier discontinuidad del refuerzo, y, al no ser posible, proporcionar un traslape adecuado, el cual debe reunir las recomendaciones siguientes:

- a) Por lo menos 75 mm de traslape para asegurar la continuidad entre las puntas de las capas de mallas.
- b) La localización de las aberturas en la estructura, debe hacerse preferiblemente en los lugares donde los esfuerzos y presiones sean mínimas.
- c) Debe colocarse un refuerzo adecuado alrededor de las aberturas tomando en cuenta la concentración de esfuerzos.

1.8.3 Cemento.

El cemento, generalmente usado, es del tipo Portland ordinario. Tam-

bién se pueden usar otros tipos de cementos, si se quiere una alta resistencia inicial y resistencia a los sulfatos.

El cemento debe estar fresco y de una consistencia uniforme y no usarse cuando hay evidencias de terrones o cualquier materia extraña.

1.8.4 Agregados.

La arena debe cumplir la norma ASTM C-33, para agregados finos, debe ser limpia, libre de impurezas orgánicas y sustancias deletéreas, como también inerte con respecto a otros materiales usados.

La graduación de la arena será de tal forma que un mortero de proporciones específicas sea producido con una distribución uniforme del agregado, el cual debe tener una alta densidad y buena trabajabilidad y poderse mover sin que se produzca segregación.

La finura de la arena debe ser tal que el 100% pase por el tamiz número 8.

El cuadro No. 3 servirá de guía para conseguir una graduación deseable.

CUADRO 3

Tamaño del tamiz	% que pasa por peso
Número 8	100.0
" 16	50 - 85.0
" 30	25 - 60.0
" 50	10 - 30.0
" 100	2 - 10.0

1.8.5 Agua.

Las impurezas en el agua pueden alterar el proceso del fraguado del mortero, afectando negativamente el esfuerzo alcanzado, también provocan manchas en la superficie del mortero.

El agua de mar no debe ser usada, en la mezcla bajo ninguna circunstancia, pues aumenta enormemente el peligro de la corrosión de la malla y del refuerzo.

1.9 ESPECIFICACION PRELIMINAR DEL METODO CONSTRUCTIVO.

1.9.1 Proporciones de la mezcla del mortero (14).

Las proporciones recomendadas para la mezcla son :1:2:0.45 (cemento, arena y agua) por peso. La relación puede ser incrementada a 1:2.5 cuando se use concreto lanzado, para compensar las pérdidas de partículas en el rebote.

Las cantidades de los materiales se debe tener en peso y no por volumen, debido a la reducción que aparece debido a la humedad cuando se hace por volumen.

El asentamiento del mortero debe ser lo más bajo posible, que permita lograr una buena compactación y no debe exceder de 2 plg con una resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de 4 x 8 plg de 600 lb/plg² (205 kg/cm²).

El control del módulo de finura de la arena y la relación agua-cemento debe ser mantenida cuidadosamente para proveer propiedades unifor-

mes en toda la estructura.

La arena y el cemento se mezclan juntos y después se añade la cantidad de agua necesaria para formar una pasta uniforme y el tiempo de mezclado deberá ser aproximadamente de 3 minutos.

1.9.2 Colocación del mortero.

La colocación del mortero se considera la fase más crítica en la técnica de la construcción del ferrocemento. Antes de iniciar la colocación del mortero debe asegurarse que todas las barras de acero y la malla estén en la posición correcta.

El mortero debe ser compactado durante su colocación para evitar vacíos alrededor del refuerzo; vibradores pueden ser usados para proporcionar una mejor penetración y distribución del mortero. También deberá ser colocado en un tiempo razonable después del contacto del cemento con el agua, evitando la segregación de la mezcla durante su manejo y colocación.

Cuando se emplee más de una operación en el colocado del mortero, se deberá tener cuidado en proporcionar una buena junta, y, desde ninguna circunstancia se usará un agente de adhesión que sea inestable al agua.

1.9.3 Revestimiento:

El depósito podrá ser pintado en ambas caras y deberá ser estable y químicamente inerte.

Las especificaciones de los materiales que se han descrito y su proceso constructivo fueron obtenidos de las recomendaciones tentativas pa-

ra la construcción de tanques de ferrocemento (13); consideramos muy riesgosas y, además, exigen materiales que influirían a elevar el costo de ferrocemento.

Contrario a lo anterior, se ha venido utilizando el ferrocemento en diversas aplicaciones con una menor cantidad de refuerzo y cemento, con muy buenos resultados.

En el Centro de Investigaciones de Ingeniería, las aplicaciones que se han hecho con ferrocemento, se han utilizado cantidades más baja de refuerzo y cemento que las sugeridas anteriormente con muy buenos resultados.

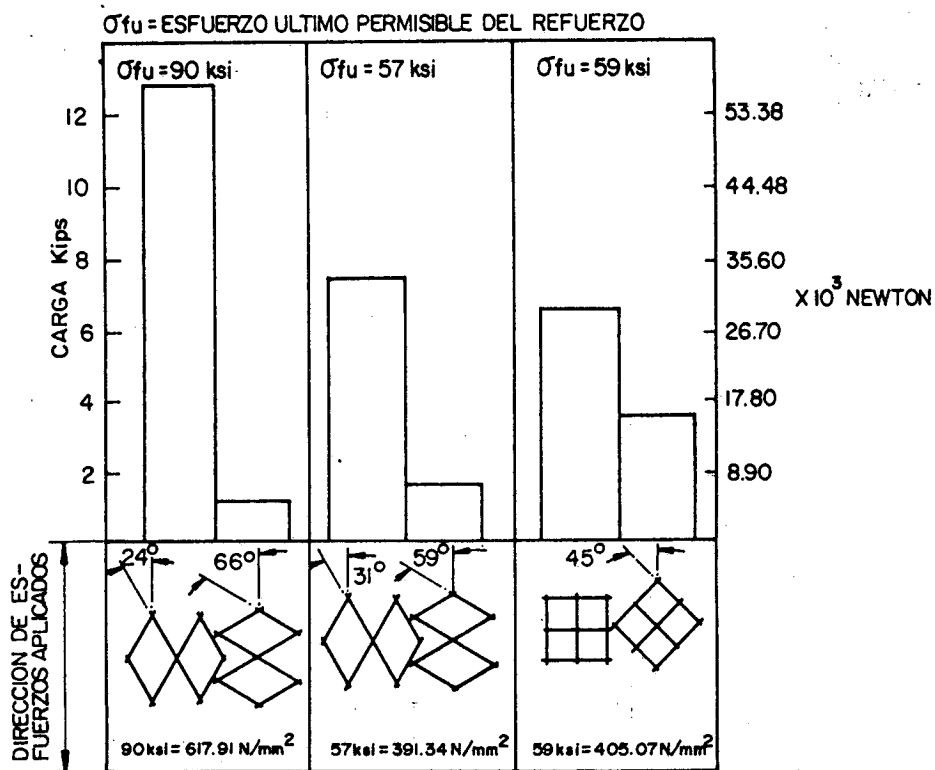


FIGURA 5: TIPO, ORIENTACION Y AREA DE ACERO Pig^2 (cm²) INFLUENCIA DE LA ORIENTACION DEL REFUERZO A LA RESISTENCIA EN TENSION.

CAPITULO 2

2.1 GENERALIDADES

Con el desarrollo de la tecnología del ferrocemento, se ha logrado dar un gran avance en la construcción de tanques cilíndricos para el almacenamiento de agua.

En el Centro de Investigaciones de Ingeniería, se han construido depósitos cuyas capacidades van de 250 - 1000 litros, por lo que se tienen antecedentes de su técnica de construcción.

Para determinar la funcionalidad estructural, como su servicio se hizo un análisis, un diseño constructivo y una evaluación para un depósito de 9300 litros.

El depósito fue construido en el taller de Sistemas Constructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Ciudad Universitaria con la finalidad de llevar un record de evaluación.

La altura y el diámetro se determinaron al conocer los requerimientos locales de consumo de agua, el espesor se determinó por la cantidad de refuerzo y la separación de las mallas.

El depósito se elevó un metro de la superficie del suelo, para que la presión fuera mayor. La base sobre la cual se colocó el depósito consistió en un levantado de block en forma circular y en su interior se

formó una cruz del mismo block.

Para facilitar la función de la base del depósito, se llenaron los espacios dejados por el levantado anterior, con un agregado grueso, compactándose en la parte superior una delgada capa de arena, cubriéndose la superficie con plásticos para evitar que el depósito y la base quedaran, monolíticamente, unidos.

2.2 CARACTERISTICAS DEL DEPOSITO (Figura 6)

Diámetro externo	2.58 cm
Diámetro interno	2.50 cm
Espesor de la pared	4 cm
Altura	177.0 cm
Espesor de la base	8 cm
Volumen	9.12 m ³ m ³

2.3 ANALISIS DEL DEPOSITO.

Para el análisis se utilizaron los parámetros usados en los cilindros de paredes delgadas.

Especificaciones.

- a) Se supone que las tensiones que se generan en la pared están uniformemente distribuidos en el espesor de la pared.
- b) La relación del espesor de la pared al radio de curvatura no debe exceder de 0.10; además, no debe haber discontinuidad en la estructura.

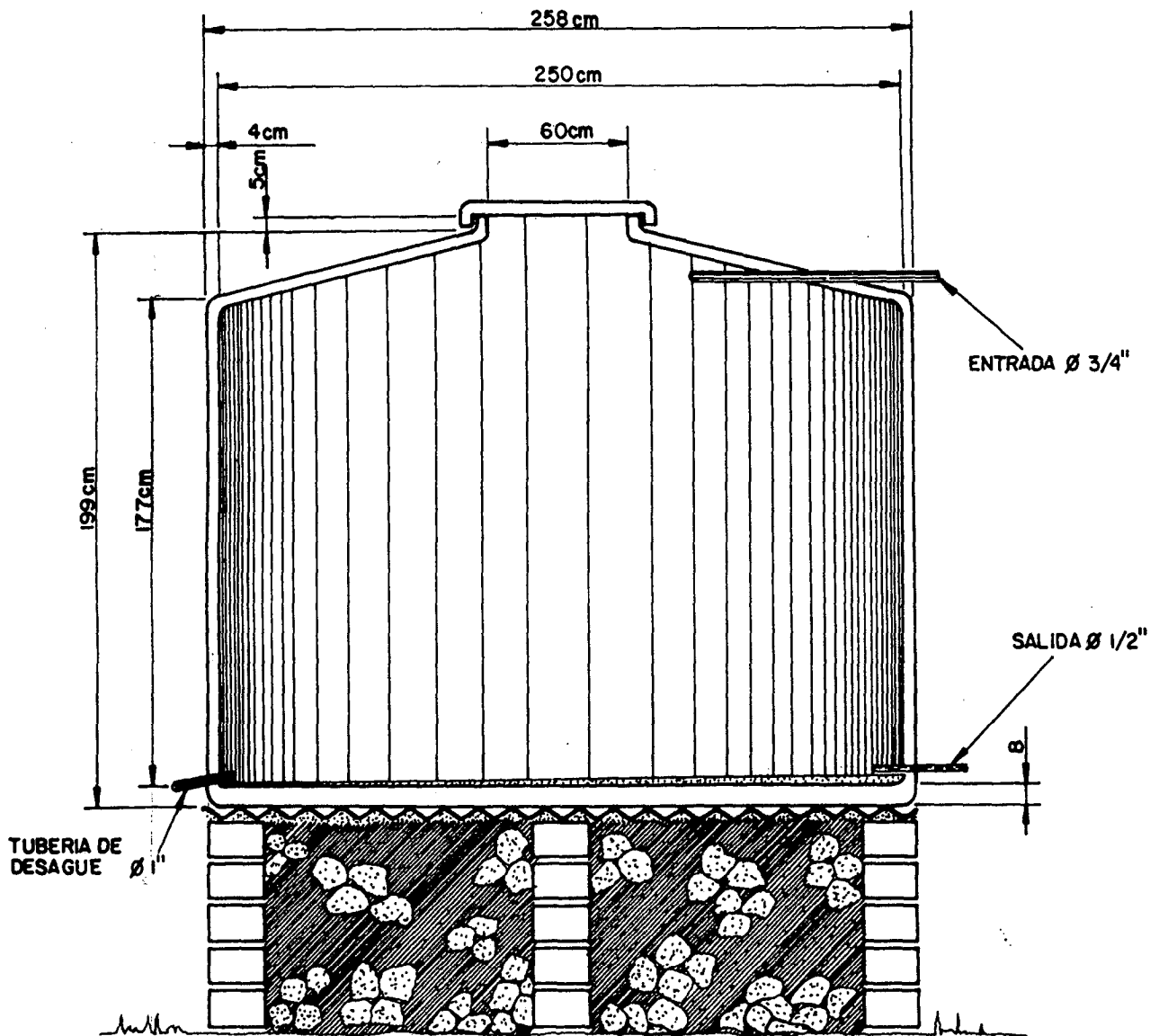


FIGURA 6

- c) Por ser el espesor pequeño comparado con su radio de curvatura, no se originan momentos flectores de mayor importancia en las paredes de escaso espesor, y, son los esfuerzos de tensión los que gobiernan el diseño.

Fuerzas en recipientes cilíndricos.

De la figura 7a. se corta una sección de longitud L y para determinar las fuerzas que actúan en la pared se corta un plano dimetral. Del diagrama de cuerpo libre 7b se nota que para una fuerza a la derecha hay una fuerza a la izquierda, por consiguiente, las componentes horizontales de las fuerzas se equilibran una con otra. Esto significa que no se requieren fuerzas cortantes en la sección para mantener el equilibrio.

Las componentes verticales de las fuerzas, actúan hacia arriba y debe mantenerse el equilibrio mediante la fuerza P que actúa en las paredes del cilindro. La fuerza resultante se puede obtener multiplicando la presión por la proyección horizontal de la superficie sobre la que actúa.

$$F = pdl \quad (2a)$$

F = fuerza resultante de la presión

p = presión interna del fluido

d = diámetro del cilindro

l = longitud de la sección considerada

Del diagrama de cuerpo libre tenemos:

Sumatoria de fuerzas verticales = cero

$$2P = F \quad (2b)$$

Sustituyendo en 2a: $P = pdl/2 \quad (2b)$

De la figura 7c la fuerza P es la resultante de las fuerzas de cada sección y pasa a través del centroide del área considerada. Por consi-

guiente, el esfuerzo en las paredes del cilindro puede determinarse por $S = P/A$. En este caso el área sobre la que actúa la fuerza, es la longitud por el espesor de la pared del cilindro.

$$A = tl \quad S = P/tl \quad (2c)$$

Combinando las ecuaciones 2b y 2c, se llegan a determinar los esfuerzos tangenciales así:

$$S_t = pd/2t \quad (2d)$$

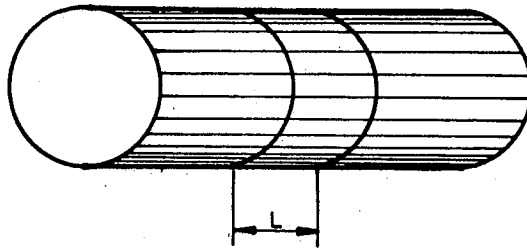


FIGURA 7a

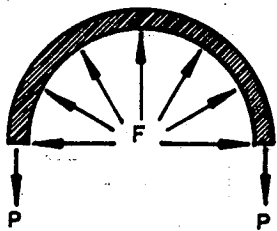


FIGURA 7b

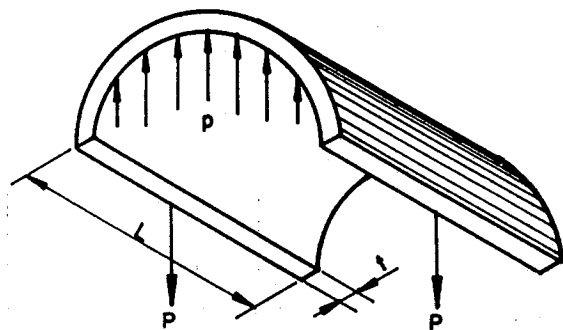


FIGURA 7c

2.4 DISEÑO DEL DEPOSITO DE FERROCEMENTO.

2.4.1 Determinación de los esfuerzos tangenciales.

En la condición crítica cuando el depósito está lleno:

Diámetro interno	250 cm
Espesor de la pared	4 cm
Altura	200 cm
Peso volumétrico del agua	0.001 kg/cm ³

De la ecuación 2d:

$$St = \frac{0.001 \text{ kg/cm}^3 \times 250 \text{ cm} \times 200 \text{ cm}}{2 \times 1 \text{ cm}} = 88.84 \text{ psi (0.62 N/mm}^2)$$

2.4.2 Determinación de los esfuerzos a la primera grieta.

Para el análisis del refuerzo de la malla hexagonal se hizo las siguientes consideraciones:

- la malla hexagonal está formada de secciones típicas repetitivas y para determinar el área de acero en la dirección de la carga, se tomó del cuadro 4, el valor de una sección típica repetitiva, que reuniera las características geométricas de la malla utilizada.
- de la figura 8, se determinó el número de secciones típicas repetitivas para un cuadrado de malla de 10 x 10 cm, relacionándolo posteriormente para un metro cuadrado de malla.

Sección típica repetitiva para un ángulo de 60 y

calibre número 22

0.1539 plg (0.38 cm)

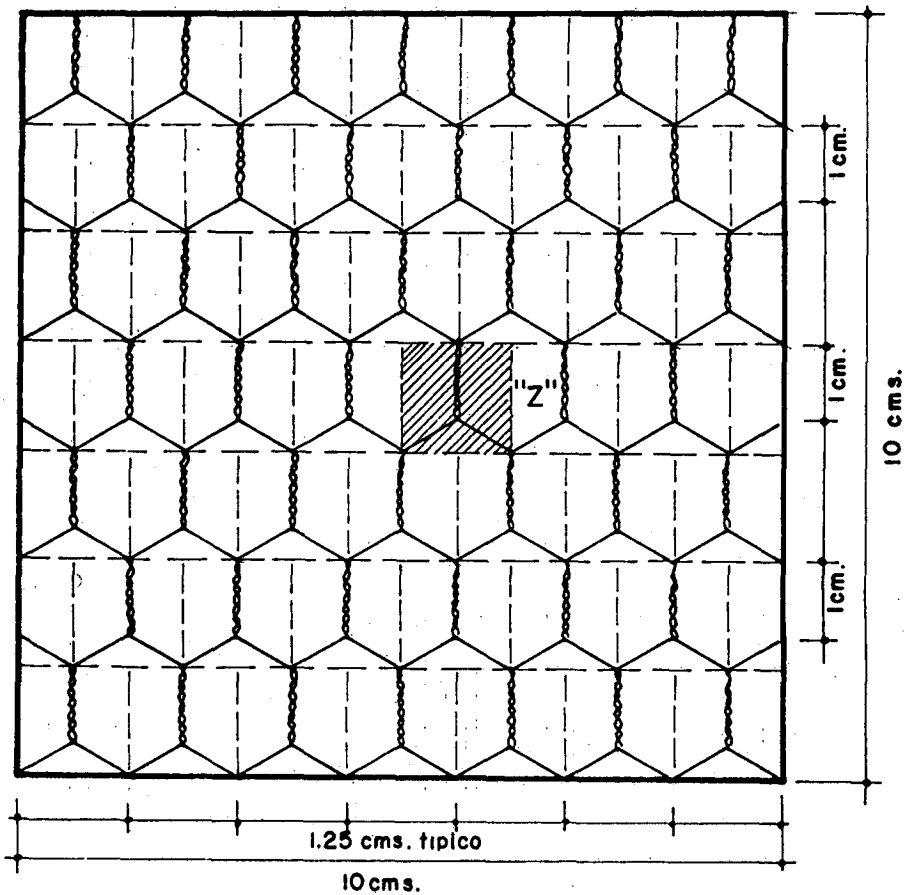
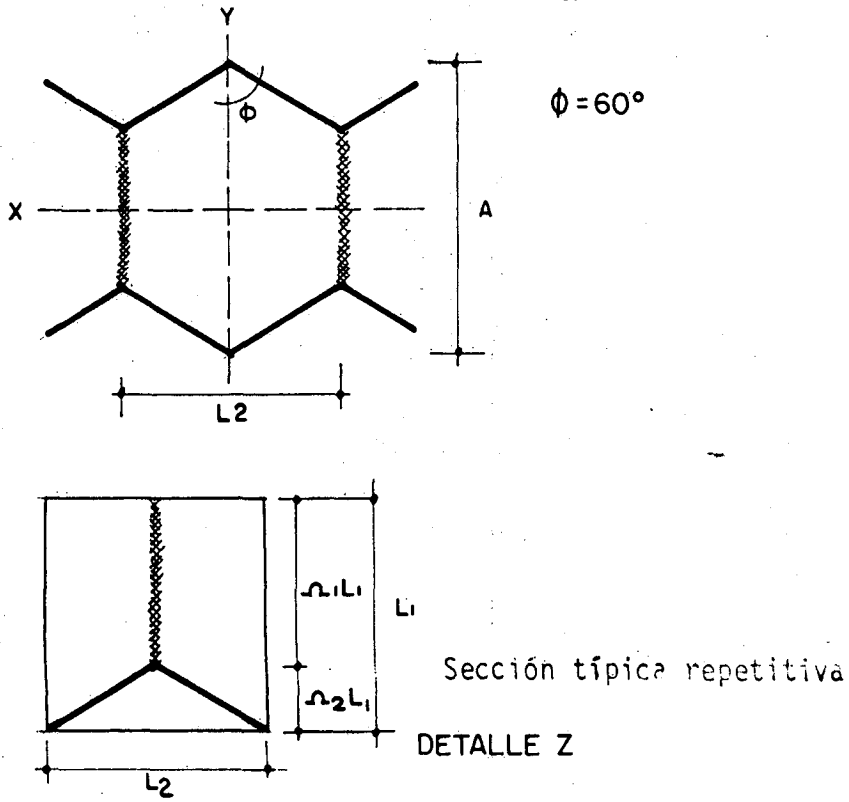


FIGURA 8

Número de secciones típicas repetitivas por
metro cuadrado de malla 4900 unidades

Del inciso 1.2: $F_c = 140 S_l + F_{mu}$

- Area de acero por metro cuadro de malla:

$$4900 \text{ unidades repetitivas} \times 0.1539 \text{ plg}^2 = 754.11 \text{ plg}^2 \text{ (4865.22 cm}^2\text{)}$$

- Volumen del compuesto para un metro cuadrado y un espesor de pared:

$$1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.04\text{m} = 0.04 \text{ m}^3 \text{ (2479.9 plg}^3\text{)}$$

$$S_L = \frac{754.11 \text{ plg}^2}{2479.90 \text{ plg}^3} = 0.30 \text{ plg}^{-1} \text{ (0.12 cm}^{-1}\text{)}$$

- Resistencia última del mortero a tensión, relación 1:2.

$$400 \text{ psi (2.75 N/mm}^2\text{)}$$

CUADRO 4

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA MALLA HEXAGONAL CON SU ORIENTACION TI-
PICA REPETITIVA EN DIRECCION DE LA CARGA (figura 8)

GEOMETRIA	L.l(plg)	CALIBRE ALAMBRE	DIAMETRO DEL REFUERZO PLG	AREA DE RE- FUERZO EN DIRECCION DE LA CARGA PLG ²
$\theta = 60^\circ$ A = 0.875 plg L2 = 0.75 plg	0.66	22	0.028	0.1539

Relaciones de longitud en la dirección de la carga, arriba y
abajo de la sección repetitiva.

- Probando dos capas de malla:

$$F_c = 140 \times 2 \times 0.30 + 400 = 484.0 \text{ psi } (3.34 \text{ N/mm}^2)$$

El valor de 484.0 psi (3.34 N/mm²) está en el intervalo de 300 a 800 psi (2.08 - 5.53 N/mm²) establecido mediante ensayos de depósitos cilíndricos de ferrocemento sometidos a diferentes presiones de agua, a la aparición de la primera grieta (6), además, este valor está por encima del esfuerzo teórico de 79.83 psi (0.55 N/mm²) considerado crítico por medio de la teoría de estructuras de pared delgada, cuando actúa la presión de servicio, por lo que se está considerando un gran margen de seguridad en el diseño de la estructura.

También se han observado en la construcción de depósitos de menor volumen que dos capas de malla de refuerzo proporciona un respaldo suficiente para sostener el mortero fresco y evitar el agrietamiento.

2.5 METODO CONSTRUCTIVO.

2.5.1 Materiales empleados en la armazón del esqueleto del depósito:

a) Varilla de 1/4 grado 33

Sentido del armado	Cantidad	Longitud (m)	
Transversal	base	2 aros	5.25
	pared	8 aros	64.00
	techo	2 aros	10.00
	boca	2 aros	3.80
Vertical	pared/techo	26 varillas	78.00
	traslape	26 varillas	39.00
Longitud total:		200.05 m	

b) Malla hexagonal (9.1 cm, longitud variable):

base	14.50 m
Pared	32.40 m
Techo	11.50 m

Longitud total: 58.40 m

c) Alambre de amarre 3 libras.

d) Agregados:

Cemento	55.4 kgr
Arena	1364.0 kgr
Cal	58 kgr

2.5.2 Fundición de la base para el levantado de block:

Cimiento corrido de 0.20 m de ancho y 0.15 de altura.

a) Integración de cargas:

- Armado:

Varillas de 1/4	50.80 kg
Malla hexagonal	33.87 kg

- Fundición:

Block (0.19-0.19-0.40)	949.00 kg
Cemento	598.00 kg
Arena	1890.0 kg

- Peso del agua: 1000.0 kg

Carga total: 13521.7 kg

b) Fundición del cimiento:

Armado. 2 varillas de 3/8 y eslabones de 1/4 a 0.20 m

Relación de mezcla. 1:3:4 (volumen)

c) Chequeo de la resistencia del suelo:

Capacidad soporte del suelo 10.00 ton/m^2

Carga aplicada 14.10 ton/m^2

Presión del suelo $14.10/1.60 = 8.80 \text{ ton/m}^2$

Entonces: 8.80 menor de 10 ton/m^2 chequea

2.5.3 Procedimiento del método constructivo: (Foto 1 y 2) Figura 8

a) Armazón del esqueleto.

Se colocó en el suelo un aro de 8 metros de perímetro (soldado a tope) y distribuyéndose en su parte interna, proporcionalmente a su perímetro las varillas verticales, uniéndolas con alambre de amarre. Continuándose la colocación a cada 27 cm los aros restantes en el sentido transversal, y uniformizándose a 30 cm las varillas en el sentido vertical.

Este esqueleto se considera como una armazón que le dará la forma al depósito.

b) Colocación de la malla (figura 9).

Se colocaron dos capas de mallas ya que reunían las condiciones del inciso 2.4.2, distribuidas en la parte interna y externa de la armazón del esqueleto; orientando su sección típica repetitiva en la dirección del esfuerzo tangencial.

Se dejaron traslapes de 10 cm y se trató que quedaran en lugares dis

tintos para evitar la concentración de esfuerzos.

Al colocar las mallas se notó que era necesario tensarlas, operación llevada por medio de unos ganchos que se han ido adecuando por su simplicidad y trabajabilidad en el entorchado de los alambres.

c) Colocación del mortero:

El untado del mortero se realizó en dos fases, con una separación de un día.

Para la primera fase se preparó una proporción de mezcla en peso de 1:3:0.1 (cemento, arena, cal), pasando la arena a través del tamiz No. 4 y agregándose agua a la mezcla hasta conseguir una consistencia adecuada para la operación del untado del mortero.

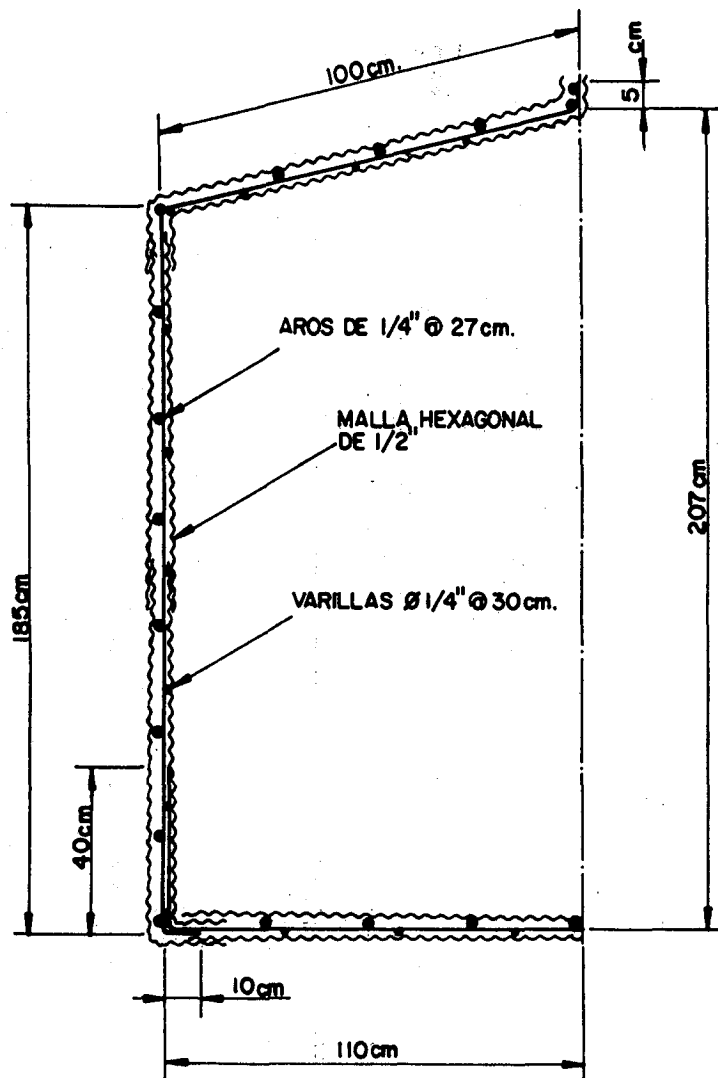
La primera aplicación del mortero se realizó en el fondo del depósito para facilitar su trabajabilidad; fijar el armado y minimizar la vibración durante el untado del mortero a la pared. El untado de la pared se inició de abajo hacia arriba, lanzándose el mortero con una cuchara de albañil, y, en la parte interna del depósito se usaron láminas de plywood para sostener y evitar el desperdicio del mortero, en igual forma se trabajó el techo.

Con la primera fase se cubrió la malla, quedando la superficie áspera e irregular para tener una mejor adherencia en la segunda fase.

En la segunda fase se preparó una proporción de mezcla en peso de 1:2:0.1 (cemento, arena, cal), pasando la arena a través del tamiz No. 8, lanzándose la mezcla con una cuchara de albañil y emparejándose la superficie con una plancha de madera.

d) Curado.

El curado se inició 4 horas más tarde, regándose dos veces al día durante 10 días. Para lograr una mejor hidratación del mortero se llenó el depósito a los 6 días de su fraguado. A los 22 días se desalojó el agua, aplicándole una lechada de cemento en la parte interna como externa del depósito.



DETALLE DEL ARMADO
FIGURA 9



Foto 1

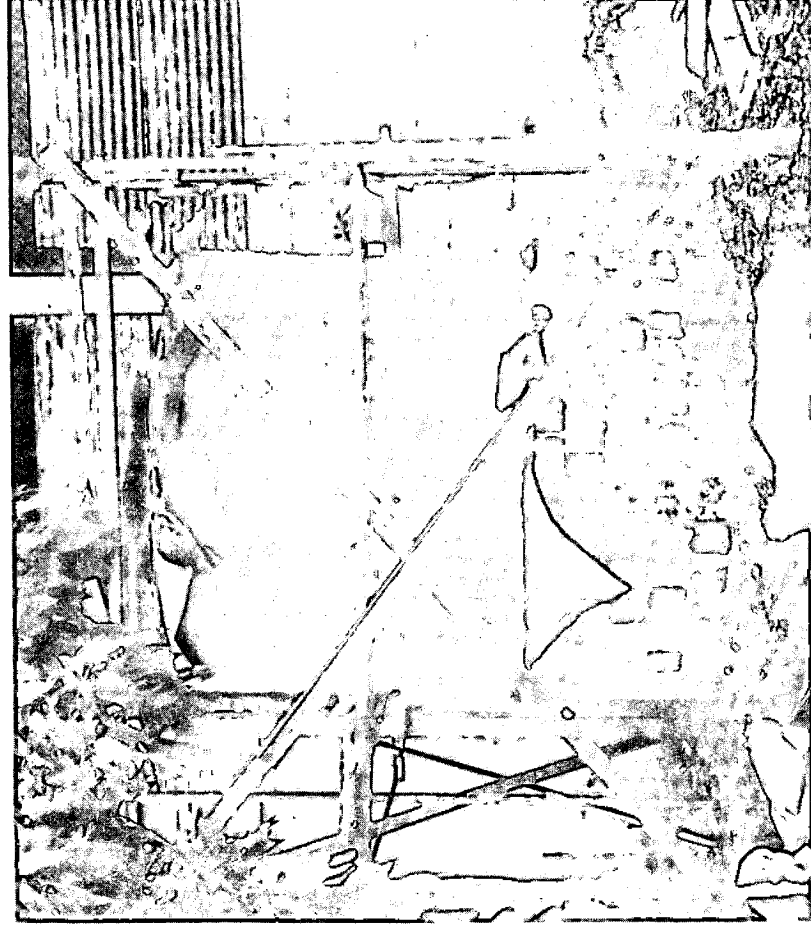


Foto 2

CAPITULO 3

EVALUACION DE COSTOS

La evaluación del costo del tanque de ferrocemento se basó en las experiencias logradas a través del desarrollo de este estudio.

Los precios de los materiales son los que imperaron en el comercio al momento de su construcción, pues están sujetos a constantes cambios.

El tiempo empleado de mano de obra en las diversas actividades se desglosó en la siguiente forma:

ACTIVIDAD	No. DE HOMBRES	TIEMPO
Armado	1 albañil 1 ayudante	4 días
Mezcla y colocación del mortero	2 albañiles 2 ayudantes	4 días
Colocación del andamio	1 albañil 1 ayudante	2 días

El costo se dividió en dos partidas así:

PARTIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	PORCENTAJE
<u>Materiales</u>				
Cemento	13 sacos	Q 4.80/saco	Q 62.40	9.38
Arena	0.9 m ³	Q 8.00/m ³	Q 7.26	1.09
Cal	2.6 sacos	Q 2.20/saco	Q 5.72	0.86
Hierro 1/4	1.12 qq	Q64.80/qq	Q 72.00	10.83
Malla hexagonal	69.84 yds	Q 4.50/yda ²	Q314.28	47.26
Alambre amarre	3.0 lbs	Q 0.90/lbs	Q 2.70	0.41
Madera	116.0 piés	Q 0.35/pie ²	Q 40.60	6.10
=====				
Mano de obra			Q160.00	24.06

Costo Total			Q664.95	100.00
=====				

Tanques de distribución de mampostería; Institución responsable: UNEPAR

PARTIDA	CANTIDADES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
<u>Materiales</u>			
Cemento	51.0 sacos	Q 4.80/saco	Q 244.80
Cal	57.0 qq	Q 4.40/qq	Q 250.80
Arena río	1.0 m	Q 8.00/m	Q 8.00
Arena amarilla	9.0 m	Q 9.00/m	Q 81.00
Piedrín	1.0 m	Q14.00/m	Q 14.00
Madera	182.0 pies	Q 0.35/pie	Q 63.70
Clavo	18.0 lbs	Q 0.80/lbs	Q 14.40
Hierro 1/4	10.0 varillas	Q64.80/qq	Q 21.60
Hierro 3/8	37.0 varillas	Q57.20/qq	Q 162.80
Alambre amarre	7.0 lbs	Q 0.90/lbs	Q 6.30
Piedra	27.0 m	Q14.00/m	Q 378.00
Mano de obra			Q 754.60
Costo total			Q2000.00

Tanque de acero.

Tanque de acero con lámina de 3/16" Q 3500.00

Tanque de asbesto cemento:

Para el volumen de 10m^3 se tomó de referencia el costo de un depósito de 2m^3 Q 1957.00

RESUMEN DE COSTOS

MATERIAL	CAPACIDAD (m ³)	COSTO TOTAL
Ferrocemento	10.0	Q 664.96
Mampostería	10.0	Q 2000.00
Acero	10.0	Q 3500.00
Asbesto cemento	10.0	Q 1957.50

CAPITULO 4

ANALISIS Y EVALUACION DE RESULTADOS

4.1 ENSAYO DEL DEPOSITO (Figura 10).

A los 28 días de curado, se colocaron a la pared del depósito, 5 galgas en posición horizontal a cada 0.30 m de la base para tomar las lecturas de las deformaciones tangenciales y un deformómetro mecánico a 0.60 m de la base para leer deformaciones en el sentido radial.

La aplicación de la carga de servicio consistió en llenar el depósito gradualmente con agua y a cada 0.30 m se leyeron las deformaciones hasta una altura de columna de agua de 1.50 m.

4.2 RESULTADOS DEL ENSAYO

Deformaciones en el sentido tangencial:

<u>Columna de agua</u> <u>cm</u>	<u>Medidor de deformación</u>	<u>Deformación x 10⁻⁶</u>
30	5	280
	4	210
	3	230
	2	30
	1	20
60	5	490
	4	350
	3	400
	2	150
	1	70

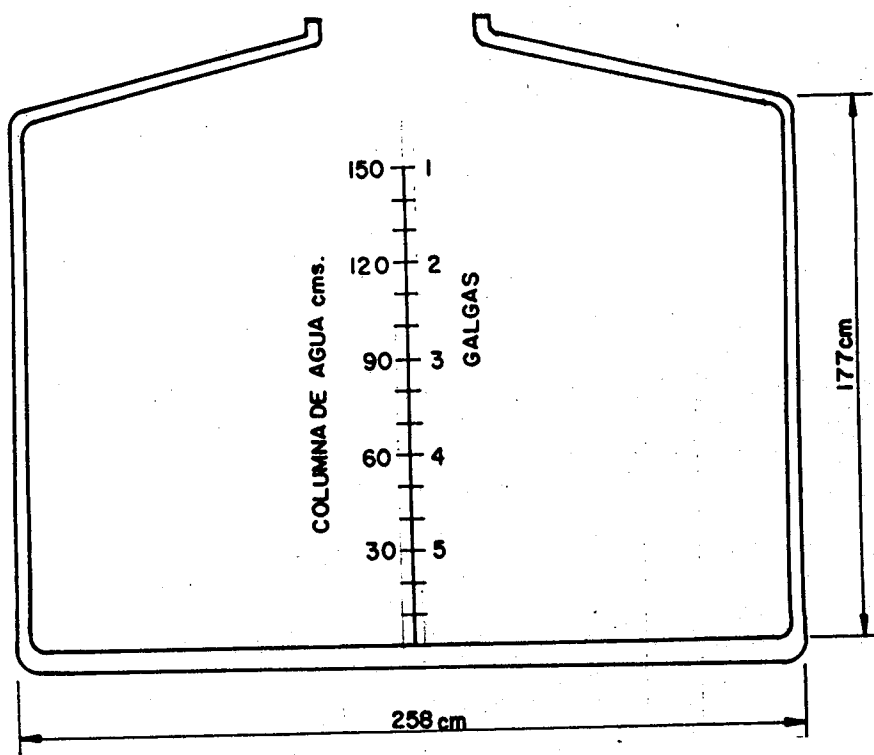


FIGURA 10

UBICACION DE LOS ELONGAMETROS EN EL ENSAYO DEL DEPOSITO

<u>Columna de agua cm</u>	<u>Medidor de deformación</u>	<u>Deformación x 10⁻⁶</u>
90	5	450
	4	300
	3	310
	2	80
	1	20
120	5	250
	4	150
	3	150
	2	90
	1	50
150	5	560
	4	460
	3	460
	2	100
	1	90

Deformación en sentido radial:

Deformómetro a 60 cm de la base.

<u>Columna de agua cm</u>	<u>Deformación x 10⁻² mm</u>
30	10
60	20
90	27
120	32
150	42

4.3 ANALISIS DE RESULTADOS.

Debido a que el depósito es simétrico y al no haber cargas excéntricas, la pared del depósito solo estará sujeta a esfuerzos tangenciales debido a la presión radial del líquido almacenado, siendo estos esfuerzos los que gobernaron en el diseño.

Al no contarse con el equipo para someter el depósito a otras presiones fuera de su peso propio, se puede sugerir que las consideraciones

de la referencia 6 fueron adecuadas, demostradas a través de la buena funcionalidad estructural del depósito.

Se observó que las grietas son inevitables en la capa externa del mortero, pero es indudable que el agrietamiento es controlado por la capa de mortero adyacente al refuerzo ya que de lo contrario se hubieran presentado filtraciones de agua.

El grueso de la pared y la base son determinados por la cantidad de refuerzo y la separación de las mallas, más bien que por consideraciones teóricas.

Por ser los esfuerzos tangenciales en depósitos cilíndricos de pared delgada el doble de los esfuerzos longitudinales, se orientó la sección típica de la malla en la dirección de estos esfuerzos sugeridas a través de la referencia 12.

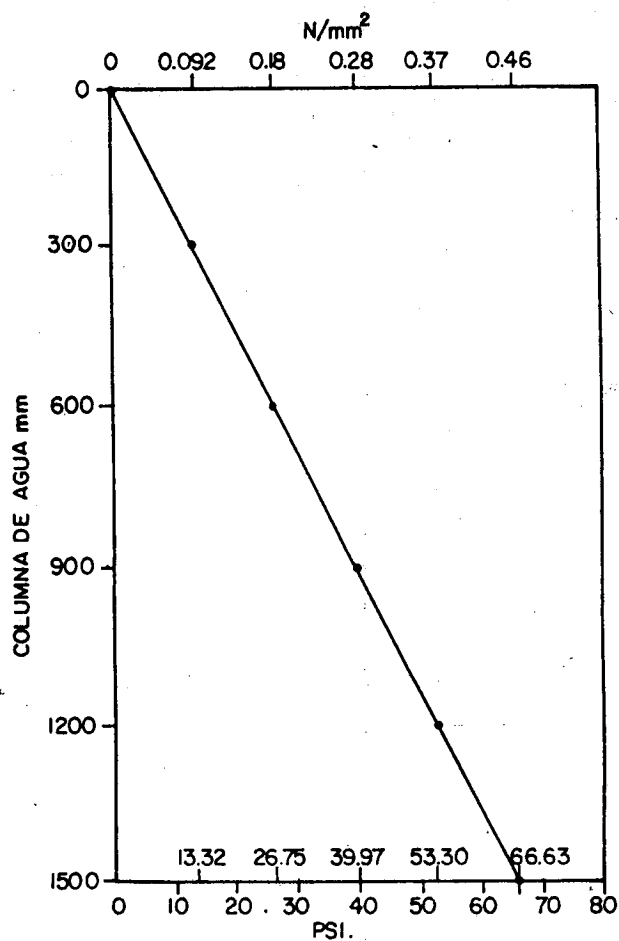
Las deformaciones registradas en el inciso anterior, para las diversas cargas de servicio, indican que las mayores presiones ocurrían en la base y decrecían hacia la superficie, como era de esperarse de acuerdo a la ecuación fundamental de la hidrostática en que la presión varía en relación directa a la altura de columna de agua.

Las deformaciones tangenciales registradas con el deformómetro de resistencia eléctrica no representan valores congruentes, por no tener el equipo apropiado a ser usado en ferrocemento, por lo que se incluyen sus resultados solamente como una referencia del trabajo.

Esfuerzo teórico a partir de la ecuación 2d.

Columna de agua (cm)	0	30	60	90	120	150	180
ESFUERZO (psi)	0	13.32	26.65	39.97	53.30	66.63	79.94
(N/mm ²)	0	0.092	0.18	0.28	0.37	0.46	0.55

Con los valores del esfuerzo teórico se planteó la figura 11.



ESFUERZO TANGENCIAL TEORICO

FIGURA 11

El depósito se ha mantenido lleno de agua para su evaluación, durante un período de tiempo de 8 meses de haberse fundido, evidenciándose grietas sin que aparezcan filtraciones de agua por lo que no son significativas en el funcionamiento del mismo.

CONCLUSIONES

1. El costo del depósito de ferrocemento, además de competir ventajosamente con los depósitos de otros materiales, su método constructivo es más fácil, rápido y no requiere personal calificado.
2. Se debe tener especial cuidado en la colocación de la malla en la unión de la base y la pared, pues, al estar monolíticamente unida, su dilatación radial se ve restringida, originándose momentos flectores que no se han considerado en el análisis.
3. Los depósitos de ferrocemento por ser más livianos que los sistemas tradicionales, requieren menor gasto en cimientos.
4. No se presentaron filtraciones de agua durante su llenado.
5. El espesor de la base y la pared son determinados por el refuerzo que forma la armazón y la separación de la malla de refuerzo.
6. La orientación de la malla debe hacerse en la dirección de los esfuerzos máximos para lograr una mayor eficiencia estructural.
7. Aunque no se tienen datos concretos de los esfuerzos generados en el depósito y, a pesar de la aparición de algunas fisuras de ancho muy pequeño, se confirmó su funcionalidad estructural y economía.
8. La malla de refuerzo significó el 47% del costo total $\sqrt{\wedge}$ y la mano de obra el 24%, como los parámetros más significativos en el costo del depósito de ferrocemento.

RECOMENDACIONES

En virtud del rápido incremento en el mercado de los precios de las mallas de alambre y, debido a que representan el porcentaje mayor del costo total, se recomienda hacer combinaciones de diferente abertura de malla, pues, a mayor abertura, su costo decrece.

En la colocación del mortero se recomienda primero una capa con una proporción en peso 1:3, pasando la arena por el tamiz No. 4 y una segunda capa con una proporción en peso 1:2, pasando la arena por el tamiz No. 8 para tener una granulometría más fina y conseguir una mayor resistencia del mortero. Siendo más significativa la resistencia última del mortero a tensión que la malla, para alcanzar la resistencia a la primera grieta.

Por ser el bambú un material local, se recomienda investigarlo como sustituto del hierro, para formar la armazón del esqueleto, pues, se ha demostrado que el refuerzo no contribuye a la resistencia en tensión, además el bambú se ha utilizado en algunas aplicaciones como sustituto total del refuerzo con buenos resultados.

Para conseguir un mejor curado se recomienda llenar el depósito al séptimo día de iniciado su fraguado.

Investigar la sustitución de la malla de alambre por una malla de fibras naturales.

Se recomienda cal en un 10% de la cantidad de cemento, para tener una mejor trabajabilidad, impermeabilidad y evitar la formación de hongos.

Se recomienda considerar la experimentación de depósitos con variaciones de refuerzo y capacidades.

REFERENCIAS

1. Ferricement: Applications in Developing Countries, A Report of Ad - Hoc Panel of the Advisory Committee on Technological Innovation, - Voard on Science and Technology for International Development, Na - tional Academy of Sciences, Washington, D.C., 1973, 90 pp.
2. S. P. Shah. University of Illinois, Chicago. Circle, december 1972.
3. Centro de Investigaciones de Ingenieria: Depósitos de ferrocemento, por Javier Quiñónez, Guatemala 1983.
4. WALKUS, B.R., "State of Cracking and Elongation of Ferrocement Un - der Axial Tension Load (I) and (II)", Buletinal Institutuli Polytech - nic Div., Iasi, Tonsul XIV, 1968 and Tonsul XVI, 1970 (in English).
5. WALKUS, B.R., "Behavior of Ferrocement in Bending", Journal of Struc - tural Engineering, India, Vol. 3, No. 3, october 1975, pp. 113-125.
6. BEZUKLADOV, V.F., AMEL'YANOVICH, K.K., VERBITSKIY, V.D. and BOGOYA - VLENSKIY, L.P., "Ship Hulls Made of Reinforced Concrete", NAVSHIPS Translation No. 1148, 1968.
7. Journal of the American Concrete Institute, January, 1978, pp. 22-26.
8. BIANCHINI, A.C., KESLER, C.E. and LOTT, J.L., "Cracking of Reinfor - ced Concrete Under External Load", Causes, Mechanism and Control of Chacking in Concrete, SP-20, American Concrete Institute, Detroit, 1968, pp. 73-85.

9. SHAH, S.P. and KEY, W.H., "Impact Resistance of Ferrocement", Journal of the Structural Division, ASCE, Vol 98. No. ST1, January 1972, pp. 111-123.
10. SHAH, S.P., "Evaluation of Ferrocement as a Construction Material", Proceedings of the Conference on New Materials in Concrete Construction, University of Illinois at Chicago Circle, December 1972.
11. Journal of the American Concrete Institute, 1978 January. pp. 22-26.
12. JOHNSTON, C.D., and MATTAT, S.G., "Ferrocement - Behaviour in Tension and Compression", Journal of the Structural Division, ASCE, - Vol. 102, No. ST5, May 1976, pp. 875-889.
13. SHAH, S.P. "Recomendaciones tentativas para la construcción de tanques de ferrocemento". Report. No. 70-11 Department of Materials Engineering, University of Illinois at Chicago, Circle 1970, pp. 37.

BIBLIOGRAFIA

1. BISH Wendm K. Paul and Ricardo P. Pama. Thailand Asian Institute of Technologi. Ferrocement. Bangkok, 1978, 149 p.
2. CASTRO ORVAÑANOS, José. Algunas aplicaciones del ferrocemento en México. Revista IMCYC 18(93) 50-56 1978.
3. FIT ZGERALD, Robert W. Resistencia de materiales. Worcester Polytechnic Institute. 1967. 477 p.
4. OCAÑA MUNGUÍA, Pablo de Jesús. Estudios sobre ferrocemento liviano a base de pomez. Guatemala 1979. 146 p. Tesis Ingeniería Civil USAC.
5. QUIÑONEZ, Javier. Depósitos de Ferrocemento. Centro de Investigaciones de Ingeniería. Guatemala 1983.
6. Journal of the American Concrete, January 1978. No. 1, Proceedings V 75. Pag. 22-29.
7. Rainwater Collection Tanks Constructud on Self Help Basis Journal of Ferrocement. 4(8) 13-38 1982.
8. State of the Art Report on Ferrocement. Concrete International Design & Construction 4(8) 13-38 1982.