

## 1.- INTRODUCCIÓN

Para poder el transportar y manipular los módulos prefabricados desde la planta industrial a los sitios correspondientes, es imprescindible que los mismos sean de peso ligero.

El material a utilizarse, debe cumplir básicamente los siguientes requerimientos:

- Debe ser liviano
- Debe ser impermeable
- Resistente a la acción de los rayos solares
- Resistente al calor
- Durabilidad y otros

Por estas razones uno de los materiales que cumple con estas exigencias es el ferrocemento, por esa razón se elige para éste trabajo de investigación.

Utilizando las teorías del diseño hidráulico, análisis estructural, diseño geométrico, topografía, diseño del ferrocemento, análisis de rendimientos y costos, se quiere conseguir resultados favorables.

Desde muchos años atrás, se vienen revistiendo los canales de riego, con hormigón ciclópeo, mampostería de piedra, y otros, esto se lo hace solamente con un diseño hidráulico, sin considerar el efecto de empuje que presenta el terreno sobre las paredes del canal, por lo cual en dicho diseño solamente se asume un espesor de diseño que debe tener dichas paredes del canal, en la actualidad se continúa con la misma técnica antigua y rudimentaria.

La tendencia general en el uso del hormigón consiste en el desarrollo de un trabajo activo y profundo para mejorar sus indicadores técnico-económicos, así como la creación y mayor aplicación de nuevos elementos estructurales que se distingan por su menor peso propio, menor gasto de materiales, mayor porcentaje de fabricación industrial y una mayor seguridad y durabilidad.

La solución de todas estas tareas está en perfecta correspondencia con la introducción en la práctica de la construcción, de estructuras de paredes delgadas construidas con ferrocemento.

La tecnología del Ferrocemento es tan antigua como la del hormigón armado (alrededor de 1852), sin embargo, adquirió su actual desarrollo a partir de 1945, como una solución para la construcción de navíos y edificios de gran envergadura.

La fabricación del material ferrocemento consiste básicamente en la colocación de un mortero plástico ya sea manual o mecánicamente sobre mallas de acero convenientemente dispuestas, de manera que puedan sustentar el mortero y éste penetre en su interior y las recubra totalmente.

Con el procedimiento descrito, si además las mallas son dispuestas de manera que tengan la forma del elemento que se desea construir, es posible obtener directamente terminados elementos de formas complejas, sin necesidad de recurrir a moldajes complicados.

Esta última es la característica que hace interesante la aplicación de éste sistema constructivo, con el cual se han hecho numerosas aplicaciones, algunas de importante magnitud, entre las cuales pueden mencionarse:

Elementos prefabricados para viviendas, edificios, galpones y recintos para reunión de personas.

Silos y estanques para almacenamiento de granos y agua, respectivamente.

Estructuras para muelles y puertos tanto flotantes como submarinos.

Elementos decorativos y artísticos, tales como esculturas y muebles.

La idea básica de éste material es que el mortero puede experimentar mayores deformaciones en las cercanías del refuerzo sin fisurarse, y que la magnitud de las deformaciones depende de la subdivisión y distribución del refuerzo a través de la masa del mortero.

Las telas de mallas de acero más utilizadas están formadas por alambres de diámetro entre 0,8 y 1,5 mm. y abertura de 10 a 25 mm. Generalmente galvanizados que pueden ser de forma hexagonal o cuadrada, tejidas, torcidas o soldadas y se colocan distribuidas en dos grupos a ambos lados de un núcleo formado por barras de acero de entre 3 y 6 mm. de diámetro llamado refuerzo de esqueleto o sin éste.

En la problemática que se vive en Tarija es que cada vez es más difícil conseguir material pétreo como ser grava y piedra, y más si se trata para la construcción de estructuras de hormigón ciclópeo, además de que estas estructuras son construidas en sitio y más aun si las inclemencias del tiempo no son favorables para el mismo.

El propósito de esta tesis es de elaborar el Análisis y Diseño de Canales Prefabricados, o ya sea en sitio, además de una comparación en calidad y costo de los canales tradicionales construidos de Ho Co, tomando en cuenta para la construcción el esfuerzo del empuje del suelo para la construcción de las paredes del mismo.

Además podemos considerar las siguientes características de éste material para la construcción en canales de riego:

- Buena resistencia al agrietamiento.
- Tiene una buena resistencia al impacto.
- Fácil de construir.
- Fácil de reparar.
- No necesita encofrado.
- Tiene bajo costo.
- No necesita equipo especializado.
- Gran reducción de materiales.
- Rapidez de montaje.

## **2.- JUSTIFICACIÓN**

El Ingeniero como un profesional competente deberá tener una clara visión de lo que se va a proyectar en un futuro en el caso de diseñar y construir estructuras de ferrocemento partiendo del esfuerzo de empuje del suelo.

Con la elaboración de éste proyecto se pretende obtener resultados que permitirán demostrar innovar la construcción de los sistemas de riego.

Se podrá obtener un procedimiento secuencial que podrá servir de guía para posteriores análisis de éste tipo de efectos.

Si nos ponemos a analizar, vemos que con el transcurso de los años nos es más difícil poder conseguir los áridos correspondientes para la construcción de dichos elementos con hormigón ciclópeo, es por eso que me lleva a hacer y presentar éste perfil de tesis para que pueda ser analizado, para que posteriormente sea estudiado y así pueda ser puesta en la elaboración de mi tesis y su ejecución para el beneficio en las construcciones civiles, como son los canales de riego.

En las estructuras de ferrocemento, racionalmente concebidas, el refuerzo consiste en una armadura difusa de pequeño diámetro y reforzada con mallas de alambre flexible, como armadura discreta, con lo que se obtiene una distribución uniforme del refuerzo en todo el elemento. En éste caso se contará con malla de alambre hexagonal (malla de gallinero) el cual es de bajo costo en el mercado, ya que previamente vinimos explicando otros tipos de malla a utilizar.

La primera fase de aplicación de éste procedimiento constructivo incluye la colocación de las armaduras que van a ser embebidas posteriormente con mortero. Las armaduras utilizadas para éste objeto son de tres tipos principales:

- Las armaduras estructurales, es decir, las necesarias por razones de diseño de la pieza en construcción.
- Armadura de soporte suplementario, llamadas armaduras discretas, que están también constituidas por acero de tipo estructural de pequeño diámetro, generalmente entre 4 y 12 mm. Complementan el rol de las armaduras estructurales, pero su papel principal es servir de soporte a las mallas que se describen en el párrafo siguiente.
- Mallas descritas en el primer punto, llamadas también armaduras difusas, que van uniformemente distribuidas en varias capas en la masa del elemento, las cuales

sirven de soporte al mortero que rellena finalmente la pieza, apoyándose en las armaduras de soporte.

Su cantidad debe ser fijada de manera que, por una parte, proporcione un soporte adecuado al mortero, pero dejando los huecos necesarios para que éste penetre y rellene con facilidad el espacio interior.

Deben ir además firmemente adheridas las armaduras de soporte mediante amarras de alambre espaciadas.

Una vez colocadas las armaduras, se procede a la aplicación del mortero. éste debe ser dosificado en una proporción cemento / arena = 1:1.5 ó 2.5 en peso, la cual se elige de manera de tener una razón agua / cemento que, asegurando la fluidez necesaria para permitir la fácil penetración del mortero, permita obtener la resistencia especificada para el mortero.

Su colocación se efectúa generalmente en forma manual, depositando el mortero sobre mallas de armadura difusa y presionando con una llana para lograr la mayor compacidad posible. Esta colocación puede efectuarse en una o dos etapas.

En el primer caso, el mortero atraviesa todo el espesor del elemento, partiendo desde una cara hasta aparecer por la opuesta.

En el método en dos capas, el mortero se coloca desde una cara hasta aproximadamente la mitad del espesor, completando la colocación del resto aproximadamente una semana después de colocada la primera.

La terminación superficial se obtiene aislando la superficie en forma manual o bien con el empleo complementario de los moldes provisorios mientras se compacta.

La compactación del mortero se efectúa por vibración para eliminar al máximo posible el aire atrapado, y se complementa con la compactación manual durante la colocación.

La metodología descrita puede ser aplicada directamente en sitio o bien para la construcción de elementos prefabricados, lo cual aumenta el grado de sus

posibilidades de aplicación.

Como así mismo se pueden conseguir las siguientes ventajas técnicas:

- a) Sus partes y piezas, mediante modulación, pueden ser livianas y fáciles de transportar.
- b) Permite la utilización de sistemas mixtos, en donde el ferrocemento puede ser usado con otros materiales.
- c) Permite distintos tipos de terminaciones y texturas interiores como exteriores.
- d) Facilidad de mantenimiento a bajo costo, sin mano de obra calificada.
- e) Buena resistencia al agrietamiento, lo que aumenta su impermeabilidad y resistencia a la corrosión.
- f) Buena resistencia a agentes mecánicos.
- g) Mediante la industrialización, cada uno de los elementos tiene un proceso de control de calidad, por lo que la edificación en obra se hace mediante montaje de las distintas partes y piezas, evitando la fabricación en sitio.
- h) Por tratarse de piezas de corta longitud, permitirá que la junta trabaje perfectamente ante efectos térmicos.
- i) Un menor tiempo de ejecución de un sistema de riego.

### **3.- OBJETIVOS**

Los objetivos que se plantean en el presente trabajo son de carácter general y específico.

#### **● OBJETIVO GENERAL**

Investigar un Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico.

Se busca una tecnología apropiada para diseñar canales de riego prefabricados y una metodología para su construcción en planta industrial, la manera de transportarlos y

colocarlos en su lugar preciso, obedeciendo a un diseño geométrico del sistema de riego.

### ● **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Obedeciendo a un diseño geométrico en planta, se diseñan secciones curvas y rectas.
- Análisis estructural considerando los empujes laterales del terreno.
- Diseño del ferrocemento en base al diseño estructural se quiere elaborar modelos matemáticos y tablas para distintas alturas, espesores, Número de capas de malla.
- Planillas de armaduras
- Diseño de las uniones considerando el efecto de dilatación y contracción
- Proceso del tendido de las piezas de canal.
- Análisis de rendimientos y costos
- Tiempos de ejecución

### ● **BENEFICIOS ADICIONALES**

- Justificar las razones, la necesidad y la conveniencia de la construcción de canales prefabricados de ferrocemento.
- Poder dar empleo a mano de obra no calificada para la elaboración de estos canales prefabricados de ferrocemento, como ser mujeres.
- Poder realizar la construcción de los canales prefabricados de ferrocemento sin importar las inclemencias del tiempo.
- Poder llegar a la culminación de canales de riego en menor tiempo posible.
- No depender de áridos para la construcción de canales, y así poder prefabricarlos.
- Se podrá realizar la prefabricación de canales de ferrocemento, sin importarnos las inclemencias del tiempo.

#### **4.- ALCANCE DEL PROYECTO DE GRADO**

En la primera parte del trabajo se llevará un trabajo de investigación bibliográfica, posteriormente se procederá a un estudio, y en base a éstos se procederá a elaborar un estudio del conocimiento, dándole un especial énfasis al hecho de que los canales planteados están pensados para países en vías de desarrollo, y como consecuencia esto repercutirá en las características de los materiales así como en la tecnología empleada.

El siguiente paso será el desarrollo de cálculo específico válido para el dimensionamiento de la pared, con el suficiente rigor como para englobar a cualquier tipo de canal que se quiera en su misma situación.

A continuación se procederá a analizar por el empuje del suelo y la supresión y así obtener la solera y paredes más adecuadas para un canal dado, en función de las dimensiones de éste. El proceso se ha llevado a cabo para 3 secciones del canal que contemplan situaciones bien diferenciadas:

Finalmente, con los resultados obtenidos ya de la determinación del diseño de la solera y las paredes se procederá a analizar 3 tramos de canal con condiciones parecidas a las analizadas anteriormente calculando para cada uno según la formulación planteada para la pared el refuerzo necesario. Para cada uno, en base a las características del refuerzo y de la solera se ha propuesto una solución integral.

Comprobada la validez y coherencia en el funcionamiento del método se ha procederá al montaje de modelos a escala, para la comprobación y verificación tanto en diseño hidráulico como estructural para corroborar el perfecto funcionamiento de éste modelo para así poder tomarlas en cuenta en la construcción de obras en la construcción de la ingeniería y sus aplicaciones, todo esto se basará en el método propuesto a lo largo del estudio de la tesis que se está presentando.

Como se tiene en claro, éste estudio que se pretende realizar nos podrá dar una solución al problema que se tiene debido a la falta de áridos que se da en algunos lugares, así mismo se tiene que por problemas climáticos (lluvias), muchas veces se

debe paralizar la obra hasta que los agentes climáticos cesen. Con éste trabajo que pretendo realizar se podrá seguir realizando la tarea de construcción del canal en una industria ya definida, para que el mismo no sufra de retrasos y perjuicios.

#### **4.1.- DISCUSIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE**

No se tiene referencias de diseños realizados de canales prefabricados de ferrocemento, ya que en nuestro medio se diseña canales de hormigón ciclópeo y así mismo sus obras de arte.

Se cuenta con diseños de algunas estructuras de ferrocemento, como ser tanques de agua, letreros públicos y otros.

Se cuenta con norma CBH, la Clasificación de la Asociación Americana de funcionarios de los Caminos Públicos (American Association State Highway Officials), la clasificación de la Administración de Aeronáutica Civil (C.A.A.), el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), etc.

Se dispone de bibliografía para diseño de estructuras de ferrocemento, suelos, análisis estructural, Resistencia de materiales, etc.

También cuento con la ayuda de un profesor guía como es el Ingeniero Hugo Vladislavic Aguirre.

Se cuenta así mismo con bibliografía virtual, la misma que se obtiene de Internet y de un curso que se realizó aquí en Tarija sobre diseños de estructuras de ferrocemento.

#### **4.2.- PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.-**

Se realizará una revisión y caracterización de los suelos identificados en terreno de fundación de solera del canal, esto será muy importante porque debido al empuje del suelo en las paredes del canal se dimensionará dicho canal.

Se ideará un modelo en base a las características regionales que permita estudiar el efecto de las fundaciones y empuje de terreno en las paredes del canal sin presentar mayores complicaciones y que se asemeje a los canales comúnmente construidos en

nuestro departamento de manera que los datos que obtengamos puedan ser empleados luego en futuros diseños.

El diseño del canal ideado se impondrá fundado y dimensionado de tres maneras distintas, dos en tramo recto y uno en tramo curvo:

- Se analizará el comportamiento del diseño hidráulico como estructural del canal prefabricado.
- Se analizará el comportamiento del diseño hidráulico como estructural del canal fabricado in situ (canal de Ho Co).
- Se analizará y se comparará el tiempo de construcción de ambos canales.
- Se analizará y se comprara técnica y económicamente ambos diseños, esperando de que el canal prefabricado sea más factible que el construido in situ.
- Se evaluará el comportamiento del suelo en base a las cargas y las características del terreno.

## **5.- RESULTADOS ESPERADOS**

Se generarán parámetros que permitan las posibles alternativas de solución esperadas para un canal dado de características similares.

Se evaluarán los esfuerzos producidos debido a las cargas actuantes en las paredes y solera del canal, los mismos que servirán para el cálculo y dimensionamiento de los mismos.

Se tendrá también la evaluación de costos que implica la realización del análisis de los elementos estructurales. Así como la seguridad estructural que implique el no tomarlos en cuenta.

### 1.1.- EMPUJES DEL TERRENO

Los muros son elementos constructivos cuya principal misión es servir de contención, bien de un terreno natural, bien de un terreno artificial o un elemento a almacenar. En los dos primeros casos el ejemplo típico es el de un muro de sostenimiento de tierras, mientras que un almacén granero es una muestra del tercero.

En las situaciones anteriores el muro trabaja fundamentalmente a flexión, siendo la compresión vertical debida a su peso propio generalmente despreciable.

En ocasiones los muros desempeñan la función de cimiento, al transmitir las presiones o cargas suministradas por los pilares o por los forjados que se apoyan en la coronación del muro. Esta situación es característica de los muros de sótano, muy desarrollada en la edificación actual.

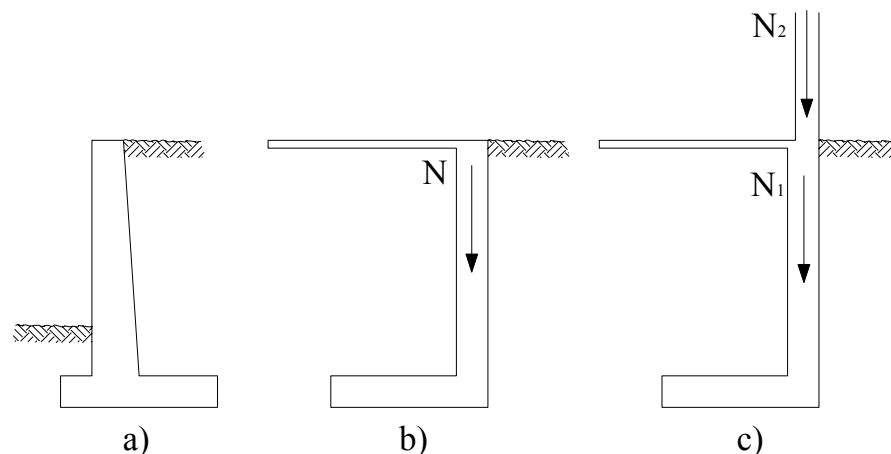


Figura 1. Tipos de muros

Las formas de funcionamiento del muro de contención y del muro de sótano son diferentes. Mientras que el muro de contención se comporta básicamente como un voladizo empotrado en el cimiento, el cuerpo de un muro de sótano se comporta como una losa de uno o varios vanos. En este caso, está apoyado o anclado en el forjado (o forjados), y el rozamiento entre cimiento y suelo hace innecesaria la disposición de ningún apoyo adicional en el nivel de la cimentación

La presión del terreno sobre un muro está fuertemente condicionada por la deformabilidad del muro, entendiéndose por tal no sólo la deformación que el muro experimenta como pieza de hormigón, sino también la que produce en el muro la deformación del terreno de cimentación.

En la interacción entre el muro y el terreno sobre el que cimenta puede ocurrir que las deformaciones sean prácticamente nulas, diciéndose que la masa de suelo se encuentra en estado de reposo y se está en el caso de empuje al reposo. Algunos muros de gravedad y de sótano pueden encontrarse en este caso.

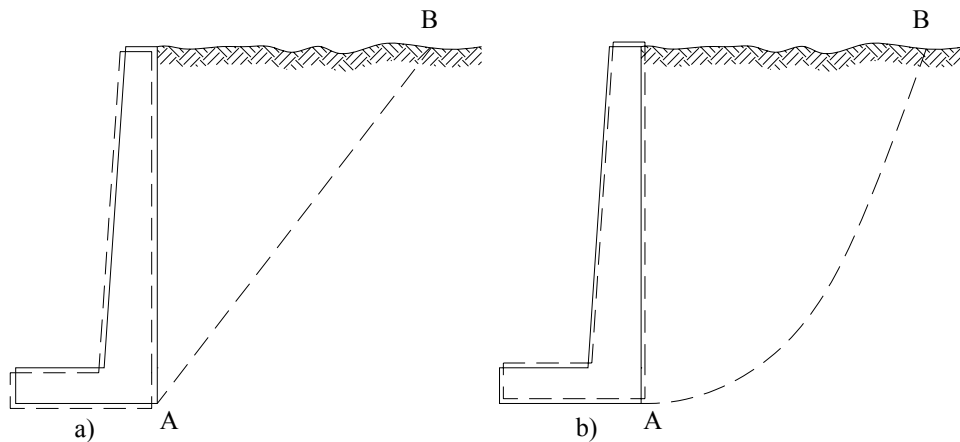


Figura 2 Tipos de empuje

Si el muro se desplaza, permitiendo la expansión lateral del suelo, se produce un fallo por corte del suelo, y la cuña de rotura avanza hacia el muro y desciende. El empuje se reduce desde el valor del empuje al reposo hasta el denominado valor de *empuje activo*, que es el mínimo valor posible del empuje (figura 2 a).

Por el contrario, si se aplican fuerzas al muro de forma que éste empuje al relleno, el fallo se produce mediante una cuña mucho más amplia, que experimenta un ascenso. Este valor recibe el nombre de *empuje pasivo* y es el mayor valor que puede alcanzar el empuje. Por tanto, el empuje al reposo es de valor intermedio entre el empuje activo y el empuje pasivo (figura 2 b).

### 1.1.2.- Empuje activo

Existen diversas teorías para la determinación del empuje activo, entre las que destacan las debidas de Coulomb y Rankie. En ambas teorías se establecen diversas hipótesis simplificadas del problema, que conducen a cierto grado de error, pero producen valores de empuje que entran dentro de los márgenes de seguridad.

En el estado actual de conocimiento de pueden calcular los empujes del terreno precisión en el caso de suelos granulares. Para otros tipos de suelo la precisión es poco satisfactoria

#### 1.1.2.1.- Teoría de Coulomb

Coulomb desarrolló su teoría para suelos granulares bien drenados en 1773.

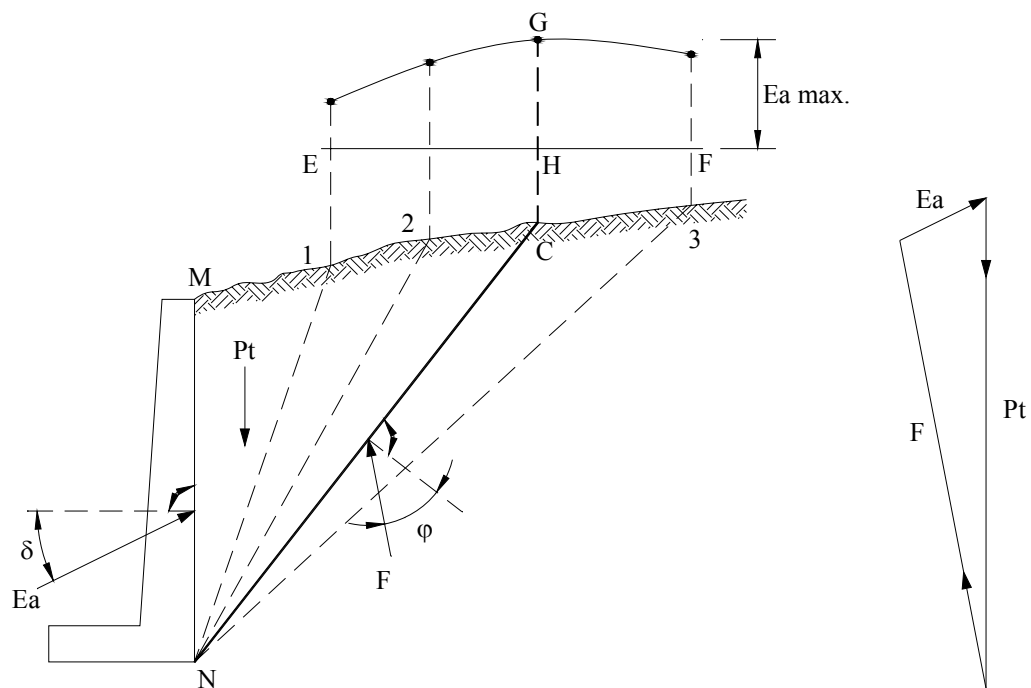


Figura 3

La teoría se basa en suponer que al moverse un muro bajo la acción del empuje, se produce el deslizamiento de una cuña de terreno MNC, limitada por el trasdós del muro MN, por un plano que pase por el pie del muro y por la superficie del terreno.

Por tanto, se establece una primera hipótesis, que es suponer una superficie plana, lo cual lo cual no es del todo cierto, aunque el error introducido sea pequeño.

El resto de los supuestos de partida se pueden sintetizar en los siguientes puntos:

- Considera la existencia de fricción entre el terreno y el muro.
- Supone que el terreno es un material granular, homogéneo e isotrópico y que el drenaje es lo suficientemente bueno como para considerar presiones intersticiales en el terreno.
- De todos los posibles planos de deslizamiento, el que realmente se produce es el que conlleva un valor de empuje máximo.
- La falla es un problema bidimensional. Considera una longitud unitaria de un cuerpo infinitamente largo.

El problema consiste ahora en determinar el plano de deslizamiento crítico que produce un valor máximo del empuje. Para ello se elige un plano arbitrario que forme un ángulo  $\theta$  con la horizontal y se establece el equilibrio de la cuña MNC. Las fuerzas que intervienen son:

- Peso de la cuña MNC del terreno  $P_t$ .
- Reacción  $E_a$  del trasdós sobre el terreno. Que formará un ángulo  $\delta$  con la normal al trasdós. Dicho ángulo será el de rozamiento entre muro y terreno.
- Reacción  $F$  de la masa de suelo sobre la cuña, que formará un ángulo  $\phi$  con la norma a la línea de rotura  $NC$ . Dicho ángulo será el de rozamiento interno del terreno.

Como se conoce  $P_t$  en magnitud y dirección y  $E_a$  y  $F$  en dirección, se podrá calcular el valor de estas dos últimas fuerzas a través del polígono de fuerzas que forman.

El peso de la cuña de terreno MNC viene dado por:

$$P_t = \frac{\gamma * H^2}{2 * \text{sen}^2 \alpha} * \text{sen}(\alpha + \theta) * \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen}(\theta - \beta)}$$

Aplicando el teorema del seno al triángulo de fuerzas de la figura II.3 se obtiene la relación:

$$\frac{E_a}{\text{sen}(\theta - \varphi)} = \frac{Pt}{\text{sen}(180 - \alpha - \theta + \varphi + \delta)}$$

Despejando y combinado las expresiones anteriores:

$$E_a = \frac{\gamma * H^2}{2 * \text{sen}^2 \alpha} * \text{sen}(\alpha + \theta) * \frac{\text{sen}(\alpha + \beta)}{\text{sen}(\theta - \beta)} * \frac{\text{sen}(\theta - \varphi)}{\text{sen}(180 - \alpha - \theta + \varphi + \delta)}$$

En esta ecuación se puede observar que el valor del empuje activo es función de  $\theta$   $E_a = f(\theta)$ , ya que el resto de los términos son constantes y conocidos para una situación concreta.

Para obtener el valor del ángulo  $\theta$  que hace máximo al empuje activo, se deriva e iguala a cero, e introduciendo su valor en la ecuación se obtiene:

$$E_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * \frac{\text{sen}^2(\alpha + \varphi)}{\text{sen}^2 \alpha * \text{sen}(\alpha - \delta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) * \text{sen}(\varphi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

En esta expresión se puede escribir de una manera más sencilla como:

$$E_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_a$$

En la que  $K_a$  es el coeficiente de empuje activo, y viene dado por:

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \varphi)}{\text{sen}^2 \alpha * \text{sen}(\alpha - \delta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) * \text{sen}(\varphi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Como se puede observar, la distribución es lineal, dando un diagrama triangular. El punto de aplicación del empuje activo será el centro de gravedad del diagrama de

fuerzas, que en este caso estará situado a una profundidad  $z = \frac{2}{3} * H$  desde la coronación del muro.

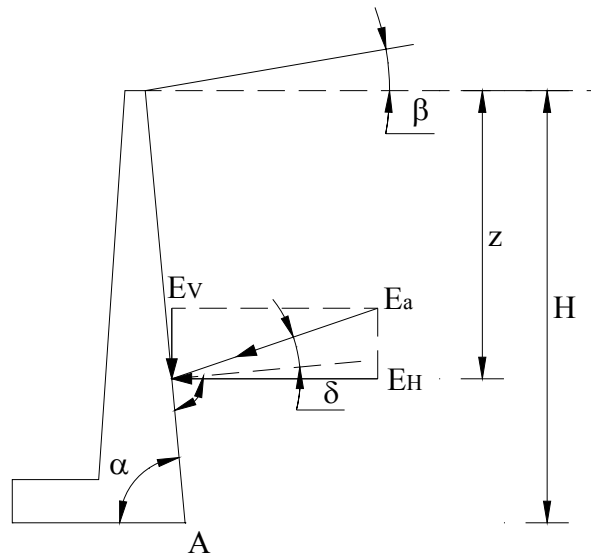


Figura 4 Empuje activo

Siendo:

$\varphi$  ángulo de rozamiento interno del elemento contenido.

$\delta$  ángulo de rozamiento entre elemento contenido y muro.

$\beta$  ángulo de talud natural del terreno.

Si consideramos una sobrecarga.

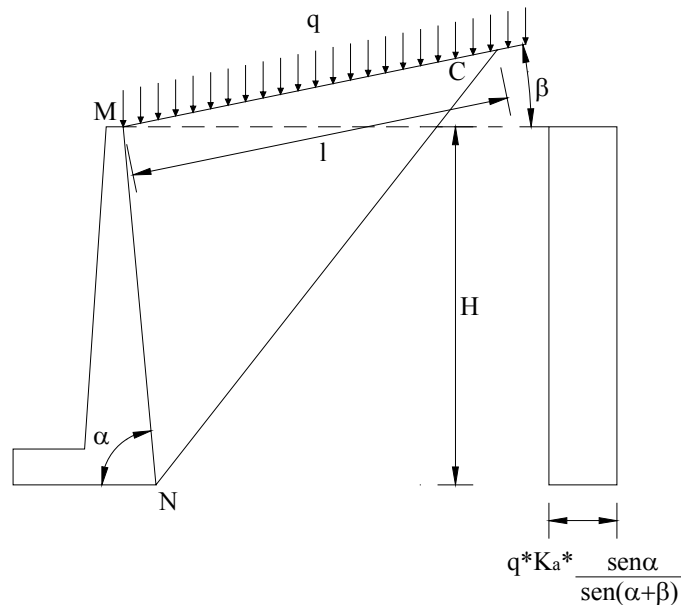


Figura 5 Empuje de sobrecarga

El peso de la cuña MNC, a profundidad H, incluida la sobrecarga correspondiente es:

$$E_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_a + q * K_a * H * \frac{\text{sen} \alpha}{\text{sen}(\alpha + \beta)}$$

Si se considera cargas puntuales.

En este caso, la distribución de las presiones no sólo es variable con la altura sino también a lo largo del muro. La determinación es compleja, aplicándose en lo que sigue el método simplificado de Terzaghi.

El empuje del producto por la carga puede considerarse equivalente a otro  $K_a * N$  donde N es la resultante de la carga sobre el terreno y el valor de  $K_a$  es el obtenido por la teoría de Coulomb.

Dicho empuje equivalente se reparte en un ancho  $b+x$ , tal y como se indica en la figura 6

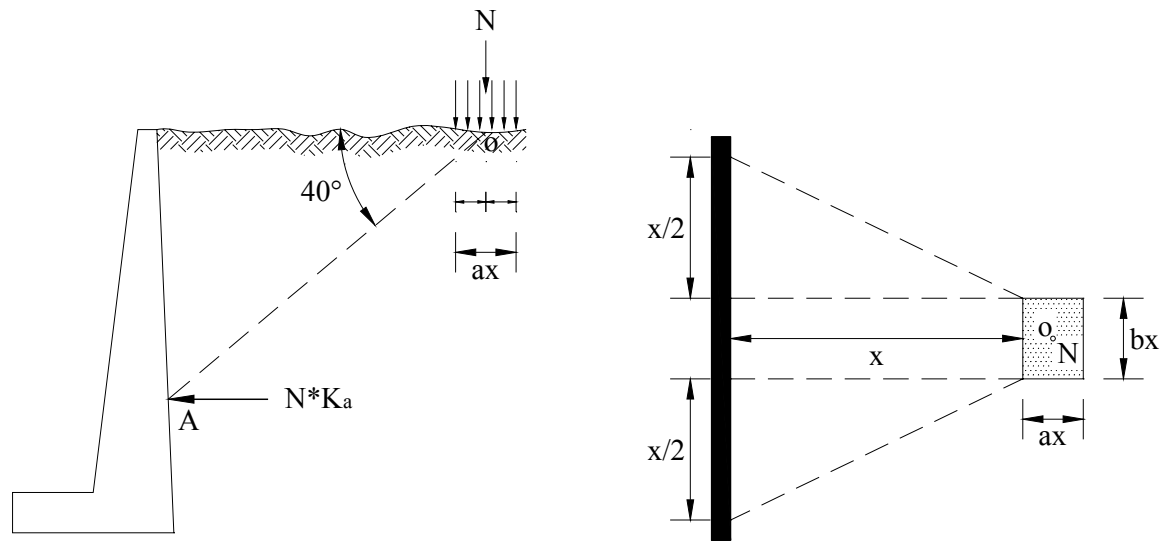


Figura 6 Empuje de carga puntual

El punto de aplicación del empuje se determina trazando una línea desde el centro de aplicación de la carga y que forme  $40^\circ$  con la horizontal hasta que corte al trasdós por debajo de la base del muro, el efecto de la carga  $N$  se desprecia.

El método tiene la ventaja de su sencillez, pero presenta el inconveniente de que al sustituir la distribución continua de presiones a lo largo de la altura por una carga única,  $K_a * N$ , no permite calcular los esfuerzos a que está sometido el muro más que en su arranque.

### 1.1.3.- Características de los diferentes tipos de suelos

**Suelos arcillosos:** La arcilla está constituida fundamentalmente por silicato de aluminio hidratado. Es un tipo de suelo que, cuando está húmedo o mojado, resulta pegajoso pero, cuando está seco es muy fino y suave dado que la arcilla está formada por partículas diminutas de menos de  $0,005$  mm. de diámetro. Desde un punto de vista de la textura, tiene consistencia plástica y puede ser modelado. Son suelos que se conocen como suelos húmedos y pesados. Son muy impermeables dado que no

dejan pasar el agua o el aire, todo ello propicia que sean suelos donde el agua se estanque con facilidad. Presentan un color marrón oscuro.

Sabemos que se trata de un suelo arcilloso porque cuando tomamos un pedazo del mismo en las manos, podemos hacer fácilmente una bola. Igualmente, si colocamos un trozo de esta materia entre los dedos pulgar e índice y la trabajamos con ambos dedos, podemos realizar cintas de hasta 5 cm con este tipo de tierra. Podemos decir que nos recuerda a la textura del chicle.

**Suelos limosos:** Son los suelos que contienen una proporción muy elevada de limo. Es un tipo de suelo muy compacto, sin llegar a serlo tanto como los arcillosos. Estos suelos resultan producidos por la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por las aguas o depositados por el viento. Suelen presentarse junto a los lechos de los ríos y son muy fértiles.

Sabemos que se trata de suelos limosos porque, al igual que los arcillosos, permiten formar bolas aunque estas se rompen con facilidad. A diferencia de los arcillosos no nos permiten formar cintas entre los dedos.

**Suelos arenosos:** El suelo arenoso es el que está formado principalmente por arena. La arena son partículas pequeñas de piedra de carácter silicio con un diámetro entre 0,02 y 2 mm. A diferencia de la arcilla cuando está húmeda o mojada no se engancha. Los suelos arenosos no retienen el agua que rápidamente se hunde a capas más profundas. Son suelos considerados secos en donde hay muy poca humedad. A diferencia de los suelos anterior requieren un riego continuado y un trabajo constante si queremos darle una forma determinada porque la pierden con facilidad. Presentan colores claros.

Sabemos que se trata de este tipo de suelo porque al coger un poco de él entre los dedos, somos incapaces de formar una bola. Este tipo de tierra, por mucho que lo manipulemos, seguirá estando suelto.

**Suelos gredosos:** Un suelo gredoso es aquel que procede de la descomposición de las cretas o piedras calizas que contienen mucho carbonato cálcico. Es un tipo de tierra ligero y con un buen drenaje. Presenta un color marrón claro o blanquecino.

Densidades secas y ángulos de rozamiento interno de suelos granulares		
Clase de relleno	Densidad seca $\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	Angulo de rozamiento interno $\phi$
Grava arenosa	2000	35
Arena compacta	2000	35
Arena suelta	1700	30
Pedraplen	1800	35
Limo inorgánico	2000	35

Tabla 1.

Fuente: Muros de Contención y de Sótano (UNIVERSIDAD DE CASTILLA – LA MANCHA)

## 1. 2.- DISEÑO DEL FERROCEMENTO

Se ha dado el nombre de ferrocemento al material fabricado con un mortero de arena y un refuerzo metálico constituido por mallas metálicas de diferente tipo y barras de acero de diferentes diámetros.

El esqueleto metálico se forma generalmente con varillas del número 2, 3 ó 4 (8, 10 ó 12 mm.), pueden emplearse mallas electro soldadas y el armado se complementa con varias capas de tela de gallinero que pueden ser de alambres de diferentes calibres ó metal desplegado.

**a) Consideraciones generales.-** El ferrocemento, es un material que se compone de capas de mallas metálicas dentro de un mortero de cemento portland. Estos materiales, al trabajar en conjunto adquieren propiedades físicas y mecánicas, como ser: alta resistencia, compacidad y elasticidad que permite disminuir de forma notable de las dimensiones de las secciones transversales de los elementos.

Los materiales componentes y sus características principales utilizados en la construcción del canal de ferrocemento son los siguientes:

**b) Dosificaciones de los morteros.-** El mortero utilizado normalmente en el ferrocemento es una mezcla de cemento hidráulico y arena que eventualmente se pueden añadir aditivos que mejoran sus propiedades las que están dadas por el tipo y calidad de los materiales componentes, la proporción en que son mezclados, las condiciones en que se prepara y los factores ambientales.

Los requerimientos generales para este componente del ferrocemento son: que debe tener la mayor resistencia posible a la compresión, impermeabilidad, dureza, resistencia a ataques químicos y quizás el más importante factor de todos es la consistencia de la mezcla que debe permanecer uniforme, compacta y sin poros independientemente de la concentración de las telas de mallas de refuerzo.

Algunas de sus propiedades más importantes son las siguientes:

⌘ **Densidad media.**- las normas para las estructuras de ferrocemento en la ex Unión Soviética establecen para el mortero una densidad media no menor de 2200 Kg/m<sup>3</sup>. y un tamaño máximo de la arena de 5 mm. Así como una capacidad de absorción del agua no mayor al 8%.

La densidad media del mortero debe tomarse para el cálculo, depende de la cantidad de armadura reticulada utilizada, por ejemplo, si el elemento cuenta con una tela de malla metálica de celdas pequeñas, la densidad media se toma igual a 2300 Kg/m<sup>3</sup>, con dos telas de mallas de 2400 Kg/m<sup>3</sup>. y para un mayor número de telas la densidad media aumenta en 50 Kg/m<sup>3</sup>. por cada tela de malla adicional.

⌘ **Relación arena cemento.**- Para una utilización normal se recomienda para el mortero una relación arena/cemento entre 1:1.5 y 2.

⌘ **Relación agua cemento.**- La relación agua cemento es un indicador de una gran importancia que influye de manera decisiva en la mayoría de las propiedades del mortero. La relación agua/cemento no sólo determina la plasticidad o la fluidez de la pasta de cemento y por tanto las características de consistencia y laborabilidad del mortero antes del fraguado, sino afecta también de manera decisiva, las propiedades del mortero.

En general la relación agua/cemento puede fluctuar entre 0.4 – 0.6 en peso dependiendo de la forma y la técnica en que sea colocado.

✶ **Consistencia.-** Teniendo en cuenta que el mezclado del mortero deberá efectuarse manualmente, será necesario preparar muestras cuyas mezclas sean plásticas y permitan la homogeneización, lo que eliminará la posibilidad de usar mezclas muy secas.

La consistencia de la mezcla puede medirse por dos procedimientos:

Con la mesa de fluidez (15 golpes en 10 segundos) = 80 – 86 %

Con un cono de revenimiento (3 capas de 25 golpes c/u) = 2 – 3 cm.

Cono de revenimiento. Diám. Inf. 10 cm. Diám. Sup. 5 cm. Alt. de cono 15 cm.

A continuación se señala algunas tablas que comprenden las dosificaciones y resistencias de los morteros y según su uso.

TABLA 2. MORTEROS DE CEMENTO Y ARENA

Morteros de cemento y arena					
Tipo de mortero	Proporción en volumen		Kg. De cemento por m <sup>3</sup> de mortero	Empleo preferente	Resistencia Kg/cm <sup>2</sup>
	Cemento	Arena			
Ricos	1	1	800	Bruñidos y revoques impermeables.	320
	1	2	600	Enlucidos, revoque de zócalos, corrido de cornisas.	230
	1	3	450	Bóvedas tabicadas, muros muy cargados, enlucidos de pavimento, enfoscados.	160
Ordinarios	1	4	380	Bóvedas de escalera, tabiques de rasilla.	130
	1	5	300	Muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados.	98
Pobres	1	6	250	Fábricas cargadas	75
	1	8	200	Muros sin carga	50
	1	10	170	Rellenos para soldado	30

Fuente: Cátedra de Ingeniería Rural

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real

TABLA 3. MORTEROS DE CAL Y ARENA

<b>Morteros de cal y arena</b>		
<b>Proporción en volumen</b>		<b>Empleo preferente</b>
<b>Pasta de cal</b>	<b>Arena</b>	
1	1	Enlucidos
1	2	Revoques
1	3	Muros de ladrillos
1	4	Muros de mampostería

Fuente: Cátedra de Ingeniería Rural  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real

TABLA 4. MORTERO DE CEMENTO Y CAL

<b>Mortero de cal y cemento</b>			
<b>Proporción en volumen</b>			<b>Empleo preferente</b>
<b>Cemento</b>	<b>Pasta de cal</b>	<b>Agua</b>	
1	1	6	Muros cargados, impermeables
1	1	8	Muros poco cargados
1	1	10	Cimientos
4	1	12	Revoques impermeables

Fuente: Cátedra de Ingeniería Rural  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real

TABLA 5. DOSIFICACIONES DE MORTEROS

<b>Capacidad de utillajes en la confección de morteros</b>			
<b>Utillaje</b>	<b>Medidas (cm.)</b>	<b>Capacidad (Litros "colmado")</b>	<b>Cemento (Kg.)</b>
Pala de 1/2 luna	28 * 32	5	7.5
Pala recta	30 * 34	7	10.5
Balde-caldereta	φ 30 * 23	13	20
Caldereta	33 * 16	11	17
Cesto de goma	φ 40 * 22	20	30
Carretilla	85 * 65 * 15	90	135
Saco de cemento	72 * 40 * 12	-	50

Nota: Este utillaje sirve también para confeccionar pequeñas cantidades de hormigón.

Fuente: Cátedra de Ingeniería Rural  
Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real

**TABLA 6. DOSIFICACIONES DE MORTEROS**

<b>Dosificaciones de morteros (en peso)</b>				
<b>Aplicación</b>	<b>Dosificación Cemento/Arena</b>	<b>Cemento Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Arena (1) Volumen/m<sup>3</sup></b>	<b>Agua l/m<sup>3</sup></b>
Muros de poca carga	1:4	380	1.1	240
Muros cargados (2)	1:3	460	0.98	260
Revoques impermeables ( 3 y 4)	1:1.5	740	0.812	300
Raseos de fachadas (4)	2:3			
Notas: 1) El peso es de 1500 Kg/m <sup>3</sup> 2) Para fábricas de ladrillos y raseos exteriores. 3) Debe agregarse 31 Kg/m <sup>3</sup> de líquido impermeabilizante. 4) 2 partes de cemento y 3 de arena.				

Fuente: Cátedra de Ingeniería Rural

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real

**TABLA 7. DOSIFICACIONES DE MORTEROS**

<b>Dosificación de morteros en cestos de 20 litros</b>					
<b>Aplicación</b>	<b>Dosificación Cem./Arena</b>	<b>Cemento Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Arena (1) Cestos colmados</b>	<b>Agua lts.</b>	<b>Mortero obtenido (l)</b>
En lucidos y revocos	1:2	600	3	29	83
Enfoscados, revocos, pavimentos	1:3	450	5.4	29	112
Escaleras, bóvedas, etc.	1:4	380	6.5	29	132
Fábricas cargadas, enfoscados	1:5	300	8.5	42	166
Fábricas menos cargadas	1:6	250	10	50	200
Fábricas ordinarias sin cargar	1:8	200	13.5	60	250
Solados, rellenos	1:10	170	16.5	60	333
Revoques impermeables (2)	1:1.5	750	3	20	
Notas: 1) Cestos colmados por saco de cemento de 50 Kg. 2) Debe añadirse de hidrófugo del 1 al 3% del peso del cemento					

Fuente: Cátedra de Ingeniería Rural

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real

TABLA 8. DOSIFICACIONES DE MORTEROS

Resistencia de los morteros dosificados en volumen		
Clase de mortero	Dosificación	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
Mortero de cemento-cal-arena	1 : 1: 10	20
	1 : 1: 6	50
Mortero de cemento-arena, equivalente a dosificación de 250 kg. De cemento/m <sup>3</sup> .	1 : 6	75
Mortero de cemento-arena, equivalente a dosificación de 380 kg. de cemento/m <sup>3</sup> .	1 : 4	130
Mortero de cemento-arena, equivalente a dosificación de 450 kg. de cemento/m <sup>3</sup> .	1 : 3	160

Fuente: Cátedra de Ingeniería Rural

Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real

- c) **Resistencia.-** La resistencia mecánica del mortero, cuyo consumo de cemento oscila entre 500 y 800 Kg/m<sup>3</sup>., varía entre 250 y 500 Kg/m<sup>2</sup>. y es considerada suficiente en la mayoría de los casos prácticos. Pero en las estructuras de ferrocemento se optará como mínimo un equivalente a 210 Kg/m<sup>2</sup>.
- d) **Arenas.-** La arena es el árido utilizado para la elaboración del mortero, el tamaño máximo no debe exceder de 5 mm., aunque dependiendo del espesor del elemento y la densidad de la armadura puede ser necesario limitar el diámetro a valores inferiores a 4 mm.

Este material se encuentra disperso en toda la masa del mortero y ocupa del 60 al 70% de su volumen, por lo que el árido utilizado en la producción del mortero de alta calidad para el ferrocemento debe ser resistente, impermeable y capaz de producir una adecuada laborabilidad para lograr una buena penetración de las mallas, con un mínimo de relación agua/cemento.

La arena utilizada para el ferrocemento, en lo posible debe proceder del río sin descartar las arena procedentes de canteras o del producto de la trituración mecánica de piedras, todas ellas de origen granítico, silíceo, cuarzo, basáltico o porfídico, es decir de piedras duras.

Las arenas procedentes de piedras calizas o de piedra pómez no deben ser admitidas o utilizadas. Las arenas deben ser limpias libres de sales nocivas y exentas de material orgánico, debido a que este material no permite una buena e íntima unión con el cemento. La presencia del salitre, que es muy perjudicial para el cemento y para el acero de refuerzo, se lo debe reconocer por sabor amargo y en caso de duda es necesario efectuar un análisis químico.

Es de mucha importancia la composición granulométrica de la arena a usar, por lo que es necesario que ella contenga granos de todos los tamaños, desde 0.15 a 5 mm.

La presencia de granos finos, medianos y gruesos incrementan notablemente la resistencia del mortero que conforma el ferrocemento, por lo que las arenas a ser utilizadas en lo posible deben tender a la siguiente dosificación al peso.

#### Especificaciones granulométricas de áridos finos para el ferrocemento

No	Abertura de Tamices (mm.)	% que pasa
3/8	9.50	100
4	4.75	95 – 100
8	2.38	80 – 100
16	1.16	50 – 85
30	0.60	25 – 60
50	0.30	10 – 30
100	0.15	2 – 10

Curva Granulométrica

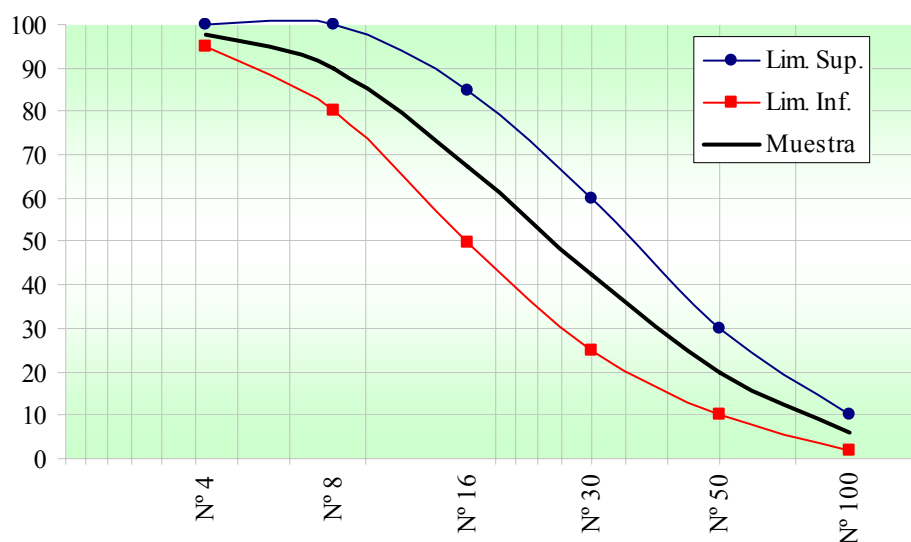


Figura. 7.

Se aconseja no utilizar arena muy fina o de un solo tipo de granos.

e) **Cemento.**- Como todos conocemos, el cemento es un aglomerado hidráulico y su composición y propiedades varían ligeramente, según su procedencia. Todo tipo de cemento es de color gris verdoso, cuyo peso específico real es de 3100 a 3200 Kg/m<sup>3</sup>.

El fraguado del cemento normal tipo portland, no debe empezar antes de los 45 minutos después de su batido o mezclado y generalmente éste comienza entre las 2 a 2 horas y media y termina entra 4 horas y media a 6 horas. A partir de la terminación del fraguado inicial se inicia el endurecimiento completo del cemento, que aumenta paulatinamente y al cabo de 18 a 24 horas llega a tener una resistencia apreciable. El endurecimiento completo del cemento llega a su término recién a los 18 a 20 meses.

Este conocimiento del comportamiento es muy importante para construcción de estructuras de ferrocemento, debido a que los trabajadores cometen los siguientes errores:

- ✎ Preparación de grandes volúmenes de mortero a la intemperie, lo cual y por efecto de los rayos solares hace que se produzca un fraguado violento, especialmente en la capa superficial de la masa, por lo que, como mala solución para contrarrestar este proceso añade agua y lo vuelve a mezclar.
  - ✎ Desencofrado violento, antes de las 24 horas, razón por la cual se producen fisuras imperceptibles en el mortero de las paredes de las estructuras de ferrocemento, lo cual posteriormente causa problemas, especialmente en la construcción de tanques de reserva.
  - ✎ El trabajar sin experiencia, con el fin de acelerar el tiempo de desencofrado generalmente utiliza aditivos acelerantes de fraguado sin tomar en cuenta las dosificaciones recomendadas por el fabricante, lo cual va en perjuicio de la resistencia del mortero del ferrocemento, debido a que gran cantidad de este tipo de aditivos acelera la evaporación del agua de mezclado, lo cual produce fisuras en la delgada lámina del ferrocemento.
- f) **Curado.**- Para obtener un mortero endurecido de buena calidad luego de la aplicación y compactación adecuadas, deberá optarse por un curado en un ambiente adecuado.

El curado de las estructuras de ferrocemento es vital para lograr una buena hidratación en el cemento en sus fases de endurecimiento. El propósito es conservar saturado al mortero, hasta que el espacio originalmente lleno de agua en el mortero se haya llenado al grado deseado por los productos de hidratación del cemento.

El curado de concreto deberá iniciarse tan pronto como sea posible sin dañar la superficie de la estructura y prolongarse ininterrumpidamente por un mínimo de 15 días, el concreto debe ser protegido del secado prematuro, temperaturas excesivamente calientes o frías, esfuerzos mecánicos.

El mortero ya vaciado en la obra debe ser mantenido constantemente húmedo por lo que las estructuras deben ser periódicamente mojadas con agua nebulizada,

frecuentes riegos, cubiertas con mantas de un material que retenga la humedad o con aserrín de madera mojada.

Las superficies expuestas al tiempo deben ser cubiertas con lonas plásticas, durante los 15 primeros días.

En caso de estructuras destinadas a almacenamiento de agua, el curado podrá hacerse, echando agua en dos etapas:

- Con agua hasta la mitad del volumen
- Luego de siete días completar el total del volumen

En las dos etapas no debe dejarse de mantener húmeda las superficies expuestas como se indica en los puntos anteriores.

**g) Malla hexagonal**.- Uno de los elementos principales utilizados en el diseño de canales de ferrocemento es la malla de alambre entretejida que conforma hexágonos, cuya característica es la fácil manejabilidad para la colocación en obra, debido a su flexibilidad que permite doblarla especialmente en las esquinas agudas o de remate.

Este tipo de malla se lo conoce más comúnmente con el nombre de malla de gallinero. El diámetro del alambre es de 0.5 a 1.5 milímetros de diámetro y normalmente con un espaciamiento entre 12.5 y 25 mm. y en nuestro medio se encuentra en rollos de 0.80 y 0.90 metros de ancho con una resistencia a la tracción a la rotura de 6000 Kg/cm<sup>2</sup>. (ACERBOL) y 4200 Kg/cm<sup>2</sup>. (HERCULES).

La principal función de esta malla es la de actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco cuando se coloca la capa externa y para obtener un buen efecto de adherencia cuando colocamos la capa interna, razones por las cuales se colocará un mínimo de dos capas de este tipo de malla.

Cuando enderecen las capas de la pared del canal, la función principal de esta malla es absorber los esfuerzos de tracción y los que se producen por retracción

del fraguado, lo cual evita que se produzcan fisuras, especialmente en la capa externa de la pared.

**h) Juntas de dilatación.-** Es la división de las estructuras para permitir deformaciones que harán que esta no colapse o que sus deformaciones sean controladas. En general se utilizan las juntas de dilatación para evitar deformaciones o más bien controlarlas, y para reducir los incrementos en los esfuerzos debidas a las deformaciones de los materiales por la dilatación térmica.

En estructuras de canales de riego de hormigón ciclópeo también se coloca juntas de dilatación, y los canales prefabricados de ferrocemento no será la excepción ya que también sufren los efectos térmicos de retracción y dilatación, así mismo esfuerzos debido el terreno. Así mismo la junta de dilatación nos brinda las siguientes ventajas en la estructura.

- Evita las fisuras por deformación.
- Evita la retracción hidráulica y térmica.
- Absorbe las tensiones del hormigón.
- Protege los cantos.
- Evita la diferencia de nivel de la junta de trabajo por alabeo.
- Evita que la junta sobresalga del nivel de hormigón en el proceso de curado.
- Especial para altas planimetrías.
- Gran estabilidad.
- Ahorra tiempo.
- Sustituye el corte de retracción.
- Satisface a ingenierías, contratistas, constructores y clientes.

**i) Otros.-**

**Impermeabilizantes.-** Con el fin de mejorar algunas propiedades mecánicas del mortero que conforma el ferrocemento, generalmente se utiliza acelerantes e

impermeabilizantes y otros aditivos que nos permiten un buen curado de las estructuras.

Para tener éxito con la utilización de los aditivos, se recomienda respetar las especificaciones técnicas del fabricante, puesto que al colocar mayor o menor cantidad de aditivo en el mortero puede causar resultados contrarios a lo esperado, como ser la disminución de la resistencia del mortero o la oxidación de la armadura de refuerzo.

Impermeabilizante para mortero SIKA 1.- Es un aditivo líquido (color amarillo) que reacciona con los componentes de la mezcla del cemento y arena para bloquear los capilares y poros del mortero, impidiendo el paso del agua pero permitiendo la respiración del sustrato.

Con el uso de este aditivo se logra tener un mortero impermeable en las paredes del canal, mejora su durabilidad, las capas del mortero no se cuartean o desprenden y adhieren bien a las varillas o mallas de refuerzo.

Se utiliza el agua de amasado, tanto en mortero como en hormigón, en nuestro medio este producto viene listo para ser mezclado bajo las siguientes recomendaciones del fabricante:

Revoques: Debe utilizarse en agua en una proporción: 1:12 – 1:15 (Sika-1: Agua)

Hormigones: Se utiliza diluido en el agua de amasado en una dosis de 2% con respecto al peso del cemento (1 Kg. de Sika-1 por bolsa de cemento).

**Tela de malla tejida.**- La tela de malla tejida está formada por el simple entrelazado de los alambres galvanizados o no, que forman una malla cuadrada o rectangular. Los alambres no son perfectamente rectos y forman pequeñas ondulaciones. Una de las dificultades encontradas es que es difícil manipularlas al igual que colocarlas en posición, pero cuando es estirada conforma rápido la curva deseada. Los ensayos realizados demuestran que esta tela de mallas se comporta tan bien o mejor que la malla exagonal o cuadrada soldada. Por lo contrario, su costo por peso es

relativamente alto, cerca de dos o tres veces el costo del acero normal para la construcción.

**Tela de malla soldada.**- Está formada por alambres rectilíneos de acero dispuestos de manera que forman mallas cuadradas o rectangulares soldadas entre sí en los puntos de contacto. Por ser más rígida, la tela de mallas soldada presenta ventajas de montaje en superficies planas, tornándose más difícil su manejo en superficies curvas. La más frecuente es la de alambres de 1.2 mm. de diámetro espaciados 12.5 mm.

### 1. 3.- UNIONES

Dentro de las uniones hablaremos del tipo de material que se utilizará para unir cada una de las partes del canal de riego, para ello nos referiremos a dos tipos de materiales que se podría utilizar para dichas uniones, así mismo veremos la importancia que ejerce el gradiente térmico en dichos materiales como en el mortero y sus deformaciones:

**a) Materiales.**- La brea o pez es un residuo de la pirólisis de un material orgánico o destilación de alquitranes. Es sólida a temperatura ambiente y está constituida por una mezcla compleja de muchos hidrocarburos de diferentes clases. Las breas presentan un amplio intervalo de ablandamiento en vez de una temperatura definida de fusión. Cuando se enfría el fundido las breas solidifican sin cristalización.

La brea es la sustancia principal de partida de los materiales de carbón y su caracterización estructural juega un papel muy importante en la predicción de su comportamiento térmico. Los métodos más utilizados por los fabricantes y usuarios para la caracterización de una brea son:

*Punto de reblandecimiento:* Es la temperatura a la cual la brea cambia de ser un sólido quebradizo a ser un fluido más o menos viscoso. Puede presentar un intervalo de temperaturas cuyos límites suelen estar comprendidos entre 30 y 180°C.

*Rendimiento en coque:* Es el residuo sólido (coque) de la coquización de la brea a 900 °C. Está relacionado con el rendimiento del material de carbón en el proceso industrial.

*Temperatura de destilación de la primera gota y destilado a 360 °C:* Son respectivamente la temperatura a la que destila la primera gota y el porcentaje de material destilado hasta 360 °C. Estos parámetros, junto con el contenido en materias volátiles, son útiles para evaluar la potencialidad de emisiones de HAP de la brea.

La silicona es un polímero sintético, está compuesta por una combinación química de silicio-oxígeno. La misma es un derivado de la roca, cuarzo o arena. Gracias a su rígida estructura química se logran resultado técnico y estéticos especiales imposibles de obtener con los productos tradicionales. Puede ser esterilizada por Óxido de Etileno, radiación y repetidos procesos de autoclave.

Dada su composición química de Silicio-Oxígeno, la silicona es flexible y suave al tacto, no mancha ni se desgasta, no envejece, no exuda nunca, evitando su deterioro, ensuciamiento y/o corrosión sobre los materiales que estén en contacto con la misma, tiene gran resistencia a todo tipo de uso, no es contaminante y se pueden elegir diferentes y novedosos colores.

*Propiedades mecánicas:* La silicona posee una resistencia a la tracción de 70 Kg/cm<sup>2</sup>. con una elongación promedio de 400%. A diferencia de otros materiales, la silicona mantiene estos valores aun después de largas exposiciones a temperaturas extremas.

*Propiedades Eléctricas:* La silicona posee flexibilidad, elasticidad y es aislante, manteniendo sus propiedades dieléctricas aun antela exposición a temperaturas extremas donde otros materiales no soportarían.

*Biocompatibilidad:* La biocompatibilidad de la silicona está formulada por completo con la FDA Biocompatibility Guidelines para productos medicinales. Ésta es inolora, insípida y no hace de soporte para el desarrollo de bacterias, no es

corrosivo con otros materiales. La silicona curada con platino consistente únicamente en un copolímero de dimetil y metilvinil siloxano reforzado con silicio térmicamente curado por platino, translúcido y altamente flexible bajo cualquier condición, lo que hace que califique dentro de la USP Clase VI referida a una batería de tesis biológicos definidos en USP XXIV-sección 88, usado por la FDA para aprobar artículos médicos.

Gracias a su composición química, la silicona curada con Platino tiene la mayor transparencia y no son contaminantes.

*Resistencia Química:* La silicona resiste algunos químicos, incluyendo algunos ácidos, oxidantes químicos, amoníaco y alcohol izo propílico. La silicona se hincha cuando se expone a solventes no polares como el benceno y el tolueno, retornando a su forma original cuando el solvente se evapora. Ácidos concentrados, alcalinos y otros solventes no deben ser usados con silicona.

**b) Gradiente térmico.**- Denominamos gradiente térmico vertical a la variación que experimenta la temperatura en un intervalo de elevación dado. Se acostumbra a tomar un intervalo de 100 m., y dar un signo positivo cuando la temperatura crece con la altura.

La variación o gradiente en atmosfera ISA (atmósfera estándar) es de 0.6 °C por cada 100 m. Este valor estándar rara vez coincide con el de la atmósfera real, ya que éste depende de otros muchos factores, como día-noche, corrientes horizontales y verticales, posición geográfica, etc.

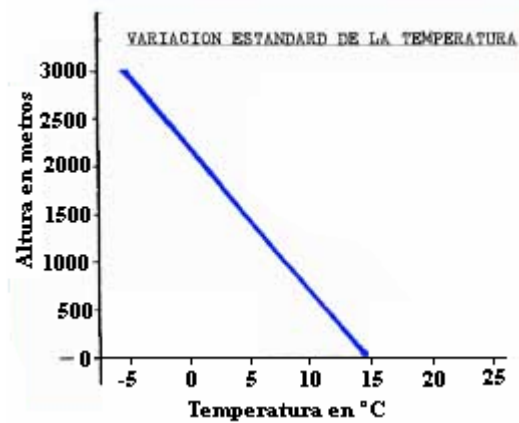


Figura 8. Gradiente térmico

De tal manera hablamos de gradiente térmico, por motivos de que el material de ferrocemento no está libre de los cambios climáticos a los que sufre, ya que el mismo puede contraerse o dilatarse por motivos de este fenómeno, por lo que es de importancia, la utilización de las juntas de dilatación, las cuales ya se hablo anteriormente.

c) **Propiedades mecánicas.**- Según la universidad de Singapur, que realizó una serie de investigaciones respecto a las propiedades mecánicas del ferrocemento de las cuales sacaron las conclusiones siguientes:

1. El módulo de Young es independiente del módulo usado para su cuantificación (por tracción ó flexión) ésto establece la homogeneidad del material.
2. El módulo de ruptura a flexión al primer agrietamiento es mayor que el esfuerzo de tracción en el primer agrietamiento y bajo porcentaje de refuerzo. Mientras que a mayor porcentaje de refuerzo el módulo de ruptura decrece. Ésto es posible sea debido a pobre compactación y ésto limita la cantidad de refuerzo máximo que puede ser efectivo para mejorar las propiedades del ferrocemento.
3. Para porcentajes bajos de refuerzo, el módulo de Young, los esfuerzos al primer agrietamiento, los esfuerzos de tracción final, pueden expresarse como una función de las propiedades de los constituyentes y calcularse con las fórmulas siguientes:

$$E_c = E_s \left( \frac{A_s}{A_c} \right) + E_m \left( \frac{A_m}{A_c} \right)$$

$$p'_c = p'_s \left( \frac{A_s}{A_c} \right)^{1.1} + p'_m$$

$$(p_c)_{uts} = (p_s)_{uts} \left( \frac{A_s}{A_c} \right)$$

A = Área de la sección transversal.

E = Módulo de Young.

$p'$  = Esfuerzo en la prueba.

Los índices indican:

c = Compuesto (ferrocemento)

m = Matriz (mortero)

s = Refuerzo de acero.

uts = Esfuerzo de tracción último.

4. Se encontró que el esfuerzo de tracción al primer agrietamiento es proporcional a la superficie específica, sólo si los esfuerzos de prueba eran diferentes a los esfuerzos en la primera grieta estaban influenciados por la prueba en el acero.
5. Se esperaba que la curva de esfuerzos deformaciones demostrara que la actitud del ferrocemento se incrementa con el incremento del porcentaje de refuerzo. Puede ser útil investigar que el área bajo la curva sea una representación del valor de resistencia al impacto.
6. Las pruebas de impacto mostraron que la fractura producida por éste, se confina al área del mismo y a la propagación de las grietas está localizada por el mecanismo del agrietamiento. También esta propiedad se incrementa con un incremento del porcentaje de refuerzo.

El ferrocemento es un material homogéneo que contiene un alto porcentaje de malla de alambre de acero dúctil, en una matriz frágil de cemento-arena, este refuerzo permite que la matriz asuma las características dúctiles del refuerzo.

Idealmente, el ferrocemento actúa como un material homogéneo en el rango elástico y el refuerzo del compuesto se obtiene de las leyes de la mezcla. Cuando una muestra de ferrocemento se somete a esfuerzos de tensión crecientes, se observan tres niveles de comportamiento; estos niveles o campos se clasifican de acuerdo con el ancho de las grietas como se describe a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 9. Tabla esfuerzo deformación del ferrocemento.

Nivel	Nivel del material	Comportamiento	Ancho de grietas En micras	Esfuerzos Kg/cm <sup>2</sup>	Alargamiento unitario x 10 <sup>-6</sup>
I	Linealmente	Impermeable			
Ia	elástico	Impermeable	0 – 20	33	200
Ila	Casi elástico	No corrosivo I	20 – 50	36	290
Ilb	No lineal	No corrosivo II	50 – 100	43	645
III	Elastoplástico Plástico	Corrosivo	> 100		

Los parámetros que aparecen en la tabla, se detallan en el siguiente gráfico.

Esta curva presenta un primer rango elástico (Nivel Ia) que es básicamente lineal, asimismo ocurren deformaciones elásticas tanto en las parrillas de metal como en las cristalinas y coloides; no existe evidencia de formación de grietas aún cuando se observan en aumento los esfuerzos. El límite de elasticidad del ferrocemento es más alto que el del concreto no reforzado. Luego se presenta una etapa de agrietamiento (Nivel Ila, Ilb), en estas etapas se presentan deformaciones muy definidas en los coloides así como en las parrillas cristalinas, los refuerzos son quienes resisten dichos incrementos, en este momento empieza la formación y ensanchamiento de grietas originales; la curva esfuerzo – deformación deja de ser lineal, apreciándose un aumento de grietas con incrementos de esfuerzos sin ensanchamientos de las ya existentes. El mortero y el refuerzo tienen una acción en conjunto hasta que se llega a un ancho de grietas de 100 micras. Se ha observado que estas grietas están en función

de la superficie específica del refuerzo. Finalmente se presenta la etapa de fluencia (Nivel III), en esta etapa el proceso de ensanchamiento de las grietas continúa de manera uniforme, y entonces es el refuerzo el que absorbe los esfuerzos del conjunto. El ancho de grietas es mayor que 100 micras y continúa el crecimiento de la grieta hasta que se produce el colapso total del elemento.

A continuación se muestra un gráfico de la curva Esfuerzo – Deformación, de una sección de ferrocemento sometida a esfuerzos de tensión.

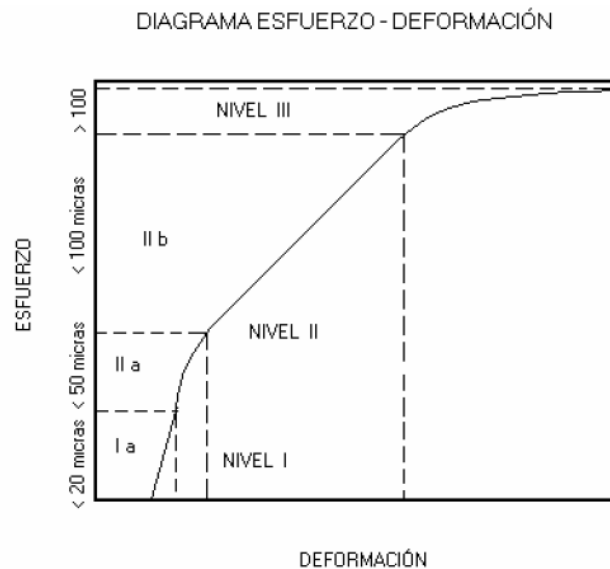


Figura 9.

#### 1.4.- ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL CANAL

La parte que comprende el diseño de los canales y obras de arte, si bien es cierto que son de vital importancia en el costo de la obra, no es lo más importante puesto que el caudal, factor clave en el diseño y el más importante en un proyecto de riego, ya que mediante el caudal que se tiene se hace el diseño hidráulico del canal de riego, la sección que se deberá adoptar está en función del caudal que tendrá que llevar dicho canal de aducción por lo se partirá desde este punto para hacer el diseño del canal de riego tanto de Hormigón ciclópeo, como el diseñado de ferrocemento.

### **Elementos básicos en el diseño de canales.-**

Se consideran algunos elementos topográficos, secciones, velocidades permisibles, entre otros:

- Trazo de canales.- Cuando se trata de trazar un canal o un sistema de canales es necesario recolectar la siguiente información básica:
- Fotografías aéreas, para localizar los poblados, caseríos, áreas de cultivo, vías de comunicación, etc.
- Planos topográficos y catastrales.
- Estudios geológicos, salinidad, suelos y demás información que pueda conjugarse en el trazo de canales.

Una vez obtenido los datos precisos, se procede a trabajar en gabinete dando un trazo preliminar, el cual se replantea en campo, donde se hacen los ajustes necesarios, obteniéndose finalmente el trazo definitivo.

- Terrenos con pendiente transversal mayor a 25%, se recomienda escala de 1:500.
- Terrenos con pendiente transversal menor a 25%, se recomienda escalas de 1:1000 a 1:2000.

Radios mínimos en canales.- En el diseño de canales, el cambio brusco de dirección se sustituye por una curva cuyo radio no debe ser muy grande, y debe escogerse un radio mínimo, dado que al trazar curvas con radios mayores al mínimo no significa ningún ahorro de energía, es decir la curva no será hidráulicamente más eficiente, en cambio sí será más costoso al darle una mayor longitud o mayor desarrollo. Las siguientes tablas indican radios mínimos según el autor o la fuente:

TABLA 10. Radio mínimo en canales abiertos para  $Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$ 

Capacidad del canal	Radio mínimo
Hasta $10 \text{ m}^3/\text{s}$	3 * ancho de la base
De 10 a $14 \text{ m}^3/\text{s}$	4 * ancho de la base
De 14 a $17 \text{ m}^3/\text{s}$	5 * ancho de la base
De 17 a $20 \text{ m}^3/\text{s}$	6 * ancho de la base
De $20 \text{ m}^3/\text{s}$ a mayor	7 * ancho de la base
Los radios mínimos deben ser redondeados hasta el próximo metro superior	

Fuente: "International Institute For Land Reclamation And Improvement" ILRI, Principios y Aplicaciones del Drenaje, Tomo IV, Wageningen The Netherlands 1978.

Radio mínimo en canales abiertos en función del espejo de agua

Tabla 11. Radio mínimo en canales abiertos para  $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$ 

Capacidad del canal	Radio mínimo
$20 \text{ m}^3/\text{s}$	100 m
$15 \text{ m}^3/\text{s}$	80 m
$10 \text{ m}^3/\text{s}$	60 m
$5 \text{ m}^3/\text{s}$	20 m
$1 \text{ m}^3/\text{s}$	10 m
$0,5 \text{ m}^3/\text{s}$	5 m

Fuente: Ministerio de Agricultura y Alimentación, Boletín Técnico N- 7 "Consideraciones Generales sobre Canales Trapezoidales" Lima 1978.

Sobre la base de estas tablas se puede seleccionar el radio mínimo que más se ajuste a nuestro criterio.

Elementos de una curva.-

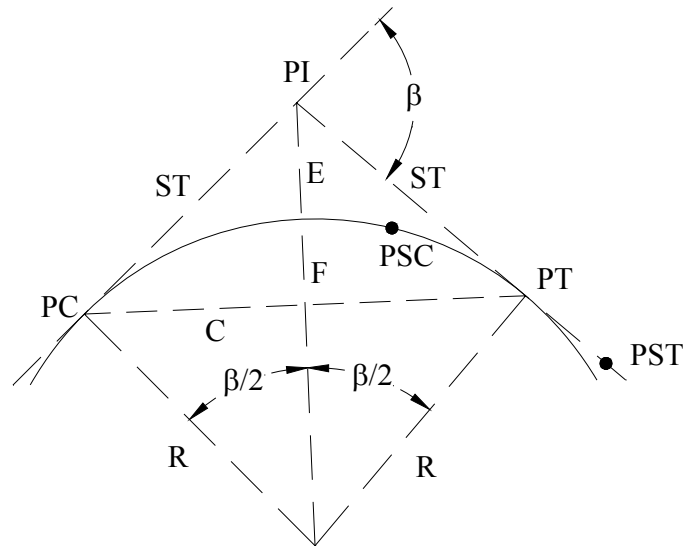


Figura. 10.

A = Arco, es la longitud de curva medida en cuerdas de 20 m.

C = Cuerda larga, es la cuerda que sub – tiende la curva desde PC hasta PT.

$\beta$  = Ángulo de deflexión, formado en el PI.

E = External, es la distancia de PI a la curva medida en la bisectriz.

F = Flecha, es la longitud de la perpendicular bajada del punto medio de la curva a la cuerda larga.

G = Grado, es el ángulo central.

LC = Longitud de curva que une PC con PT.

PC = Principio de una curva.

PI = Punto de inflexión.

PT = Punto de tangente.

PSC = Punto sobre curva.

PST = Punto sobre tangente.

R = Radio de la curva.

ST = Sub tangente, distancia del PC al PI.

Rasante de un canal.- Una vez definido el trazo del canal, se proceden a dibujar el perfil longitudinal de dicho trazo, las escalas más usuales son de 1:1000 o 1:2000 para el sentido horizontal y 1:100 o 1:200 para el sentido vertical, normalmente la relación entre la escala horizontal y vertical es de 1 a 10, el dibujo del perfil es recomendable hacerlo sobre papel milimetrado transparente color verde por ser más práctico y además el color verde permite que se noten las líneas milimétricas.

### Sección Hidráulica Óptima

Determinación de Máxima Eficiencia Hidráulica.

$$\frac{b}{y} = 2 * \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Se dice que un canal es de máxima eficiencia hidráulica cuando para la misma área y pendiente conduce el mayor caudal, esta condición está referida a un perímetro mojado mínimo, la ecuación que determina la sección de máxima eficiencia hidráulica es:

Siendo que el ángulo que forma el talud con la horizontal,  $\arctan(1/z)$

Relación base vs. tirante para, máxima eficiencia, mínima infiltración.

Talud	Ángulo	Máxima Eficiencia
Vertical	90°00′	2.0000
1 / 4 : 1	75°58′	1.5616
1 / 2 : 1	63°26′	1.2361
4 / 7 : 1	60°15′	1.1606
3 / 4 : 1	53°08′	1.0000
1:1	45°00′	0.8284
1 ¼ : 1	38°40′	0.7016
1 ½ : 1	33°41′	0.6056
2 : 1	26°34′	0.4721
3 : 1	18°26′	0.3246

Tabla 12.

De todas las secciones trapezoidales, la más eficiente es aquella donde el ángulo  $\alpha$  que forma el talud con la horizontal es  $60^\circ$ , además para cualquier sección de máxima eficiencia debe cumplirse:  $R = y/2$

Donde:

$R$  = Radio hidráulico

$y$  = Tirante del canal

No siempre se puede diseñar de acuerdo a las condiciones mencionadas, al final se imponen una serie de circunstancias locales que imponen un diseño propio para cada situación.

#### **Diseño de secciones hidráulicas.-**

Se debe tener en cuenta ciertos factores, tales como: tipo de material del cuerpo del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad máxima y mínima permitida, pendiente del canal, taludes, etc.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

La ecuación más utilizada es la de Manning o Strickler, y su expresión es:

Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

$n$  = Rugosidad

$A$  = Área ( $m^2$ )

$R$  = Radio hidráulico = Área de la sección húmeda / Perímetro húmedo

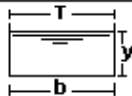
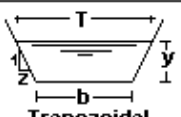
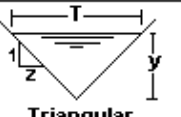
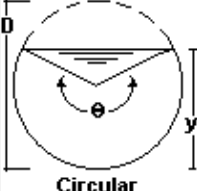
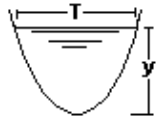
En la tabla 13., se muestran las secciones más utilizadas.

Criterios de diseño.- Se tienen diferentes factores que se consideran en el diseño de canales, aunque el diseño final se hará considerando las diferentes posibilidades y el resultado será siempre una solución de compromiso, porque nunca se podrán eliminar

todos los riesgos y desventajas, únicamente se asegurarán que la influencia negativa sea la mayor posible y que la solución técnica propuesta no sea inconveniente debido a los altos costos.

Tabla 13. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.

Secciones típicas de canales de riego.

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 <p>Rectangular</p>	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$
 <p>Trapezoidal</p>	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 <p>Triangular</p>	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 <p>Circular</p>	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1-\frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 <p>Parabólica</p>	$\frac{2}{3}Ty$	$T+\frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Velocidades máxima y mínima permisible.- La velocidad mínima permisible es aquella velocidad que no permite sedimentación, este valor es muy variable y no puede ser determinado con exactitud, cuando el agua fluye sin limo este valor carece de importancia, pero la baja velocidad favorece el crecimiento de las plantas, en canales de tierra, da el valor de 0.762 m/seg. Como la velocidad apropiada que no permite sedimentación y además impide el crecimiento de plantas en el canal.

La velocidad máxima permisible, algo bastante complejo y generalmente se estima empleando la experiencia local o el juicio del ingeniero.

Para velocidades máximas, en general, los canales viejos soportan mayores velocidades que los nuevos; además un canal profundo conducirá el agua a mayores velocidades sin erosión, que otros menos profundos.

Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.

RESISTENCIA, en kg/cm <sup>2</sup>	PROFUNDIDAD DEL TIRANTE EN METROS				
	0.5	1	3	5	10
50	9.6	10.6	12.3	13.0	14.1
75	11.2	12.4	14.3	15.2	16.4
100	12.7	13.8	16.0	17.0	18.3
150	14.0	15.6	18.0	19.1	20.6
200	15.6	17.3	20.0	21.2	22.9

Tabla 14.

Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978

Esta tabla 14., da valores de velocidad admisibles altos, sin embargo la U.S. BUREAU OF RECLAMATION, recomienda que para el caso de revestimiento de canales de hormigón no armado, las velocidades no deben exceder de 2.5 m/seg. Para evitar la posibilidad de que el revestimiento se levante.

Borde libre.- Es el espacio entre la cota de la corona y la superficie del agua, no existe ninguna regla fija que se pueda aceptar universalmente para el cálculo del borde libre, debido a que las fluctuaciones de la superficie del agua en un canal, se puede originar por causas incontrolables.

La U.S. BUREAU OF RECLAMATION recomienda estimar el borde libre con la

siguiente fórmula: 
$$\text{Borde Libre} = \sqrt{C * y}$$

Donde:

Borde libre: en pies.

$C = 1.5$  para caudales menores a 20 pies<sup>3</sup> / seg., y hasta 2.5 para caudales del orden de los 3000 pies<sup>3</sup>/seg.

$y$  = Tirante del canal en pies

La secretaría de Recursos Hidráulicos de México, recomienda los siguientes valores en función del caudal:

Borde libre en función del caudal

Caudal m <sup>3</sup> /seg	Revestido (cm)	Sin revestir (cm)
£ 0.05	7.5	10.0
0.05 – 0.25	10.00	20.0
0.25 – 0.50	20.0	40.0
0.50 – 1.00	25.0	50.0
> 1.00	30.0	60.0

Tabla 15.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Alimentación, Boletín Técnico N- 7  
"Consideraciones Generales sobre Canales Trapezoidales" Lima 1978

Máximo Villón Béjar, sugiere valores en función de la plantilla del canal:

Borde libre en función de la plantilla del canal

Ancho de la plantilla (m)	Borde libre (m)
Hasta 0.8	0.4
0.8 – 1.5	0.5
1.5 – 3.0	0.6
3.0 – 20.0	1.0

Tabla 16.

Fuente: Villón Béjar, Máximo; "Hidráulica de canales", Depto. De Ingeniería Agrícola – Instituto Tecnológico de Costa Rica, Editorial Hozlo, Lima, 1981

## 1. 5.- HIDRÁULICA DE CANALES

Los canales de riego tienen la función de conducir el agua desde la captación hasta el campo o huerta donde será aplicado a los cultivos u otros proyectos. Son obras de

ingeniería importantes, que deben ser cuidadosamente pensadas para no provocar daños al ambiente y para que se gaste la menor cantidad de agua posible. Están estrechamente vinculados a las características del terreno, generalmente siguen aproximadamente las curvas de nivel de éste, descendiendo suavemente hacia cotas más bajas (dándole una pendiente descendente, para que el agua fluya más rápidamente y se gaste menos líquido).

La construcción del conjunto de los canales de riego es una de las partes más significativas en el costo de la inversión inicial del sistema de riego, por lo tanto su adecuado mantenimiento es una necesidad imperiosa.

Las dimensiones de los canales de riego son muy variadas, y van desde grandes canales para transportar varias decenas de  $m^3/s$ , los llamados canales principales, hasta pequeños canales con capacidad para unos pocos  $l/s$ , son los llamados canales de campo.

**a. Rugosidad.-** Ésta depende del cauce y el talud, dado a las paredes laterales del mismo, vegetación, irregularidad y trazado del canal, radio hidráulico y obstrucciones en el canal, generalmente cuando se diseñan canales en tierra se supone que el canal está recientemente abierto, limpio y con un trazado uniforme, sin embargo el valor de rugosidad inicialmente asumido difícilmente se conservará con el tiempo, lo que quiere decir que en la práctica constantemente se hará frente a un continuo cambio de la rugosidad. La siguiente tabla nos da valores de "n" estimados, estos valores pueden ser refutados con investigaciones y manuales, sin embargo no dejan de ser una referencia para el diseño:

## Valores de rugosidad "n" de Manning

n	Superficie
0.010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre.
0.011	Concreto muy liso.
0.013	Madera suave, metal, concreto frotachado.
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones.
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación.
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo
0.035	Canales naturales con abundante vegetación.
0.040	Arroyos de montaña con muchas piedras.

Tabla 17.

Fuente: Villón Béjar, Máximo; "Hidráulica de canales", Depto. De Ingeniería Agrícola – Instituto Tecnológico de Costa Rica, Editorial Hozlo, Lima, 1981

**b. Modelación Hidráulica.-** Muchos de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y dentro del campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos. Por lo anterior es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales, como herramienta en la obtención de soluciones prácticas, aplicadas a problemas de ingeniería, estuarios, fluvial y obras hidráulicas en general.

Algunas de las aplicaciones más comunes se presentan en: estudios de propagación de oleaje, acción de mareas y corrientes, movimiento de sedimentos, estabilidad de estructuras sujetas a la acción del oleaje, efecto de estructuras en protección de playas, acción del oleaje sobre embarcaciones atracadas o en movimiento, propagación de mareas, funcionamiento de estuarios, erosión y sedimentación de cauces, control de avenidas, obras de toma, cárcamos de bombeo, vertederos, conducción de agua a presión o por gravedad, difusión térmica y desechos, etc.

Los métodos matemáticos plantean soluciones con modelos matemáticos idealizados, lo que permite simplificaciones importantes, que a su vez causan efectos que deben ser valorados mediante ensayos experimentales, a través de modelos físicos a escala reducida o de tipo analógico.

En hidráulica, el término modelo corresponde a un sistema que simula un objeto real llamado prototipo, mediante la entrada de cierta información se procesa y se presenta adecuada para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería civil. Un modelo físico a escala reducida es una representación a escala del objeto real o prototipo, y cumple ciertas condiciones matemáticas definidas.

El empleo de un modelo hidráulico implica establecer un programa definido de investigación experimental sobre todas las variables que intervienen, en forma particular o en grupo. Lo anterior se hace para poder verificar en su caso la validez de soluciones analíticas de un problema dado, o determinar las leyes de relación entre las diferentes variables que, extrapoladas al prototipo, permitan optimizar la eficiencia de cada uno de los elementos del sistema modelo-prototipo. En ciertas etapas del programa y cuando el problema se puede describir con suficiente detalle utilizando modelos matemáticos, éstos se emplean complementariamente con resultados satisfactorios.

La aplicación de cualquiera de los dos tipos de modelos, físicos o matemáticos, tiene limitaciones, ya que ésta depende de la complejidad del problema en la intervención de las variables y sus fronteras a tratar, siendo en algunos casos los modelos matemáticos los más apropiados.

## **MODELOS MATEMÁTICOS**

El conjunto de hipótesis y relaciones de las variables que describen un fenómeno, constituyen un modelo matemático (ecuaciones), que conduce a un problema matemático que es necesario resolver mediante apropiadas técnicas.

En la mayoría de los casos las ecuaciones que rigen los fenómenos físicos a considerar no pueden resolverse analíticamente, por lo que es necesario utilizar

métodos aproximados mediante un proceso de computación, siendo los más utilizados los métodos de elementos finitos y el de diferencia finitas. El primero hace discreto el medio en que tiene lugar el fenómeno en estudio utilizando comúnmente una red de triángulos, mientras que el segundo utiliza una red de rectángulos, que es menos complicada, y proporciona una descripción suficiente de los contornos. La esencia de este método de diferencias finitas, es sustituir los sistemas de ecuaciones diferenciales parciales que rigen el fenómeno en estudio, por sistemas de ecuaciones algebraicas proporcionando valores en los puntos de la malla mediante la solución de métodos explícitos e implícitos.

La precisión de los modelos matemáticos está íntimamente ligada a su costo de explotación, por lo que deben tomarse en cuenta los siguientes factores: exactitud de los datos iniciales, tipo de fenómeno a estudiar, exactitud de las ecuaciones que rigen el fenómeno, forma de aproximar las ecuaciones y evolución del modelo.

### **MODELOS FÍSICOS REDUCIDOS**

El uso de modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, implica que éstos deben ser semejantes al prototipo, para lo cual debe satisfacerse las leyes de similitud Geométrica, Cinemática y Dinámica, que en conjunto relacionan magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos sistemas.

Cuando se va a realizar una comparación con respecto a la similitud geométrica se definen puntos homólogos sobre los cuales se definen magnitudes tales como velocidad, presión, etc.; de igual manera se definen lados, superficies y volúmenes homólogos. La similitud geométrica implica una relación constante para cualquier longitud  $L$ , esta relación es denominada escala de líneas de longitudes.

Cuando la comparación entre el prototipo y modelo es con respecto a un movimiento, se establece entonces la similitud cinemática; ésta se cumple cuando los patrones la forma de los patrones de flujos homólogos son iguales en cualquier tiempo, es decir, hay similitud en el movimiento de los sistemas. Es por esto que la relación de velocidades entre estos puntos debe ser constante y es denominada escala de

velocidades. Es un requisito que se cumpla con la similitud geométrica para que se cumpla la similitud cinemática.

El movimiento de un fluido en el modelo y en el prototipo, para que sea similar en forma completa, no es suficiente con que se cumpla con las similitudes geométrica y cinemática, también es necesario tomar en consideración la acción de fuerzas sobre las partículas de un fluido, tales como fricción, tensión superficial, gravedad o peso, fuerzas de inercia, de Coriolis, etc. Lo anterior implica que la relación de fuerzas homólogas también debe ser constante, estableciéndose así la escala dinámica de fuerzas.

**c. Determinación de los tirantes.-** Se determinará el tirante del canal de riego tomando las condiciones similares a las de un canal de hormigón ciclópeo, tomando primeramente la sección hidráulica óptima la cual corresponde a la fórmula anteriormente ya vista.

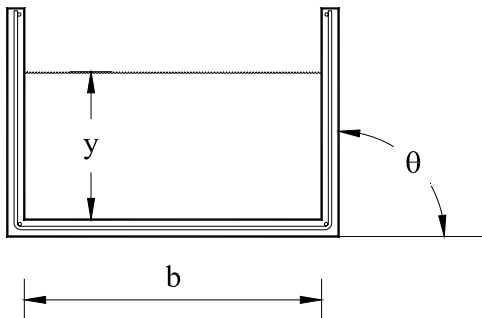
$$\frac{b}{y} = 2 * \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

Donde:

b = Base del canal.

t = Tirante del canal.

$\theta$  = Ángulo que forma con la horizontal.



En la tabla 12. se presenta distintos valores para una máxima eficiencia en canales de riego tomando distintos valores de  $\theta$ . Esta relación de máxima eficiencia es importante, ya que nos permite conducir un caudal óptimo para una sección mínima, tomando de igual manera un perímetro mojado mínimo.

Además debe cumplirse:  $R = y/2$

Donde:

$R$  = Radio hidráulico

$y$  = Tirante del canal

Se partirá de la ecuación de Manning partiendo con los parámetros ya puestos anteriormente, se diseñará para un canal rectangular.

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$n$  = Rugosidad

$A$  = Área (m<sup>2</sup>)

$S$  = Pendiente del canal m/m

$R$  = Radio hidráulico = Área de la sección húmeda / Perímetro húmedo

Si obtenemos que de la máxima eficiencia:

$$\frac{b}{y} = 2 \quad \text{Para un canal rectangular.}$$

$$b = 2*y$$

$$A = b*y \quad y \quad R = \frac{b*y}{b + (2*y)}$$

Entonces

$$A = 2*y^2$$

$$R = \frac{y}{2}$$

Despejando la ecuación de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} (2*y^2) \left( \frac{y}{2} \right)^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

n = Rugosidad

y = Tirante m.

S = pendiente del canal m/m.

Por lo que el tirante “y” se lo obtendrá mediante iteraciones sucesivas.

## 2. 1.- CONSIDERACIONES GENERALES

Los componentes de las estructuras de ferrocemento se diseñarán usando cargas de servicio y esfuerzos permisibles de carga de servicio, en concordancia con las especificaciones técnicas establecidas en la presente tesis, para ello se tendrá en cuenta de que: El diseño por resistencia de elementos sometidos a flexión y carga axial debe basarse en las hipótesis dadas en III.1.1. a III.1.6., y debe satisfacer las condiciones de equilibrio y de compatibilidad de deformaciones.

**2.1.1.** Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el concreto deben suponerse directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro.

**2.1.2.** La máxima deformación unitaria utilizable del concreto,  $\epsilon_{cu}$ , en la fibra extrema sometida a compresión, se asumirá igual a 0.003.

**2.1.3.** El esfuerzo en el refuerzo deberá tomarse como  $E_s$  veces la deformación unitaria del acero.

Para deformaciones unitarias en el refuerzo mayores que las correspondientes a  $f_y$ , el esfuerzo se considerará independiente de la deformación unitaria e igual a  $f_y$ .

**2.1.4.** La resistencia a la tracción del concreto no debe considerarse en los cálculos de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión y a carga axial, excepto cuando se cumplan los requisitos:

**1.** Los esfuerzos en el concreto inmediatamente después de la transferencia del preesforzado (antes de las pérdidas de preesfuerzo que dependen del tiempo) no deben exceder los valores siguientes:

- (a) Esfuerzo en la fibra extrema en compresión..... $0.60 f' c' i$
- (b) Esfuerzo en la fibra extrema en tracción, salvo lo permitido en (c).....  $0.25 f' c' i$
- (c) Esfuerzo en la fibra extrema en tracción en los extremos de elementos simplemente apoyados .....  $0.50 f' c' i$

Donde los esfuerzos de tracción calculados,  $f_t$ , excedan los límites señalados en (b) o (c), deberá colocarse refuerzo adicional adherido (no preesforzado o preesforzado) en la zona de tracción, para resistir la fuerza total de tracción en el concreto, calculada con la suposición de sección no fisurada. El refuerzo adicional se determinará sobre la base de un esfuerzo admisible de  $0.6 f_y$ , sin exceder de 210 MPa.

**2.** Para los elementos preesforzados sometidos a flexión Clase U y Clase T, los esfuerzos en el concreto bajo las cargas de servicio (después de haber ocurrido todas las pérdidas de preesforzado), no deben exceder los valores siguientes:

(a) Esfuerzo en la fibra extrema en compresión debido al preesforzado y a las cargas sostenidas en el tiempo.....  $0.45 f'_c$

(b) Esfuerzo en la fibra extrema en compresión debida al preesforzado y al total de las cargas .....  $0.60 f'_c$

**3.** Se pueden exceder los esfuerzos admisibles del concreto indicados en 1 y 2 si se demuestra mediante ensayos o análisis que no se perjudica el comportamiento del elemento bajo condiciones de servicio.

**2.1.5.** La relación entre la distribución de los esfuerzos de compresión en el concreto y la deformación unitaria del concreto se debe suponer rectangular, trapezoidal, parabólica o de cualquier otra forma que permita una predicción de la resistencia que coincida con los resultados de ensayos de laboratorio representativos.

**2.1.6.** El requisito de III.1.5. se satisface si se asume una distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto, definida como sigue:

**2.1.6.1.** Un esfuerzo en el concreto de  $0.85 f'_c$  uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente, limitada por los bordes de la sección transversal del elemento y por una línea recta paralela al eje neutro, a una distancia  $a = \beta_1 c$  de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión.

**2.1.6.2.** La distancia desde la fibra de deformación unitaria máxima en compresión al eje neutro,  $c$ , se debe medir en dirección perpendicular al eje neutro.

**2.1.6.3.** Para  $f'c$  entre 17 y 28 MPa, el factor  $\beta_1$  se debe tomar como 0.85. Para  $f'c$  mayor o igual a 56 MPa,  $\beta_1$  se debe tomar como 0,65. Para  $f'c$  entre 28 y 56 MPa se debe interpolar linealmente entre 0.85 y 0.65.

**a) Recomendaciones para la proyección de elementos de ferrocemento.-**

Una particularidad de las estructuras de ferrocemento es el pequeño espesor de los elementos que, en general, no debe ser menor a 1.2 cm. ni superior a los 5.0 cm. Sin embargo, en obras especiales como en los de puentes de carreteras se permite llevar el espesor de los elementos portantes hasta 10 – 12 cm. En cualquier caso la tolerancia máxima admitida es de 3 mm. no excediendo un 10% del espesor total.

En las losas de pequeño espesor no destinadas para soportar cargas exteriores, el refuerzo que se coloca por requerimiento constructivo generalmente es de una o dos telas de mallas de celdas pequeñas. En las losas que soportan cargas exteriores, el refuerzo debe utilizarse de acuerdo con el cálculo en este caso es deseable un refuerzo combinado con telas de mallas de celdas pequeñas que se colocan en las capas exteriores y una retícula de alambres colocados entre las mallas. Lo anterior se refiere a las placas y a las losas de paredes delgadas (planas, cilíndrica y de doble curvatura) que son los elementos aislados o que forman parte de estructuras nervadas.

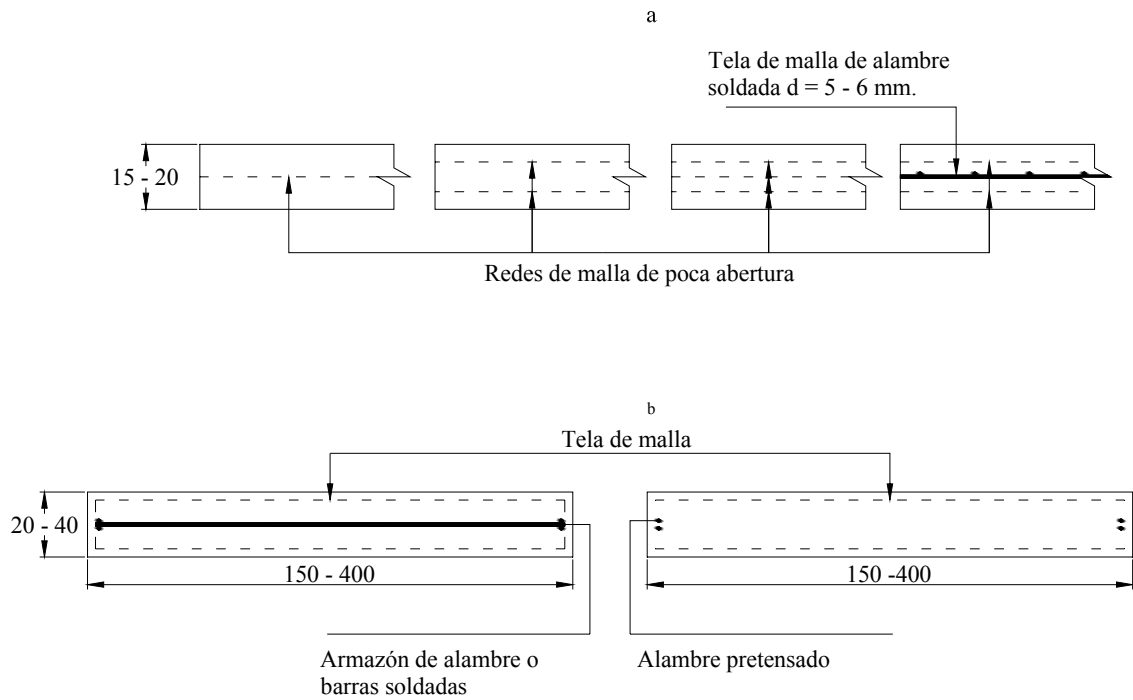


Figura. 11. Tipos de refuerzo

Los nervios de las estructuras de ferrocemento (losas nervadas, losas de cubierta, losas nervadas de cubierta) que se utilizan para fabricar edificios, se refuerzan frecuentemente con armaduras electrosoldadas sin utilizar telas de mallas de celdas pequeñas.

Los tableros de ferrocemento de sección rectangular, en T y en doble T, en forma de U y los elementos en forma de cajón cerrado utilizado en forma de vigas, pueden llevar tres tipos de refuerzo: telas de mallas de celdas pequeñas; armaduras electrosoldadas o no y armadura pretensada. Para ésto es necesario tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Telas de malla de celdas pequeñas: se colocan en las capas externas del mortero.
2. Armadura electrosoldada o no: conforma un esqueleto rígido para la preparación y sujeción de la tela de mallas.
3. Armadura pretensada: está más alejada de la superficie del mortero y se coloca de forma uniforme en la sección del elemento. No se deben utilizar grandes fuerzas

de pretensado para evitar la compresión irregular del mortero. El espesor del recubrimiento del mortero se dará en dependencia del tipo de armadura.

- Para las telas de mallas de celdas pequeñas: 3 – 6 mm. en dependencia del medio ambiente.
- Para la armadura de barras y alambre: 8 mm. en el espesor del recubrimiento no se admitirán variaciones mayores de  $\pm 1$  mm.

La dimensión del recubrimiento en los bordes de los elementos para todos los tipos de armadura, excepto las telas de mallas de celdas pequeñas, debe ser no menor a 5 mm.; para la pretensada, no menor de 10 mm. o dos veces el diámetro de la armadura.

En la proyección de los elementos de ferrocemento se recomienda eliminar los ángulos agudos. La unión de las losas con los nervios debe realizarse con líneas suaves.

La separación entre los elementos de la armadura tensada (alambres, barras, torones, cables) debe ser no menor de tres diámetros (3d).

Todos los tipos de armadura utilizados en las estructuras de ferrocemento deben quedar bien adheridos con el mortero a todo lo largo y como regla no son necesarios los anclajes mecánicos. Las barras de armadura de perfil periódico, así como las barras de perfil liso en las armaduras preensambladas y las telas de mallas, se utilizan sin necesidad de ganchos en los extremos. Sin embargo, para asegurar un anclaje fiable en el mortero, teniendo en cuenta los esfuerzos que surgen en las secciones del elemento, es necesario absorber determinadas recomendaciones constructivas para las losas de ferrocemento que se apoyan libremente en los apoyos:

- Se toma la longitud del apoyo de la losa  $l_{ap}$  no menor de  $3t$  o de 40 mm. ( $t$  es el espesor de la losa).
- El solape de la armadura sobre el apoyo ( $a$ ) no debe ser menor de  $20d$  para las mallas soldadas y de  $30d$  para las mallas tejidas; con refuerzo combinado se toma  $15d$ .

- Al apoyo deben pasar no menos de dos alambres transversales de la malla.

En los nervios y las alas inferiores de las vigas simplemente apoyadas de ferrocemento, las barras en tracción de la armadura longitudinal deben entrar al eje de apoyo en no menos de  $10d$ .

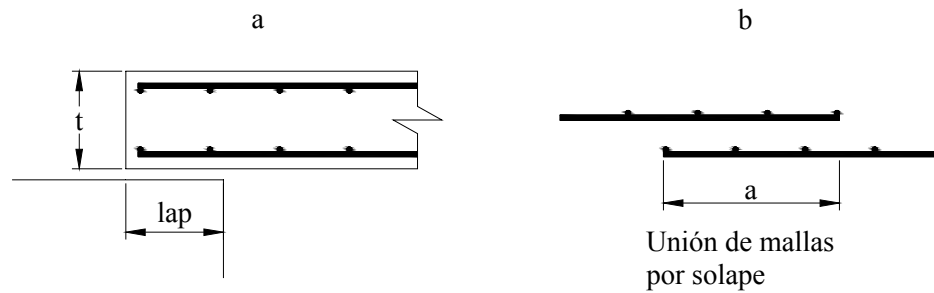


Figura 12. Longitud de apoyo y solape

En las estructuras de ferrocemento se recomienda prolongar las barras en compresión y en tracción de la armadura longitudinal desde donde ellas se calculan con las resistencia completa, en no menos de un valor de  $22d$ ., para morteros de 30 Mpa o superior a un valor de  $25d$ ., para morteros de 20 – 30 Mpa.

Si utilizan aceros de alta resistencia hay que aumentar la longitud correspondiente en 5 mm.

Los empalmes de las telas de mallas de tracción en el sentido de trabajo deben tener una longitud de solape de las telas de mallas tejidas no menor de 100 mm. y comprenderá no menor de 6 mallas; en las soldadas no menor de 60 mm. y no menos de 4 mallas, en el caso de las telas de mallas en compresión será de 50 y 30 mm. respectivamente. El número de las telas de malla solapadas no debe constituir más del 50 % de la sección total de las telas en tracción.

#### **b) Recomendaciones generales para el cálculo.-**

Sobre la base de las normas establecidas en cuba para el cálculo de las estructuras de ferrocemento proponemos dos métodos en dependencia del estado límite establecido para la estructura. Con vistas a predecir el comportamiento del ferrocemento bajo

condiciones de carga de servicio se acepta un análisis elástico similar al utilizado en la resistencia de materiales teniendo en cuenta que el módulo de elasticidad de la tela de mallas de acero puede ser diferente al del alambre de acero.

La carga última puede también ser predecida para los elementos en flexión, analizando el ferrocemento como un elemento de hormigón armado utilizado el método de los estados límites. Para elementos en tracción, la resistencia última puede ser estimada por la capacidad resistente del acero en la dirección de la carga.

Hay que considerar como estado límite aquel estado de la estructura con el comienzo del cual ella pierde la capacidad portante (rotura, pérdida de estabilidad) o deja de satisfacer los requisitos establecidos para su explotación (desarrollo excesivo de deformaciones y grietas). En el primer caso utilizaremos para el cálculo, el método de los estados límites; para el segundo las formulaciones de la resistencia de los materiales al considerar el ferrocemento como un material homogéneo y elástico.

### **CONDICIONES BÁSICAS PARA EL CÁLCULO**

La determinación de los esfuerzos y el cálculo de los estados límites en las estructuras y elementos aislados, se realizan para las combinaciones más desfavorables posibles de las cargas de peso propio y de la carga externa, teniendo en cuenta la duración de su acción en todas las etapas del trabajo de la estructura: preparación, trasportación, montaje y explotación.

En el cálculo de las estructuras prefabricadas hay que tener en cuenta la influencia de los esfuerzos que surgen durante su despegue, su trasportación y montaje.

A la resistencia al agrietamiento de las estructuras de ferrocemento, en dependencia de las condiciones de trabajo y del tipo de armadura utilizada, se le plantean requisitos de dos categorías:

- a) primera categoría: no se permiten la formación de grietas.
- b) Segunda categoría: se permite la abertura por corto tiempo, limitándose el ancho de las grietas.

## CRITERIOS DE DISEÑO

Cualquier recomendación relacionada con el diseño de estructuras de ferrocemento dependerá del tipo de aplicación y deberá estar basada en un análisis racional a partir de los resultados de ensayos. Sin embargo, teniendo el estado actual del conocimiento sobre el ferrocemento y excepto para aplicaciones especiales donde es necesario un preciso análisis para garantizar el trabajo con seguridad, la siguiente guía para el ferrocemento hecho con mortero y tela de mallas de alambre de acero con o sin acero de esqueleto, lleva a un satisfactorio resultado.

a) Se tomará el diagrama simplificado para la curva  $\sigma$  vs  $\epsilon$  en el acero.

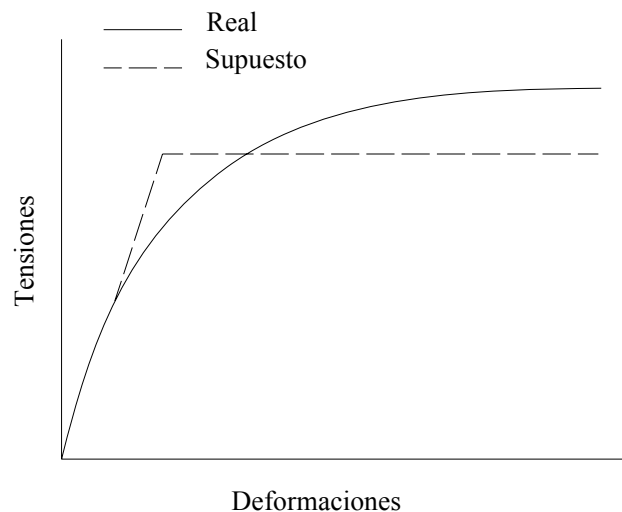


Figura 13. Deformación del acero

b) La fracción de volumen de refuerzo  $V_f$  (relación volumen de acero/volumen de mortero) en ambas direcciones, no debe ser menor a 1,8 %. La superficie específica total del refuerzo  $S$  (Relación entre el área superficial del acero y el volumen de mortero) no debe ser menor que  $0.5 \text{ cm}^2$  por  $\text{cm}^3$ . Se recomienda utilizar como mínimo para depósitos de agua el doble de este valor. Para obtener la superficie específica del refuerzo no es necesario tener en cuenta el acero de

esqueleto en caso de que exista, mientras que si debe ser considerado en el conjunto de  $V_f$ .

- c) El recubrimiento mínimo neto recomendado para el refuerzo es de alrededor de 3 mm. sin embargo, un menor valor puede ser usado si se prevé que el acero sea galvanizado, la superficie sea protegida y el ancho de grieta esté limitado a un valor bajo.

Se recomienda que para espesores mayores a 12.5 mm. el recubrimiento neto no deba exceder de  $1/5$  del espesor o 5 mm. con vista a asegurar una apropiada distribución de la malla en todo el espesor. Sin embargo el recubrimiento estará dado en primera instancia por el medio ambiente y se recomienda:

Para ambiente protegido      3 mm.

Para ambiente expuesto      4 mm.

Para ambiente agresivo      5 mm.

Para ambiente muy agresivo 6 mm.

- d) Para el elemento dado de ferrocemento (sin refuerzo de esqueleto) de espesor “ $t$ ”, la abertura de la malla “ $s$ ” no debe ser mayor que “ $t$ ”, por otro lado el número de telas de mallas “ $n$ ” debe ser como mínimo dos.

De forma general la dimensión de la abertura de la malla no debe ser superior a:

Para mallas soldadas      50 mm.

Para mallas tejidas      25 mm.

Para mallas torcidas      30 mm.

Si se utiliza refuerzo de esqueleto es recomendable que éste no ocupe más del 50 % del espesor del material.

- e) Si se utiliza el método de diseño elástico, los refuerzos permisibles para los materiales constitutivos  $\sigma$  y para el conjunto, tienen que ser especificados. Los valores referidos son dados y descritos en la tabla.

Tabla 18. Tensiones permisibles de tracción en el acero

Estructuras de depósito de agua	$\sigma_a = 0.50 R_a$
Otras estructuras	$\sigma_a = 0.60 R_a$

Los esfuerzos a la tensión permisibles en el acero pueden ser generalmente tomados como  $0.60 R_a$ , donde  $R_a$  es la tensión en el límite elástico. Para elementos de ferrocemento sometidos a tracción, una tensión permisible para el conjunto de 5 MPa. (50 Kg./cm<sup>2</sup>.) se puede utilizar como una primera aproximación para determinar el espesor  $t$  requerido por el elemento si se usa tela de mallas cuadradas soldada, si es hexagonal se recomienda una tensión de 3.5 MPa. (35 Kg./cm<sup>2</sup>.) de fijarse el refuerzo puede utilizarse el valor dado por la expresión dada en el epígrafe g.

- f) El refuerzo de compresión permisible en el compuesto puede ser tomado como  $0.45 R'_b$ , es la resistencia de compresión del mortero.
- g) Aunque el diseño de estructuras de ferrocemento está basado en limitaciones a los esfuerzos o criterios de resistencia, el concepto de serviciabilidad, aceptable comportamiento bajo carga de servicio durante la vida útil de la estructura, se está haciendo común.

La serviciabilidad en estructuras de hormigón se relaciona a menudo con el comportamiento al agrietamiento y ancho de grietas. El término resistencia de la primera grieta aparece frecuentemente en la literatura en el comportamiento del ferrocemento a la tracción y a la flexión, pero su uso sin una clara definición sobre qué se entiende por primera grieta es desafortunado, pues se entienden según el país y el estudio realizado, grietas desde 0.005 mm. hasta la grieta visible de 0.03 – 0.1 mm.. En lo que si hay acuerdo independiente de la definición es que en tracción directa y en flexión, la resistencia al agrietamiento se incrementa con la superficie específica del acero en la dirección cargada. En el caso de flexión la superficie específica se refiere a la correspondiente zona traccionada solamente.

En general, la resistencia al agrietamiento del ferrocemento aumenta desde un límite inferior correspondiente a la resistencia del mortero hasta valores mayores proporcionales a la superficie específica.

$$\sigma_{agr.} = K * S_I + R_b$$

Siendo:

- $\sigma_{agr.}$ : Resistencia al agrietamiento en MPa.
- K: Coeficiente que depende de varios factores entre otros el árido utilizado, el curado, el tipo de malla y su orientación, el tipo de solicitación, etc. de no disponer de otros valores se recomienda tomar  $K = 20$  para tracción directa y  $K = 35$  en flexión.
- $S_I$ : Superficie específica de la zona traccionada en la dirección longitudinal, que en la fórmula se aplica en 1/mm.
- $R_b$ : Resistencia a la tracción directa o tracción por flexión del mortero según corresponda, dada en MPa.

Para la protección contra la corrosión y el aseguramiento de la adherencia entre la armadura y el mortero, este no se admite con una resistencia menor de 25 MPa. (250 Kg./cm<sup>2</sup>).

### **MÉTODO DE CÁLCULO UTILIZANDO LAS FORMULACIONES DE LA RESISTENCIA DE MATERIALES**

El material sometido a elongación y contracción sigue la ley de Hooke, pero los módulos de elasticidad en tracción y compresión son diferentes.

El material se considera homogéneo aun después del agrietamiento considerándose la sección completa del elemento.

- **TRACCIÓN DIRECTA**

Considerando el ferrocemento como material homogéneo hasta la ocurrencia de grietas con aberturas de 0.1 mm. la fuerza resistente de la sección vendrá dada por la conocida ecuación.

$$F_t = \sigma_{ft} * A \quad (1)$$

Donde:

A: Área de la sección transversal del elemento de ferrocemento.

F<sub>t</sub>: Fuerza resistente a la tracción directa de un elemento de ferrocemento para una abertura de grieta hasta 0.1 mm.

σ<sub>ft</sub>: Resistencia del ferrocemento a la tracción.

- **COMPRESIÓN DIRECTA**

La fuerza resistente a compresión vendrá dada por la ecuación:

$$F_c = \sigma_{fc} * A \quad (2)$$

Donde:

F<sub>c</sub>: Fuerza resistente del elemento en compresión.

σ<sub>fc</sub>: Resistencia del ferrocemento a compresión.

- **FLEXIÓN EN SECCIONES RECTANGULARES**

En la figura se representa la variación de las tensiones a lo alto de la sección, considerando el caso más general:

$$E_{fc} = E_{ft} \quad (3)$$

Las ecuaciones generales de equilibrio son:

$$\int_A \sigma dA = 0$$

$$\int_A \sigma dA = M \quad (4)$$

La expresión para la máxima tensión a compresión o tracción vendrá dada por:

$$\begin{aligned}\sigma_{fc} &= \epsilon_{fc} E_{fc} \\ \sigma_{fc} &= \epsilon_{fc} E_{fc}\end{aligned}\quad (5)$$

pero como  $\epsilon_{fc} = h_c \phi$  y conociendo que  $\phi = \frac{1}{\rho}$ , sustituyendo en 5:

$$\sigma_{fc} = \frac{E_{fc} * h_c}{\rho}\quad (6)$$

Similarmente:

$$\sigma_{ft} = \frac{E_{ft} * h_t}{\rho}\quad (7)$$

Para la sección rectangular, la ecuación de fuerzas de equilibrio (4) se desarrolla de la siguiente forma:

$$\frac{1}{2} * \sigma_{fc} * h_c * b = \frac{1}{2} * \sigma_{ft} * h_t * b\quad (8)$$

Sustituyendo las ecuaciones (6) y (7) en la ecuación (8) tenemos que:

$$E_{fc} * h_c^2 = E_{ft} * h_t^2\quad (9)$$

Pero como  $h_t = h - h_c$  y llamado a la relación de módulos:

$$\eta = \frac{E_{fc}}{E_{ft}}\quad (10)$$

Tenemos que la ecuación (9) se transforma:

$$\begin{aligned}E_{fc} * h_c^2 &= E_{ft} * (h - h_c)^2 \\ H_c^2 * (\eta - 1) + 2 h * h_c - h^2 &= 0\end{aligned}\quad (11)$$

Lo que define la posición del eje neutro. También de la ecuación (9):

$$\frac{h_t^2}{h_c^2} = \eta$$

Y de aquí:

$$h_c = \frac{h}{1 - \sqrt{\eta}} \quad \text{o} \quad h_t = \frac{h * \sqrt{\eta}}{1 + \sqrt{\eta}} \quad (12)$$

La ecuación de equilibrio de momento (4):

$$M = \frac{1}{3} * \sigma_{fc} * b * h_c^2 + \frac{1}{3} * \sigma_{ft} * b * h_t^2 \quad (13)$$

De la figura:

$$\sigma_{fc} = \eta * \sigma_{ft} * \frac{h_c}{h_t} \quad (14)$$

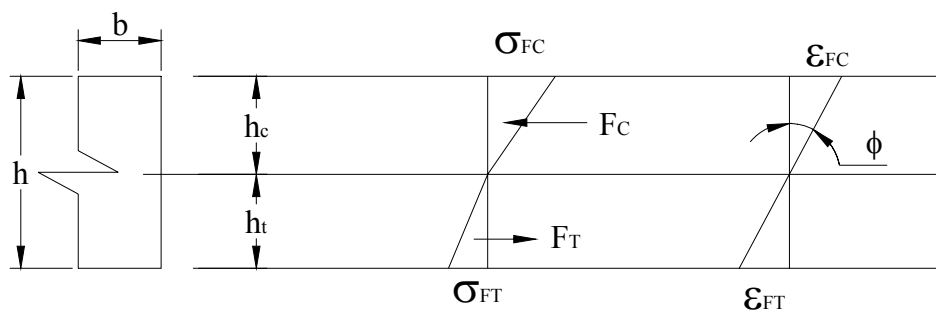
Y tomando en cuenta la ecuación (10), la (13) puede transformarse en:

$$M = \sigma_{ft} * \frac{b * h^2}{6} * W_w \quad (15)$$

Siendo:

$$W_w = \frac{6}{h_t} \left( \frac{\eta * h_c^3}{3 * h^2} + \frac{h_t^3}{3 * h^2} \right) \quad (16)$$

Coefficiente que rectifica el módulo de la sección de ferrocemento teniendo en cuenta las características del mismo.



Se propone para la relación  $\eta$  de no contar con valores más precisos.

$$\sigma \leq 3.5 \text{ MPa} \quad \eta = 1$$

$$3.5 < \sigma < 5.0 \quad \eta = 1 - 3$$

$$5.0 < \sigma < 7.0 \quad \eta = 3 - 4$$

## **CÁLCULO POR EL MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES**

Análisis y diseño de secciones sometidas a tracción, compresión y flexión por el método de los estados límites

### **• TRACCIÓN DIRECTA**

El mortero se considera agrietado no tomando tracciones, la fuerza de tracción directa la toma el acero.

$$N^*_T = A_a * R^*_a \quad (17)$$

Donde:

$R^*_a$  = es la resistencia de cálculo del acero a tracción.

$A_a$  = área total del acero.

$N^*_T$  = Fuerza de tracción de cálculo.

### **• COMPRESIÓN DIRECTA**

La resistencia a compresión de la sección está dada por la resistencia del mortero y se calcula por la ecuación.

$$N^*_C = R^*_b * A \quad (18)$$

Donde:

$R^*_b$  = Resistencia de cálculo a compresión del mortero.

$A$  = área de la sección transversal.

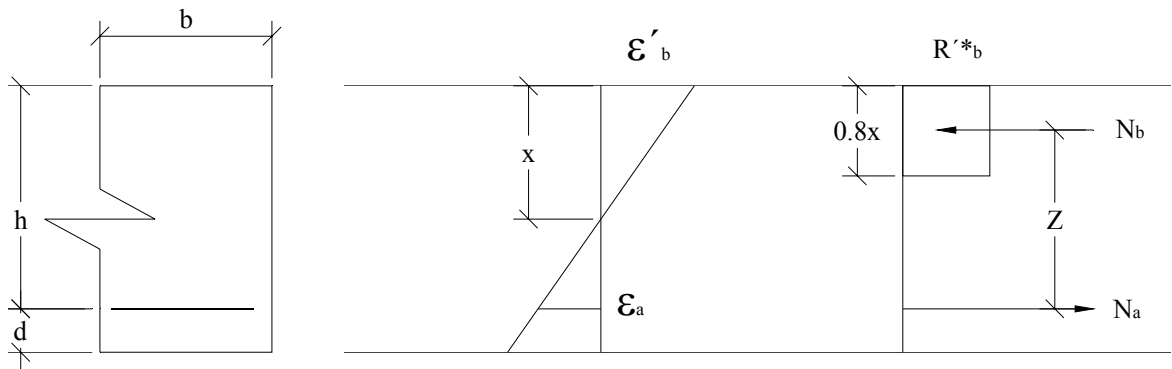
$N^*_C$  = Fuerza de compresión de cálculo.

### **• FLEXIÓN**

Considerando para la sección dada las siguientes hipótesis.

- Las deformaciones son proporcionales a la distancia de la línea neutra.
- Se toma el rectángulo equivalente para el diagrama de tensiones de compresión de mortero.
- La deformación máxima del mortero a compresión es  $\epsilon'_b = 0.0035$ .

Caso de acero en la zona traccionada según figura.



De la ecuación de equilibrio de fuerzas y considerando  $x = k * h$  obtenemos:

$$N_a = N_b$$

ó

$$A_a * R^*_a = 0.8 * R'^*_b * b * k * h \quad (19)$$

De la ecuación de equilibrio de momentos.

$$M_u = N_a * Z$$

$$M_u = A_a * R^*_a * h * (1 - (0.4 * k)) \quad (20)$$

Y de (19) y (20)

$$M_u = 0.8 * R'^*_b * b * h^2 * k * (1 - (0.4 * k)) \quad (21)$$

$M_u$  se deberá tomar a 1.5 ó 1.6 veces el momento de diseño  $M_d$ .

## 2.2.- CONTROL DE CALIDAD

Requerimientos generales.- Para obtener un mortero que cumpla con las resistencias de diseño, indicadas en se tomará las siguientes condiciones, y con las especificaciones sobre los materiales señaladas en esta Tesis, se debe tener un control estricto en la selección de los materiales, dosificación, preparación del mortero, métodos de colocación y curado, con la finalidad de que el producto resultante permita obtener una adecuada resistencia a la compresión, impermeabilidad, resistencia al ataque de agentes internos y externos para prolongar la durabilidad de la estructura.

Propiedades del mortero.-

Densidad media del mortero  $\delta_m \geq 2\ 200\ \text{kg/m}^3$

Tamaño máximo del agregado = 5 mm.

Capacidad de absorción del agua < 8%

La densidad del mortero que debe tomarse para el cálculo depende de la cantidad de acero de armadura utilizada, por ejemplo:

$\delta_m = 2\ 300\ \text{kg/m}^3$  (cuando las celdas de las mallas son pequeñas)

$\delta_m = 2\ 400\ \text{kg/m}^3$  (cuando se usan dos mallas)

$\delta_m$ , se incrementa 50 kg/m<sup>3</sup> por cada malla adicional

Valores de la resistencia de diseño  $f^c$

Las estructuras de ferrocemento, trabajaran a una resistencia especificada a la compresión mínima, ensayada a los 28 días de curado en ambientes húmedos:

$f^c \geq 250\ \text{kg/cm}^2$  (25 MPa), en cilindros de de 75 por 150 mm

$f^c \geq 2.300\ \text{kg/cm}^2$  (30 MPa), en testigos Cubos de 100 mm

Selección de la proporción de mortero

Para la preparación del mortero, la cantidad de materiales debe preferiblemente estar determinada por peso, debe responder a los resultados obtenidos de los ensayos para una resistencia determinada de diseño, debiendo estar entre los siguientes rangos:

- a) Relación en peso de: **agregado/cemento: 1.5 a 2**; es decir, debe emplearse una proporción en peso equivalente a una parte de cemento por 1.5 a dos partes de arena.
- b) Relación en peso de: agua/cemento (a/c): 0.35 a 0.5; puede optarse por:
- o **0.4** si la arena es bien graduada, y se vibra
  - o **0.5** si se coloca a mano y la arena es angulosa

La relación agua-cemento debe mantenerse lo más baja posible, para darle al material calidad y trabajabilidad adecuada, por lo cual se recomienda que la relación a/c  $\leq$  **0.45**.

La humedad contenida en el agregado condiciona el cálculo de agua requerida.

Consistencia del mortero

Una buena compacidad del mortero se consigue cuando la mezcla es lo más densa posible y sea capaz de aplicarse en su totalidad al interior de las mallas; para ello normalmente el Slump (ensayo del cono de Abrams) del mortero fresco no debe exceder 50 mm.

### **Calidad del refuerzo**

Requerimientos generales

Para establecer una adecuada selección del tipo de refuerzo a emplearse en estructuras de ferrocemento, se debe conocer sus características resistentes, tales como esfuerzo de fluencia y módulo de elasticidad.

Valores de resistencia del refuerzo

Para su determinación, se adoptarán los siguientes criterios:

- a) Los valores mínimos de resistencia a la fluencia y módulo efectivo de mallas no deben ser menores que los especificados en la tabla

**Valores mínimos de resistencia a la fluencia y módulos efectivos para mallas y barras de acero, utilizadas para construcción de ferrocemento.**

Características		Malla				Barras longitudinales
		Cuadrada		Hexagonal	Metal Expandido	
		Tejida	Soldada			
Esfuerzo de Fluencia	$f_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	4550	4550	3150	3150	4200
Módulo Efectivo	$E_{fL}$ (10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	1400	2030	1050	1400	2030
	$E_{fT}$ (10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	1680	2030	700	700	-----

TABLA 19. Fuente “Ferrocemento diseño y construcción” Autor DR. ING. HUGO WAINSHOTK

Para el empleo de otro tipo de refuerzo deberá determinarse sus características resistentes mediante ensayos de laboratorio o especificaciones proporcionadas por el fabricante.

### Superficie específica

La superficie específica se define como el área total del refuerzo por unidad del volumen del compuesto.

Para malla cuadrada o rectangular la superficie específica puede ser calculada mediante:

$$S = \frac{\pi * \phi * n * \left( \frac{1}{d_L} + \frac{1}{d_T} \right)}{t} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

Donde:

$\phi$  : Diámetro del alambre de la malla en cm.

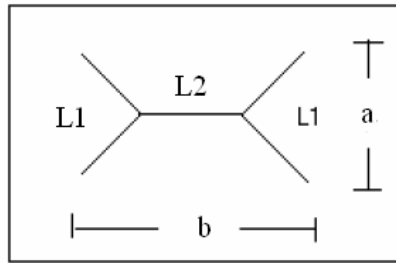
$d_L$ : Espaciamiento de centro a centro del alambre longitudinal en cm.

$d_T$ : Espaciamiento de centro a centro del alambre transversal en cm.

$n$ : Número de capas de malla

$t$  : Espesor de la sección en cm.

Para malla hexagonal la superficie específica puede ser calculada mediante:



$$S = \frac{\pi * \phi * n * (4L1 + 2L2)}{a * b * t} \quad (\text{cm}^{-1})$$

Donde:

$\phi$  : Diámetro del alambre de la malla en cm.

L1 : Longitud total del alambre del extremo en cm.

L2 : Longitud del alambre intermedio en cm.

b : Separación horizontal entre alambres en cm.

a : Separación vertical entre alambres en cm.

n : Número de capas de malla

t : Espesor de la sección en cm.

Para un ferrocemento empleando mallas cuadradas, SI se divide en  $SI_L$  y  $SI_T$ , en la dirección longitudinal y transversal respectivamente.

### Volumen del refuerzo

Se define como la fracción del volumen total del refuerzo por unidad de volumen del compuesto.

Para malla cuadrada o rectangular el volumen de refuerzo, puede calcularse como:

$$V_r = \frac{25 * \pi * \phi^2 * n * \left( \frac{1}{d_L} + \frac{1}{d_T} \right)}{t} \quad (\%)$$

Donde:

$\phi$  : Diámetro del alambre de la malla en cm.

$d_L$ : Espaciamiento de centro a centro del alambre longitudinal en cm.

$d_T$ : Espaciamiento de centro a centro del alambre transversal en cm.

n: Número de capas de malla

t : Espesor de la sección en cm

Para malla hexagonal el volumen de refuerzo, puede calcularse de:

$$V_r = \frac{\pi * \phi^2 * L * n}{4 * a * b * e} + \frac{\pi * \phi_b^2 * l * n_b}{4 * l_1 * l_2 * e} \quad (\%)$$

Donde:

$\phi$  : Diámetro del alambre de la malla en cm.

$\phi_b$  : Diámetro de la barra de soporte en cm.

L :  $4L_1 + 2L_2$

$L_1$  : Longitud total del alambre del extremo en cm

$L_2$  : Longitud del alambre intermedio en cm

b : Separación horizontal entre alambres en cm.

a : Separación vertical entre alambres en cm.

n : Número de capas de malla

$n_b$  : Número de barras en la sección del compuesto.

t : Espesor de la sección en cm.

$l, l_2$  : sección del compuesto cm.

### **2.3.- METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA**

La primera fase de aplicación de este procedimiento constructivo incluye la colocación de las armaduras que van a ser embebidas posteriormente con mortero.

Las armaduras utilizadas para este objeto son de tres tipos principales:

- Las armaduras estructurales, es decir, las necesarias por razones de diseño de la pieza en construcción.
- Armadura de soporte suplementario, llamadas armaduras discretas, que están también constituidas por acero de tipo estructural de pequeño diámetro, generalmente entre 4 y 12 mm. Complementan el rol de las armaduras estructurales, pero su papel principal es servir de soporte a las mallas que se describen en el párrafo siguiente.
- Mallas descritas en el primer punto, llamadas también armaduras difusas, que van uniformemente distribuidas en varias capas en la masa del elemento, las cuales sirven de soporte al mortero que rellena finalmente la pieza, apoyándose en las armaduras de soporte.

Su cantidad debe ser fijada de manera que, por una parte, proporcione un soporte adecuado al mortero, pero dejando los huecos necesarios para que este penetre y rellene con facilidad el espacio interior.

Deben ir además firmemente adheridas las armaduras de soporte mediante amarras de alambre espaciadas a no más de 30 cm. entre sí o mediante puntos de soldadura, de manera de construir un conjunto que mantenga inalterable su posición durante la colocación del mortero. Su cuantía oscila entre 1 y 8% según sea la magnitud de la pieza a construir.

Una vez colocadas las armaduras, se procede a la aplicación del mortero. Este debe ser dosificado en una proporción cemento / arena = 1:1.5 ó 2.5 en peso, la cual se elige de manera de tener una razón agua / cemento que, asegurando la fluidez necesaria para permitir la fácil penetración del mortero, permita obtener la resistencia especificada para el mortero.

Su colocación se efectúa generalmente en forma manual, depositando el mortero sobre mallas de armadura difusa y presionando con una llana para lograr la mayor compacidad posible. Esta colocación puede efectuarse en una o dos etapas.

- En el primer caso, el mortero atraviesa todo el espesor del elemento, partiendo

desde una cara hasta aparecer por la opuesta.

- En el método en dos capas, el mortero se coloca desde una cara hasta aproximadamente la mitad del espesor, completando la colocación del resto aproximadamente una semana después de colocada la primera.

La terminación superficial se obtiene aislando la superficie en forma manual o bien con el empleo complementario de los moldes provisorios mientras se compacta.

La compactación del mortero se efectúa por vibración para eliminar al máximo posible el aire atrapado, y se complementa con la compactación manual durante la colocación.

La metodología descrita puede ser aplicada directamente en sitio o bien para la construcción de elementos prefabricados, lo cual aumenta el grado de sus posibilidades de aplicación.

#### **a) Armado del acero del esqueleto**

El acero del esqueleto consta de varillas de hierro, pudiendo ser de diámetro desde 4 hasta 12 cm. en este caso se toma varillas de 6 cm. de diámetro, las varillas principales se las pondrá transversal al canal, las mismas que se las determinará mediante una separación “s”. Cada varilla principal forma una “U” la misma que su base estará determinada por el ancho del canal más 2 veces el recubrimiento ( $b+2R$ ), así mismo la altura estará determinada de acuerdo al tirante del canal más el borde libre más el recubrimiento ( $y+BL+R$ ).

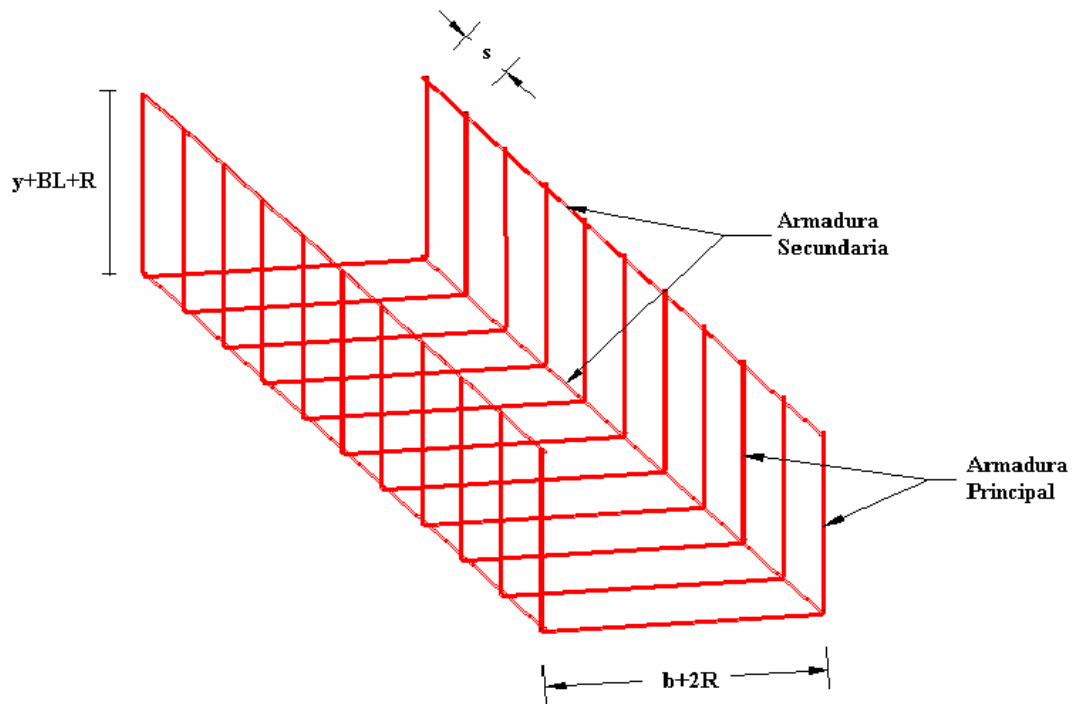


Figura 14. Armadura del esqueleto

La armadura secundaria podrá ser colocada o no, ya que las mismas solamente sirven de soporte tanto a la armadura principal, como a la malla.

#### b) Colocación de las mallas hexagonales

El colocado de la malla de alambre se la pondrá de acuerdo a la cantidad de  $N^{\circ}$  de capas que se requiera, las mismas podrán ser aseguradas con alambre de amarre en los puntos que así se requiera, podrá ir de tal manera que envuelva a toda la armadura, tanto principal como la secundaria, tanto en los laterales como en la base, el número de capas se las podrá poner en partes iguales tanto en el anverso como en el dorso de la armadura, si llegara a ser el número de capas impar entonces se colocará en el anverso de la armadura la mayor parte, o sea una más que en el dorso.

Se debe tener muy en cuenta de no poner mucha malla de alambre, ya que si colocamos demasiado podría no permitir el ingreso de mortero entre las mallas, lo que posibilitaría la inclusión de aire dentro de nuestra armadura de ferrocemento.

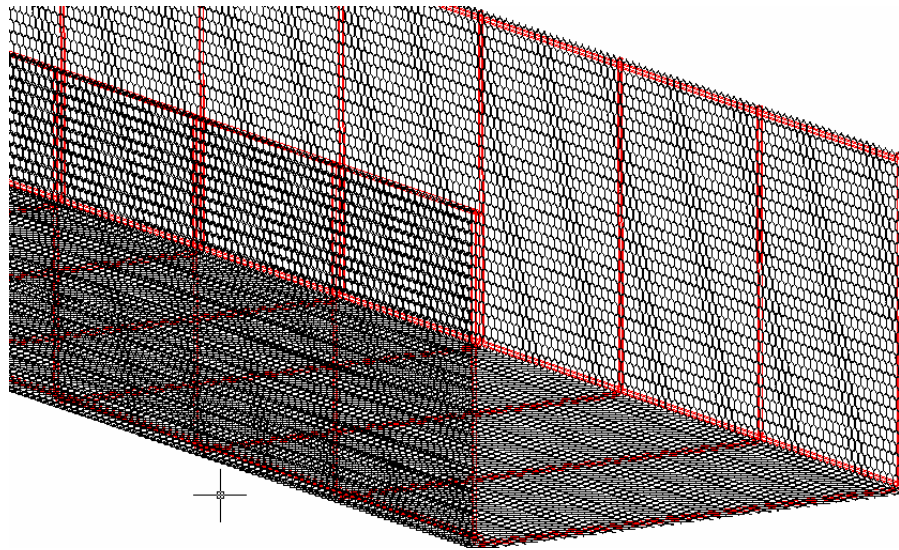
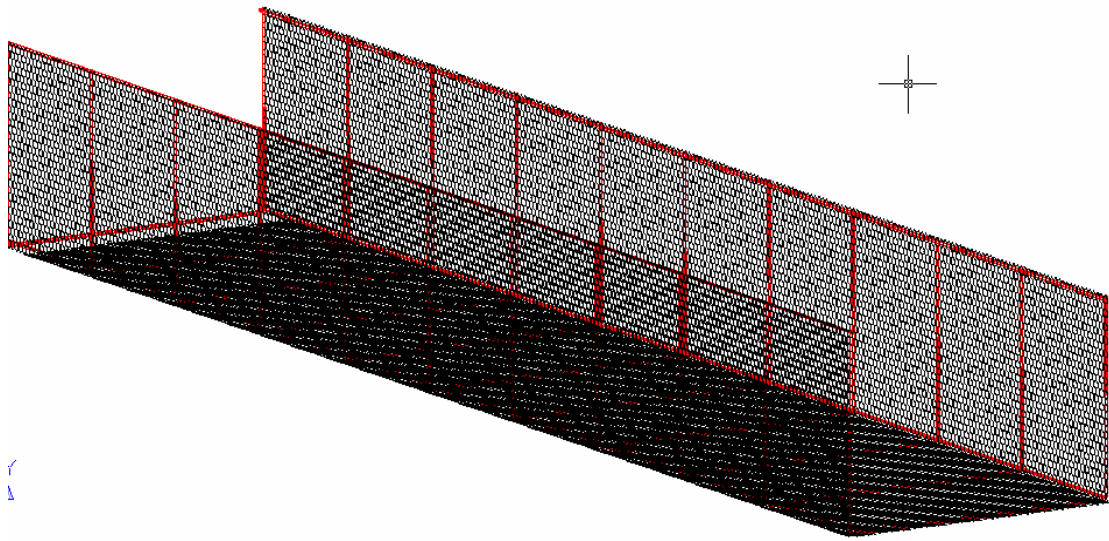


Figura 15. Refuerzo de malla de hexagonal

### c) Vaciado del mortero

La colocación del mortero se lo colocará manualmente previa realización de la dosificación correspondiente, se lo colocará empujando con una plancha de un lado aguantando con otra de la otra cara, de tal manera que se sature de mortero la parte central de la armadura principal y secundaria, ésto lo realizamos en toda la estructura,

posteriormente se realizará el acabado, lo cual vendría a ser el recubrimiento de la armadura, este trabajo posterior se lo puede realizar inmediatamente después de terminado el primer paso, o si se quiere se puede dejara fraguar durante un día y luego proceder con lo ya predicho anteriormente, cada pieza o estructura estará compuesta por una longitud de 4 metros.

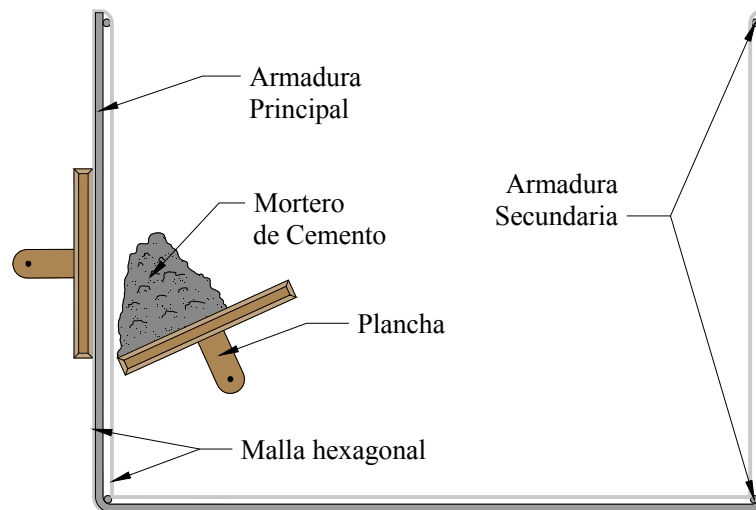


Figura 16. Paso 1

Primer paso se rellena solamente con mortero la parte central de la estructura, de tal manera que toda la armadura principal esté cubierta de mortero.

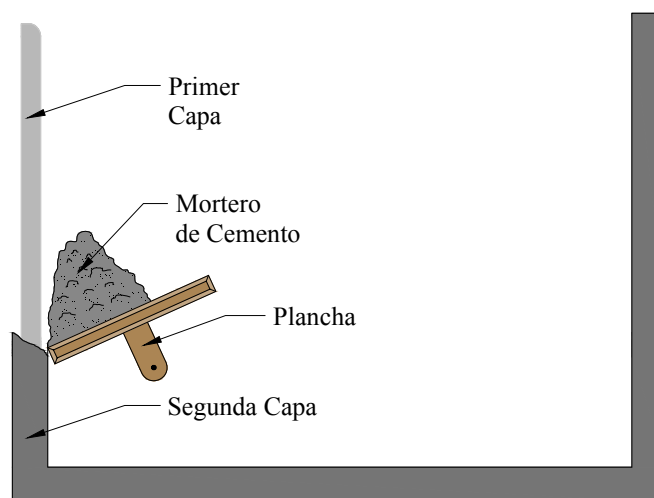


Figura 17. Paso 2

En el segundo paso terminamos de recubrir el canal, lo que nos lleva al acabado o recubrimiento de la armadura principal y la armadura de malla de gallinero o hexagonal.

#### **d) Vibración del mortero**

Se empezará el vibrado del mortero antes de su fraguado, ésto se lo deberá hacer manualmente, ya sea con una varilla metálica apisonando de tal manera que se pueda librar de la mayor cantidad de aire obstruido, de igual manera se lo podrá realizar, con un vibrador ésto se lo realizará en la zona central de la estructura, donde podrá ser más fácil su vibrado, en las partes externas no se podrá vibrar, pero se deberá tener en cuenta en buen recubrimiento.

#### **e) Curado**

El curado se lo realizará un día después de terminar de recubrir la estructura, la estructura deberá estar sumergida en agua aproximadamente por un lapso no menor a los 7 días, en el caso de que no se lo pueda sumergir en agua se lo deberá hidratar constantemente por el lapso de estos mismos días inicialmente, luego se puede ir reduciendo la hidratación a medida de que pasen los días.

Este paso es muy importante, ya que una buena hidratación lleva a un buen endurecimiento del mortero.

### **2.4.- TRANSPORTE A OBRA**

Cabe recalcar que el procedimiento anterior descrito en los incisos, se los puede realizar tanto en un taller montado en el sitio de la obra, se lo puede realizar en un taller montado en el lugar que se requiera por el contratista, ya sea donde se pueda encontrar el material necesario para la realización de la obra.

En cualquiera de ambos casos, para el transporte de la estructura hasta el lugar mismo donde se instalará el canal de riego, las estructuras se los podrá llevar ya sea en un camión de carga hasta la proximidad más cercana al tendido del canal. Se lo descargará manualmente o si se quiere se lo descargará mediante algún equipo especial, pero se recomienda hacer el descargo manualmente, ya que estas estructuras

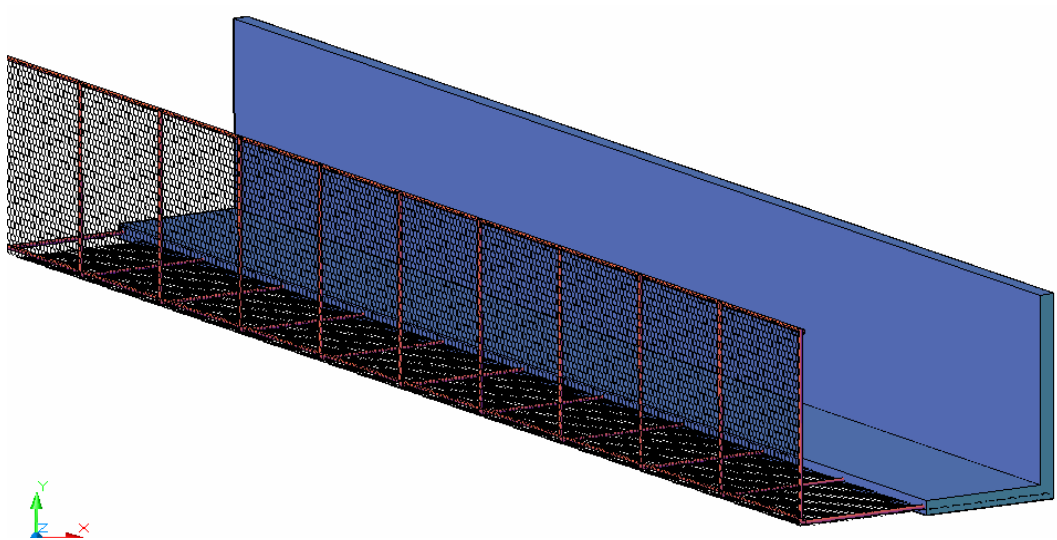
deberán ser un peso considerable, como para que unas 6 a 8 personas como máximo para que puedan manipular cada pieza de la estructura.

## 2.5.- COLOCACIÓN Y TENDIDO

Cada una de las piezas se las colocará de manera manual, como ya dijimos las piezas de la estructura deberá ser de manera tal de que pueda ser manipulada por 6 a 8 personas como máximo.

Primeramente se excavará para darle la pendiente correspondiente al terreno, esta pendiente del terreno deberá cumplir con lo especificado de tal manera de que no exceda la velocidad erosiva y también deberá cumplir con la velocidad auto limpiante para que no se deposite el material en suspensión.

Se irá colocando las piezas una por una, controlando la pendiente establecida en el sistema, cuando estén colocadas las piezas y bien en detalle, se los sellará con la brea la cual es nada más que el colocado de las juntas de dilatación cada pieza será de una longitud aproximada a los 4 metros, ésto dependiendo del peso que se le quiera dar a cada pieza y así de esta manera la misma pueda ser manipulada



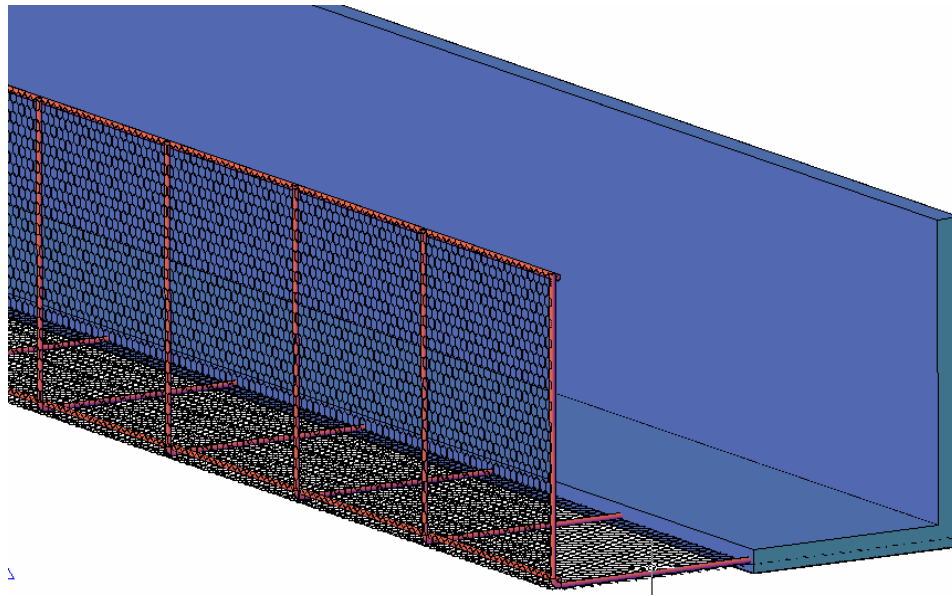


Figura 18. Canal de ferrocemento

## 2.6.- COMPACTACIÓN DEL SUELO LATERAL

La compactación de suelos y materiales estabilizados es el proceso por el cual se obliga a las partículas a ponerse más en contacto unas con otra. Se realiza generalmente por medios mecánicos, produciéndose la expulsión del aire de los poros. La compactación se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo (peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen, [gr./cm<sup>3</sup>]; [Kg./dm<sup>3</sup>]). La humedad del suelo es el peso del agua que contiene, expresado con respecto al peso del suelo seco. La densidad seca se puede determinar entonces, a partir de determinar la densidad húmeda del suelo y su porcentaje de humedad.

$$\text{Densidad seca} = \frac{\text{Densidad húmeda}}{1 + \% \text{ de humedad}}$$

### 2.6.1. Naturaleza del Suelo y la Compactación

Los factores inherentes al suelo que condicionan la compactación, están vinculados a las características de las partículas, a saber:

- **Forma.**
- **Textura de la superficie.**

- **Orientación relativa entre partículas.**
- **Distribución de los tamaños (granulometría).**
- **Actividad superficial.**

#### **2.6.1.1. Forma de las Partículas**

La forma de las partículas de los suelos se aparta en distinto grado de la esférica y en consecuencia también de la de los anillos de agua en cada contacto. Simples consideraciones geométricas, indican que la superficie contactada para un mismo volumen de partículas, será tanto mayor cuando la forma de las partículas se aparte más de la esférica.

#### **2.6.1.2. Textura de las Partículas del Suelo**

La textura de la superficie de las partículas condiciona el coeficiente de fricción entre las mismas y por ende la acción de un esfuerzo exterior destinado a lograr la densificación.

#### **2.6.1.3. Orientación de las Partículas**

La orientación relativa de las partículas incide en la forma de los anillos de agua. Por otra parte penderá de la forma de entrega de la energía de compactación, (golpes, amasado, presión estática, etc.). Cuanto mayor sea el paralelismo en su distribución, mayores serán los puntos de contacto y por ende la cantidad de anillos de agua que se formen.

#### **2.6.1.4. Granulometría del Suelo**

Para un mismo volumen sólido y forma de las partículas una granulometría bien graduada, provee mayor número de contactos que en una granulometría uniforme. A mayor uniformidad de tamaños, el contenido de humedad tiene menor influencia en la compactación, lo que se evidencia en curvas de forma más achatada comparativamente con suelos similares mejor graduados granulométricamente.

### 2.6.1.5. Actividad Superficial de las Partículas del Suelo

Las fracciones finas son superficialmente activas, por lo tanto capaces de retener e inmovilizar agua por adsorción (orientación polar). Ésta actúa como un incremento de su volumen sólido real. El agua está retenida por energías muy elevadas y la de contactos sólo puede existir, cuando el contenido de humedad supera el necesario para saturar la capacidad de adsorción propia de cada suelo.

### 2.6.2. Características de un Suelo Granular

En la figura III.9. se muestra un modelo simplificado de suelo granular parcialmente saturado, sometido a esfuerzos externos " $\sigma$ ". Como consecuencia de este proceso de carga, en los puntos de contacto entre partículas, quedan actuando cargas normales  $P$  y tangenciales  $T$ . El cociente entre  $T/P$  brindará un valor más o menos próximo al coeficiente de rozamiento entre partículas  $\mu$ . Cuando a este sistema se lo somete a un incremento de la carga exterior, aunque sea en forma isótropa, se producirá un incremento de la carga normal  $P'$ , pudiéndose señalar las siguientes situaciones:

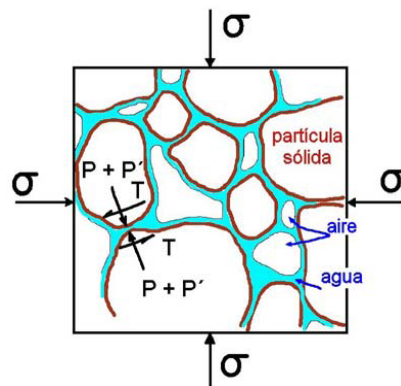


Figura 19.

$(T/P+P') < \mu$  el sistema se encontrará en equilibrio.

$(T/P+P') > \mu$  el sistema colapsará produciéndose movimientos relativos entre partículas, hasta que el acomodamiento genere nuevos puntos de contacto que reestablezca nuevamente el equilibrio.

En el límite sin embargo, el agua llena los huecos, y la adición posterior de agua desplaza las partículas, dando lugar a una densidad seca más baja.

### 2.6.3. Características de un Suelo Arcilloso

Resulta difícil representar de modo simplificado la arcilla en un solo modelo. Sin embargo a los efectos conceptuales, se puede considerar que está formada por partículas de arcilla agrupadas en “paquetes”, según puede apreciarse en la figura III.10. Los granos de arena, limo y los “paquetes” de arcilla, se encuentran unidos entre sí y rodeados de agua en sus puntos de contacto. Las partículas de la fracción arcillosa tienen forma de láminas, con elevadas superficie específica y actividad superficial unitaria.

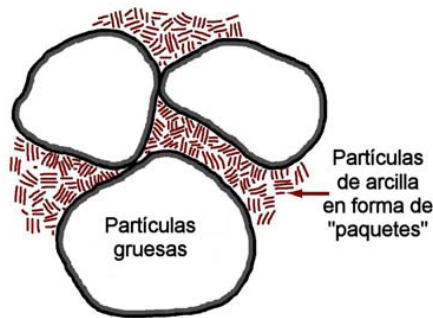


Figura 20.

El comportamiento volumétrico, depende de los movimientos relativos de las partículas gruesas y de las características de expansividad y retracción de los paquetes de arcilla. Dentro de los mismos tienen lugar las siguientes fuerzas:

- La **tensión superficial** en la interfase aire / agua dentro de la estructura del suelo.
- Las de **interacción** entre las partículas del **suelo** y **las moléculas de agua**.

El agua de adsorción es un valor inherente a cada suelo cohesivo dependiendo del contenido y actividad de la fracción arcillosa, del índice de plasticidad y de la capacidad de intercambio de cationes.

Los iones presentes en el agua, actúan como agentes de enlace. En el agua hay iones cargados positivamente (cationes), en número suficiente para neutralizar las cargas

negativas de las partículas del suelo, haciendo el sistema eléctricamente neutro, (figura III.11.). Tanto la actividad superficial como la presencia de tales iones, son responsables de los **cambios volumétricos de los paquetes arcillosos** ante un cambio del contenido de humedad.

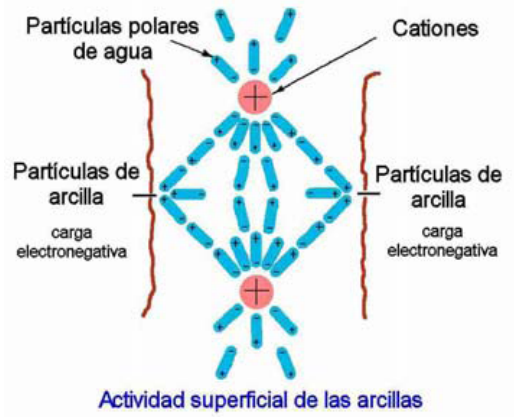


Figura 21.

## Secuencia del Ensayo de Compactación

### Rama Seca

Antes de comenzar a desarrollarse la rama seca de la curva de compactación, el suelo se encuentra con un contenido muy bajo de humedad. Es el tenor de agua que determina un espesor de película del orden molecular, enérgicamente unida al suelo. Corresponde al agua adsorbida, y en este estado se considera que el suelo está seco. El suelo debe superar ese umbral de humedad, para que **el agua tome el rol de lubricante entre partículas**. Hasta que ello no ocurra, la fricción entre los granos impide el deslizamiento de unas partículas sobre las otras; y por consiguiente, que se densifique.

### Lubricación y Expulsión del Aire

La adición de agua al suelo que se distribuye alrededor de cada contacto, no solamente modifica la composición en volumen, sino que actúa como un lubricante entre partículas. La efectividad del trabajo de compactación, depende de este rol del agua. Alcanzado este efecto, se obliga a las partículas a desplazarse hacia un

empaquetamiento más cerrado, que conduce a una reducción de los poros. **La presión en la fase fluida obliga al aire a drenar hacia el exterior.**

Este proceso ocurre en la medida que existan poros comunicados entre sí y con el exterior. Cada impacto determina un incremento positivo de la presión de poros por compresión del aire. En el comienzo de la rama seca, la permeabilidad al aire es alta y va decreciendo a medida que se aproxima al punto de máxima densidad. La presión que cada impacto provoca en el aire, se disipa rápidamente en tiempos del orden de 1/100 de segundo, más lentamente cerca del óptimo y no llega a ser total en la rama húmeda.

Paralelamente el volumen de agua presente, se subdivide en un número mayor de “anillos” de volumen individual menor. Consecuentemente se desarrollan menores radios de curvatura de los meniscos, que implican mayor succión y cohesión aparente entre partículas.

Cuando se eleva la energía exterior aplicada, se vence más fácilmente la resistencia al desplazamiento de partículas. Ello se manifiesta en un corrimiento de la curva de compactación hacia una mayor densidad máxima y una menor humedad óptima.

La presión de poros negativa de los suelos arcillosos compactados (presión de poros residual) disminuye a lo largo de la curva de compactación tendiendo a anularse en la rama húmeda.

Ello muestra que la disipación de la sobrepresión del aire es cada vez menor en estos suelos.

### **Densidad Seca Máxima y Humedad Óptima**

La reducción de porosidad y el incremento de la humedad, conducen a un estado límite en el que se forma una red continua de agua. Más allá de cierto contenido de humedad, el agua comienza a tener una continuidad que cierra los poros comunicados. Como consecuencia el aire queda encerrado en forma de burbujas aisladas. Éstas son retenidas en cada poro y no es posible lograr una mayor densificación en el suelo para un mismo trabajo mecánico.

A partir de este estado, surge un neto cambio de propiedades por la existencia de un componente perfectamente elástico (aire ocluido). Su presencia implica que la permeabilidad al aire tienda a valores mínimos, dado que las burbujas sólo pueden drenar junto con el agua o bien deslizándose dentro del conjunto.

### Rama Húmeda

La zona húmeda comienza en el punto de máxima densidad de la curva. En él se dan las condiciones para que una proporción del aire pase al estado ocluido. En esta condición el aire se comporta como un material perfectamente elástico, lo que aunado al incremento de humedad se traduce en una separación de las partículas con una disminución de la densidad seca.

En esta parte de la curva, la interfase curva agua/aire de las burbujas, se asimila a una membrana elástica en tensión.

El único drenaje de aire posible, es por deslizamiento con coalescencia de las burbujas. En consecuencia, la porosidad resulta ligeramente inferior a la lograda en el estado límite que determina la densidad máxima y la humedad óptima. Para tal condición, las curvas en la zona húmeda se acercan sin alcanzar la línea de saturación teórica sin aire y con marcado paralelismo con esta última. Figura III.4.

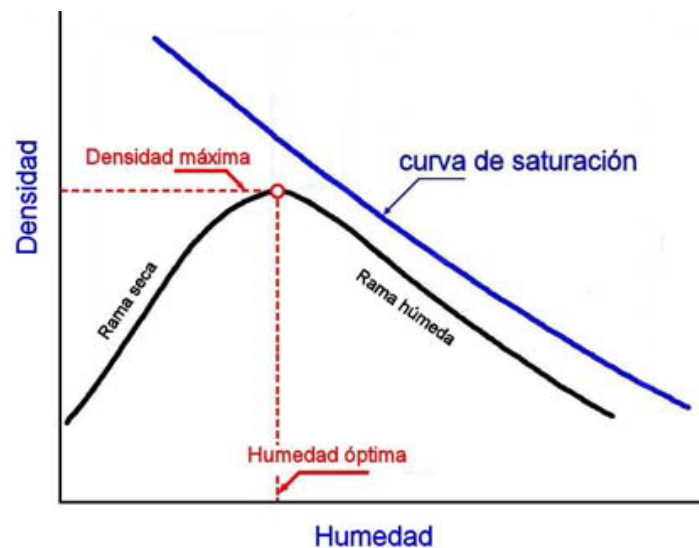


Figura 22. Curva humedad óptima densidad máxima

## 2.7.- EXPRESIONES MATEMÁTICAS

Habiendo encontrado el momento de diseño  $M_c$  encontramos el esfuerzo del ferrocemento a tracción, para hacer el primer tanteo y mediante un ábaco sacar la relación de módulos y poder verificar si la sección se considera agrietada.

Encontramos el módulo de sección.

$$W = \frac{b * h^2}{6}$$

Donde:

$W$  = módulo de sección ( $m^3$ ).

$b$  = profundidad del ferrocemento (m).

$h$  = espesor del ferrocemento (m).

Posteriormente encontramos

$$\sigma_{ft} = \frac{M_c}{W}$$

Donde:

$\sigma_{ft}$  = esfuerzo a tracción del ferrocemento ( $Kg/m^2$ ).

$M_c$  = momento de cálculo ( $Kg * m$ )

$W$  = módulo de sección ( $m^3$ ).

Se entra al ábaco en el valor encontrado de  $\sigma_{ft}$  pero en MPa, por lo que 1 MPa = 101971.6  $Kg/m^2$ . y se encuentra la relación de módulos  $\eta$  para saber el valor de la sección agrietada, si  $\sigma_{ft}$  excede de los 7 MPa., se deberá aumentar el espesor del compuesto.

Se encontrará los valores de las alturas traccionada y comprimida del compuesto, las mismas se determinarán mediante las siguientes expresiones.

$$h_c = \frac{h}{\sqrt{\eta + 1}}$$

$$h_t = \frac{h * \sqrt{\eta}}{\sqrt{\eta + 1}}$$

Donde:

$h_c$  y  $h_t$  = altura comprimida y traccionada respectivamente.

$h$  = altura total del compuesto =  $h_c + h_t$

$\eta$  = relación de módulos que se encuentra mediante un ábaco y que considera si la estructura se la considera agrietada.

Ahora calculamos el coeficiente que rectifica el módulo de sección.

$$W_w = \frac{6}{h_t} * \left[ \frac{\eta * h_c^3}{3 * h^2} + \frac{h_t^3}{3 * h^2} \right]$$

$$W' = W * W_w$$

Por lo que la tensión máxima será:

$$\sigma_{ft} = \frac{M}{W'}$$

La fuerza de tracción a tomar por el acero es:

$$N_T = \frac{1}{2} * \sigma_{ft} * h_t$$

Se lo considera por un metro de profundidad.

Entonces el área de acero requerida será:

$$\bar{\sigma}_a = 0.6 * R_a$$

$$A_a = \frac{N_T}{\sigma_a}$$

Donde:

$\bar{\sigma}_a$  = límite de fluencia de cálculo del acero. (Kg./cm<sup>2</sup>)

$R_a$  = límite de fluencia del acero. (Kg./cm<sup>2</sup>)

$N_T$  = fuerza de tracción a tomar por el acero. (Kg.)

$A_a$  = área de acero necesaria (cm<sup>2</sup>)

### **MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES**

Luego de obtener el momento de cálculo  $M_c$  procedemos a mayorarlo en 1.5 veces al mismo lo llamaremos momento último entonces  $M_u = 1.5 * M_c$ .

Obtenemos la resistencia de cálculo de los materiales.

$$R^*_a = \frac{R_a}{1.15}$$

$$R'^*_b = \frac{R'_b}{1.6}$$

Donde:

$R_a$  = límite de fluencia del acero.

$R'_b$  = resistencia del mortero de hormigón a la compresión.

Mediante iteraciones debemos obtener el valor de k. En la siguiente ecuación.

$$M_u = 0.8 * R'^*_b * b * h^2 * k * (1 - (0.4 * k))$$

Donde:

b = a un metro de profundidad.

h = a canto útil.

Obtenemos la constante k y procedemos a encontrar el área de acero necesaria.

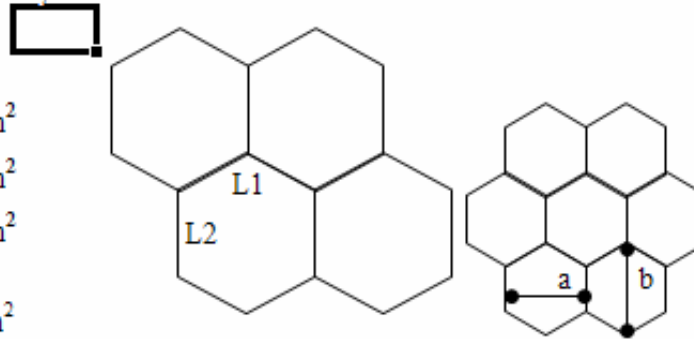
$$A_a = \frac{0.8 * R'^*_b * b * h * k}{R^*_a}$$

### MALLA HEXAGONAL

Malla elaborada con alambres de acero galvanizado, entrelazados unidireccionalmente en triple torsión formando hexágonos continuos, los cuales constituyen la abertura de la malla

#### CARACTERÍSTICAS DEL ALAMBRE

Límite de fluencia:	$R_s$	=	3115	Kg./cm <sup>2</sup>
Resistencia a la rotura:	$\sigma_R$	=	3600	Kg./cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad:	E	=	2E+06	Kg./cm <sup>2</sup>
Densidad del acero:	g	=	7.85	g/cm <sup>3</sup>
Galvanización promedio:	Galv.	=	33	g Zn/m <sup>2</sup>



Tipo	Abertura		Diám. (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Alambres/m		L1 (mm)	L2 (mm)	En 1 m <sup>2</sup> de malla Hexagonal			Presentación en rollos		
	a (mm)	b (mm)			Ancho	Largo			Peso (Kg.)	Volumen de Acero (cm <sup>3</sup> )	Área de contacto Con mortero (cm <sup>2</sup> )	Largo (m)	Ancho (m)	Peso (Kg)
1/2"	15	19	0.56	0.246	132	78	10	14	0.33	42	3000	50	1	16.5
												30	1.5	14.85
5/8"	18	22	0.71	0.396	112	66	12	14	0.43	54.8	3086	50	1	21.5
												30	1.5	19.35
3/4"	21	26	0.71	0.396	96	57	14	18	0.38	48.4	2726	30	1	11.4
												30	1.5	17.1
1"	26	33	0.71	0.396	74	44	17	24	0.33	42	2365	30	1	9.9
												30	1.5	14.85
1 1/2"	40	50	0.89	0.622	48	28	26	34	0.34	43.3	1646	30	1	10.2
												30	1.5	15.3

### 3.1.- RESULTADOS OBTENIDOS

Se obtuvieron los resultados favorables al estudio, ya que haciendo una comparación técnico económica nos salen los resultados de que el canal de ferrocemento tiene menor precio alrededor de 15 a 20% menor costo que el canal de hormigón ciclópeo, pero se observa que si el canal conduce mayor caudal, por lo que las secciones serán mayores, los precios son más favorables al ferrocemento teniendo un decremento en el costo de hasta un 35% menor al de un canal de hormigón ciclópeo.

En busca de la vida útil del material de canales de hormigón ciclópeo según experiencias en Bolivia estos canales tienen una vida útil de alrededor de 40 años haciendo algunas reparaciones en el transcurso de los años. Por otro lado no se encuentra información de la vida útil del ferrocemento en canales de riego, por lo que se tomó resultados de algunas experiencias de otras obras, por ejemplo

El Arquitecto Jesús Sánchez Luqueño



Material fotográfico del procedimiento de construcción de casa de ferrocemento, para la planta alta ahora estamos en la construcción de los muros después de haber rellenado en el entrepiso y armado los muros, se han recubierto y se está trabajando ahora sobre la cubierta.



Creo que el uso de moldes para el ferrocemento conviene aplicarlo racionalmente, para no perder una de las cualidades sobresalientes de este sistema constructivo.

Esta cualidad sería precisamente el ahorro que representa el no requerir tales moldes para edificar. De este modo hay gran libertad plástica y singularidad, además del ahorro significativo que se consigue en material, mano de obra y tiempos de ejecución, al no ser indispensable contar con tales moldes para construir.

El espesor de los muros es muy delgado, la misma pregunta la han hecho un sin número de personas en la obra, claro preocupados por el espesor tan delgado, y por lógica proyecta cierta inseguridad pero les aseguro que este material es muy fuerte por la cantidad de acero y la proporción de la mezcla , he hecho algunas pruebas con

golpes a martillo, y créanme, me quedé asombrado pues traté de derrumbar un muro para abrir una ventana, y tardé, toda una mañana y no puede hacerlo, primero porque el muro en conjunto es muy flexible por el acero, segundo la combinación de las mallas hacen del muro muy difícil demoler la mezcla de cemento ya que está completamente integrada a las formas de las mallas, y eso hace más difícil su demolición, aunque utilice una cortadora de mampostería y concreto tuvo que ser con disco de diamante, para poder cortar el acero, pero al golpe es muy difícil romperlo.



Por otro lado en cuanto a la vida útil del ferrocemento como conjunto en una construcción se estima una vida útil de más de 50 años, así que éste no es un sistema prefabricado que perezca como otros en menos de 25 años yo diría que hasta puede alcanzar los 70 años de vida útil antes de recibir cualquier mantenimiento, el edificio del Instituto de DISEÑO que construí hasta la fecha lleva ya 8 años desde su construcción y no ha requerido de ninguna reparación, y se ve como nuevo.

En el Club de regatas La Plata conocimos a Frank Catton y Elise Gagnon, una curiosa pareja de navegantes canadienses que a bordo de su velero Ouais-Ouais

navegan hace treinta años, viven a bordo y practican el antiquísimo arte marinerero: el scrimshaw. Han llegado a nuestro país con el objeto de estar presentes con su colección de tallas en la llegada de Velas Sudamérica 2010 y tienen la intención de permanecer hasta fin de año.



Elise y Frank en el Ouais-Ouais, velero ferrocementado construido por él.

La historia comienza en Vancouver donde Frank de profesión albañil, después de haber navegado unos cuantos años en veleros de amigos, decidió que era tiempo de cumplir el sueño del barco propio. Aprovechando sus conocimientos profesionales y poniendo manos a la obra, construyó en forma artesanal un yate de ferrocemento, con aparejo tipo Cutter noruego de 9,8 m. de eslora, con mástil de madera y vela cangreja. La construcción transcurrió dentro de un granero, botando el yate en 1976, luego de siete años de labor. A bordo de su flamante creación, Frank trazó sus primeras millas a lo largo de la costa de Vancouver.

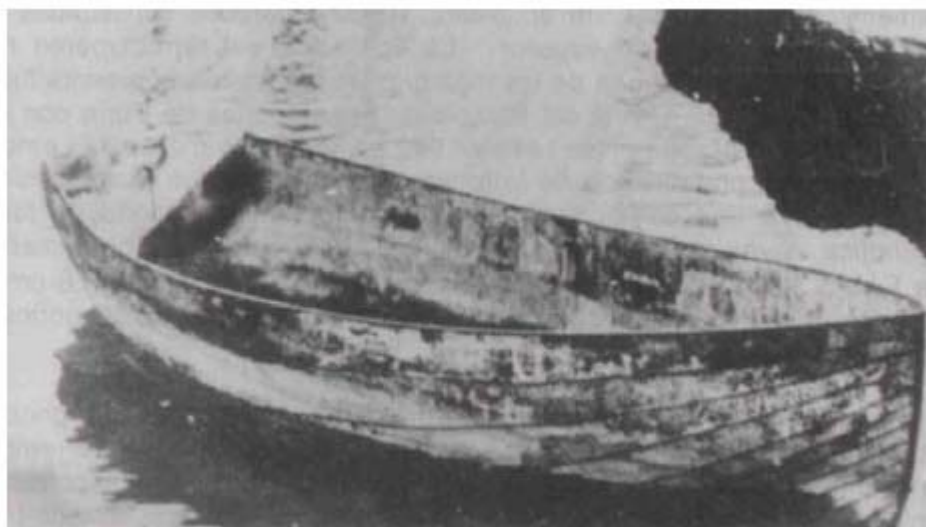


Figura 23. Bote de ferrocemento de Lambort

**Dinghy de Lambort** construyó una embarcación de ferrocemento hace más de 100 años, la misma que sigue a flote, claro, pero en un museo. Quizás sea la referencia más importante para estimar la vida útil de este material.

Aunque se tiene de referencia la construcción de tanques de ferrocemento, las mismas que en la actualidad en Tarija no llevan más de 5 años de construidos, pero se les estima una vida útil de 25 años, esto debido a las grandes capacidades de almacenar agua.

Por lo que se estimará una vida útil para el canal de ferrocemento de unos 35 años. Esto haciéndole las reparaciones necesarias en los años que se requiera, además se recalca que el ferrocemento es fácil de reparar y no necesita mano de obra calificada.

En los tiempos de ejecución se tiene las siguientes relaciones entre los metros de canal que se puede avanzar en un día, tomando un canal promedio, y con las ventajas necesarias para ambos canales los mismos se dirá que serán construidos en donde existan accesos o el canal a construir esté en los bordes del camino. Por lo que tendremos los siguientes resultados:

**CANAL DE FERROCEMENTO**

Albañil tiene un rendimiento de 18 horas/m<sup>3</sup>.

18 horas —————> 1 m<sup>3</sup>.

8 horas —————> X = 0.44 m<sup>3</sup>.

Entonces:

1 m<sup>3</sup> —————> 25.77 m. de canal

0.44 m<sup>3</sup> —————> X = 11.34 m. de canal

Por lo que un albañil avanzará en un día 11.34 m. de canal de ferrocemento.

Ayudante tiene un rendimiento de 30 horas/m<sup>3</sup>.

30 horas —————> 1 m<sup>3</sup>.

8 horas —————> X = 0.27 m<sup>3</sup>.

Entonces:

1 m<sup>3</sup> —————> 25.77 m. de canal

0.27 m<sup>3</sup> —————> X = 6.87 m. de canal

Por lo que un ayudante avanzará en un día 6.87 m. de canal de ferrocemento.

**Excavación.**

Ayudante tiene un rendimiento de 3 horas/m<sup>3</sup>.

3 horas —————> 1 m<sup>3</sup>.

8 horas —————> X = 2.67 m<sup>3</sup>.

Entonces:

0.39375m<sup>3</sup> —————> 1 m. de exc. Canal.

2.67 m<sup>3</sup> —————> X = 6.78 m. de exc. Canal.

Por lo que un ayudante avanzará en un día 6.78 m. de exc. para canal de ferrocemento.

**Juntas.**

Ayudante tiene un rendimiento de 0.8 horas/m.

0.8 horas  $\longrightarrow$  1 m.

8 horas  $\longrightarrow$  X = 10 m.

Entonces:

0.75mj  $\longrightarrow$  1 m. de canal.

10 mj  $\longrightarrow$  X = 13.13 m. de canal.

Por lo que un ayudante avanzará en un día 13.13 m. de juntas para canal de ferrocemento.

Entonces se necesitará la siguiente cuadrilla por día de canal de ferrocemento.

Canal (1 albañil + 1.65 Ayudantes)

Excavación (1.67 Ayudantes)

Juntas (0.85 Ayudantes)

Total se necesitará 1 Albañil + 5 Ayudantes por día para avanzar 11.34 metros de canal de ferrocemento por lo que con esta cuadrilla se terminará el canal de ferrocemento de 2925.5 m. en 257 días.

**CANAL DE HORMIGÓN CICLÓPEO**

Albañil tiene un rendimiento de 4 horas/m<sup>3</sup>.

4 horas  $\longrightarrow$  1 m<sup>3</sup>.

8 horas  $\longrightarrow$  X = 2 m<sup>3</sup>.

Entonces:

1 m<sup>3</sup>  $\longrightarrow$  3.7 m. de canal

2 m<sup>3</sup>  $\longrightarrow$  X = 7.4 m. de canal

Por lo que un albañil avanzará en un día 7.4 m. de canal de Ho Co.

Ayudante tiene un rendimiento de 4 horas/m<sup>3</sup>.

4 horas —————> 1 m<sup>3</sup>.

8 horas —————> X = 2 m<sup>3</sup>.

Entonces:

1 m<sup>3</sup> —————> 3.7 m. de canal

2 m<sup>3</sup> —————> X = 7.4 m. de canal

Por lo que un ayudante avanzará en un día 7.4 m. de canal de Ho Co.

Encofrador tiene un rendimiento de 3 horas/m<sup>3</sup>.

3 horas —————> 1 m<sup>3</sup>.

8 horas —————> X = 2.67 m<sup>3</sup>.

Entonces:

1 m<sup>3</sup> —————> 3.7 m. de canal

2.67 m<sup>3</sup> —————> X = 9.87 m. de canal

Por lo que un ayudante avanzará en un día 9.87 m. de canal de Ho Co.

### **Excavación.**

Ayudante tiene un rendimiento de 3 horas/m<sup>3</sup>.

3 horas —————> 1 m<sup>3</sup>.

8 horas —————> X = 2.67 m<sup>3</sup>.

Entonces:

0.715m<sup>3</sup> —————> 1 m. de exc. Canal.

2.67 m<sup>3</sup> —————> X = 3.73 m. de exc. Canal.

Por lo que un ayudante avanzará en un día 3.73 m. de exc. para canal de Ho Co.

**Juntas.**

Ayudante tiene un rendimiento de 0.8 horas/m.

0.8 horas  $\longrightarrow$  1 m.

8 horas  $\longrightarrow$  X = 10 m.

Entonces:

0.2mj  $\longrightarrow$  1 m de canal.

10 mj  $\longrightarrow$  X = 20 m. de canal.

Por lo que un ayudante avanzará en un día 20 m. de juntas para canal de Ho Co.

Entonces se necesitará la siguiente cuadrilla por día de canal de ferrocemento.

Canal (1.33 albañil + 1.33 Ayudantes+ 1 encofrador)

Excavación (2.64 Ayudantes)

Juntas (0.49 Ayudantes)

Total se necesitará 1 Albañil + 6 Ayudantes + 1 encofrador por día para avanzar 9.87 metros de canal de Ho Co por lo que con esta cuadrilla se terminará el canal de Ho Co de 2925.5 m. en 296 días.

Para la obtención de los recubrimientos, en ferrocemento se especifica recubrimientos desde 2 mm. de espesor hasta 10 a 15 mm., por lo que en el canal más delgado que es de 2 cm. La suma del espesos de la varilla de esqueleto y el del alambre suman 15mm. Lo que nos queda 2.5 mm. de recubrimiento, en el canal que cuenta con mayor número de mallas, tiene un espesor de 3 cm, y entre el esqueleto y la malla de refuerzo suman 18 mm, lo que nos queda 6 mm. de recubrimiento, porque estaríamos dentro de los parámetros.

Resumen de resultados de costos por metro de canal para distintos tirantes.

Tipo de canal	Ferrocemento	Ho Co
Caudal Q (m <sup>3</sup> /s.)	0.02	0.02
Espesor (e. cm.)	2	15
<b>Altura (h. cm.)</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>Base (B. cm.)</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
Área transversal del canal (m <sup>2</sup> )	0.0128	0.135
Longitud por m <sup>3</sup> (m)	78.13	7.41
Costo por m <sup>3</sup> (Bs.)	3628.64	598.65
Longitud por Pza. (m)	2.5	-----
Peso por Pza. (Kg.)	76.8	-----
Nº de piezas por m <sup>3</sup>	31.25	-----
<b>Costo por metro de canal</b>	<b>46.44</b>	<b>80.79</b>
Excavación por metro de canal (m <sup>3</sup> )	0.0968	0.28
Costo por m <sup>3</sup> de excavación (Bs.)	44.64	44.64
<b>Costo de excavación por metro</b>	<b>4.32</b>	<b>12.5</b>
Juntas por metro (ml)	0.24	0.08
Costo de juntas por metro (Bs.)	39.73	19.47
<b>Costo de juntas por metro de canal (Bs.)</b>	<b>9.54</b>	<b>1.56</b>
<b>TOTAL POR METRO DE CANAL (Bs.)</b>	<b>60.3</b>	<b>94.85</b>
<b>DIFERENCIA (Bs.)</b>	<b>34.55</b>	

Tipo de canal	Ferrocemento	Ho Co
Caudal Q (m <sup>3</sup> /s.)	0.08	0.08
Espesor (e. cm.)	2	15
<b>Altura (h. cm.)</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Base (B. cm.)</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
Área transversal del canal (m <sup>2</sup> )	0.0188	0.18
Longitud por m <sup>3</sup> (m)	53.19	5.56
Costo por m <sup>3</sup> (Bs.)	3528.43	602.4
Longitud por Pza. (m)	2	-----
Peso por Pza. (Kg.)	90.24	-----
Nº de piezas por m <sup>3</sup>	26.6	-----
<b>Costo por metro de canal</b>	<b>66.34</b>	<b>108.35</b>
Excavación por metro de canal (m <sup>3</sup> )	0.1728	0.405
Costo por m <sup>3</sup> de excavación (Bs.)	44.64	44.64
<b>Costo de excavación por metro</b>	<b>7.71</b>	<b>18.08</b>
Juntas por metro (ml)	0.45	0.12
Costo de juntas por metro (Bs.)	39.73	19.47
<b>Costo de juntas por metro de canal (Bs.)</b>	<b>17.88</b>	<b>2.34</b>
<b>TOTAL POR METRO DE CANAL (Bs.)</b>	<b>91.93</b>	<b>128.77</b>
<b>DIFERENCIA (Bs.)</b>	<b>36.84</b>	

Tipo de canal	Ferrocemento	Ho Co
Caudal Q (m3/s.)	0.17	0.17
Espesor (e. cm.)	2.5	15
<b>Altura (h. cm.)</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
<b>Base (B. cm.)</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
Área transversal del canal (m2)	0.0313	0.225
Longitud por m3 (m)	31.95	4.44
Costo por m3 (Bs.)	3043.92	626.34
Longitud por Pza. (m)	2	-----
Peso por Pza. (Kg.)	150.24	-----
Nº de piezas por m3	15.98	-----
<b>Costo por metro de canal</b>	<b>95.27</b>	<b>141.07</b>
Excavación por metro de canal (m3)	0.27625	0.55
Costo por m3 de excavación (Bs.)	44.64	44.64
<b>Costo de excavación por metro</b>	<b>12.33</b>	<b>24.55</b>
Juntas por metro (ml)	0.6	0.16
Costo de juntas por metro (Bs.)	39.73	19.47
<b>Costo de juntas por metro de canal (Bs.)</b>	<b>23.84</b>	<b>3.12</b>
<b>TOTAL POR METRO DE CANAL (Bs.)</b>	<b>131.44</b>	<b>168.74</b>
<b>DIFERENCIA (Bs.)</b>	<b>37.3</b>	

Tipo de canal	Ferrocemento	Ho Co
Caudal Q (m3/s.)	0.4	0.4
Espesor (e. cm.)	2.5	15
<b>Altura (h. cm.)</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
<b>Base (B. cm.)</b>	<b>50</b>	<b>50</b>
Área transversal del canal (m2)	0.0388	0.27
Longitud por m3 (m)	25.77	3.7
Costo por m3 (Bs.)	3426.87	650.3
Longitud por Pza. (m)	2	-----
Peso por Pza. (Kg.)	186.24	-----
No, de piezas por m3	12.89	-----
<b>Costo por metro de canal</b>	<b>132.98</b>	<b>175.76</b>
Excavación por metro de canal (m3)	0.39375	0.715
Costo por m3 de excavación (Bs.)	44.64	44.64
<b>Costo de excavación por metro</b>	<b>17.58</b>	<b>31.92</b>
Juntas por metro (ml)	0.75	0.2
Costo de juntas por metro (Bs.)	39.73	19.47
<b>Costo de juntas por metro de canal (Bs.)</b>	<b>29.8</b>	<b>3.89</b>
<b>TOTAL POR METRO DE CANAL (Bs.)</b>	<b>180.36</b>	<b>211.57</b>
<b>DIFERENCIA (Bs.)</b>	<b>31.21</b>	

Tipo de canal	Ferrocemento	Ho Co
Caudal Q (m3/s.)	0.7	0.7
Espesor (e. cm.)	2.5	22.5
<b>Altura (h. cm.)</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
<b>Base (B. cm.)</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
Área transversal del canal (m2)	0.0463	0.5063
Longitud por m3 (m)	21.6	1.98
Costo por m3 (Bs.)	3280.43	652.54
Longitud por Pza. (m)	1.5	-----
Peso por Pza. (Kg.)	166.68	-----
Nº de piezas por m3	14.4	-----
<b>Costo por metro de canal</b>	<b>151.87</b>	<b>329.57</b>
Excavación por metro de canal (m3)	0.53125	1.11375
Costo por m3 de excavación (Bs.)	44.64	44.64
<b>Costo de excavación por metro</b>	<b>23.72</b>	<b>49.72</b>
Juntas por metro (ml)	1.2	0.24
Costo de juntas por metro (Bs.)	39.73	19.47
<b>Costo de juntas por metro de canal (Bs.)</b>	<b>47.68</b>	<b>4.67</b>
<b>TOTAL POR METRO DE CANAL (Bs.)</b>	<b>223.27</b>	<b>383.96</b>
<b>DIFERENCIA (Bs.)</b>	<b>160.69</b>	

Tipo de canal	Ferrocemento	Ho Co
Caudal Q (m3/s.)	1.15	1.15
Espesor (e. cm.)	3	27.5
<b>Altura (h. cm.)</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
<b>Base (B. cm.)</b>	<b>70</b>	<b>70</b>
Área transversal del canal (m2)	0.0648	0.7288
Longitud por m3 (m)	15.43	1.37
Costo por m3 (Bs.)	3158.14	656.28
Longitud por Pza. (m)	1.5	-----
Peso por Pza. (Kg.)	233.28	-----
No, de piezas por m3	10.29	-----
<b>Costo por metro de canal</b>	<b>204.68</b>	<b>479.04</b>
Excavación por metro de canal (m3)	0.7008	1.51125
Costo por m3 de excavación (Bs.)	44.64	44.64
<b>Costo de excavación por metro</b>	<b>31.28</b>	<b>67.46</b>
Juntas por metro (ml)	1.4	0.28
Costo de juntas por metro (Bs.)	39.73	19.47
<b>Costo de juntas por metro de canal (Bs.)</b>	<b>55.62</b>	<b>5.45</b>
<b>TOTAL POR METRO DE CANAL (Bs.)</b>	<b>291.58</b>	<b>551.95</b>
<b>DIFERENCIA (Bs.)</b>	<b>260.37</b>	

Tipo de canal	Ferrocemento	Ho Co
Caudal Q (m <sup>3</sup> /s.)	1.75	1.75
Espesor (e. cm.)	3	27.5
<b>Altura (h. cm.)</b>	<b>80</b>	<b>80</b>
<b>Base (B. cm.)</b>	<b>80</b>	<b>80</b>
Área transversal del canal (m <sup>2</sup> )	0.0738	0.8113
Longitud por m <sup>3</sup> (m)	13.55	1.23
Costo por m <sup>3</sup> (Bs.)	3672.51	661.53
Longitud por Pza. (m)	1	-----
Peso por Pza. (Kg.)	177.12	-----
Nº de piezas por m <sup>3</sup>	13.55	-----
<b>Costo por metro de canal</b>	<b>271.03</b>	<b>537.83</b>
Excavación por metro de canal (m <sup>3</sup> )	0.8798	1.77375
Costo por m <sup>3</sup> de excavación (Bs.)	44.64	44.64
<b>Costo de excavación por metro</b>	<b>39.27</b>	<b>79.18</b>
Juntas por metro (ml)	2.4	0.32
Costo de juntas por metro (Bs.)	39.73	19.47
<b>Costo de juntas por metro de canal (Bs.)</b>	<b>95.35</b>	<b>6.23</b>
<b>TOTAL POR METRO DE CANAL (Bs.)</b>	<b>405.65</b>	<b>623.24</b>
<b>DIFERENCIA (Bs.)</b>	<b>217.59</b>	

Mientras mayor el tirante, el costo aumenta considerablemente en el canal de Ho Co.

#### **4.1.- CONCLUSIONES**

Al respecto se puede señalar, que en el año de mi egreso el perfil profesional de la carrera de Ingeniería Civil estaba de acuerdo a los requerimientos del medio de ese entonces considerando además que la formación es un proceso, donde la formación académica es fundamental y la base para adquirir nuevos conocimientos prácticos y teóricos que van de acuerdo al avance tecnológico y científico, considero que el desempeño de los diferentes cargos ocupados y la respuesta a los problemas presentados aplicando conocimientos y destrezas adquiridas en la formación académica y en el desarrollo del trabajo fue la adecuada.

Sin embargo en el transcurso de la última década, ha habido cambios muy significantes que han repercutido en todos los ámbitos, cambios como por ejemplo, ocurridos en el campo de las comunicaciones: fax, Internet, celular, etc. y en el campo de la computación, significando un gran apoyo en las investigaciones y en el desarrollo de nuevos equipos y materiales.

El profesional egresado hace 10 años atrás difícilmente habitúa el campo profesional si no se actualiza en su conocimiento profesional y al medio tecnológico en que vivimos hoy en día.

A raíz de estos cambios tecnológicos tan importantes, es que al presente se deben implementar nuevas materias, que cumplan con los nuevos requerimientos del ámbito profesional, a objeto que la UAJMS, lance al mercado profesionales acordes con las necesidades actuales.

Es por eso en este proyecto de tesis se trata de introducir más lo que es el material compuesto que denominamos ferrocemento, las utilidades que tiene y sus aplicaciones en el campo de la ingeniería civil, más aun con los resultados favorables obtenidos en el presente proyecto de tesis, el cual lo refleja en los precios unitarios y presupuesto general de la obra, obteniendo así el resultado que se esperaba y poder poner en práctica los conocimientos obtenidos tanto en la carrera universitaria formada, como en el ámbito laboral.

A continuación el resumen de las características entre ambos canales.

<b>CARACTERÍSTICAS DE CADA MATERIAL</b>		
CANAL	Ferrocemento	Hormigón Ciclópeo
Costos	Menor costo	Mayor costo
Vida útil	30 a 35 Años	40 Años
Tiempo de ejecución	11.35 m/día	9.87 m/día
Mano de obra	Menor mano de obra	29 % mas mano de Obra
Propiedades físicas	90% Menor Volumen	Mayor Volumen
Propiedades mecánicas	Mayor resistencia	Menor resistencia
Construcción	Prefabricado o en sitio	En sitio

Elaboración propia

En los tiempos de ejecución si bien se puede considerar el mismo tiempo de ejecución, pero el de Ho Co requiere mayor mano de obra, además como el canal de ferrocemento puede ser prefabricado, lo que puede hacerse paralelamente otras piezas conjuntamente.

Por otra parte el tiempo de ejecución para cada canal se lo tomó como si se estuviera construyendo el canal por las partes más accesibles, pero si tomamos en cuenta un lugar al que no es accesible, donde no haya caminos y se los tuviera que complementar a la obra entonces se tendría el siguiente caso. Si considero subir  $1 \text{ m}^3$  de canal de ferrocemento, que promediando sería algo de 25.77 metros lineales de canal, eso lo podríamos subir en una volqueta o mejor aun, como son prefabricados hasta se los podría llevar hasta un trecho en movilidad y el resto se los transportaría manualmente, pero se complica un poco, si se tratara de un canal de Ho Co, ya que para las mismas condiciones se 25.77 metros de canal necesitaríamos  $1.74 \text{ m}^3$ . de arena,  $2.44 \text{ m}^3$ . de grava y  $5.57 \text{ m}^3$ . de piedra, lo que nos llevaría a transportarlos en aproximadamente 3 volquetas y más difícil aun, se lo tendría que llevar lo más cercano a la construcción del canal, peor sería el caso si no se podría llevar lo más cercano y se tendría que terminar de acarrear utilizando otros métodos.

Al ser el material de ferrocemento y se utiliza el mortero de cemento, esto hace que dicho material tenga la opción del fraguado rápido y más aun cuando este material no

necesita encofrado, en cambio el hormigón ciclópeo necesariamente se lo realiza con encofrado y el mismo deberá permanecer durante 4 días en la estructura para posteriormente volver a utilizar el encofrado, esto nos lleva a que la obra sufra un poco de retraso en la ejecución del canal, el curado de ambos materiales es el mismo, ya que se trata de pastas hechas con la materia prima como es el cemento, por lo que se podría decir, que el canal de ferrocemento podrá ser curado en la planta de construcción ya sea montada en el campo o llevadas desde otro punto.

Se puede tener un resumen en costos del cálculo de 7 canales a distintos alturas de tirante en el canal. Donde se puede observar que a mayor tirante a partir de un tirante más borde libre igual a 50 cm. El precio decrece pero por otro lado el peso aumenta.

Así mismo a menor tirante a partir de un tirante más borde libre igual a 50 cm. El costo igualmente decrece, por lo que sería recomendable la utilización en este sector de los canales de ferrocemento, ya que su peso también decrece.

#### **4.2.- RECOMENDACIONES**

Dentro de las recomendaciones que pueden ser sometidas a consideración de las autoridades académicas de la UAJMS para una mejor formación de los profesionales actuales desde el punto de vista postulante, y tomando en cuenta la formación recibida, se menciona las siguientes:

A raíz de la situación actual caracterizada por el surgimiento de nuevas leyes y políticas gubernamentales, considero adecuado abordar temas relacionados con: la Ley de participación Popular, Ley general del Trabajo, medio ambiente, Impuestos Internos, Género, el Régimen Autonómico, etc.

Toda persona que desempeña un puesto dentro de una institución o de manera particular debe conocer estos aspectos. Por ejemplo un trabajador sea cual fuese su grado o cargo debe conocer mínimamente sus derechos y obligaciones como tal. Lo mismo ocurre con las nuevas exigencias sobre el medio ambiente donde es requisito para toda obra el llenado de la ficha ambiental aspecto que tiene gran influencia en los alcantarillas sanitarios, desechos industriales, tendido de gasoductos.

Si bien los aspectos mencionados anteriormente podrían ser incluidos en los contenidos de las materias relacionadas, también se podría considerar tratarlos a través de seminarios cortos, los cuales podrían ser dictados dentro los módulos de ciclo de formación.

La aplicación de los conocimientos teóricos en la práctica es una transición que se podría facilitar si se acompaña la enseñanza teórica con conocimientos o experiencias prácticas para que el estudiante en ese momento pueda tener un conocimiento más amplio, general y práctico de esa enseñanza, sin pensar en laboratorios donde sabemos que existe limitaciones presupuestarias si no que se podría lograr incrementando la programación de visitas a las ejecuciones civiles del medio, donde se pueda observar la implementación de las obras.

Es necesario tener en cuenta que los futuros profesionales, deberán estar más capacitados y sobre todo actualizados, con conocimientos al día, sobre progresos,

técnicas, materiales y tecnología; ayudados por el desarrollo de las telecomunicaciones, la cual hace posible el acceso a niveles de información diversos como ser centros de investigación, laboratorios empresas proveedoras de equipos y materiales, bibliotecas, universidades, etc., a nivel mundial; de las cuales se puede obtener información y conocimientos al instante, gracias al Internet, no ocurriendo lo que en el pasado, donde el acceso a estos conocimientos era difícil y en nuestro medio con años de atraso.

Aspectos aparentemente poco significativos, como redacción, ortografía, se constituyen en verdaderos obstáculos en el desempeño del trabajo, nuestra formación basada en el cálculo y números nos dificulta el adecuado desenvolvimiento en este aspecto, por lo que sugiero la inclusión de estos temas en el plan de estudios.

Dentro de la obra recomienda que la mezcla que se vaya a utilizar se haga de poco en poco, ya que ésta se seca rápido por la consistencia que tiene, y si se le quiere volver a poner más agua para evitar el rápido secado, dicha mezcla perderá adherencia (pegado) y al quererla embarrar en la mezcla de las paredes ésta ya no se pegará bien.

Se podría recomendar también, que en lugares de buen acceso los tramos del canal de ferrocemento se lo podría considerar de mayor longitud, dependiendo al peso del que se pueda manipular, ya que como el mismo es de fácil acceso y el manipuleo podrá ser fácil.

Se recomienda que el curado de los canales de ferrocemento se lo realice estrictamente, ya que como este material es muy rico en cemento, las reacciones químicas que se producen son más fuertes, el curado se lo puede realizar fácilmente, ya que las piezas del canal de ferrocemento estarán confinadas en la planta de construcción, y las mismas se las puede realizar utilizando algunos métodos creativos, como ser el colocado de una tubería perforada encima de las piezas, las mismas por goteo podrán mantenerlas húmedas el mayor tiempo posible, se colocará un tanque por encima de las piezas, esto hará que por gravedad puedan ser curadas las piezas.

La creación de piscinas para la sumersión de las mismas podría llevar a un costo extra.

### **RECOMENDACIONES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.**

Se debe cernir la arena para evitar la contaminación con la grava u otros materiales ajenos a éste. La arena para acabados se debe lavar para eliminar la materia orgánica, limos y arcillas y así evitaremos agrietamientos.

El agua para la elaboración de la mezcla debe estar limpia y libre de contaminación de aceites y sustancias químicas como jabón. Evitar que las mezclas tengan un exceso de agua ya que éstas ocasionan huecos en los muros y una baja resistencia.

La mezcla que se realice tiene un tiempo máximo de 1 hora y media a partir de su elaboración para que pueda ser utilizada sin consecuencias posteriores. Las consecuencias de utilizarse con mayor tiempo son:

- (a) Baja resistencia
- (b) Baja adherencia.
- (c) Mala manejabilidad de la mezcla.

El cemento utilizado siempre debe estar en buen estado, de preferencia protegido con lonas o bolsas para evitar su endurecimiento.

Evitar hacer mezcla con cemento endurecido ya que sólo ocasionará que la mezcla no tenga buena adherencia y deje muchos huecos. Se debe evitar el contacto de la mezcla con el suelo ya que esto provocará que la resistencia de la mezcla disminuya y se tenga muchos agrietamientos, (esta consideración se debe tener también con arena que utilizamos para la mezcla).

Para no tener problemas de contaminación se recomienda hacer un cajón de madera o bien un piso de concreto.

Otra de las propiedades de un canal es que a mayor resistencia a la compresión será mayor la resistencia a la velocidad erosiva. Esto es para ambos canales de riego, pero como por lo general el canal de ferrocemento se lo diseña con altas resistencias, éste es mucho más práctico para aplicarlos en las altas velocidades.

Para velocidades máximas, en general, los canales viejos soportan mayores velocidades que los nuevos; además un canal profundo conducirá el agua a mayores velocidades sin erosión, que otros menos profundos.

Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.

RESISTENCIA, en kg/cm <sup>2</sup>	PROFUNDIDAD DEL TIRANTE EN METROS				
	<i>0.5</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>10</i>
50	9.6	10.6	12.3	13.0	14.1
75	11.2	12.4	14.3	15.2	16.4
100	12.7	13.8	16.0	17.0	18.3
150	14.0	15.6	18.0	19.1	20.6
200	15.6	17.3	20.0	21.2	22.9

Fuente: Krochin Sviatoslav. "Diseño Hidráulico", Ed. MIR, Moscú, 1978

Esta tabla, da valores de velocidad admisibles altos, sin embargo la U.S. BUREAU OF RECLAMATION, recomienda que para el caso de revestimiento de canales de hormigón no armado, las velocidades no deben exceder de 2.5 m/seg. Para evitar la posibilidad de que el revestimiento se levante.