



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS:

COMPORTAMIENTO MECÁNICO A FLEXIÓN DEL
FERROCEMENTO, CON AGREGADOS DEL RÍO
CRUCERO- REGIÓN PUNO, 2016

PRESENTADO POR:

PEDRO CUTIPA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

JULIACA-PERÚ

2016

DEDICATORIA

A mis queridos padres Sebastián Fabián Cutipa Condori (Q.E.P.D.), y Rosa Justiniana Quispe Castellanos, mis hermanos Agapito, Santiago, Gonzalo Amador y Benito Sixto, mi compañera Irma y mis hijas Kriss Daniela y Claudia Sofia.

AGRADECIMIENTO

A Dios, al Ing. Juan Vargas Ramos por haberme apoyado en la conclusión y presentación del presente trabajo de investigación y al Ing. Alfredo Alarcón Atahuachi por su valiosa colaboración en los ensayos de laboratorio.

A los docentes de la escuela académico profesional Ingeniería Civil de la Universidad Alas Peruanas Filial Juliaca por haberme impartido sus valiosos conocimientos y haberme dado la oportunidad de emprender mi segunda especialización en Ingeniería Civil

A mi compañera Irma mis hijas: Kriss Daniela y Claudia Sofía, a mi madre Rosa, mis hermanos: Agapito, Santiago, Amador y Sixto por su apoyo siempre presente en todos los momentos difíciles.

A todos los que aportaron con sus ideas y conocimientos en la culminación de éste trabajo.

RESUMEN

Siendo el ferrocemento un tipo particular de concreto armado formado por una matriz de mortero de arena y cemento, reforzado con una armadura distribuida uniformemente en la masa del mortero; el presente trabajo fue realizado utilizando agregado de río Crucero de la Provincia de Carabaya Región Puno en el período de Junio-Agosto del 2016, realizándose el trabajo aplicando las técnicas empleadas en la producción de estructuras de ferrocemento; se ha considerado como variables independientes el diseño de mezcla para 175Kg/cm^2 y 210Kg/cm^2 y el número de capas de refuerzo de malla hexagonal galvanizado (0 capas y 3 capas), se ha preparado estructuras rectangulares de $15\text{cm} \times 8\text{cm}$ y de 4cm de espesor con los factores indicados y como variable dependiente se evaluó la resistencia a flexión hasta punto de rotura encontrándose que el ferrocemento tiene un comportamiento estructural resistente que en el tiempo de fraguado a los 7, 14, 21 y 28 días adquiere resistencia en ascenso teniendo un comportamiento similar al concreto convencional.

INTRODUCCIÓN

El territorio nacional es un escenario con diferentes condiciones de relieve, altitud, clima, etc. que son condicionantes para la disponibilidad de materiales de construcción de infraestructura, en este contexto se viene llevando adelante diferentes dinámicas de desarrollo en infraestructura en cada región, en el desarrollo de éstas obras el uso del concreto es generalizado en los últimos años con la implementación de obras de infraestructura, en éste escenario los materiales de construcción naturales como es el caso del agregado de río presenta sobreexplotación sobre todo en lugares donde es escasa este recurso, ante la fuerte demanda de obras civiles de carácter público como puentes, centros educativos, centros de salud, carreteras, etc. que en su construcción usa el concreto, el cual viene encareciendo la disponibilidad del hormigón o agregado del río en los álveos de los ríos o generando sobreexplotación que como todo recurso natural no renovable tiende a escasear; frente al variado relieve inclusive existe demanda para implementación de obras estructurales en lugares de difícil accesibilidad en el acarreo de materiales de construcción. En estos escenarios en donde la ingeniería puede emplear soluciones alternativas como es la aplicación del ferrocemento en obras de infraestructura como reservorios de agua, u otras estructuras con los que se consigan resultados equivalentes a lo alcanzado con una tecnología convencional pero con la ventaja de que requieren especialmente menos volumen del ingrediente principal del concreto como son áridos (agregado de río o piedra chancada), por lo tanto se reducen los costos de manera considerable.

En el presente trabajo de investigación se evalúa la respuesta del empleo de materiales dosificado como agregado de río debidamente seleccionado, y refuerzo de malla hexagonal galvanizado (malla gallinero) como un estudio para verificar sus esfuerzos reales en comparación con la teórica cuyos resultados serán verificados como materiales aprovechables en obras civiles, y por ésta razón se examinará la interacción de factores hacia la propiedad mecánica por flexión con especímenes elaborados con agregados del río Crucero en la Provincia de Carabaya en el período de Junio-Agosto del 2016.

El trabajo de investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

En el Capítulo I.-

En éste capítulo se plantea y formula el problema de investigación considerando los alcances, se plantea los objetivos, las hipótesis, las variables, la población y se justifica la investigación.

En el Capítulo II.-

El marco teórico, los antecedentes y la definición de los principales términos utilizados en la presente de investigación.

En el Capítulo III.-

Se realiza el análisis cuantitativo de las variables comprendido en la investigación señalando la prueba de normalidad respecto a los datos encontrados en la investigación.

En el Capítulo IV.-

Se presenta las pruebas de hipótesis general y las hipótesis específicas.

En el Capítulo V.-

En éste capítulo finalmente se resumen las conclusiones y se proponen algunas recomendaciones, como resultado de la investigación.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

El uso eficiente de los recursos naturales es recurrente en la sociedad, debido a que los recursos naturales no renovables como es el caso de los agregados de río que se usan específicamente en obras civiles de diferentes especialidades como materia prima para la preparación de material para afirmado de carreteras, como material para bases, así como para preparación de piedra chancada o como material directamente dosificada en la preparación de concreto; que con el crecimiento de la población y por consiguiente la demanda de obras de infraestructura tanto pública como privada ocasionan la escasez o la sobreexplotación de las canteras o álveos de ríos a nivel regional, por otro lado se precisa también el cumplimiento de normas de protección del medio ambiente o aprovechamiento sostenible de los recursos naturales que es un paradigma en los últimos años.

En la región Puno con la presencia de varios pisos ecológicos el problema de la disponibilidad de hormigón de río se presenta en los pisos altitudinales superiores a 4,000msnm donde es escasa la presencia de hormigón por lo tanto realizar obras de infraestructura se vuelven más onerosos, algunas obras de infraestructura como las de saneamiento que son parte de una política pública del país que tiene como prioridad dotar de infraestructura pública de saneamiento tales como obras de agua, desagüe y plantas de tratamiento de aguas residuales que conforme a la prioridad de inversión deben ejecutarse en lugares de difícil accesibilidad y en ocasiones donde es escasa la

disponibilidad de hormigón de río para las obras como reservorios, captaciones y otras estructuras, por lo que aplicar otras técnicas como el uso de la tecnología del ferrocemento es el indicado, pero existe la duda entre los constructores y los propios usuarios de las obra de que una estructura de espesor muy reducido no podría resistir a fuerzas de presión como es el caso de un reservorio y cuando se tiene la certeza de que estructura de concreto armado normalmente con espesores superiores a 15 cm son los que trabajan en los reservorios.

Considerando la diversidad de nuestro país con diferentes pisos ecológicos y diversas problemáticas como la escasez de agua, el problema de las bajas temperaturas en la región andina entre otras precisan del papel de la técnica y la ingeniería civil en su capacidad de plantear soluciones adecuadas como por ejemplo la cosecha de agua en tiempos de abundancia (épocas de lluvias), o el planteamiento de viviendas sociales con un diseño sostenible, con costos accesibles para contrarrestar las bajas temperaturas tanto para las personas así como infraestructura productiva pecuaria; éstas soluciones pueden ser factibles en lo posible con la aplicación de la tecnología del ferrocemento por lo tanto es preciso realizar estudios para validar su aplicación en el medio; cuando se menciona la existencia de lugares de difícil acceso especialmente en la selva y la región andina, lugares donde se lleva materiales como el hormigón de río con sobrecostos en transporte de materiales convencionales como los necesarios para concreto simple o concreto armado, es así que ésta alternativa del uso del ferrocemento por ser una tecnología que requiere menos volumen de agregados, las barras de acero para concreto armado son reemplazados con acero distribuido y puede ser utilizado en obras de construcción civil precisan estudios para su utilización.

La búsqueda de nuevos materiales y procedimientos constructivos sencillos y económicos para solucionar requerimientos de infraestructura en formas viables y oportunas es constante en una sociedad en desarrollo, de éstos se espera que satisfaga requerimientos como funcionalidad, resistencia y durabilidad, por lo tanto es necesario realizar estudios sobre éstas alternativas.

El ferrocemento es un material para una construcción de concreto 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 concreto armado cuya resistencia está dada por las formas de las piezas (Reiser, 2005)

Wainshtok (1998), citado por Aydeé P. Guerrero y Luís O. Gonzáles (2008) indican que muchas de las propiedades del ferrocemento se derivan de contener una relativamente alta cantidad de refuerzo constituido por telas de mallas de alambre de pequeño diámetro y distribuida en toda la sección. Entre estas propiedades su gran elasticidad y resistencia al agrietamiento es una de las más importantes, lo que permite considerarlo como un material homogéneo y casi elástico para determinados regímenes de carga.

Estas propiedades conforme mencionadas en la literatura especializada se busca estudiar utilizando los agregados del río Crucero (tributario del río Ramis).

1.2 DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.2.1. Espacial

Para la concretización de la presente investigación se ha utilizado agregados del río Crucero del centro poblado de Carlos Gutierrez a una altitud de 4096msnm, del alveo de éste sector se acarreó agregado de río hacia la localidad de Ajoyani-Carabaya y se apiló en canchas de agregado de río del cual se destinan para las obras públicas de la Municipalidad Distrital de Ajoyani.

El Distrito de Crucero, Provincia de Carabaya, se encuentra ubicada geográficamente en el sur del Perú, está comprendido entre 4057 y 5272 m.s.n.m.

Las muestras se cogieron de la cancha de agregados de río de propiedad de la Municipalidad Distrital de Ajoyani y se trasladaron a ciudad de Juliaca y se realizó los ensayos de granulometría en el laboratorio de suelos y agregados así como el estudio del comportamiento mecánico se realizó en el mismo laboratorio.

1.2.2 Temporal

Las pilas acumuladas de agregado de río corresponden a los meses de Agosto a Noviembre del año 2015; la producción de Cemento Rumi Portland Tipo I corresponde a fecha de producción Agosto 2016; el período experimental se realizó entre 26 de Junio al 15 de Agosto del 2016.

1.3 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACION

1.3.1. Problema general

En el uso del ferrocemento como alternativa tecnológica de construcción de elementos o componentes estructurales en obras civiles son una tecnología alternativa al concreto armado, pero que debido a la poca difusión y experiencias en su uso no se ha aprovechado su aplicación en el medio, por lo que se plantea conocer el comportamiento ante diferentes ensayos de especímenes de ferrocemento utilizando agregado de río proveniente de los álveos del río Crucero que es un tributario del río Ramis para verificar algunas variables controlables como el diseño de mezcla elegido y la disposición de capas de malla de alambre hexagonal galvanizado (malla gallinero) a diferentes tiempos de endurecimiento la investigación se debe responder a la pregunta ¿Cómo es el comportamiento mecánico a flexión del ferrocemento en función del diseño de mezcla, la disposición de refuerzo distribuido y los tiempos de endurecimiento?

1.3.2 Problemas específicos

Los problemas específicos en el presente estudio son:

- a).- ¿Cómo es la influencia del diseño de mezcla a 175Kg/cm² y 210Kg/cm² en láminas de ferrocemento?

- b).- ¿Cómo es la influencia N° de capas de malla hexagonal galvanizado en láminas de ferrocemento?

c).- ¿Cómo influye el tiempo de endurecimiento en la respuesta a flexión en el ferrocemento?

1.4 OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

1.4.1 Objetivo General

Estudiar el comportamiento mecánico a flexión del ferrocemento.

1.4.2 Objetivos Específicos

a).- Estudiar la influencia del diseño de mezcla a 175Kg/cm² y 210Kg/cm² en láminas de ferrocemento

b).- Determinar la influencia N° de capas de malla hexagonal galvanizado en láminas de ferrocemento

c).- Determinar la influencia del tiempo de endurecimiento en la respuesta a flexión en el ferrocemento

1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Hipótesis General

Mejora el comportamiento mecánico a flexión del ferrocemento en función del diseño de mezcla, la disposición de refuerzo distribuido y los tiempos de endurecimiento

1.5.2 Hipótesis específicas

- a).- A mayor resistencia de diseño de mezcla planteado se mejora la resistencia del ferrocemento

- b).- A mayor densidad de distribución de capas de malla hexagonal galvanizado en láminas de ferrocemento se mejora la resistencia

- c).- A mayor tiempo de endurecimiento se mejora la resistencia a la flexión del ferrocemento.

1.6 VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Variable independiente

Módulo de resistencia a la flexión

1.6.2 Variables dependientes

- Diseño de mezcla

- Distribución del ferrocemento

- Tiempo de endurecimiento

1.6.3 Operacionalización de Variables

Las variables se operacionalizan como:

Cuadro 1. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	VALORACION
INDEPENDIENTE			

	Diseño de mezcla	Resistencia del concreto	175Kg/cm ² 210Kg/cm ²
Ferrocemento	Contenido de refuerzo	Nº de capas malla hexagonal galvanizado (malla gallinero)	0-3 Capas
VARIABLE DEPENDIENTE			
Comportamiento mecánico	Resistencia/Esfuerzo	Resistencia a flexión	Kg/cm ²

Fuente: Elaborado por tesista

1.7 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental cuantitativo controlando variables dependientes e independientes cuantitativas, utilizando materiales cuantificados de población conocida, bajo un arreglo de selección de muestras para una significancia estadística y los ensayos requeridos son realizados sobre muestras con variables independientes controladas o manipuladas por el investigador.

1.7.2 Nivel de Investigación

El presente trabajo de investigación tiene el nivel experimental en laboratorio dado que se manipula las variables de entrada controladas a través de sus indicadores cuantificados según el diseño estadístico de la investigación.

Los materiales como agregado de río provienen de un muestreo aleatorio donde la variabilidad es alta, en cuanto al cemento Portland tipo IP su producción cumple calidades especificadas siendo lo mismo para la malla hexagonal galvanizada.

1.7.3 Métodos de Investigación

En el presente trabajo de investigación se aplica el método cuantitativo donde en las variables de entrada se cuantifican las dimensiones y también del mismo modo en las variables de salida.

1.7.4 Diseño de Investigación

El diseño experimental es explicado por la función:

$$y = f(X, Y, Z) + \epsilon$$

Donde:

y = Es la función respuesta: Esfuerzo a la flexión

$f(X, Y, Z)$ = Son las variables de entrada siendo: Resistencia de diseño teórico (factor A), N° de capas del refuerzo (factor B), Tiempo de endurecimiento (factor C).

ϵ = Error experimental (no controlados en el estudio)

Diseño factorial con 3 factores (Modelo sin replicación), cuyo modelo estadístico es:

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + u_{ijk}, \quad i = 1, 2, \dots, a; \quad j = 1, 2, \dots, b; \quad k = 1, 2, \dots, c$$

Donde:

- y_{ijk} : Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor **A**, al nivel (j) del factor **B** y al nivel (k) del factor **C**.
- μ : Efecto constante, común a todos los niveles de los factores, denominado media global.
- τ_i : Efecto producido por el nivel i -ésimo del factor **A**, ($\tau_i = 0$).
- β_j : Efecto producido por el nivel j -ésimo del factor **B**, ($\beta_j = 0$).
- γ_k : Efecto producido por el nivel k -ésimo del factor **C**, ($\gamma_k = 0$).
- $(\tau\beta)_{ij}$: Efecto producido por la interacción entre **A**×**B**, ($(\tau\beta)_{ij} = (\tau\beta)_{ji} = 0$).
- $(\tau\gamma)_{ik}$: Efecto producido por la interacción entre **A**×**C**, ($(\tau\gamma)_{ik} = (\tau\gamma)_{ki} = 0$).
- $(\beta\gamma)_{jk}$: Efecto producido por la interacción entre **B**×**C**, ($(\beta\gamma)_{jk} = (\beta\gamma)_{kj} = 0$).
- $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$: Efecto producido por la interacción entre **A**×**B**×**C**, ($(\tau\beta\gamma)_{ijk} = (\tau\beta\gamma)_{jik} = (\tau\beta\gamma)_{kji} = (\tau\beta\gamma)_{ikj} = (\tau\beta\gamma)_{kji} = 0$).
- u_{ijk} : Vv aa. independientes con distribución $N(0, \sigma^2)$.

a) PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS

El plan de tratamiento de datos por el experimento factorial diseño bloque completo al azar será:

TIEMPO DE ENDURECIMIENTO	RESISTENCIA			
	175		210	
	N° DE CAPAS DE REFUERZO		N° DE CAPAS DE REFUERZO	
	0	3	0	3
7	2.40	4.32	2.88	4.80
14	122.8 8	187.6 8	144.4 8	192.9 6
28	165.1 2	199.0 4	196.3 4	245.2 3

b) DISEÑO ESTADISTICO DE LA PRUEBA DE HIPOTESIS

Para la interpretación de los resultados se toma el nivel de confianza al 95% las pruebas se realizará con las comparaciones múltiples de Duncan y Tukey

1.8 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 Población

La población para los diferentes ensayos para lo que experimentalmente está representado:

- Agregados (agregados de río) del río crucero (El río Crucero arrastra agregados por reptación)
- Cemento Portland Tipo I (RUMI) de fabricación estandarizada
- Alambre de refuerzo tipo gallinero de fabricación nacional PRODAC de fabricación estandarizada.

1.8.2 Muestra

La muestra es:

- Agregados (agregado de río) del río crucero tramo Centro poblado Carlos Gutiérrez con Rosario entre las coordenadas
- Cemento Portland Tipo I (RUMI) adquirido en una ferretería de Juliaca (cemento fresco cuya antigüedad no es mayor a 2 semanas después de producción en fábrica).
- Alambre de refuerzo, son la malla hexagonal galvanizado PRODAC (Fabricación nacional de propiedades mecánicas conocidas) adquirido en una ferretería de la ciudad de Juliaca.

1.9 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.9.1 Técnicas

Se ha realizado ensayos en laboratorio de los materiales como:

PROPIEDADES DEL AGREGADO

Se aplicaron las técnicas de:

- a) Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado (NTP 400.017).-
- b) Peso específico y absorción (NTP 400.022)

PREPARACION DEL MORTERO

Se aplicará las técnicas de:

- Tiempo de fraguado NTP 339.082, ASTM C-430

MUESTRAS ENDURECIDAS

Se aplicaron las técnicas de:

- Resistencia a la flexión NTP 339.078, ASTM C-781

1.9.2 Instrumentos

Se utilizaron equipos, instrumentos y herramientas.-

- De laboratorio de agregados y concreto
- De laboratorio de ensayo de materiales

1.10 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.10.1 Justificación

La justificación es por la necesidad de conseguir estructuras competentes a bajo costo y con materiales que cada vez son más escasos.

Con la tecnología del ferrocemento conforme la información de su aplicación se podría lograr estructuras a bajo costo y tan resistentes como los elaborados con concreto armado y de fácil construcción

En general el ferrocemento es considerado como altamente versátil fabricado de un material compuesto (mortero de cemento) y capas de malla de alambre o de un emparrillado de acero de diámetro pequeño, ligados íntimamente para crear una estructura rígida, es una forma especial del concreto reforzado pero muestra un comportamiento diferente de él, en cuanto a su funcionamiento efectivo, resistencia y aplicaciones potenciales, en cuanto a su aplicación en el medio como por ejemplo la provincia de Carabaya o demás provincias de la región Puno es incipiente, por ende se justifica esta investigación de modo que conociendo algunos resultados de su comportamiento como alternativa tecnológica de

construcción podrá ser aplicado en futuras investigaciones aplicadas como en vigas, domos de techos, etc. consecuentemente en obras civiles.

1.10.2 Importancia

Jaramillo C. Andrea C., Jaramillo C. María B. (2010), el ferrocemento es considerado un elemento estructural muy versátil porque se puede realizar muchas y diferentes estructuras utilizando espesores delgados brindándonos seguridad estructural y además disminuyendo los costos frente a otras tecnologías con materiales similares; entre estas tenemos: tanques de reserva de agua potable, coberturas, filtros para plantas de tratamiento, barcas, casas, etc. en donde la resistencia y rigidez se desarrollan mediante la forma del elemento.

Jaramillo C. Andrea C., Jaramillo C. María B. (2010), el ferrocemento está compuesto de mortero de cemento y capas de malla de alambre de diámetro pequeño, distribuidas uniformemente en el espesor del elemento, los cuales están ligados íntimamente para crear una estructura rígida. Debido a la distribución uniforme de las mallas en el espesor del elemento, mejoran las propiedades físicas y mecánicas del material tales como fractura, resistencia a la tensión y flexión, resistencia a los esfuerzos de trabajo y al impacto.

Jaramillo C. Andrea C., Jaramillo C. María B. (2010), el ferrocemento dentro de ciertos límites de carga se comporta como un material elástico homogéneo y estos límites son más amplios que los del esfuerzo, da como resultados un mejor mecanismo de control para la formación de grietas, lo que significa que tiene una alta resistencia a la tensión del material

Cordero Gulá (2011), El ferrocemento es una alternativa constructiva con capacidades similares o mejores que el hormigón armado que se logra a menor costo que ésta última.

Jaramillo C. Andrea C., Jaramillo C. María B. (2010), en cuanto a los costos podemos decir que los tanques y en general todas las obras que se realicen con ferrocemento resultan mucho más económicos que las obras que se realicen con concreto armado, la incombustibilidad, alta resistencia a la corrosión y facilidad de construcción ha hecho posible que esta tecnología sea de gran aplicación en los países en vías de desarrollo y una buena opción para instituciones de sectores público y privado interesados en mejorar el desempeño técnico, económico y social en experiencias de saneamiento rural.

Lebret L.J. (1969), en una economía de desarrollo el crecimiento y la expansión están unidos al aumento de la productividad; lo que ha venido sucediendo en el medio rural en los últimos años es la alta migración del campo a las ciudades o lugares donde se pueda conseguir ingresos económicos, esto debido a la insuficiente atención que el sector estatal viene ejerciendo sobre el medio rural productivo,

Es importante dado que en una sociedad en desarrollo es pertinente que la ingeniería tenga demostrado alternativas para aplicaciones probadas de modo que se puedan implementar proyectos con mayor margen de seguridad.

FYSON (1973), El ferrocemento es adaptable muy favorablemente para obras de infraestructura como tanques de agua, respondiendo muy satisfactoriamente en este trabajo. Desde el punto de vista de la maniobrabilidad del ferrocemento que requiere el manejo de menos volumen en sus componentes constituyentes lo hace importante ya que será posible llegar a lugares de difícil accesibilidad llevando materiales de construcción de manera convencional y de ese modo reduciendo el costo de la obra, especialmente podrá ser aprovechando en la construcción de reservorios apoyados para agua u otras obras, su importancia radica por éstas.

1.10.3 Limitación

En el presente estudio, se tiene las limitaciones de disponibilidad de laboratorios para mayores ensayos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

PACHECO H. (2003), La historia del Ferrocemento se remonta al año 1,848, fecha en la que Joseph Louis Lambot construyó varios botes de remos, maceteros, asientos y otros artículos con un material que llamó “Ferciment” obteniendo la patente en 1852, la cual en parte dice: *Mi invención es un producto nuevo que puede reemplazar la madera (en pisos, recipientes para agua, maceteros, etc.), la cual está sujeta a daños por el agua y la humedad. La base del nuevo material es una malla metálica de alambre o de varillas interconectadas para formar un emparrillado flexible. Moldeo esta malla en forma similar al artículo que quiero crear, después utilizo cemento hidráulico o una brea bituminosa o una mezcla para rellenar las juntas.*

OLVERA L. A. (2002), Aunque se puede considerar que es el ferrocemento el hermano mayor del concreto armado, que vio la luz el año de 1855 cuando el Sr. Lambot construyó un bote de este material y fue exhibido en París como una realización de una nueva tecnología.

PACHECO H. (2003), A principios de los años cuarenta, el italiano Pier Luigi Nervi, rescató la idea original de Lambot, al observar que reforzando el concreto con capas de malla de alambre, se obtenía un material que presentaba las características mecánicas de un material homogéneo equivalente y que demostraba tener gran resistencia al impacto. A través de una serie de pruebas, Nervi estableció las características preliminares del ferrocemento. Procedió a diseñar y construir diversas techumbres que se conservan hasta nuestros días como modelos racionales y estéticos del diseño estructural. Después de la Segunda Guerra Mundial, Nervi utilizó este material para construir barcos de poco tonelaje, siendo el mayor de ellos el velero de motor “Irene” de 165 ton. con un casco de 3.6 cm. de espesor y con peso 5% menor que el de un casco similar de madera con un costo 40% inferior en esa época.

PACHECO H. (2003), En 1958, se construyó en la Unión Soviética la primera estructura de ferrocemento con techo de bóveda sobre un centro comercial en la calle Reshetnikov en Leningrado. La mayor parte de estas estructura tienen claros libres desde 24 a 30 m. con techos de ferrocemento de aproximadamente 1 cm. de espesor. Estas gigantescas estructuras se usan en auditorios, salas de exhibición, centros comerciales, restaurantes y bodegas para productos y maquinaria agrícola.

PACHECO H. (2003), El interés por el ferrocemento fue tan grande que en 1968 Richard Hartley formó la New Zealand Ferro Cement Marine Association (NZFCMA) con el apoyo de las personas de Auckland, quienes tenían interés en el sostenido desarrollo del ferrocemento. El propósito principal de la Asociación era mejorar, fomentar y alentar la construcción marina a base de ferrocemento.

PACHECO H. (2003), En 1972 la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos llevó a cabo una reunión de expertos para discutir respecto al uso del ferrocemento, identificando al ferrocemento como un material de tecnología apropiada inadvertida, con amplio potencial de aplicaciones especialmente en los países en desarrollo. Como resultado de este informe, muchas personas para quienes era desconocido se han dedicado a utilizarlo con éxito considerable.

PACHECO H. (2003), A principios de 1977, el American Concrete Institute (ACI) estableció El Comité 549 sobre ferrocemento, para revisar el estado actual de la tecnología y posiblemente para formular un Reglamento de práctica para este material. Actualmente el ferrocemento, versátil material de construcción, tiene brillantes perspectivas y definitivamente encontrará mayores aplicaciones en un futuro cercano, siendo aplicado en varios países vecinos.

2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES

En el Perú se han desarrollado algunos trabajos como en Cusco, en el Norte como Cajamarca, La Libertad; también en el departamento de Puno con la transferencia de tecnología que desarrolló Care-Perú; es así que la mayor aplicación han sido la construcción de reservorios de agua para uso poblacional.

PACHECO H. (2003), En Enero de 1998, FONCODES, con el auspicio del Programa de Agua y Saneamiento PNUD/Banco Mundial, la Organización Panamericana de la Salud-OPS y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria – CEPIS, organiza un Taller de Tecnologías Apropriadas para el Saneamiento Rural en Cieneguilla,

Departamento de Lima, en el cual se presentó el Documento Técnico NO-03-NT-Proyecto WASHED, realizado por el Ing. Remington Pin Silva así como las Experiencias en el Ecuador (presentadas como borrador para discusión), realizadas por el Ing. Carlos Ibarra, orientado a la Construcción de Tanques de Almacenamiento de Agua Potable con Ferrocemento.

PACHECO H. (2003), En el año de 1998, SANBASUR, institución dedicada a la promoción y financiamiento de proyectos de saneamiento básico rural, basa sus estudios en esta tecnología de acuerdo al Documento Técnico Nro. 03-NT-PROYECTO WASHED, desarrollando primeras experiencias constructivas en comunidades altoandinas con buenos resultados. A la fecha se tienen construidos más de 30 reservorios de agua con capacidades entre 1m³ y 25 m³. Paralelamente la ONG ProAnde en Andahuaylas desarrolla también sus primeras experiencias con la construcción de pequeños tanques con esta tecnología.

PACHECO H. (2003), En Mayo de 1999, SANBASUR organizó un Taller en el cual el Ing. Carlos Ibarra Sandoval, expuso en el Cusco sus experiencias adquiridas en el Ecuador denominado “Tecnologías Apropriadas: Diseño y Construcción de Tanques de Ferrocemento”, habiéndose realizado la construcción de dos tanques de ferrocemento con fines didácticos en este Taller. En febrero del 2,003 se realiza un Taller sobre Ferrocemento en Lima, organizado por el Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS), el Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial, la Cooperación Suiza, etc. que buscó motivar y fomentar la construcción de tanques de almacenamiento del agua para el medio rural y normalizar las consideraciones y criterios de diseño.

2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES

En los últimos años en el nivel local (distrito de Ajoyani Carabaya Puno) las obras de tipo estructural como obras de captación, reservorios de agua potable, canales de regadío entre otras obra de infraestructura son ejecutados con la tecnología del concreto simple o concreto armado, por otro lado en la actualidad por los problemas de escases de agua para el medio rural para el consumo humano se consiguen mediante captaciones de los manantiales de los que se conducen hacia las parcelas; pero la demanda de agua para uso agropecuario actualmente se construyen microreservorios de agua con geomembranas.

En lo referente a provisión de materiales agregados (hormigón de río) en la zona de influencia donde se las municipalidades de Potoni en Azángaro, Crucero, Ajoyani y Coasa de Carabaya y el distrito de Antauta se utilizan en la ejecución de obras estructurales los agregados (hormigón de río) provenientes del río Crucero, cabe mencionar que dichos agregados son empleados en concreto simple o concreto armado, por lo que como antecedentes en obras de ferrocemento son inexistentes.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

CEPIS (2000), 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.

CEPIS (2000), 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.

Cuadro: Comportamiento del esfuerzo del ferrocemento

NIVEL	NIVEL DEL MATERIAL	COMPORTAMIENTO	ANCHO DE GRIETAS EN MICRAS	ESFUERZO Kg(cm2)	ALARGAMIENTO UNITARIO X10(^-6)
I	Linealmente elástico	Impermeable	0-20	33	200
Ia	Elástico	Impermeable	20-50	36	290
II a	Casi elástico	No corrosivo I	50-100	43	645
II b	No lineal (Elastoplástico)	No corrosivo II	>100		
III	Plástico	Corrosivo			

Fuente: CEPIS 2000 Fundamentos para la aplicación del ferrocemento

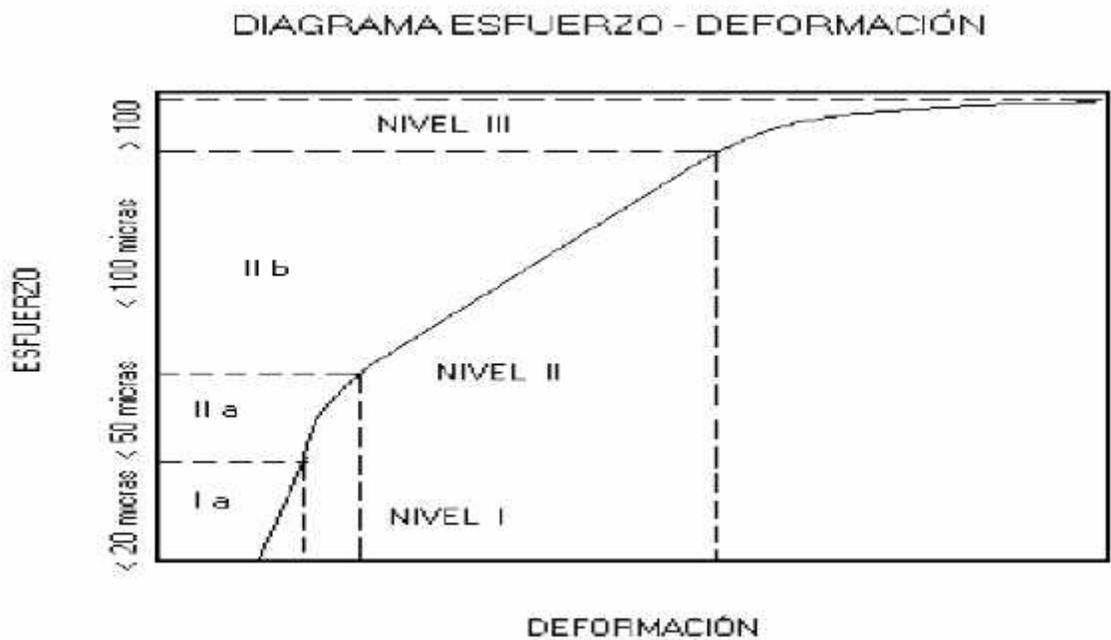


Figura1. Curva esfuerzo-deformación del ferrocemento sometido a tensión

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 IIa, IIb), 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.

2.2.2 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA RELACION CEMENTO/ARENA.-

OLVERA (2002), El mortero del ferrocemento se caracteriza por ser una mezcla de cemento y arena más rica en cemento y la relación la relación cemento/arena de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ en volumen.

CEPIS (2013), 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.

MASO (1998), La relación arena/cemento (en volumen): aumentando la proporción de cemento en el mortero aumentará la resistencia y la trabajabilidad, pero puede

aumentar también la fisuración por retracción hasta el punto de no lograr este incremento de resistencia.

2.2.3 LA RELACION PESO DEL REFUERZO

CEPIS (2000), son factores que relacionan la resistencia a la primera grieta bajo carga estática donde se utiliza la fórmula empírica:

$$c_r = 24,5 * S_I + \mu \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde S_I es la superficie específica del refuerzo en la dirección de la carga, teniendo una dimensión de (cm^{-1}) en la ecuación.

Para la obtención del peso del refuerzo y su disposición en el diseño de estructuras de ferrocemento se precisa de la superficie específica y volumen del refuerzo que cuyos conceptos son:

$$c_r = 24,5 * S_I + \mu \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde S_I es la superficie específica del refuerzo en la dirección de la carga, teniendo una dimensión de (cm^{-1}) en la ecuación.

2.2.4 SUPERFICIE ESPECÍFICA

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

Para malla hexagonal la superficie específica puede ser calculada mediante:

$$S_I = \frac{\pi * d * n * (4L_1 + 2L_2)}{x * y * t} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$$

Donde:

- L_1 = Longitud total del alambre del extremo (cm)
- L_2 = Longitud del alambre intermedio (cm)

- x = Separación horizontal entre alambres (cm)
- y = Separación vertical entre alambres (cm)
- n = Número de capas de malla
- t = Espesor de la sección (cm)

CEPIS (2000), El efecto de la superficie específica fue estudiado por Amel Yanovich, Verbitsky y Bogoyavlenskye, en la publicación “ Ship Hulls Made of Reinforced Concrete” se llega a la conclusión de que el valor óptimo de la superficie específica considerando los esfuerzos en la primera grieta parece estar entre 1,4 cm²/cm³ y 2,00 cm²/cm³.

2.2.5 VOLUMEN DEL REFUERZO

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

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

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

Donde:

- L1 = Longitud total del alambre del extremo (cm)
- L2 = Longitud del alambre intermedio (cm)
- x = Separación horizontal entre alambres (cm)
- y = Separación vertical entre alambres (cm)
- n = Número de capas de malla
- t = Espesor de la sección en cm.

Cuando se utilizan mallas de alambre, la relación entre SI y Vf puede expresarse como:

$$SI = 4 * Vf / d$$

Donde:

- d: diámetro del alambre de malla en cm

Puesto que una de las ideas al utilizar ferrocemento, es lograr un mejor control de grietas que en el concreto reforzado que tiene poca dispersión de refuerzo, resulta de mucha utilidad en esta etapa examinar ideas básicas y el mecanismo de control de grietas con separaciones pequeñas del refuerzo.

La formación de grietas puede describirse de la siguiente manera: Las primeras grietas se forman en secciones críticas al azar, donde el esfuerzo uniforme de tensión excede a la resistencia de la matriz. En la sección de la primera grieta ocurre un deslizamiento entre la matriz y la varilla de refuerzo.

La existencia de un mecanismo de detención de grietas en concreto reforzado con alambre con separaciones pequeñas, también sugiere que se puede esperar una alta resistencia a la fatiga y al impacto de este material.

Por ejemplo mientras que para una separación del orden de 1 cm con 2,5 % de acero, el esfuerzo de agrietamiento es de aproximadamente 53 kg/cm², para una separación de 0,5 cm este se eleva a 77 kg/cm².

El concepto de ferrocemento se basa en la elemental y conocida observación de que la elasticidad de un elemento de concreto reforzado, aumenta en proporción de la subdivisión y distribución del refuerzo a través de la masa.

Se ha propuesto la siguiente fórmula para lograr equivalencias entre el uso de diferentes barras de refuerzo en ferrocemento:

$$S_f = 1,38*d*(1/p)^{1/2}$$

Donde: S_f : Separación entre el centro de gravedad de las fibras del refuerzo (cm).

- d = diámetro de las fibras (mm)

- p = porcentaje de refuerzo por volumen.

La variación en la resistencia a flexión de las primeras grietas, obtenida para distintas condiciones de trabajabilidad de la mezcla en cuanto a la consolidación y uniformidad en la distribución de las fibras, indica que aunque el efecto de la separación de las fibras sobre la resistencia a flexión es generalmente prevista, ocasionalmente pueden gobernar en el efecto de los otros parámetros de la trabajabilidad. La variación en la resistencia obtenida se debe principalmente al grado de trabajabilidad y consolidación, el cual a su vez está influido por la geometría de las fibras.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

ADITIVO.- Se define como aditivo a aquel material que no sea agua, agregados o cemento hidráulico, que se utiliza como ingrediente del concreto el cual se agrega inmediatamente antes o durante el mezclado para modificar las propiedades del concreto en forma tal, que lo hagan más manejable, más económico o para otros propósitos, en beneficio de la calidad y la Trabajabilidad del concreto (ASTM C 494-92).

Los aditivos que se empleen en el concreto, serán de acuerdo con lo indicado en el proyecto y del tipo que no provoquen agrietamientos, ni calor de, hidratación en exceso ni aquellos que ataquen al acero o al concreto,

Principalmente, los aditivos se clasifican de la siguiente manera:

- Aditivos acelerantes o retardantes del fraguado (ASTM C 494-92).
- Aditivos inclusores de aire (ASTM C 260-86).
- Aditivos reductores del agua de mezclado e para control del fraguado (ASTM C 494-92. Se incluyen en esta clasificación los agentes puzolánicos.

En adición, podrán usarse otros tipos misceláneos de aditivos para:

- Generarla expansión del concreto.
- Mejorar la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.
- Facilitar el bombeo del concreto.
- Reducir la permeabilidad del concreto.
- Impedir la corrosión del acero de refuerzo. Material que no sea cemento, agregado ni agua que se agrega a la mezcla para modificar sus propiedades.

AGUA.- Debe estar fresca y libre de cualquier solución orgánica y dañina que llevará a una deterioración en las propiedades del mortero. El agua salada no es aceptable pero el agua con cloro puede usarse.

El agua empleada en ferrocemento deberá ser fresca y limpia. En ningún caso podrá emplearse agua de mar o similar.

AGREGADOS.- Es todo material granular, tal como la arena, grava o piedra triturada, empleado con algún medio cementante, para producir ya sea un concreto o un mortero.

Material inerte que se mezcla con cemento Pórtland y agua para producir concreto. El agregado a emplearse en estructuras de ferrocemento es el agregado fino (arena natural), que no deberá exceder de 5 mm de diámetro ni menor de 2 mm.

Los agregados, se dividen en agregados grueso y fino. El agregado grueso es aquél que queda retenido en la malla N° 4 (paso de 4.75 mm). El agregado fino es el que pasa la malla N°4 (paso de 4.75 mm) y que queda predominantemente retenido en la malla con paso igual 75 µm (N° 200).

AGREGADO FINO.- Es el agregado más común usado en el ferrocemento. Debe estar limpio, duro, fuerte, libre de las impurezas orgánicas y relativamente libre de limos y arcilla. Debe estar inerte con respecto a otros materiales usados. La arena debe ser graduada con una fineza que pase el 100% del tamiz normal N° 8. Algunas recomendaciones deseables del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje de paso
N° 8	80-100
N° 16	50-85
N° 30	25-60
N° 50	.10-30
N° 100	.2-10

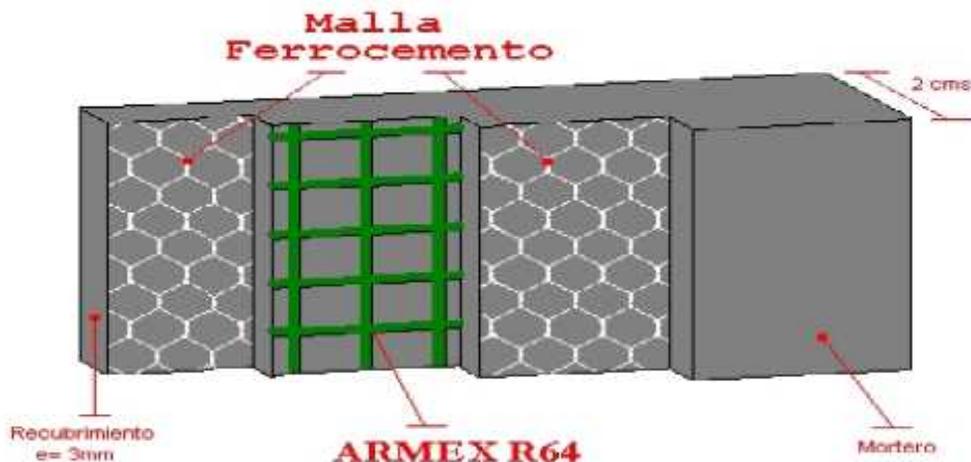
CEMENTO.- Debe obedecer las especificaciones ASTM C 150-85a, ASTM C 595-85, o una norma equivalente. El cemento debe estar fresco, de consistencia uniforme y libre de materia ajena. Debe guardarse bajo condiciones secas.

- Tipo I para utilizarse cuando no se requieran propiedades especiales.

- Tipo II para uso general, cuando se requiera una resistencia, moderada a, los sulfatos o un moderado calor de hidratación. Este cemento tiene uso generalizado en las estructuras que conforman las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Tipo III cemento de alta resistencia rápida.
- Tipo V cuando se requiera una alta resistencia a los sulfatos que cumpla, ASTM C 150-91.

Es un aglutinante con capacidad de endurecimiento al reaccionar con el agua y agregado (hormigón de río)

FERROCEMENTO.- Ferrocemento es un tipo de concreto armado de pared delgada reforzada donde normalmente un cemento hidráulico se refuerza con las capas de malla del diámetro continua y relativamente pequeña. La malla puede hacerse de material metálico u otros materiales convenientes. (ACI Comité 549).



MALLA DE REFUERZO.- Generalmente consiste en alambres delgados, entretejidos o soldados; una de las características más importantes es que sea lo

suficientemente flexible para poder doblarla en las esquinas agudas; la función principal de éstas 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 si solo no podría soportar.

MORTERO HIDRAULICO.- Es una mezcla homogénea que está compuesta de: cemento, arena y agua. Eventualmente puede contener aditivos que mejoren sus cualidades. Las dosificaciones son establecidas por peso y de acuerdo al tipo de estructura y esfuerzos a la que estarán sometidas.

RELACION AGUA/CEMENTO.- Es la proporción de agua con cemento con que se prepara el mortero

RELACION CEMENTO/ARENA.- Es la proporción de arena y cemento con que se prepara el mortero

RESISTENCIA A LA COMPRESION.-Es la resistencia que tiene un espécimen a esfuerzos de compresión.

RESISTENCIA A LA FLEXION.- Es la resistencia que tiene un espécimen que tiene un espécimen a un esfuerzo de flexión

MORTERO DE FERROCEMENTO.- Es la mezcla homogénea compuesta de cemento Pórtland, arena y agua, pudiendo eventualmente contener aditivos que mejoren sus cualidades. El peso específico de esta mezcla no debe ser menor de 1800 kg/cm³. La relación agua/cemento en peso, máxima admitida es de 0.45 para arenas

de grano redondeado y 0.48 para arenas de grano anguloso. Para las aplicaciones comunes de ferrocemento la relación arena/cemento en peso varían de 1.50 a 3.0.

MALLA DE REFUERZO.- Uno de los componentes esenciales del ferrocemento es la malla de alambre. Esta es de diferentes tipos y está disponible en varias presentaciones, consisten en alambres delgados, tejidos o soldados en una malla, pero el requisito principal es que debe manejarse fácilmente bastante flexible a ser doblado alrededor de las esquinas. La función de la malla de alambre y refuerzo en un primer momento es proporcionar la forma y apoyar el mortero en su estado fresco. En el estado endurecido su función es absorber las tensiones tensoras en la estructura que el mortero sólo, no sería capaz resistir y evitar el agrietamiento.

La conducta mecánica del ferrocemento es muy dependiente del tipo, cantidad, orientación y propiedades de la malla y refuerzo.

ACERO DE ARMAZON.- Se emplea para dar forma a la estructura y sobre ella se colocan las capas de malla de alambre o refuerzo. La característica del armazón es que los aceros que lo constituyen se distribuyen uniformemente y se separan hasta un máximo de 30 cm entre ellos, generalmente no son considerados como parte del refuerzo estructural, sino como varillas de separación para los refuerzos de la malla. El diámetro de estos elementos, es mayor que el acero de refuerzo.

Está conformado por barras lisas o corrugadas que forman el esqueleto o armazón de la estructura de pequeño diámetro. El diámetro de las barras y alambres complementarios no debe ser mayor que $\frac{1}{4}$ del espesor de la pieza de ferrocemento, ni mayor de 10mm, así como no debe ocupar en su conjunto más de la mitad del espesor del elemento.

ARMADURA DE REFUERZO.- Es el refuerzo total del sistema que puede estar conformado por la malla de refuerzo y el acero del armazón o solamente la primera.

Generalmente se considera al acero del armazón como parte del refuerzo total cuando las separaciones de las varillas que lo conforman están a no más de 15cm de centro a centro, como sucede en las estructuras como botes, embarcaciones, secciones tubulares, tanques, etc. Las varillas del armazón que son espaciadas más allá de esta distancia no son consideradas como parte del refuerzo total.

La Malla de refuerzo generalmente consiste en alambres delgados, entretejidos o soldados; una de las características más importantes es que sea lo suficientemente flexible para poderla doblar en las esquinas agudas. La función principal de estas mallas es la de actuar como marco para sostener el mortero en estado fresco, así como absorber los esfuerzos de tensión en el estado endurecido que el mortero por sí colono podría soportar.

DISEÑO DE MEZCLA.- Es el proceso de escoger los materiales adecuados del concreto para determinar las cantidades relativas de los mismos, con el objeto de producir un concreto tan económico como sea posible, concreto con cierto mínimo de propiedades, especialmente resistencia, durabilidad y una consistencia requerida.

CAPÍTULO III

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1 CONFIABILIDAD Y VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Los análisis se realizaron en el laboratorio de construcciones de la Municipalidad Provincial de San Román que cuenta con equipos y especialistas en el análisis de agregados, diseño de mezclas, asfaltos, ensayos de mecánica de materiales y otros ensayos de rutina.

3.1.1. Presentación, análisis e interpretación de los resultados de los agregados

Los agregados provenientes del río Crucero del lugar Carlos Gutierrez se extrajeron mecánicamente con excavadora y acarreo en camiones volquete hacia la cancha de agregados de la Municipalidad distrital de Ajoyani del cual se trasladan a los diferentes pie de obra, para el presente trabajo de investigación se cogió muestras en pila del agregado almacenado en el distrito de Ajoyani para la ejecución de obras diversas de la Municipalidad distrital de Ajoyani.

Los resultados de la muestra analizada en laboratorio son:

- Módulo de fineza: 4,026
- Peso específico: 2,602 g/cm³
- Peso unitario suelto: 1,626g/m³
- Peso unitario varillado: 1,869 g/cm³
- Humedad natural: 4,85%
- Absorción: 3,053%
- Equivalente arena: 77.5%

3.1.2. Presentación, análisis e interpretación de los resultados de la malla hexagonal galvanizada

Es una malla de alambre hexagonal galvanizado blando, que presenta una estructura resistente y a la vez moldeable. Estas propiedades hacen de ésta malla un producto versátil

3.1.3. Presentación, análisis e interpretación de los resultados del cemento portland IP

En el presente estudio se trabajó con cemento Rumi Tipo I que es un cemento adicionado con puzolana hasta un 30% de acuerdo a la norma ASTM C 595 (NTP 334.009), de uso general en todo tipo de obra civil. Posee una moderada resistencia al ataque de sulfatos, bajo calor de hidratación, mayor impermeabilidad, ganancia de mayor resistencia al tiempo y una mayor trabajabilidad en morteros y revestimientos, presentación en bolsas de 42.5 Kg.

3.2 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES

Variable dependiente

En el presente estudio de investigación del comportamiento mecánico del ferrocemento se tiene a la flexión denominado Módulo de la Resistencia a la Flexión como variable de respuesta cuyos resultados son:

Cuadro: Ensayos de laboratorio para Módulo de Resistencia a la Flexión

N° de capas de refuerzo	175 Kg/cm ²				210 Kg/cm ²			
	7 Días	14 Días	21 Días	28 Días	7 Días	14 Días	21 Días	28 Días
0 Capas	1.22	1.83	2.5	2.65	1.25	1.92	2.68	2.71
	1.21	1.79	2.57	2.71	1.25	1.84	2.67	2.69
1 Capas	1.3	1.97	2.8	3.28	1.39	2.04	2.79	3.36
	1.25	1.9	2.57	3.27	1.32	1.93	3.26	3.46
2 Capas	1.39	2.17	3.08	3.62	1.44	2.21	3.18	3.86
	1.31	2.11	3.12	3.56	1.4	2.21	3.68	4.13
3 Capas	1.64	2.31	3.32	4.3	1.81	2.4	3.35	4.8
	1.5	2.22	3.31	4.32	1.83	2.3	3.34	4.79

Fuente: Ensayos de Laboratorio "Geotecnia Puno EIRL" 2016

Variables independientes

En el presente estudio de investigación las variables dependientes son:

- Diseño de resistencia teórica (175Kg/cm² y 210Kg/cm²)
- N° de capas de mallas de refuerzo (malla hexagonal galvanizada) distribuida en el mortero de concreto de 5cm de espesor (0,1,2 y 3 capas)
- Tiempo de endurecimiento (07, 14, 21 y 28 días).

a) Diseño de resistencia teórica de las mezclas de concreto.-

Las propiedades del concreto se estudian principalmente con el propósito de seleccionar los ingredientes adecuados de la mezcla los mismo que se han analizado aplicando el método del ACI (Comité 211 ACI) para el agregado del río Crucero y cemento Rumi Tipo IP donde las resistencias adoptadas como variable se presentan con los siguientes resultados:

Cuadro: Diseño de mezcla

RESISTENCIA TEORICA (Kg/cm ²)	PROPORCION DE LAS COMPONENTES		
	CEMENTO (pie ³)	HORMIGON (pie ³)	AGUA (lt)
175	1	4.04	23.29
210	1	3.19	19.34

Fuente: Ensayos de Laboratorio "Geotecnia

Puno EIRL" 2016

b) N° de capas de refuerzo de malla hexagonal galvanizada.-

Las malla de refuerzo hexagonal galvanizada de fabricación nacional tiene una resistencia a la rotura última de 4,200Kg/cm² los cuales se han dispuesto en los especímenes estudiados, siendo los especímenes preparados con las dimensiones de 20x10x5cm los cuales se prepararon para las resistencias de 175Kg/cm² y 210Kg/cm² respectivamente, además se ha realizado una distribución de la resistencia en espacios separados en simetría siendo los ensayos realizados en especímenes sin refuerzo, con 1 capas de refuerzo, 2 capas de refuerzo y 3 capas de refuerzo respectivamente.

c) Tiempo de endurecimiento

El tiempo de fraguado fue de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente en dichos plazos se realizó los ensayos de la respuesta medidos como Módulo de resistencia a la flexión.

El análisis estadístico para el diseño estudiado se presenta como sigue:

Diseño factorial con 3 factores (Modelo con 2 réplicas por ensayo), cuyo modelo estadístico es:

Parámetros a estimar

Parámetros	Número
μ	1
i	$a - 1$
j	$b - 1$
k	$c - 1$
$()_{ij}$	$(a - 1)(b - 1)$
$()_{ik}$	$(a - 1)(c - 1)$
$()_{jk}$	$(b - 1)(c - 1)$
$()_{ijk}$	$(a - 1)(b - 1)(c - 1)$
2	1
Total	$abc + 1$

En este modelo la variabilidad total se descompone en:

$$SCT = SCA + SCB + SCC + SC(AB) + SC(AC) + SC(BC) + SC(ABC) + SCR$$

Donde:

SCT: Suma de Cuadrados Total

SCA: Suma de cuadrados entre los niveles A

SCB: Suma de cuadrados entre los niveles B

SCC: Suma de cuadrados entre los niveles C

SC(AB), (AC), (BC), (ABC): Suma de cuadrados de las interacciones

SCR: Suma de cuadrados del error

A partir de la ecuación básica del Análisis de la Varianza se pueden construir los cuadrados medios definidos como:

- Cuadrado medio total: $CMT = (SCT)/(n-1)$

- Cuadrado medio de A: $CMA=(SCA)/(a-1)$
- Cuadrado medio de B: $CMB=(SCB)/(b-1)$
- Cuadrado medio de C: $CMC=(SCC)/(c-1)$
- Cuadrado medio de las interacciones: A×B: $CM(AB)=(SC(AB))/((a-1)(b-1))$; A×C: $CM(AC)=(SC(AC))/((a-1)(c-1))$; B×C: $CM(BC)=(SC(BC))/((b-1)(c-1))$; A×B×C: $CM(ABC)=(SC(ABC))/((a-1)(b-1)(c-1))$
- Cuadrado medio residual: $CMR=(SCR)/((a-1)(b-1)(c-1))$

Al tratarse de un modelo con 02 réplicas por muestra, los contrastes sólo se pueden realizar si se supone que la interacción de tercer orden es cero. En esta hipótesis, $CM(ABC)=CMR$ y los contrastes de cada uno de los factores e interacciones comparan su cuadrado medio correspondiente con la varianza residual para construir el estadístico de contraste.

La variable respuesta de este experimento es el *Módulo de Resistencia a la flexión* intervienen tres factores: *Resistencia de diseño teórico* que presenta dos niveles 175 Kg/cm², 210Kg/cm²; *Nº de capas de refuerzo con malla hexagonal galvanizado*, con cuatro niveles 0, 1, 2 y 3 y *Tiempo de endurecimiento*, con tres niveles 07, 14, 21 y 28 días. Los niveles de los factores han sido fijados para el presente experimento en base a las bases teóricas, por lo que todos los factores son de efectos fijos. Se trata de un diseño trifactorial de efectos fijos, donde el número de tratamientos es $2 * (2 \times 4 \times 4) = 64$.

Tabla: Esfuerzo de rotura

TIEMPO DE ENDURECIMIENTO	RESISTENCIA (Kg/cm ²)							
	175				210			
	N° DE CAPAS DE REFUERZO				N° DE CAPAS DE REFUERZO			
	0	1	2	3	0	1	2	3
7	2.4	3.2	3.92	4.32	2.88	3.62	4.21	4.8
14	122.8	137.12	147.34	187.68	144.48	161.89	178.09	192.96
28	165.12	178.23	186.04	199.04	196.34	208.04	232.12	245.23

3.3 PRUEBAS DE NORMALIDAD

La prueba de normalidad aplicada es la prueba de Kolgoromov-Smirnov, para el tratamiento de los datos aplicados.

CAPÍTULO IV

PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL

La hipótesis de que las mallas hexagonales contribuyen a la resistencia a flexión influenciados por las resistencias de diseño de concreto con agregados del río Crucero a los 7, 14, 21 y 28 días muestran un incremento de la resistencia de manera excepcional tal como indica la teoría

4.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

La relación de agregado/cemento/agua expresada como resistencia teórica con agregados del río Crucero contribuye favorablemente en la resistencia a flexión del ferrocemento con una confianza del 90%

El número de días de endurecimiento muestra una relación positiva, mientras más días la resistencia se mejora con una confianza del 90%

El número de capas de malla hexagonal galvanizada contribuye favorablemente con una confianza del 90%.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados son que el número de capas de malla hexagonal galvanizado de BWG 23 de esfuerzo de fluencia 4,200Kg/cm², que se utiliza en la elaboración de láminas de ferrocemento para aplicaciones tipo cáscara teóricamente pueden resistir hasta en espesores de 3cm lo cual se confirma con los materiales empleados en la presente investigación con el uso de agregados del río Crucero con un módulo de fineza de 4.026, peso específico de 2.602g/cm³, peso unitario suelto 1.626tn/m³, peso unitario varillado 1.869tn/m, humedad natural 4.85% y absorción 3.053%; con estos resultados fue posible diseñar un espécimen de ferrocemento que al evaluar la flexión después del endurecimiento de 7, 14 y 28 días ha resultado con comportamiento favorable.

CONCLUSIONES

Se concluye de que el ferrocemento ensayado con materiales agregado del río Crucero, malla hexagonal galvanizado, cemento portland Tipo IP en evaluaciones de 7, 14 y 28 días resulta en un material funcional para obras de estructuras para resistir cargas como tanques de agua, presiones de tierra entre otros proyectos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar ensayos de ferrocemento con espaciamientos mínimos y además con tratamientos que van desde espesores de 1, 2 y 3 cm de modo que se puede conseguir materiales de menor peso como placas prefabricadas indicados para usos como para viviendas sociales, también se recomienda el uso de aditivos como lana mineral, entre otros; por otro lado se recomienda aplicar en muros de contención.

Por otro lado se recomienda realizar los demás variables como ensayos diametrales, de compresión entre otros.

BIBLIOGRAFIA

CACHI CERNA Gabriel

2013 *Comparación del comportamiento estructural y económico de un reservorio circular de ferrocemento y un reservorio circular de concreto armado*
Cajamarca-Perú “Tesis” para optar el grado de Ingeniero Civil Universidad Privada del Norte Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil

CARRANZA RIVAS Cristian Alexis

2010 *Estudio del Mortero Reforzado con malla de alambres y sus aplicaciones* Lima-Perú “Tesis” para optar el grado de Ingeniero Civil Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil.

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente)

2000 *Fundamentos para la aplicación de ferrocemento*
Lima-Perú.

CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente)

2003 *Guía de Construcción para estructuras de ferrocemento* Lima-Perú.

CORDERO GULÁ Fabián

2011 *Diseño de un tanque séptico para brindar servicio a 5 familias con la utilización de dos alternativas para su construcción a) Ferrocemento y b) Hormigón Armado*

Cuenca-Ecuador “Trabajo de Graduación” para la obtención del título de Ingeniero Civil Universidad de Cuenca Facultad de Ingeniería Civil

ELIAS P. Carlos, BETTIT SALVÁ R., MORALES S. Eduardo

2006 *Optimización por aplicación del método de superficie de respuesta en productos cárnicos* Lima-Perú Editorial Agraria

FYSON John

1973 FAO *Investigates Ferro-Cement Fishing Craft: Laboratory Analysis Construction Methods Service Experience* Surrey-England

GUERRERO Z. Aydee P., GONZALES S. Luis O.

2008 *Conceptos generales sobre Ferrocemento* Palmira-Colombia (Módulo para la asignatura “Estructuras y Materiales de Construcción”) Universidad Nacional Colombia Facultad de Ingeniería y Administración.

JARAMILLO C. Andrea C., JARAMILLO C. María B.

2010 *Diseño y seguimiento de un tanque de ferrocemento de 50m³* Cuenca-Ecuador “Tesis” para optar el grado de

Ingeniero Civil Universidad de Cuenca Facultad de
Ingeniería Civil

NIETO ABAD Carlos Oswaldo, ZHAÑAY LEDESMA Wilmer Andrés

2011 *Diseño de un tanque apoyado de ferrocemento para la
comunidad de Santa Rosa de Chichin, perteneciente a
la parroquia de Jadan del Canton Gualaceo Cuenca-
Ecuador “Trabajo de Graduación” para la obtención
del título de Ingeniero Civil Universidad de Cuenca
Facultad de Ingeniería Civil*

MASO SOLES Jordi

1998 Diseño, cálculo y ejecución de tanques de
ferrocemento Cataluña-España “Tesina” para optar el
título de Ingeniero de Caminos Puertos y Túneles
Universidad de Cataluña

OLVERA LOPEZ Alfonso

2002 *El ferrocemento y sus aplicaciones México*
Alfaomega

PACHECO DE LA JARA Herberth

2003 *La Tecnología del Ferrocemento Aplicada a Tanques
de Agua Cajamarca-Perú “memoria” Diplomado en*

Agua y Saneamiento Universidad Nacional de
Cajamarca Facultad de Ingeniería Escuela Piloto de
Agua y Saneamiento.

ROGEL MALDONADO Iván Alex

2005

Muros de contención de ferrocemento Valdivia-Chile
“Tesis” para optar el grado de Ingeniería Civil en
Obras Civiles Universiad Austral de Chile Facultad de
Ciencias de la Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil
en Obras Civiles

VASQUES VILLANUEVA Absalón

2000

Manejo de Cuencas Altoandinas Tomo I Lima-Perú
Universidad Agraria la Molina FIMART S.AC

WAINSHTOK RIVAS Hugo

1992

Ferrocemento: Diseño y aplicaciones La Habana-
Cuba EDIT ECOSUR

ANEXOS

CUADRO DE CONSISTENCIA

DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



FOTO 1.- PREPARACIÓN DE LA MUESTRA



FOTO 2.- PESADO DEL AGREGADO



FOTO 3.- DOSIFICACIÓN DEL AGUA



FOTO 4.- PREPARACIÓN DEL MORTERO



FOTO 5.- PREPARACIÓN DEL REFUERZO (MALLA GALLINERO)



FOTO 6.- PREPARACIÓN DE LOS VACIADOS DE FERROCEMENTO



FOTO 7.- PREPARACIÓN DE LOS DIFERENTES DISEÑOS



FOTO 8.- PREPARACIÓN PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN



FOTO 9.- FRACTURA A DETERMINADO ESFUERZO



FOTO 10.- TOMA DE DATOS DE LABORATORIO

