

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil

Análisis estructural del ferrocemento como estructura según su forma,  
comparado con el sistema tradicional



Trabajo de grado presentado por:

**Franchesca Familia Campechano**

**Ediniery Pichardo Paulino**

Para la obtención de grado de:

**Ingeniero civil**

Santo Domingo, D.N.

2014

*A Dios, a nuestros padres y demás familiares*

*De manera muy especial a Jesús Sánchez Luqueño*

*A todos y cada uno de los estudiantes de ingeniería civil que tienen como  
propósito cada día hacer de nuestro entorno un mejor lugar para vivir*

## **AGRADECIMIENTOS**

Después de un largo recorrido podemos dar a conocer que queremos dar las gracias a Dios por permitirnos culminar con éxito esta etapa en nuestras vidas, sacando de esta experiencia el mejor de los conocimientos y el haber conocido un grupo de personas que permanecerán para siempre en nuestros corazones.

A nuestros padres les queremos dar las gracias por ponernos en el lugar que estamos hoy en día y contribuir de múltiples maneras a lo largo de nuestro trayecto.

Queremos agradecer de manera muy especial a la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU) por abrirnos las puertas y permitirnos formar parte de esta maravillosa familia.

De manera particular queremos agradecer a Jesús Sánchez Luqueño, profesor de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, tomando en cuenta que desde México nos ayudó durante todo el proceso de la elaboración de este proyecto, ya que éste es un especialista en el tema y nos acogió de una manera tan especial que no existen palabras para describir cuán agradecidas estamos con Él.

A nuestro asesor José Francisco Comarazamy el cual desde nuestros inicios con el proyecto estuvo a nuestra plena disposición apoyándonos y colaborando con toda la información requerida, y por suministrarnos una gran cantidad de ideas para que este proyecto cumpliera con el mejor de los estándares.

A los profesores César Torres y Ramón Tavárez por su disponibilidad y la orientación brindada por cada uno de ellos conforme se nos fueron presentando inquietudes correspondientes a sus respectivas áreas.

Al profesor encargado del laboratorio de materiales de construcción de la universidad, Felipe Español, por asistirnos en todo lo relacionado con el uso del laboratorio.

Gracias a Loren Vargas y Brenda Acosta, dos amigas las cuales siempre nos apoyaron con toda la idea del proyecto y las cuales nos sirvieron de mucha ayuda en varios momentos.

–Franchesca

A Héctor Perdomo, Maritza Abreu, Sarihels Peguero y Yurismil Mirambeaux por ser parte significativa en mi vida, gracias por su apoyo, comprensión y sobre todo amistad. –Ediniery

# CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	VII
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I-EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	2
1.2 Preguntas de investigación.....	3
1.3 Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Alcances y límites.....	5
1.6 Metodología de la investigación.....	5
CAPÍTULO II – MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Marco teórico.....	8
2.2.1 El ferrocemento.....	8
2.2.1.1 Materiales que constituyen el ferrocemento.....	8
2.2.1.2 Antecedentes históricos.....	12
2.2.1.3 Ventajas del ferrocemento.....	14
2.2.1.4 Propiedades del ferrocemento.....	15
2.2.2 Hormigón armado.....	15
2.2.2.1 Materiales que constituyen el hormigón armado.....	15
2.2.2.2 Antecedentes históricos.....	16
2.2.2.3 Ventajas del hormigón armado.....	17
2.2.3 Diferencias físicas y mecánicas entre el ferrocemento y el hormigón armado.....	18

2.2.4	Similitudes entre el ferrocemento y el hormigón armado .....	19
2.2.5	Conceptos claves .....	20
2.2.5.1	Determinación del módulo de elasticidad .....	20
□	Módulo de elasticidad para el hormigón armado .....	20
□	Módulo de elasticidad para el ferrocemento .....	20
2.2.5.2	Momento de una fuerza .....	21
2.2.5.3	Esfuerzo máximo .....	21
2.2.5.4	Deformación máxima .....	22
2.2.5.5	Deformación unitaria .....	22
2.2.5.6	Inercia .....	22
2.2.5.7	Esfuerzo a compresión.....	22
2.2.5.8	Resistencia de rotura.....	23
2.2.5.9	Esfuerzo a flexión.....	23
2.2.5.10	Deflexión máxima .....	23
2.3	Marco contextual .....	23
<b>CAPÍTULO III – MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>24</b>
3.1	Formulación de hipótesis .....	24
3.2	Tipo de investigación.....	24
3.2.1	Enfoque de la investigación .....	24
3.2.2	Tiempo de ocurrencia de la investigación.....	24
3.3	Método de investigación.....	24
3.4	Procedimiento .....	24
3.5	Técnicas de investigación .....	25
3.5.1	Técnicas.....	25
3.5.2	Instrumentos .....	25
<b>CAPÍTULO IV – RESULTADOS .....</b>		<b>26</b>
4.1	Proceso de construcción de vigas .....	26
4.1.1	Construcción de viga de hormigón armado.....	27
4.1.2	Construcción de viga de ferrocemento.....	31
4.2	Ensayo realizado en el laboratorio.....	35
4.3	Cálculos posteriores al ensayo .....	37

□ Hormigón Armado.....	37
□ Ferrocemento .....	38
4.4 Gráfico de la resistencia a flexión de las viguetas .....	39
4.5 Representación gráfica de las vigas con las cargas y los diagramas de momento.....	40
* Hormigón Armado .....	40
*Ferrocemento.....	40
4.6 Discusión .....	41
4.7 Análisis de costo .....	42
CONCLUSIÓN .....	45
RECOMENDACIONES .....	47
BIBLIOGRAFÍA .....	48
ANEXOS .....	51

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1: Bote construido por Joseph L. Lambot y esquema del material en la patente .....	12
Figura 2: Joseph L. Lambot y Joseph Monier, pioneros del ferrocemento. ....	13
Figura 3: Diagrama esfuerzo-deformación.....	22
Figura 4: Medida en balanza para hormigón armado .....	27
Figura 5: Preparación de la armadura interna para viga de hormigón armado.....	29
Figura 6: Montaje de la armadura interna en el encofrado para viga de hormigón armado.	29
Figura 7: Preparación de la mezcla para viga de hormigón armado .....	30
Figura 8: Colocación de la mezcla en el encofrado para viga de hormigón armado.....	30
Figura 9: Acabado final para viga de hormigón armado .....	30
Figura 10: Desencofrado para viga de hormigón armado .....	31
Figura 11: Medida en la balanza de los agregados para viga de ferrocemento .....	31
Figura 12: Preparación de la armadura interna para viga de ferrocemento .....	33
Figura 13: Colocación de acero en la armadura interna para viga de ferrocemento .....	33
Figura 14: Colocación de tela gallinera en la estructura interna para viga de ferrocemento	34
Figura 15: Colocación de la mezcla para viga de ferrocemento.....	34
Figura 16: Acabado final para viga de ferrocemento .....	34
Figura 17: Desencofrado para viga de ferrocemento.....	35
Figura 18: Introducción de vigas en máquina para flexión .....	35
Figura 19: Representación de rotura para viga de hormigón armado.....	36
Figura 20: Representación de rotura para viga de ferrocemento.....	36

## **RESUMEN**

A la hora de realizar una construcción de una vivienda en República Dominicana, por lo general se procede a utilizar el método de construcción más común que es el del hormigón armado, el cual está compuesto por agregado fino y agregado grueso, varillas de acero y cemento, persiguiendo con este tipo de construcción una vivienda que proporcione alta seguridad.

Con el fin de buscar otro método que cumpla con las mismas características del hormigón armado, pero que a su vez sea más económico, se procede a presentar el siguiente tema con la finalidad de demostrar que otro método puede cumplir con estas características, en este caso el método a implementar es el ferrocemento.

Como plan se procederá a mostrar de manera detallada un análisis comparativo en el que se demuestre con ensayos de laboratorio y cálculos que el ferrocemento es lo suficientemente viable para utilizarse en el país, siendo esta una propuesta no solo económica sino también ecológica.

## **SUMMARY**

At the time when making a construction of a home in Dominican Republic, usually proceeds to use the most common method of construction is of reinforced concrete, which is composed of fine and coarse aggregate, steel rods and cement pursuing this type of housing construction that provides high security.

To find another method that meets the same characteristics of reinforced concrete, but that in turn is cheaper, then referred to the next topic in order to show that another method can meet these characteristics, in this case implementing the method is ferrocement.

As plan shall be displayed in detail in a comparative analysis it is demonstrated with laboratory tests and calculations that ferrocement is feasible enough to be used in the country, being one not only economic but also ecological proposal.

## **INTRODUCCIÓN**

Desde la antigüedad el hombre se ha visto en la necesidad de buscar un lugar para vivir en el que pueda estar protegido y estar rodeado de un ambiente seguro. Sin embargo , no solo está el hecho de vivir en un lugar de ambiente seguro, sino también un lugar que cumpla con las condiciones necesarias para poder adquirir un modo de vida adecuado, de ahí es de donde la nace la necesidad de iniciar con la construcción de viviendas, las cuales fueron atravesando por diferentes etapas a lo largo de su trayectoria, pues en sus inicios el hombre vivía en cuevas y luego poco a poco fue escalando hasta alcanzar otras posibilidades, dentro de las cuales estaban las chozas, que fueron muy utilizadas por los indígenas.

Conforme fue pasando el tiempo, el hombre fue explorando otros métodos de construcción, y ahí fue donde con el paso del tiempo nace el método de construcción del hormigón armado, como una opción para la construcción de viviendas que fueran seguras, pues dicho método contaba con elementos que proporcionaban seguridad.

Más adelante nace otro método de construcción conocido como el método de ferrocemento, el cual suministraba igual o mayor seguridad que el método del hormigón armado, a menor costo en menos tiempo.

Ya partiendo desde este punto es donde surgió la idea de crear este proyecto, a fin de comparar ambos métodos y demostrar si las conclusiones a las que se han llegado alrededor del mundo con ambos, es la misma en la República Dominicana, de que el hormigón armado puede ser sustituido por el ferrocemento, para la construcción de una vivienda que pueda proveer a su vez tanto economía, como seguridad.

# **CAPÍTULO I-EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

La comunidad mundial se ha visto fuertemente afectada en cuanto al ámbito socio-económico se refiere, tomando en cuenta que el bienestar y las condiciones de vida de muchos de los habitantes del planeta no alcanzan una condición adecuada. Existen países alrededor del mundo en los cuales se ha tomado la iniciativa de buscar una opción más económica para la construcción de viviendas, ya que son muchas las familias que carecen de los ingresos suficientes para poder adquirir una residencia de calidad.

Sin embargo, es bueno destacar que no solo está el hecho de que se construyan domicilios de bajos recursos, sino también, que el impacto ambiental que esté presente sea lo menor posible pues es necesario preservar el medio ambiente y cuidar a los seres vivos.

Por otra parte, se debe tomar en cuenta al momento de que una familia decide adquirir o construir una vivienda la cual sea de bajo costo no se les garantiza factores como que esta sea sismo-resistente, segura y confortable, las cuales son características esenciales para vivir de una manera prudente.

Tomando en cuenta las características de algunas viviendas de la República Dominicana, en cuanto al costo y a la calidad se refiere es preciso presentar nuevas opciones que cumplan con las cualidades mencionadas anteriormente. Por lo que se ha tomado en cuenta presentar el método constructivo del ferrocemento, el cual es la opción ideal para construir una vivienda apropiada.

El ferrocemento por sus componentes es un material elástico teniendo límites más altos que los del concreto normal, posee un comportamiento mecánico, el cual depende

principalmente de la armadura. Presentando una buena resistencia a la tracción que supera moderadamente a la del hormigón armado.

## **1.2 Preguntas de investigación**

1. ¿Cuál es el comportamiento del ferrocemento al realizar pruebas a flexión?
2. ¿Cómo funciona el ferrocemento atendiendo a la forma en que está construido?
3. ¿Cuál es la relación entre el peso propio de una viga de ferrocemento y el peso que esta puede soportar?
4. ¿Cuáles es el beneficio de implementar el método de ferrocemento en la República Dominicana?
5. ¿Cuáles son las diferencias entre el sistema de ferrocemento y el sistema tradicional de hormigón armado?

## **1.3 Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar la resistencia y el comportamiento de elementos en ferrocemento, y realizar una comparación con elementos de hormigón armado.

### **Objetivos específicos**

- Realizar pruebas a flexión y verificar su deformación a las fuerzas externas.
- Diseñar vigas conforme a las normas utilizadas en la República Dominicana tomando en cuenta las cargas a las que estarán sometidas las mismas.
- Hacer pruebas de comportamiento del sistema según la forma en que este es construido.

- Diseñar vigas rectangulares para comparar la relación que hay entre el peso propio de las vigas y el peso que estas puedan soportar.
- Demostrar la viabilidad del método de ferrocemento en la construcción de viviendas de bajo costo en la República Dominicana.
- Comparar el impacto ambiental entre el sistema de ferrocemento y el sistema tradicional de hormigón armado.

#### **1.4 Justificación**

Atendiendo a los desastres naturales y a la necesidad de adquirir un lugar para vivir se ha tomado como iniciativa presentar la sugerencia del método constructivo de ferrocemento en la República Dominicana, puesto que son muchos los casos de personas que se ven afectadas ante actividades no programadas como sismos y huracanes, perdiendo sus casas y no teniendo la posibilidad económica de adquirir una nueva vivienda en poco tiempo.

Tomando en cuenta que la República Dominicana es un país en desarrollo, es necesario implementar un sistema que no requiera de una gran inversión, por lo que el ferrocemento tiene como característica principal ser un método con el que se construye por muy bajo costo, partiendo del hecho de que la construcción de viviendas de este tipo serán en periodos más cortos, en comparación con el método de hormigón armado.

Por otra parte al momento de construir casas de ferrocemento no solo se ahorra tiempo y dinero, sino también las personas que habitan cerca del lugar de construcción no se verán perjudicadas en gran escala en cuanto a la contaminación y el ruido porque el periodo de construcción es relativamente corto.

### **1.5 Alcances y límites**

Este estudio tiene como alcance diseñar, ensayar y evaluar el comportamiento de elementos de ferrocemento construido con materiales de la región ante esfuerzos como los de tracción, compresión y flexión, de esta forma contribuir con un nuevo sistema constructivo para casas de bajo costo que presenta un buen comportamiento sísmico, de forma que constituye una solución resistente, digna, sostenible y segura.

Se realizarán estudios para dar a conocer que este método constructivo es factible para su implementación en la República Dominicana, de acuerdo a las pruebas a realizar de flexión para estudiar su comportamiento.

### **1.6 Metodología de la investigación**

La investigación que se está presentando es de tipo experimental, tomando en cuenta que en la misma se implementaron una serie de estudios de laboratorio con el fin de demostrar los objetivos plasmados.

Lo que se realizó para poder obtener los resultados fue idear la construcción de vigas de ambos métodos constructivos que fueran sometidas a pruebas a fin de examinar sus comportamientos, y demostrar las conclusiones a las que se quería llegar.

## **CAPÍTULO II – MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Antecedentes**

En el 2010, INTEC publicó una tesis sobre el estudio del uso del ferrocemento para la construcción de viviendas de bajo costo, sismo resistente y de rápida ejecución en la República Dominicana, los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, la estructura soportó un sismo mayor o equivalente al de Haití en el año 2010. En este estudio además, confirmó la economía del uso de este método frente al concreto armado y que la velocidad de construcción utilizando ferrocemento es mucho más rápido que el concreto.

En un concurso realizado en la Odebrecht en 2012 dos estudiantes de la Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra publicaron un estudio publicado como “El ferrocemento como material alternativo para la construcción de viviendas de interés social. Caso: multifamiliar de dos niveles en República Dominicana” la cual tenía como objetivo analizar la factibilidad del ferrocemento como material de construcción alternativo para las viviendas de interés social en armonía con el medio ambiente, estructuralmente resistentes y económicas (Quezada Rodríguez & Tavárez Cruz, 2012).

En la universidad austral de Chile en el año 2004 se presentó un tesis conocida como “Diseño, fabricación y ensayo de vigas con perfil doble T con ferrocemento”, dicho estudio tenía como objetivo estudiar los atributos del ferrocemento, con el fin de explorar este interesante material como opción real en ese país. Una definición que abarca de manera concisa al ferrocemento, sería la de un mortero con refuerzos, que presentan una singular distribución, ya que son colocados (los refuerzos) en forma homogénea, debido a que estos son mallas que tienen pequeños diámetros y separaciones iguales (Uribe Santibañez, 2004).

En la universidad de Cuenca en Ecuador se analizaron dos clases de elementos tipo C, aquellos formados por mallas hexagonales de 1/2” y 3/4” en los que se realizaron ensayos de laboratorio a compresión y flexión en diferentes posiciones, para determinar cargas, deformaciones, resistencia a la compresión, modulo de elasticidad y esfuerzos cortantes (Campoverde Borja & Campoverde Borja, Determinación de parámetros de resistencia y elasticidad en elementos tipo C fabricados en ferrocemento, 2010).

También se elaboro una tesis en la misma universidad llamada “Diseño y estudio de elementos tipo c sometidos a flexión, tracción y compresión fabricados en ferrocemento” la cual perseguía dar a conocer las características mecánicas que tienen los elementos tipo C fabricados en ferrocemento, para ser utilizados en la construcción de obras civiles (Guzmán Dominguez & Salcedo Alvear, 2011).

En la CUJAE (principal universidad cubana de Ciencias de la Construcción), Yenma Fuentes se concentró principalmente en los aspectos de seguridad ante huracanes y terremotos. Con la ayuda de dos eminentes tutores y Hugo Wainshtok como consultor, basó su trabajo en un diseño que se desarrolló en los años 1990 y que ha sido utilizado en varios lugares en casas de dos pisos en Cuba. Al hacer experimentos con paneles actuales de tamaño completo, se hizo evidente que la conexión de los paneles con los cimientos y con la viga corona es decisiva. Las dos piezas deben ser hechas en concreto estructural hormigonado in situ, para unir las a los paneles.

El factor que valida la resistencia de una pared de paneles a los movimientos horizontales y verticales como los de un terremoto y a aquellos más suaves de los vientos fuertes, es la ductilidad de los paneles que absorben una gran cantidad de energía con una mínima pérdida de sus propiedades mecánicas (EcoSur, 2012).

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 El ferrocemento**

Es un material para la construcción, una construcción de hormigón de poco espesor, flexible, en la que el número de mallas de alambre de acero de pequeño diámetro están distribuidas uniformemente a través de la sección transversal. Se utiliza un mortero muy rico en cemento lográndose un comportamiento notablemente mejorado con relación al hormigón armado cuya resistencia está dada por las formas de las piezas (Gschwind).

Por otra parte el ferrocemento también se puede definir como 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 lo describe Welkus en sus libros “State of Cracking and Enlongation of Ferrocement Under Axial Tensión Load I and II” y “Behavior of ferrocement in Bending” (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000).

#### **2.2.1.1 Materiales que constituyen el ferrocemento**

Los materiales que constituyen el ferrocemento son: La malla de refuerzo, el armazón y el mortero o matriz.

**\* Malla de refuerzo**

La función principal de estas mallas es la de actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco, así como absorber los esfuerzos de tensión en el estado endurecido, que el mortero por sí solo no podría soportar. Generalmente consiste en alambres delgados, ya sean entretejidos o soldados, una de las características importantes es que sea lo suficientemente flexible para poderla doblar en las esquinas agudas; debe introducirse el suficiente acero de refuerzo para absorber los esfuerzos producidos por los golpes, torceduras y dobleces. El comportamiento mecánico del ferrocemento depende en gran parte del tipo, cantidad, orientación y propiedades de la resistencia de la malla y de la varilla de refuerzo. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000)

**\* Acero del armazón**

Sirve para hacer el armazón de la estructura, sobre la cual se colocan las capas de malla; se distribuyen uniformemente y se separan hasta una distancia de 30 cm, generalmente no son tratadas como refuerzo estructural, sino que se les considera como soporte de la malla de refuerzo. En algunos casos el acero de armazón se separa a una distancia de 7,5 cm de centro a centro actuando así como un elemento de refuerzo de la malla de alambre, como sucede en estructuras de botes, embarcaciones, tanques, secciones tubulares, etc. El tamaño de la varilla varía entre  $\frac{1}{4}$ " y  $\frac{3}{4}$ ", la de mayor uso es de  $\frac{1}{4}$ ". Puede combinarse varillas de diferentes diámetros dependiendo del tipo de estructura (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000).

## \* **Mortero**

El mortero está constituido por cemento, agregados, agua y eventualmente aditivos. Las dosificaciones son establecidas por peso y de acuerdo al tipo de estructura y esfuerzos a la que estarán sometidas, es así que para estructuras hidráulicas Namman recomienda dosificaciones de 1 parte de cemento por 1,5 a 2 partes de arena y 0,3 partes de agua (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000).

### **a. Cemento**

Normalmente se utiliza el cemento Pórtland, con el objeto de obtener elementos de ferrocemento que tengan resistencia a la compresión, impermeabilidad, dureza y resistencia lo más elevada posible al ataque químico y que su consistencia se mantenga uniforme, compacta, sin huecos, detrás de la concentración del refuerzo (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000).

Los tipos de cemento Pórtland adecuados para la construcción de ferrocemento son el cemento tipo I y II. El cemento tipo I se usa para estructuras de ferrocemento generales, donde no se requieren de propiedades especiales; el cemento tipo II se usa cuando se desea alcanzar una resistencia final más alta, a costa de perder resistencia inicial y logrando una estructura más densa (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000).

### **b. Agregados**

Los agregados utilizados para la producción de mortero de alta calidad para estructuras de ferrocemento deben ser fuertes, impermeables, libres de sustancias perjudiciales tales como polvo, terrones, pizarras, esquistos, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias

dañinas, y deben ser capaces de producir una mezcla suficientemente trabajable con una relación agua cemento mínima para lograr la penetración adecuada en la malla (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000).

El agregado normalmente a usar es la arena natural, debe tenerse mucho cuidado en la selección de dichas arenas, ya que las arenas blandas pueden verse seriamente afectadas por la abrasión y las reacciones químicas. Un material poroso permitirá la entrada de humedad dentro de secciones muy delgadas afectando la durabilidad y el comportamiento estructural del mortero (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000).

#### **c. Agua**

La calidad del agua para mezclar el mortero es de vital importancia para el ferrocemento endurecido resultante, las impurezas del agua pueden interferir en el fraguado del cemento y afectar adversamente la resistencia o provocar manchado en la superficie, causando eflorescencias y asimismo originar la corrosión del refuerzo. En ningún caso debe usarse agua de mar, generalmente el agua de servicios públicos está considerada apta y no requiere ningún tratamiento adicional. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000)

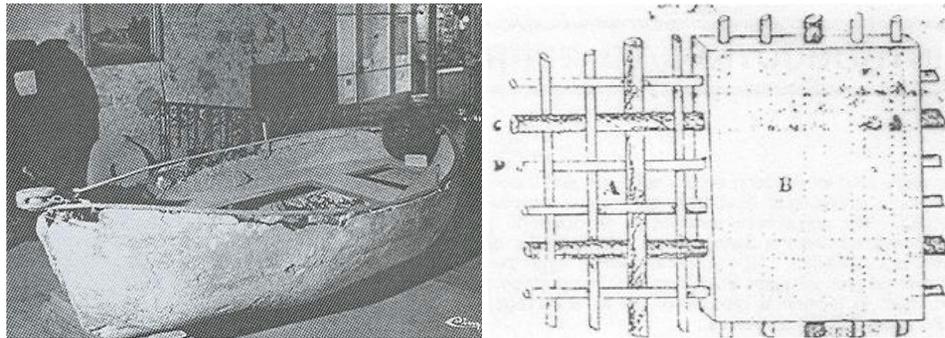
#### **d. Aditivos**

Podemos definir al aditivo como un material distinto del agua, agregado o cemento; el que se añade muchas veces a la mezcla, antes o durante el mezclado con la finalidad de modificar algunas de sus propiedades. Los aditivos que mayormente se emplean en ferrocemento, son aquellos que permiten mejorar la trabajabilidad, reducir la exigencia de

agua y prolongar el fraguado del mortero (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente , 2000).

### 2.2.1.2 Antecedentes históricos

Aunque hay plena evidencia que el uso de morteros reforzados con fibras se remonta a los tiempos del imperio Romano, e, inclusive, a los tiempos de los Sumerios (Pama & Paul, 1992), Joseph Louis Lambot produjo a finales del siglo XIX los primeros objetos construidos con mortero reforzado con malla de alambre en Miraval, en el sur de Francia.



a) Bote construido por Lambot

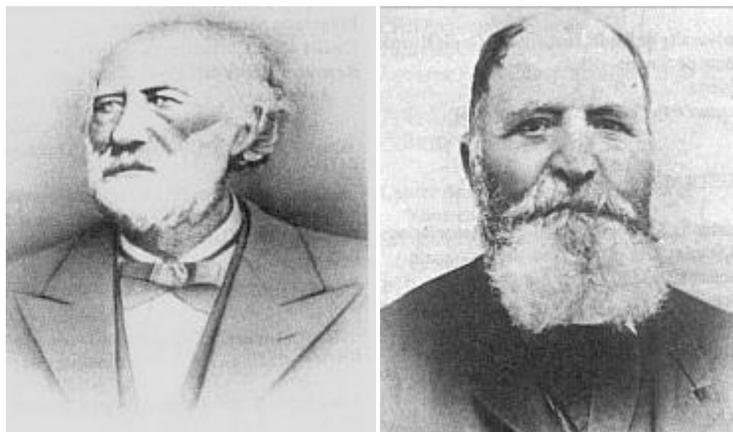
b) Esquema del ferrocemento

Figura 1: Bote construido por Joseph L. Lambot y esquema del material en la patente (Naaman, 2000).

Entre 1848 y 1849, construyó dos botes con más de 3 m de longitud, 1.30 m de ancho y 38 mm de espesor. En la actualidad las dos embarcaciones se conservan en el museo de Brignoles, Francia. En la Figura 2 a, se observa una de estas embarcaciones. Lambot concibe el ferrocemento como un material de construcción para ser usado como sustituto de la madera en construcciones navales, arquitectónicas y para uso doméstico, que no está sujeto a daños por agua y humedad. El material tiene una base de malla metálica de alambre o varilla entrelazada, formando un tejido flexible, adaptable al tamaño y forma

geométrica deseada del objeto que se quiere construir; este tejido se rellena con una mezcla cementante, generalmente de cemento hidráulico (ver figura 2 b). El ferrocemento se considera como la primera aplicación y muy original del hormigón armado. En 1852 Joseph Luís Lambot patenta el material con el nombre de *ferciment*.

A principios de 1849, otro francés, Joseph Monier, realiza objetos para uso en la horticultura, independientemente de Lambot. Fabricó maceteros y cubos para jardinería con cemento y varillas de hierro. Monier, patenta este material en julio de 1867. En la figura 3, se aprecia a Lambot y a Monier, considerados los pioneros del ferrocemento y el hormigón armado.



Joseph Lambot

Joseph Monier

Figura 2: Joseph L. Lambot y Joseph Monier, pioneros del ferrocemento. (Naaman, 2000)

Varias organizaciones a nivel mundial han realizado seminarios y reuniones con expertos y estudiosos del ferrocemento para analizar datos, experiencias, métodos de construcción, dimensiones, costos, nuevas aplicaciones y revisión del estado actual de la tecnología de construcción con ferrocemento y del material en sí. En los albores de 1960, se crea en Nueva Zelanda el Journal of Ferrocement, para trasladarse más tarde al Centro internacional de información sobre ferrocemento (IFIC), en Bangkok, Tailandia, donde aún

reside. El American Concrete Institute (ACI), en 1975, estableció el comité 549 sobre ferrocemento para hacer una extracción revisión de los documentos, y así elaborar un reglamento práctico para este material, mientras que en 1979, la Unión Internacional de Laboratorios de Pruebas e Investigación de Materiales y Estructuras (RILEM), estableció en Europa el comité 48-FC para examinar métodos de prueba para el ferrocemento. En la última década, en Italia, se desarrolló un sitio virtual que ofrece información acerca del material, orígenes, usos, aplicaciones, formas constructivas, investigaciones, contacto con investigadores y constructores del ferrocemento (<http://www.ferrocement.com>). Finalmente, en la sexta Conferencia Internacional sobre ferrocemento, en Estados Unidos, se presentó el modelo del código de diseño con ferrocemento que una vez terminado, se espera que contenga toda la información necesaria y suficiente para diseñar estructuras de ferrocemento (Nassif, 1998).

### **2.2.1.3 Ventajas del ferrocemento**

- Sus partes y piezas pueden ser livianas y fáciles de transportar.
- Permite la utilización de sistemas mixtos (el ferrocemento puede ser usado con otros materiales, como por ejemplo: madera, metalcon, etc).
- Permite distintos tipos de terminaciones y texturas tanto interiores como exteriores.
- Permite la prefabricación y la industrialización por medios avanzados.
- Resiste el agrietamiento, lo que aumenta su impermeabilidad y detiene la corrosión.
- Presenta excelentes condiciones de habitabilidad y confort, considerando su buen aislamiento térmico, acústico, al fuego, a la abrasión e infiltración.

(Material Innovador, 2014)

### 2.2.1.4 Propiedades del ferrocemento

<b>Propiedades del ferrocemento</b>	Espesor	$6 = d_w = 50 \text{ mm}$ , (preferible $< 30 \text{ mm}$ )
	Recubrimiento del acero	$1,50 = d' = 3,0 \text{ mm}$
	Resistencia última a tracción	Hasta 35 Mpa
	Deformación última a tracción	0,0035 o la deformación última del refuerzo
	Esfuerzo permisible a tracción	$0,6 f_y$ o hasta 14 Mpa
	Módulo de ruptura	Hasta 70 Mpa
	Relación flexión/tracción	de 2,0 a 2,5
	Resistencia a la compresión	de 12 a 96 Mpa
	Ancho de fisuras W	$0,05 \text{ mm} = W = 0,10 \text{ mm}$

(Naaman, 2000)

### 2.2.2 Hormigón armado

El hormigón armado es hoy en día un material de construcción con propiedades diferentes a las de hormigón y a las del acero, sus dos componentes. En el hormigón armado el acero da fibra a la piedra (hormigón), y el hormigón da masa al acero. Al hacer uso de un material, se debe tener un conocimiento adecuado de éste, desde el punto de vista físico y mecánico (Comarazamy, 1985).

#### 2.2.2.1 Materiales que constituyen el hormigón armado

##### \* **Gravas**

Se denomina grava a las partículas rocosas cuya media se encuentra contenida entre los 7-100 mm. Estas deben estar limpias y en caso contrario se deben lavar, pues las materias terrosas hacen disminuir la adherencia en grandes proporciones (Construmática).

##### \* **Arena**

Conjunto de partículas pequeñas de rocas que se acumulan en las orillas de mar o de los ríos, se usan para elaborar morteros y hormigones. La arena es una roca incoherente cuyos granos son inferiores a 5 mm (Construmática).

### **2.2.2.2 Antecedentes históricos**

En Francia tuvo su origen el hormigón armado. En 1854 el industrial Lambot descubre el interesante hecho, es decir: el aumento de resistencia del hormigón al armarlo con hierro y construye la primera embarcación con estos materiales, que aún se conserva y se exhibe en el Parque de Miraval (Halinco ).

En 1861 el Ing. Coignet obtiene una patente ya para la ejecución de ciertas estructuras de hormigón armado. En 1867, J. Monier, obtiene también la patente para la construcción de cubos y tuberías con este material y consigue reducir notablemente los espesores de las estructuras, debido a la adecuada y razonable distribución de la armadura metálica. (Halinco )

En los años posteriores al 1875 el Ing. Hennebic estudia científicamente este nuevo tipo de construcción y llega así a ejecutar obras de cierta importancia y magnitud (Halinco ).

Recién en 1884 una Empresa constructora de Alemania adquiere los derechos de la patente perfeccionada de Monier para aplicar el hormigón armado en ese país. Más o menos en esta misma época el Ing. Emperger de la Universidad de Viena se interesa por el hormigón armado y lo estudia, aplicándole las leyes y reglas de la Mecánica aplicada a las Construcciones llega así a fundar la actual teoría del cálculo, basándose además en los resultados de numerosísimos ensayos mecánicos de estructuras de hormigón armado. Con todo derecho se le llama "abuelo del hormigón armado" (Halinco ).

Paralelamente a los estudios e investigaciones de Emperger los profesores Mörsch y Probst, a su vez, contribuyeron eficazmente al estudio y perfeccionamiento de métodos de cálculo de este nuevo sistema de Construcción, llegando así estos investigadores y muy

especialmente el ilustre profesor Dr. Ing. Marcus a formar una teoría científica para el cálculo del Hormigón Armado (Halinco ).

En E.E.U.U. en el año 1875 se inician los ensayos de aplicación de este nuevo material en las construcciones. En ese año Ward aplica, por primera vez, el hormigón armado en la construcción de entresijos, como también Hyatt en varias clases de estructuras. Pero recién en el año 1890 se generaliza y se adopta este sistema de construcción en las obras en general (Halinco ).

### **2.2.2.3 Ventajas del hormigón armado**

- El hormigón armado puede ser vaciado en una variedad infinita de formas para fabricar vigas, columnas, cascarones.
- El diseñador tiene campo abierto para dar las formas que desee.
- Presenta ventajas con respecto a la madera y las estructuras metálicas en los enlaces, ya que estos desaparecen en el hormigón armado, al fabricarse elementos monolíticos con el mismo.
- El hormigón armado es un material que sirve para proteger la contra la acción de los agentes atmosféricos al construirse con él nudos y losas.
- Sostienen cargas fijas o móviles permitiendo el paso de vehículos y personas al emplearse en la construcción de autopistas, puentes, avenidas, viaductos y pisos.
- Resiste fuerzas horizontales cuando se emplea en presas, muros de contención y diques (Comarazamy, 1985).

### **2.2.3 Diferencias físicas y mecánicas entre el ferrocemento y el hormigón armado**

- El ferrocemento es un material de pared delgada, el concreto posee grandes espesores.
- El componente dúctil está distribuido a través de toda la sección de ferrocemento; en el hormigón son barras, generalmente longitudinales y transversales de diámetro considerable.
- La matriz de aglutinante del ferrocemento está hecha a partir de agregados finos (sólo arenas); en el hormigón existen agregados finos y gruesos (arena más triturada de piedra).
- El ferrocemento posee propiedades de un material homogéneo e isotrópico en dos direcciones.
- El ferrocemento tiene alta resistencia a la tracción y alto módulo de rotura. Su resistencia a tracción puede llegar a ser similar a la resistencia a compresión. En el hormigón la resistencia a tracción es muy baja.
- Generalmente el ferrocemento presenta una alta superficie específica de refuerzo, del orden de uno a dos con respecto al hormigón reforzado.
- Por el contenido y distribución del refuerzo, el ferrocemento presenta un proceso de agrietamiento a tracción, diferente al del hormigón reforzado.
- En el ferrocemento la deformación generada por falla a tracción, se incrementa con el número de capas de malla. Es decir, la ductilidad aumenta con el incremento de la superficie específica de refuerzo. Tal comportamiento es diferente en el hormigón reforzado a flexión, donde generalmente se ha observado que la ductilidad baja con el incremento de la relación de refuerzo.
- El ferrocemento presenta pequeños anchos de grietas y alta deformabilidad, lo que lo hace ideal para aplicaciones marinas.

- Debido a los pequeños espesores el ferrocemento posee menor resistencia al fuego que el hormigón reforzado.
- Debido al sistema de malla que proporciona refuerzo en las dos direcciones, el ferrocemento presenta mejor resistencia al impacto y a la cortante de punzonamiento, que el hormigón reforzado.
- Los métodos de construcción del ferrocemento son diferentes de los métodos del hormigón reforzado.
- El ferrocemento es más adaptable a bajos niveles de tecnología, mientras el hormigón reforzado necesita un mínimo de tecnología y equipo liviano. El ferrocemento se adapta fácilmente a altos niveles de tecnología, como el hormigón armado.
- En la construcción con ferrocemento se puede tener altos niveles de industrialización con menores costos en equipos. El hormigón armado incrementa la inversión.
- El ferrocemento es más fácil de reparar y mantener. En aplicaciones marinas, el ferrocemento, está por encima del hormigón reforzado (Bedoya Ruiz D. A., 2005).

#### **2.2.4 Similitudes entre el ferrocemento y el hormigón armado**

Las similitudes entre ferrocemento y el hormigón reforzado son numerosas. Ambos materiales utilizan en común una matriz aglutinante y un volumen de refuerzo; obedecen a los mismos principios mecánicos y pueden ser modelados de acuerdo con las mismas teorías y analizados utilizando las mismas técnicas. Además pueden ser diseñados con la misma filosofía (Bedoya Ruiz D. A., 2005).

## 2.2.5 Conceptos claves

Antes de realizar el ensayo era necesario manejar algunos conceptos que presentaran una idea de que es lo que se perseguía con dicho ensayo y a continuación se presenta un resumen general.

### 2.2.5.1 Determinación del módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es la razón entre el incremento de esfuerzo aplicado a un material y el cambio correspondiente a la deformación unitaria que experimenta (Enciclopedia Universal , 2012).

En esta parte se presentara a continuación el cálculo del modulo de elasticidad tanto para el hormigón armado como para el ferrocemento:

#### \* Módulo de elasticidad para el hormigón armado

Según la ACI318-05 la fórmula que corresponde para el módulo de elasticidad del hormigón armado es la siguiente:

$$E = 15,100 \sqrt{F'c}$$

De donde tenemos que:

$$E = 15,100 \sqrt{210 \text{ kg/cm}^2} = 218,819.79 \text{ kg/cm}^2$$

#### \* Módulo de elasticidad para el ferrocemento

Para poder determinar el modulo de elasticidad del ferrocemento es necesario tomar en cuenta todos los elementos que lo constituyen tomando en cuenta los factores mencionados en el libro “El ferrocemento y sus aplicaciones” del autor Alfonso Olvera López.

$$E = E_s * \frac{A_s}{A_c} + E_m * \frac{A_m}{A_c}$$

Donde:

$E_s = \text{Módulo de elasticidad del acero} = 2,000,000 \text{ kg/cm}^2$

$A_s = \text{Área de acero} = 1.42 \text{ cm}^2$

$A_c = \text{Área de la estructura de ferrocemento} = 80 \text{ cm}^2$

$E_m = \text{Módulo de elasticidad del mortero} = 218,819.79 \text{ kg/cm}^2$

$A_m = \text{Área de mortero} = 80 \text{ cm}^2 - 1.42 \text{ cm}^2 = 78.58 \text{ cm}^2$

De donde tenemos que:

$$E = 2,000,000 \text{ kg/cm}^2 * \frac{1.42 \text{ cm}^2}{80 \text{ cm}^2} + 218,819.79 \text{ kg/cm}^2 * \frac{78.58 \text{ cm}^2}{80 \text{ cm}^2} = 250,435.74 \text{ kg/cm}^2$$

### **2.2.5.2 Momento de una fuerza**

Es una magnitud vectorial, obtenida como producto vectorial del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza con respecto al punto al cual se toma el momento por la fuerza, en ese orden. También se le denomina momento dinámico o sencillamente momento (Latino el rey azul , 2010).

### **2.2.5.3 Esfuerzo máximo**

Es la máxima cantidad de esfuerzo que el material puede soportar. A partir de esta magnitud la probeta empieza a deformarse aun ante la aplicación de cargas menores. El esfuerzo máximo, debe ser la aplicación de ciertas fuerzas, la mayor antes de el punto de romperse o deformarse (MECA, 2011).

#### 2.2.5.4 Deformación máxima

Desplazamiento máximo del punto de aplicación de carga, aplicada en la dirección del eje primario para el campo de utilización (SDP, 2007).

#### 2.2.5.5 Deformación unitaria

Es la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, la cual permitirá determinar la deformación del elemento sometido a esfuerzos de tensión o compresión axial (Huauya, 2013).

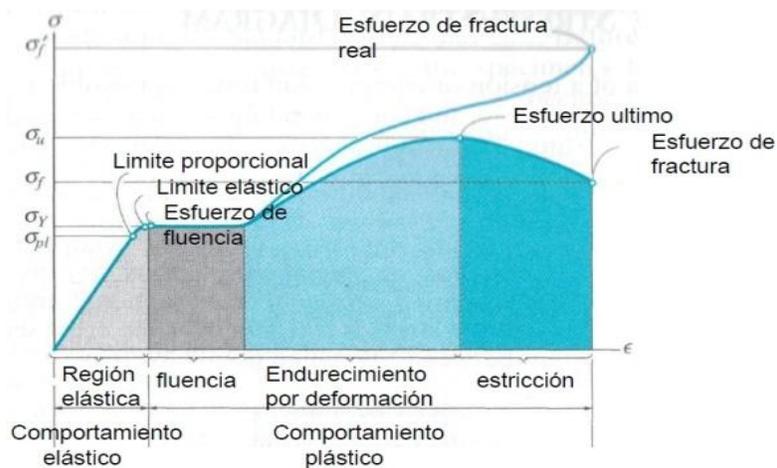


Figura 3: Diagrama esfuerzo-deformación (Estudiantes metalografía, 2012)

#### 2.2.5.6 Inercia

La inercia en Física designa a la incapacidad de los cuerpos para salir del estado de reposo o de movimiento o variar las condiciones de ese movimiento, en forma independiente de una fuerza exterior (De conceptos, 2014).

#### 2.2.5.7 Esfuerzo a compresión

Es el esfuerzo que resiste el acortamiento de una fuerza de compresión externa (Diccionario de arquitectura y construcción).

#### **2.2.5.8 Resistencia de rotura**

Tracción, compresión o esfuerzo de cizalladura que puede resistir un material sin romperse.

También llamada carga unitaria de rotura (Diccionario de arquitectura y construcción).

#### **2.2.5.9 Esfuerzo a flexión**

Combinación de las fuerzas de tracción y de compresión que se desarrollan en la sección transversal de un elemento estructural para resistir una fuerza transversal (Diccionario de arquitectura y construcción).

#### **2.2.5.10 Deflexión máxima**

Es aquella deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas (Estructuras EIA).

### **2.3 Marco contextual**

El desarrollo de los estudios y de los ensayos que fueron necesarios para la elaboración de este proyecto tuvieron lugar tanto como el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU) como en el laboratorio Epsa-Labco; también la utilización de la biblioteca de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU).

## **CAPÍTULO III – MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Formulación de hipótesis**

La construcción de estructuras de ferrocemento es más económica y rápida que la construcción de estructuras del sistema tradicional de hormigón armado.

### **3.2 Tipo de investigación**

-Investigación experimental: porque se realizaron ensayos en un laboratorio para demostrar la viabilidad del estudio.

-Investigación descriptiva: ya que se presenta de manera detallada todo el proceso desarrollado en los laboratorios y las conclusiones a las que se llegaron.

#### **3.2.1 Enfoque de la investigación**

- Cuantitativo: porque se emplearon cálculos matemáticos e informáticos para poder avalar en las conclusiones como llegamos a las mismas.

#### **3.2.2 Tiempo de ocurrencia de la investigación**

El tiempo aproximado en el cual se desarrollo toda la investigación fue de 4 meses, de donde se partió de una investigación general hasta desarrollar los ensayos de lugar.

### **3.3 Método de investigación**

En esta parte se emplearon las observaciones y la experimentación para llegar a las generalidades de hechos que se repiten una y otra vez.

### **3.4 Procedimiento**

- \* Búsqueda de información bibliográfica.
- \* Elaboración del diseño de muestra experimental.

- \* Realizar ensayo.
- \* Obtención de resultados.
- \* Análisis de datos.
- \* Redacción del informe final.

### **3.5 Técnicas de investigación**

En esta parte se describen los métodos utilizados para el desarrollo de la investigación de este proyecto.

#### **3.5.1 Técnicas**

La técnica a utilizar es la observación de laboratorio ya que se tiene un elemento estructural para observar sus comportamientos.

#### **3.5.2 Instrumentos**

- \* Se usaron hojas de cálculos diseñadas en Excel para la obtención de los resultados finales.
- \* Se utilizó un software para obtener de manera más resumida algunos datos que fueron necesarios para el desarrollo del estudio.

## **CAPÍTULO IV – RESULTADOS**

### **4.1 Proceso de construcción de vigas**

Para comparar ambos métodos constructivos o sea el método de hormigón armado y de ferrocemento, partiremos de la idea de construir vigas con dimensiones similares y a partir de ahí someterlas a pruebas en el laboratorio para analizar el comportamiento de cada una.

Las dimensiones utilizadas para cada tipo de viga fueron sugeridas en el laboratorio, por motivo de que es más fácil trabajar con vigas de el tamaño sugerido, el cual en este caso fue de 15x15x51 (cm), de donde:

Base= 15 cm

Altura= 15 cm

Largo= 51 cm

Estas condiciones son dadas para facilitar el trabajo, la construcción y el traslado de las mismas.

Cabe destacar que las dimensiones detalladas anteriormente son sugeridas para vigas de hormigón armado, las cuales son conocidas en República Dominicana, sin embargo, para las vigas de ferrocemento lo que se hará es presentar vigas de este método con dimensiones similares, las cuales se desglosarán más adelante; todo esto claro está, sin violar las reglas de cada método.

La construcción de las vigas serán detalladas con la finalidad de dar a conocer que fueron utilizados los materiales que componen cada método constructivo, los cuales se detallaron anteriormente.

#### 4.1.1 Construcción de viga de hormigón armado

Como ya se había mencionado las dimensiones con las que se trabajará la viga de hormigón armado son 15x15x51 cm, a continuación se presentará todo el proceso para construir dicha viga:

Para 1:2:4

Nota: se seleccionó esta dosificación debido a que para construcciones de vigas de hormigón armado, esta cumple con los requerimientos para obtener una resistencia adecuada.

1. Se determinó la dosificación a utilizar, de donde se realizaron los siguientes cálculos:

#### Diseño de mezcla

$$V = b * h * L = 15\text{cm} * 15\text{cm} * 51\text{cm} = 11,475\text{cm}^3 = 0.011475\text{m}^3$$

$$\text{Cemento} = (280\text{Kg}/\text{m}^3 * 0.011475\text{m}^3) + 5\% = 3.37\text{Kg}$$

$$\text{Arena} = (0.415\text{m}^3/\text{m}^3 * 0.011475\text{m}^3) + 5\% = 0.005\text{ m}^3 = 5\text{ Kg}$$

$$\text{Grava} = (0.83\text{m}^3/\text{m}^3 * 0.011475\text{m}^3) + 5\% = 0.010\text{ m}^3 = 10\text{Kg}$$

$$\text{Agua} = (41.7\text{gal}/\text{m}^3 * 0.011475\text{m}^3) + 5\% = 0.47\text{ gal} = 1.89\text{Kg}$$



Figura 4: Medida en balanza para hormigón armado

## Cálculo del acero

Datos
B= 15cm
H= 15cm
Fy= 4,200Kg/cm <sup>2</sup>
F'c= 210Kg/cm <sup>2</sup>
Rec= 4cm
β = 0.85

Leyenda
B= Base
H= Altura
Fy= Esfuerzo de fluencia del acero
F'c= Resistencia en compresión del hormigón
Rec= Recubrimiento

$$\rho_d = hf - \left( \text{Rec} + \frac{\phi \text{Var}}{2} \right) = 15\text{cm} - \left( 4\text{cm} + \frac{2.54\text{cm}}{2} \right) = 9.73\text{cm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{14\text{Kg/cm}^2}{F_y} = \frac{14\text{Kg/cm}^2}{4,200\text{Kg/cm}^2} = 0.003333333$$

$$\rho_{\text{bal}} = \frac{0.85 * \beta * F'c}{F_y} * \frac{6,115}{6,115 + F_y} = \frac{0.85 * 0.85 * 210\text{Kg/cm}^2}{4,200\text{Kg/cm}^2} * \frac{6,115}{6,115 + 4,200\text{Kg/cm}^2} = 0.021415838$$

$$\rho_{\max} = 0.75 * \rho_{\text{bal}} = 0.75 * 0.021415838 = 0.016061878$$

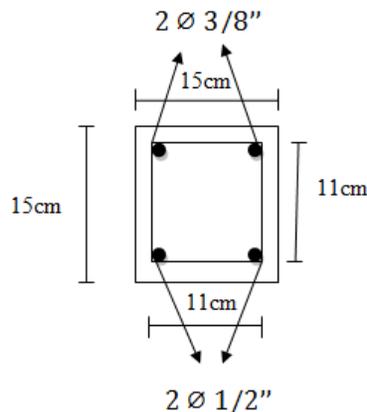
Si  $\rho_{\min} \leq \rho_{\max}$ , trabajar con  $\rho_{\max}$

$$0.003333333 \leq 0.016061878 \text{ (Ok)}$$

$$A_s = \rho_{\max} * b * d = 0.016061878 * 15\text{cm} * 9.73\text{cm} = 2.34\text{cm}^2$$

La varilla de 1/2'' tiene un área de 1.27cm<sup>2</sup> por lo que:

$A_s = (2 * 1.27\text{cm}^2) = 2.54\text{cm}^2$ ; se trabajará con 2 varillas de 1/2'' en la parte inferior y 2 varillas de 3/8'' en la parte superior de la viga.



2. Se armó la estructura interna la cual estaba compuesta por las varillas anteriormente, de donde se colocaron dos varillas de 3/8" en la parte superior y dos varillas de 1/2" en la parte inferior, estas varillas fueron armadas con aros colocados a un espaciamiento de 10 cm y amarradas con alambre dulce convencional.



Figura 5: Preparación de la armadura interna para viga de hormigón armado

3. Se colocó la armadura en el encofrado.



Figura 6: Montaje de la armadura interna en el encofrado para viga de hormigón armado

4. Se procedió a la preparación de la mezcla con la dosificación presentada en el paso uno.



Figura 7: Preparación de la mezcla para viga de hormigón armado

5. Se vertió la mezcla en el cajón, aplicando golpes en los extremos conforme se fue vertiendo con el objetivo de compactar la mezcla.



Figura 8: Colocación de la mezcla en el encofrado para viga de hormigón armado

6. Ya para terminar se realizó el acabo final utilizando una llana de madera.



Figura 9: Acabado final para viga de hormigón armado

7. Luego de esto se dejó reposar la armadura durante 24 horas.
8. Pasadas las 24 horas se desencofró la estructura y se colocó la viga en un contenedor de agua para el curado durante 2 semanas.



Figura 10: Desencofrado para viga de hormigón armado

#### 4.1.2 Construcción de viga de ferrocemento

Para 1:2

Nota: Se seleccionó esta dosificación debido a que con esta se pueden obtener morteros resistentes e impermeables.

1. Cálculo de la dosificación del mortero:

$$V = b * h * L = 20\text{cm} * 4\text{cm} * 59\text{cm} = 4,720\text{cm}^3 = 0.00472\text{m}^3$$

$$\text{Arena} = (0.00472\text{m}^3) (0.90\text{m}^3/\text{m}^3) + 5\% = 0.004 \text{ m}^3 = 4 \text{ Kg}$$

$$\text{Cemento} = (0.00472\text{m}^3) (560\text{kg}/\text{m}^3) + 5\% = 2.78 \text{ Kg}$$

$$\text{Agua} = (0.00472\text{m}^3) (60\text{gal}/\text{m}^3) + 5\% = 0.30 \text{ gal} = 1.2 \text{ Kg}$$



Figura 11: Medida en la balanza de los agregados para viga de ferrocemento

## Cálculo del acero

Datos:
B= 20cm
H= 4cm
Fy= 4,200Kg/cm <sup>2</sup>
F'c= 210Kg/cm <sup>2</sup>
Rec= 2cm
B= 0.85

Leyenda
B= Base
H= Altura
Fy= Esfuerzo de fluencia del acero
F'c= Resistencia en compresión del hormigón
Rec= Recubrimiento

$$d = hf - \left( Rec + \frac{\varnothing Var}{2} \right) = 4cm - \left( 2cm + \frac{2.54cm}{2} \right) = 0.73cm$$

$$\rho_{min} = \frac{14Kg/cm^2}{F_y} = \frac{14Kg/cm^2}{4,200Kg/cm^2} = 0.003333333$$

$$\rho_{bal} = \frac{0.85 * \beta * F'c}{F_y} * \frac{6,115}{6,115 + F_y} = \frac{0.85 * 0.85 * 210Kg/cm^2}{4,200Kg/cm^2} * \frac{6,115}{6,115 + 4,200Kg/cm^2} = 0.021415838$$

$$\rho_{max} = 0.75 * \rho_{bal} = 0.75 * 0.021415838 = 0.016061878$$

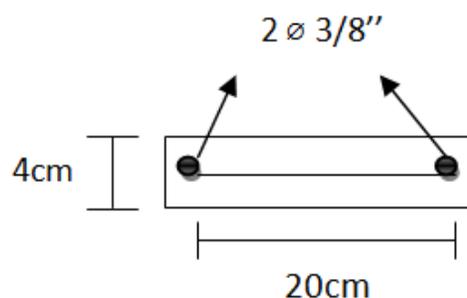
Si  $\rho_{min} \leq \rho_{max}$ , trabajar con  $\rho_{max}$

$$0.003333333 \leq 0.016061878 \text{ (Ok)}$$

$$A_s = \rho_{max} * b * d = 0.016061878 * 20cm * 0.73cm = 0.23cm^2$$

La varilla de 3/8'' tiene un área de 0.71cm<sup>2</sup> por lo que:

$A_s = (2 * 0.71cm^2) = 1.42cm^2$ ; se trabajará con 2 varillas de 3/8'', una en cada lado de la estructura.



2. Se procedió a preparar la estructura interna, la cual contaba con una pieza de malla electrosoldada calibre 10/10, sección 20x59 cm.



Figura 12: Preparación de la armadura interna para viga de ferrocemento

3. Luego se amarraron dos varillas de 3/8'' una en cada lado de la malla electrosoldada con alambre dulce.



Figura 13: Colocación de acero en la armadura interna para viga de ferrocemento

4. Se cubre la armadura con tela gallinera, las dimensiones de esta fueron 5 cm adicionales por encima de la dimensión de la malla electrosoldada, por lo que la medida resultó ser 25x64 cm. Estos 5 cm se utilizan para los empalmes en los

extremos. Se cortaron dos capas de tela gallinera y se colocaron una en cada lado, las cuales fueron amarradas con alambre dulce convencional.



Figura 14: Colocación de tela gallinera en la estructura interna para viga de ferrocemento

5. Se prepara el mortero con la dosificación que fue presentada en el paso uno.
6. Se aplica el mortero en cada lado de la estructura, las cuales fueron previamente colocadas en un molde para obtener una mejor terminación.



Figura 15: Colocación de la mezcla para viga de ferrocemento

7. Ya para terminar se realizó el acabo final utilizando una llana de madera.



Figura 16: Acabado final para viga de ferrocemento

8. Luego de esto se dejó reposar la armadura durante 24 horas.
9. Pasadas las 24 horas se desencofró la estructura y se colocó la viga en un contenedor de agua para el curado durante 2 semanas.



Figura 17: Desencofrado para viga de ferrocemento

#### 4.2 Ensayo realizado en el laboratorio

Para poder establecer la parte primordial de este análisis comparativo se realizó un ensayo en el laboratorio Epsa Labco de Santo Domingo, en el cual se sometieron las vigas a cargas puntuales ubicadas cada una a un tercio de cada extremo.

A continuación se presentará todo el proceso del ensayo en el laboratorio:

1. Se colocaron las vigas (una a la vez) en la máquina para estudio de flexión, se tomó una regla con el objetivo de comprobar que las cargas estuvieran colocadas justo a un tercio de cada extremo.



Figura 18: Introducción de vigas en máquina para flexión

2. Se encendió la maquina y este es el punto en el que la misma empieza lentamente a aplicar dos cargas puntuales.
3. Se procedió a esperar a que cada viga llegara al punto en el que diera la fuerza a la falla, que fue cuando cada viga se rompió.



Figura 19: Representación de rotura para viga de hormigón armado



Figura 20: Representación de rotura para viga de ferrocemento

### 4.3 Cálculos posteriores al ensayo

#### \* Hormigón Armado

Datos		
<b>b=</b>	15	cm
<b>h=</b>	15	cm
<b>L=</b>	51	cm
<b>a=</b>	225	cm <sup>2</sup>
<b>P=</b>	8,501.00 <sup>1</sup>	kg
<b>F'c=</b>	210.00	kg/cm <sup>2</sup>
<b>E=</b>	218,819.79	kg/cm <sup>2</sup>
<b>σmax=</b>	109.27 <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
<b>y=</b>	7.5	cm
<b>εmax=</b>	0.003	cm

Leyenda	
<b>b=</b>	Base
<b>h=</b>	Altura
<b>L=</b>	Longitud
<b>a=</b>	Área
<b>P=</b>	Carga máxima
<b>F'c=</b>	Resistencia a compresión
<b>E=</b>	Módulo de elasticidad
<b>Mmax=</b>	Momento máximo
<b>σmax=</b>	Esfuerzo máximo
<b>y=</b>	Posición respecto al centro de gravedad
<b>εmax=</b>	Deformación máxima
<b>Ix=</b>	Inercia respecto al eje X
<b>σ=</b>	Esfuerzo a compresión
<b>σr=</b>	Esfuerzo a flexión (Módulo de ruptura)
<b>δ=</b>	Deflexión máxima
<b>ε=</b>	Deformación unitaria

Fórmulas
$M_{max} = \frac{P \cdot L}{3}$
$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$
$\sigma = \frac{M_{max} \cdot Y}{I_x}$
$\sigma_r = 7.5 \sqrt{F'c}$
$\delta = \frac{13}{324} \cdot \frac{P \cdot L^3}{E \cdot I_x}$
$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$

Cálculos				
Para flexión simple				
<b>Mmax=</b>	144,517.00	kg-cm		
<b>Ix=</b>	4218.75	cm <sup>4</sup>		
<b>σr=</b>	108.69	kg/cm <sup>2</sup>	<b>σr &lt; σmax</b>	<b>OK</b>
<b>σ=</b>	256.92	kg/cm <sup>2</sup>	<b>σ &gt; F'c</b>	<b>OK</b>
Para deformación unitaria				
<b>δ=</b>	0.04901269	cm		
<b>ε=</b>	0.00117411	cm	<b>ε &lt; εmax</b>	<b>OK</b>

<sup>1</sup> Ver Anexo

<sup>2</sup> Ver Anexo

\* Ferrocemento

Datos		
<b>b=</b>	20	cm
<b>h=</b>	4	cm
<b>L=</b>	59	cm
<b>a=</b>	80	cm <sup>2</sup>
<b>P=</b>	1,497.00 <sup>3</sup>	kg
<b>F'c=</b>	210.00	kg/cm <sup>2</sup>
<b>E=</b>	249,012.32	kg/cm <sup>2</sup>
<b>σmax=</b>	240.31 <sup>4</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
<b>y=</b>	2	cm
<b>εmax=</b>	0.003	cm

Fórmulas
$M_{max} = \frac{P \cdot L}{3}$
$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$
$\sigma = \frac{M_{max} \cdot Y}{I_x}$
$\sigma_r = 7.5 \sqrt{F'c}$
$\delta = \frac{13 \cdot P \cdot L^3}{324 \cdot E \cdot I_x}$
$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$

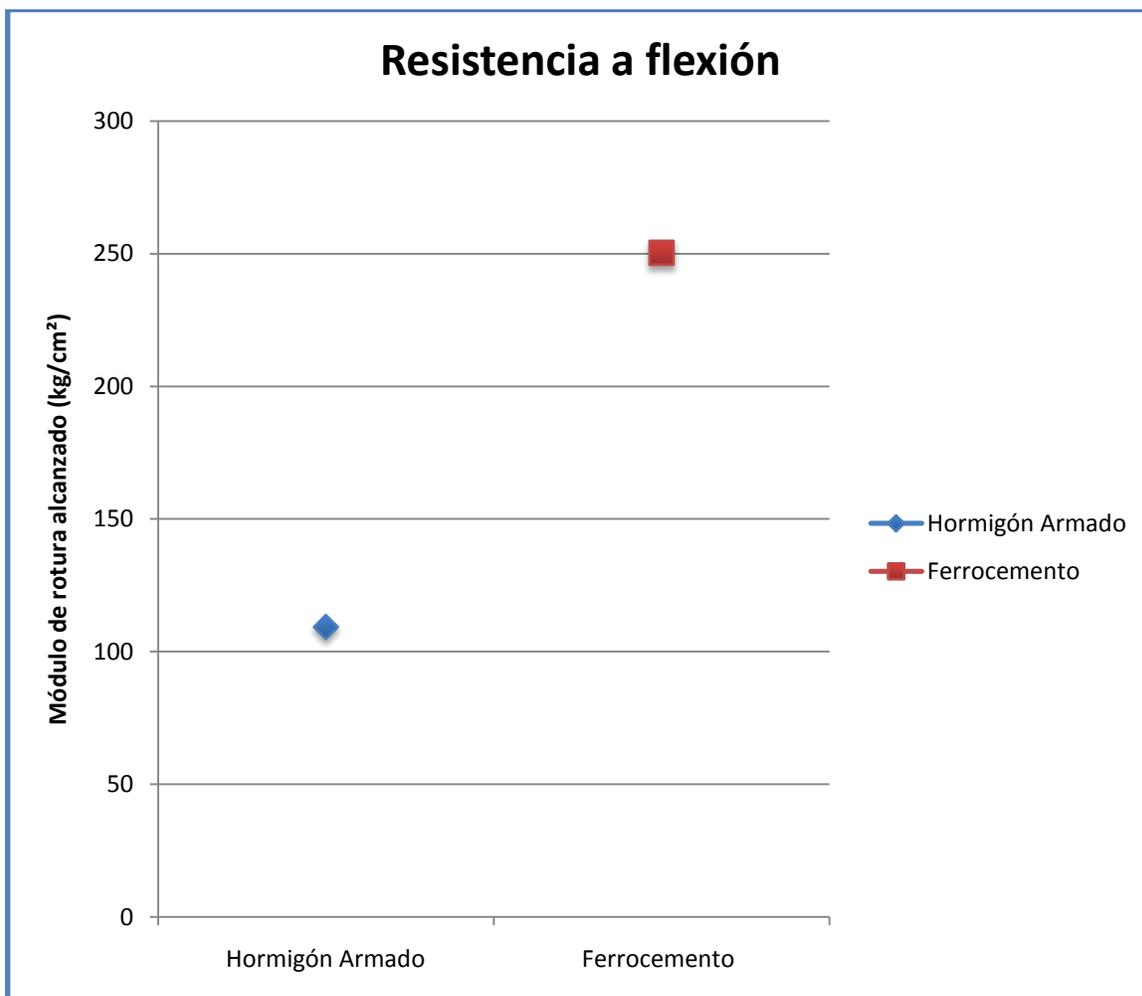
Leyenda	
<b>b=</b>	Base
<b>h=</b>	Altura
<b>L=</b>	Longitud
<b>a=</b>	Área
<b>P=</b>	Carga máxima
<b>F'c=</b>	Resistencia a compresión
<b>E=</b>	Módulo de elasticidad
<b>Mmax=</b>	Momento máximo
<b>σmax=</b>	Esfuerzo máximo
<b>y=</b>	Posición respecto al centro de gravedad
<b>εmax=</b>	Deformación máxima
<b>Ix=</b>	Inercia respecto al eje X
<b>σ=</b>	Esfuerzo a compresión
<b>σr=</b>	Esfuerzo a flexión (Módulo de ruptura)
<b>δ=</b>	Deflexión máxima
<b>ε=</b>	Deformación unitaria

Cálculos				
Para flexión simple				
<b>Mmax=</b>	29,441.00	kg-cm		
<b>Ix=</b>	106.67	cm <sup>4</sup>		
<b>σr=</b>	108.69	kg/cm <sup>2</sup>	<b>σr &lt; σmax</b>	<b>OK</b>
<b>σ=</b>	552.02	kg/cm <sup>2</sup>	<b>σ &gt; F'c</b>	<b>OK</b>
Para deformación unitaria				
<b>δ=</b>	0.46443679	cm		
<b>ε=</b>	0.00221683	cm	<b>ε &lt; εmax</b>	<b>OK</b>

<sup>3</sup> Ver Anexo

<sup>4</sup> Ver Anexo

#### 4.4 Gráfico de la resistencia a flexión de las viguetas

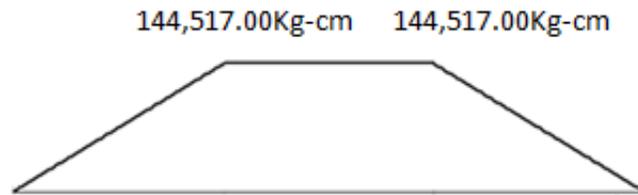
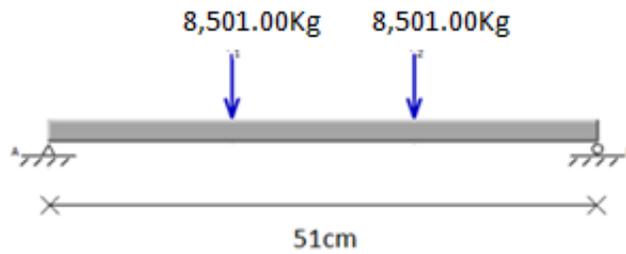


En un ensayo de flexión, el módulo de rotura en la flexión es el esfuerzo máximo en la fibra cuando se produce el fallo. Esto es importante ya que proporciona una visión sobre la fuerza máxima que una sustancia puede soportar antes de romperse.

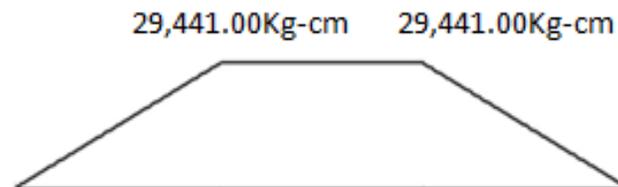
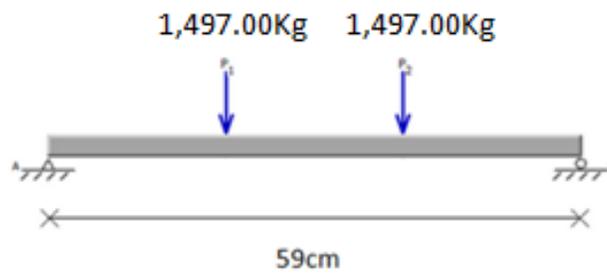
Estos son los datos arrojados de los ensayos realizados en el laboratorio de Epsa Labco, como es notable el ferrocemento obtuvo un valor más alto que el hormigón armado.

#### 4.5 Representación gráfica de las vigas con las cargas y los diagramas de momento

##### \* Hormigón Armado



##### \* Ferrocemento



#### 4.6 Discusión

Como se puede ver anteriormente se estaban presentando los cálculos que corresponden a la flexión simple y a la deformación unitaria correspondiente a cada viga atendiendo a los resultados obtenidos en el laboratorio, de los cuales conseguimos la fuerza a la falla (P) y la M de ruptura ( $\sigma_{max}$ ).

Mediante los resultados para ambas vigas se puede notar que conforme a la relación establecida entre los datos obtenidos en el laboratorio y los calculados todo cumple conforme al reglamento, puesto que en los dos casos el esfuerzo a flexión (módulo de ruptura) es menor que el esfuerzo máximo, el esfuerzo a compresión es mayor que la resistencia a compresión y que la deformación unitaria es menor que la deformación máxima (establecida por la ACI318-05), como corresponde.

Considerando los resultados adquiridos por medio del ensayo se notó que al obtener una M de ruptura de 109.27 kg/cm<sup>2</sup> para hormigón armado y una M de ruptura de 240.31 kg/cm<sup>2</sup> para el ferrocemento, se estableció una relación en la que se pudo notar que el ferrocemento tiene un porcentaje de 45.47 % por encima del hormigón armado en cuanto al esfuerzo a flexión se refiere.

De acuerdo al tamaño con el que se construyeron ambas vigas es preciso resaltar que para la viga de ferrocemento que posee un área de 80 cm<sup>2</sup> obtuvo un esfuerzo a flexión mayor que el de la viga de hormigón armado, la cual tiene un área de 225 cm<sup>2</sup>; atendiendo a que la inercia que presenta la viga de ferrocemento siendo menor, presenta mayor esfuerzo.

#### 4.7 Análisis de costo

Una vez que se realizó todo el proceso de construcción y ensayos de las vigas, pues se procedió a desarrollar un análisis de costo para cada una de las vigas, a fin de comparar los precios de construcción de ambas.

Tomando en cuenta que los precios en las ferreterías de República Dominicana están aplicados en base a cantidades que por lo general sean un poco más grandes que las cantidades requeridas por las vigas, pues lo primero que se presentará es la equivalencia de cada precio según la ferretería, para luego presentarlos según unidades con las que se puedan trabajar para presentar un precio unitario que vaya acorde con cada viga.

La ferretería donde fueron comprados los materiales para la construcción de las vigas fue en la ferretería Materiales de Construcción Hermanos Valenzuela, en la que se presentaron de manera general los siguientes precios:

Varillas de 1/2": RD\$340.00 c/u, por lo que 1m de varilla de este tipo equivale a **RD\$55.00**.

Varillas de 3/8": RD\$180.00 c/u, por lo que 1m de varilla de este tipo equivale a **RD\$29.00**.

Aros de 3/8" 11x11 (cm): **RD\$28.00** c/u.

Alambre dulce: RD\$40.00 el royo.

Cemento: RD\$270.00 la funda, cada funda contiene 50Kg, por lo que el precio equivalente a cada kilogramo es de **RD\$6.00**.

Arena: RD\$50.00 la funda, cada funda contiene 50Kg, por lo que el precio equivalente a cada kilogramo es de **RD\$2.00**.

Grava: RD\$50.00 la funda, cada funda contiene 50Kg, por lo que el precio equivalente a cada kilogramo es de **RD\$2.00**.

Malla electrosoldada: RD\$8,770.00 el royo que contiene 40m, de donde 1m equivale a **RD\$220.00**.

Tela gallinera: **RD\$60.00** cada metro.

A partir del desarrollo anterior de los precios generales se procede a presentar el análisis de costo para cada viga:

<b>Viga de hormigón armado</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Valor</b>
Varillas de 1/2"	1.02m	55.00RD\$	56.10RD\$
Varillas de 3/8"	1.02m	29.00RD\$	29.58RD\$
Aros de 3/8" 11x11 (cm)	5Und	28.00RD\$	140.00RD\$
Alambre dulce	0.5Und	40.00RD\$	20.00RD\$
Cemento	3.37Kg	6.00RD\$	20.22RD\$
Arena	5Kg	2.00RD\$	10.00RD\$
Grava	10Kg	2.00RD\$	20.00RD\$
Madera (Encofrado)	P.A.	300.00RD\$	300.00RD\$
Mano de obra	P.A.	250.00RD\$	250.00RD\$
<b>Total:</b>			<b>845.90RD\$</b>

<b>Viga de ferrocemento</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Valor</b>
Varillas de 3/8"	1.02m	55.00RD\$	56.10RD\$
Malla electrosoldada 15x15 (cm)	0.51m	220.00RD\$	112.20RD\$
Tela gallinera 20x56 (cm)	0.56m	60.00RD\$	33.60RD\$
Arena	4Kg	2.00RD\$	8.00RD\$
Cemento	2.78Kg	6.00RD\$	16.68RD\$
Alambre dulce	0.5Und	40.00RD\$	20.00RD\$
Mano de obra	P.A.	250.00RD\$	250.00RD\$
<b>Total:</b>			<b>496.58RD\$</b>

De este modo se puede notar la diferencia en el costo de ambas vigas, dentro de lo que es preciso resaltar que las vigas de ferrocemento resultaron ser mas económicas que las de hormigón armado, siendo las de hormigón armado más costosas con un porcentaje de 58.70%, quiere decir más del doble que las de ferrocemento.

## CONCLUSIÓN

Se pudo dar a conocer que el método de ferrocemento puede ser utilizado en la República Dominicana, puesto que el mismo cumple con las condiciones necesarias para desarrollar la construcción de una vivienda con este método, y que la misma sea económica y segura.

Mediante el desarrollo de este proyecto se plasmó de manera muy detallada como el ferrocemento se comporta ante fuerzas externas, y en comparación con el hormigón armado, este presentó un comportamiento aceptable para flexión y deflexión, por motivo de que al momento en el que se le fueron aplicadas las cargas a la viga del ensayo, esta mostró que con una dimensión menor las actividades a flexión y deflexión fueron mayores que las presentadas por la viga de hormigón armado con una dimensión mayor.

No obstante, al presentar los cálculos necesarios para cada viga conforme a los parámetros establecidos por la ACI, se pudo apreciar que el esfuerzo a compresión fue otro de los factores que sobresalieron para el ferrocemento, ya que este también resultó ser mucho mayor que en el hormigón armado.

Para los cálculos de diseño otro punto que está a favor del ferrocemento, es el hecho de que el mismo se puede adaptar con gran facilidad a la forma de diseño del hormigón armado, porque este no presentó ningún inconveniente en ser calculado de la misma manera en la que se calcula para el hormigón armado, sin tener que incumplir con los reglamentos.

Con forme a los estudios desarrollados en el laboratorio, al momento de aplicar las cargas para cada método, el tiempo que duró la viga de ferrocemento en llegar a su punto máximo de ruptura fue mayor, debido a la resistencia que este presentó durante todo el proceso del ensayo.

En cuanto al tiempo de construcción de cada viga, se puede mencionar que la duración de la elaboración de la viga de ferrocemento fue menor que la del hormigón armado, lo cual demostró que este método resulta ser más eficiente en versión del tiempo.

Por último pero no menos importante, es preciso mencionar que al mostrar el análisis de costo para cada viga con relación a los precios utilizados hoy en día en el país, el costo total de la viga de ferrocemento fue de menos de la mitad que la del hormigón armado; resaltando también que los materiales utilizados para la viga de ferrocemento fueron encontrados con gran facilidad, al igual que los materiales de la viga de hormigón armado.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda la construcción de casas de ferrocemento cuando se esté buscando una opción más económica que la utilizada tradicionalmente que es el hormigón armado, en vista de que éste método cumple con los requisitos necesarios para ser utilizado en la República Dominicana.

Otro punto muy importante es el hecho de que se puede implementar dicho método debido a que además de la factibilidad económica que presenta, se requiere de menor tiempo para terminar la construcción.

Por último, pero no menos importante es recomendable la utilización del ferrocemento cuando los fines de la construcción a realizar sean ecológicos, pues el impacto ambiental del ferrocemento es mucho menor que el del hormigón armado, favoreciendo el ferrocemento al entorno donde se ejecute la obra.

## BIBLIOGRAFÍA

Artifice Inc. (2010). *Great Buildings* . Retrieved from <http://www.greatbuildings.com>

Bedoya Ruiz, D. A. (2005). *Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento*. Barcelona .

Bedoya Ruiz, D. (1997). *Diseño sismo resistente de un sistema estructural modular con elementos prefabricados de ferrocemento*. Medellín.

Campoverde Borja, G. P., & Campoverde Borja, H. R. (2010). *Determinación de parametros de resistencia y elasticidad en elementos tipo C fabricados en ferrocemento*. Cuenca.

Campoverde Borja, G. P., & Campoverde Borja, H. R. (2010). *Determinación de parámetros de resistencia y elasticidad en elementos tipo C fabricados en ferrocemento*. Cuenca.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente 2000 *Fundamentos para la aplicación del ferrocemento* Lima

Comarazamy, J. F. (1985). *Materiales de Construcción*. Santo Domingo, Rep. Dom.: Ediciones de la UCE.

*Construmática*. (n.d.). Retrieved from <http://www.construmatica.com>

De conceptos . (2014). *De Conceptos* . Retrieved from <http://deconceptos.com>

Diccionario de arquitectura y construcción. (n.d.). *Diccionario de arquitectura y construcción*. Retrieved from <http://parro.com.ar>

EcoSur. (2012). Casas de ferrocemento evauadas en dos universidades.

Enciclopedia Universal . (2012). *Academic Enciclopedia Universal*. Retrieved from [http://www.encyclopedia\\_universal.esacademic.com](http://www.encyclopedia_universal.esacademic.com)

Estructuras EIA. (n.d.). *Estructuras EIA*. Retrieved from <http://estructuras.eia.edu.com>

Estudiantes metalografía. (2012, Julio 31). *Metalografía - Universidad Tecnológica de Pereira*. Retrieved from <http://blog.utp.edu.co/>

Fabiarz F., J. (1985). *Housing using ferrocement panels, design details*. Austin, Texas: University of Texas at Austin.

Gschwind, C. A. (n.d.). *Sitio Ferrocemento*. Retrieved from <http://www.sitioferrocemento.com/pagina0002.php>

Guzmán Domínguez, B. R., & Salcedo Alvear, I. F. (2011). *Diseño y estudio de elementos tipo C sometidos a flexión, tracción y compresión fabricados en ferrocemento*. Cuenca.

Halinco . (n.d.). *Halinco* . Retrieved from <http://www.halinco.de>

<http://www.ferrocement.com>. (n.d.).

Huauya, J. (2013). *Física II*. Obtenido de <http://fisica2013-2.blogspot.com/>

Latino el rey azul . (2010). *Blog Diario*. Retrieved from <http://blogdiario.com>

María, J. A. (n.d.). *ARQHYS*. Retrieved from <http://www.arqhys.com>

Material Innovador. (2014). *Material Innovador*. Retrieved from <http://material-innovador.wikispaces.com/Ventajas+Del+Ferrocemento>

MECA. (2011, Noviembre 26). *Blogspot*. Retrieved from <http://mcatronica4v.blogspot.com>

Naaman, A. E. (2000). *Ferrocement and dominated cementitious composites*. Michigan, Ed: Tecno Press 3000.

Nassif, H. (1998). *Calibration of the new ferrocement model, in ferrocement 6: Lambot symposium, proceeding of sixth international on ferrocement*. Michigan.

Pama, R. P., & Paul, B. K. (1992). *Ferrocemento*. Mexico : Abeja S. A. .

Quezada Rodríguez, J. C., & Tavárez Cruz, S. (2012). El ferrocemento como material alternativo para la construcción de viviendas de interés social. Caso: multifamiliar de dos niveles en República Dominicana. In Odebrecht, *Libro Conmerativo 2012, recopilación de los mejores proyectos* (p. 216). Santo Domingo.

SDP. (2007). *SDP*. Retrieved from <http://sdpsrl.com.ar>

Uribe Santibañez, R. A. (2004). *Diseño, fabricación y ensayo de vigas con perfil doble T con ferrocemento*. Valdivia.

# ANEXOS



**Cientes: Ediniery Pichardo y  
Franchesca Familia**

Ensayo de Esfuerzo a Flexión de Vigas de  
Concreto (ASTM C78)

AGOSTO, 2014

LAB-2014-205

**Preparado por:** Ing. Rosiell Cabreja  
**Revisado por:** Ing. Ramón Nolasco

**Cliente:** Ediniery Pichardo y Franchesca Familia

**Código:** LAB-2014-205

**Objetivo:** Determinación de esfuerzo a flexión de vigas de concreto (ASTM C78).

**Descripción:** Especímenes realizados el día 24 de julio del 2014 y ensayados en el Laboratorio Central EPSA-LABCO el día 13 de Agosto del 2014.

**Evaluación de resultados:**

De forma resumida se presenta a continuación los resultados obtenido de las muestras ensayadas:

➤ **Ensayos de Esfuerzo a Flexión de Vigas de Concreto**

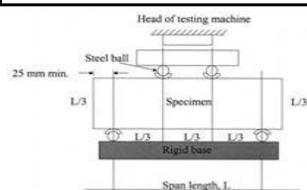
<b>Muestra</b>	<b>Elemento Estructural</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>Esfuerzo de Rotura (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M-1	Vigueta de Hormigón Armado	20	109.27
M-2	Vigueta de Ferro-Cemento		240.31

## 1. Resistencia a la Flexión del Concreto (ASTM C78)

### 1.1 - Tabla de Resultados

### Resistencia a la Flexión del Concreto ASTM C78

Cliente:	Ediniery Pichardo y Franchesca Familia
Ubicación:	Santo Domingo, Rep.Dom.
Código	LAB-2014-205
Realizado por:	Sr.Lorgio García
Preparado por:	Ing. Rosiell Cabeja
Revisado por:	Ing. Ramón Nolasco



Fecha de Realización	Muestra	Elemento	Curado	Revenimiento (Pulg.)	Dimensiones Viga			Fecha de ensayo	Edad (días)	Carga (kg)	Ubicación Falla de Viga	Esfuerzo de Rotura (kg/cm <sup>2</sup> )
					Longitud Promedio (cm)	Ancho Promedio (cm)	Espesor Promedio (cm)					
24-Jul-14	M-1	Vigueta de Hormigón Armado	Sí	6.0	51.00	15.00	15.00	13-Aug-14	20	8501	Tercio Medio	109.27
24-Jul-14	M-2	Vigueta de Ferro-Cemento	Sí	6.0	59.00	20.00	4.00	13-Aug-14	20	1497	Tercio Medio	240.31

## 1. Resistencia a la Flexión del Concreto (ASTM C78)

### 1.2 - Gráficos de Control

## LAB-2014-205

### Resistencia a Flexión del Concreto (ASTM C78)

Gráfico de resultados obtenidos 20 Días

