

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:  
ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE UN  
HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA CONFORMADO POR AGREGADOS  
PROCEDENTES DE LA CANTERA DE PINTAG**

**AUTOR:  
WILSON ANDRÉS ALMEIDA DOMÍNGUEZ**

**TUTOR:  
JOSÉ DOMINGO ALVIAR MALABET**

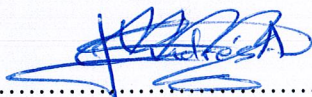
**Quito, diciembre del 2019**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Wilson Andrés Almeida Domínguez, con documento de identificación N° 1717061095, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA CONFORMADO POR AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CANTERA DE PINTAG, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



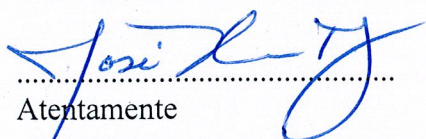
.....  
Nombre: Wilson Andrés Almeida Domínguez  
Cédula: 1717061095

Quito, diciembre del 2019

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, José Domingo Alviar Malabet declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo académico: ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA CONFORMADO POR AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CANTERA DE PINTAG, realizado por Wilson Andrés Almeida Domínguez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, diciembre del 2019



Atentamente

PhD. José Domingo Alviar Malabet C.I:

1757837602

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS DE UN HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA CONFORMADO POR AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CANTERA DE PINTAG

## COMPARATIVE ANALYSIS OF MIXING DESIGN METHODS OF A HIGH STRENGTH CONCRETE MADE UP OF AGGREGATES FROM THE PINTAG QUARRY.

Andrés Almeida-Domínguez<sup>1</sup>.

### Resumen

El siguiente artículo da a conocer el diseño de mezcla de un hormigón de alta resistencia de 60 MPa conformado por agregados procedentes de la cantera de Pintag bajo la aplicación de tres métodos de diseño para su dosificación (Métodos del ACI, Fuller y Thompson y Densidad Óptima).

La investigación dio inicio con la caracterización de los agregados, resultados que fueron utilizados en los diseños para dosificación de hormigón a partir de diferentes métodos.

Durante el proceso experimental se realizaron mezclas de prueba elaboradas a partir de la adición de agua en la mezcla y a partir de la incorporación de un aditivo superplastificante, con el fin de definir la conformación de la mezcla, para obtener la resistencia y trabajabilidad requerida.

Por consiguiente, las mezclas definitivas se definieron mediante la variación de las proporciones de los materiales (agregado grueso y agregado fino) conjuntamente con la incorporación del aditivo superplastificante Viscomix-Setmix para mejorar las condiciones de homogeneidad y disminuir la cantidad de agua en la mezcla.

En cada mezcla se obtuvo muestras representativas de concreto fresco a las mismas que se realizaron ensayos de asentamiento, temperatura, densidad, contenido de aire, fabricación y curado de especímenes cilíndricos y, finalmente ensayos de compresión a edades de 1, 3, 7 y 28 días, alcanzando a los 28 días

### Abstract

The following article reveals the design of a 60 MPa high strength concrete consisting of aggregates from the Pintag quarry under the application of different design methods for dosing (ACI Method, Fuller and Thompson Method and Optical Density Method).

The investigation began with the characterization of the aggregates, results that were used in the designs for concrete dosing from different methods.

During the experimental process, test mixtures prepared from the addition of water in the mixture and from the incorporation of a superplasticizer additive are mixed, in order to define the conformation of the mixture and reducing the water-cement ratio to obtain the resistance required respectively.

In general, definitive mixtures are defined by varying the proportions of materials (coarse aggregate and fine aggregate) with the addition of Viscomix-Setmix superplasticizer additive to improve homogeneity conditions and decrease the amount of water in the mixture.

In each mixture, representative samples of fresh concrete were obtained, in which settlement, temperature, density, air content, manufacturing and curing of cylindrical specimens were performed, and finally compression tests at ages 1, 3, 7 and 28 days, reaching at 28 days of required compressive strength of 72MPa.

---

<sup>1</sup> Estudiante Carrera de Ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana Quito, Sede Quito – Ecuador, Autor para correspondencia ✉: [walmeida@est.ups.edu.ec](mailto:walmeida@est.ups.edu.ec)

resistencias a la compresión requerida de 72 MPa.

**Palabras Clave:** ACI, Densidad Óptima, Fuller y Thompson, Hormigón de Alta Resistencia.

**Keywords:** ACI, Optimal Density, Fuller y Thompson, High-strength concrete.

## 1. Introducción

En las construcciones civiles actuales, nos encontramos en la mayoría de los casos con distintos tipos de hormigón. Ésta es una mezcla íntima entre un cementante, un árido fino y un árido grueso, más agua y eventualmente aditivos, que al endurecer a través de un proceso químico denominado fraguado adquiere una consistencia similar a las mejores piedras naturales [2].

Se le llama concretos de alta resistencia a aquellos hormigones que alcanzan resistencias a la compresión superiores a los 42 MPa de acuerdo al código ACI 211.4R. Este concreto fue expandiendo gradualmente, tanto que en 1997 ya se estaba utilizando alrededor de todo el mundo y despertando a su vez el interés de muchos investigadores por conocer mejor las propiedades de éste nuevo y especial súper-concreto [3].

La Guía para seleccionar proporciones para concreto de alta resistencia utilizando cemento Portland y otros materiales cementantes (ACI.211.4R-08) complementa al ACI 211.1 al presentar varios métodos para seleccionar proporciones de mezcla para concreto de alta resistencia y para optimizar estas proporciones en base a lotes de prueba. Por lo general, para mezclas de concreto de alta resistencia, se utilizan materiales cementantes especialmente seleccionados y aditivos químicos, logrando una baja relación agua/cemento [4].

El desarrollo de hormigones de alta resistencia requiere una selección cuidadosa de agregados, debido a que éstos son los que ocuparán mayor volumen en la mezcla final y tendrán un impacto significativo en las propiedades del hormigón. En hormigones de alto desempeño, aun cuando la matriz del cementante tenga buenas cualidades, es posible que la máxima resistencia del hormigón esté limitada por la resistencia del agregado. Por ello, se recomienda utilizar agregados resistentes, limpios, sin fisuras y tomar en cuenta que su forma, tamaño, granulometría y composición mineralógica afectarán las características finales del hormigón y la demanda de agua de la mezcla [5].

La resistencia del hormigón es muy variable, pues depende de la calidad de los

componentes, de su proceso de mezclado, de su conservación o curado y de su edad. La calidad de los componentes se determina mediante ensayos de laboratorio, obteniendo de ellos tanto las propiedades físicas como mecánicas, que son fundamentales para la dosificación de la mezcla de hormigón. El proceso de mezclado del hormigón consiste en recubrir el agregado con la pasta de cemento hasta lograr una masa íntima y homogénea. La conservación o curado del hormigón se realiza por inmersión en agua o en una cámara de humedad y es muy importante por la influencia decisiva que tiene en la resistencia. En cuanto a la edad, se puede decir que la resistencia del hormigón aumenta con el transcurso del tiempo [6].

Durante la elaboración del hormigón es indispensable que se obtengan las propiedades del hormigón fresco, tales como: consistencia, trabajabilidad y homogeneidad. Una vez que el hormigón ha fraguado y tenga la edad apropiada para ser ensayado, se determinara la resistencia a la compresión simple [6].

Puesto que los agregados pétreos ocupan las 3/4 partes del volumen del hormigón, es fácil comprender que su calidad implica considerable importancia. El agregado delimita la resistencia del hormigón, ya que afecta mucho la durabilidad y el comportamiento estructural del hormigón [7].

Bajo esta premisa, para la elaboración de las diferentes mezclas de hormigón se utilizará materiales pétreos provenientes de la cantera de Pintag que abastecen a la ciudad de Quito, producto de un flujo relacionado al Antisana de lava procedente de la Laguna Muerte Pungo.

La presente investigación pretende diseñar un hormigón de alta resistencia y comparar tres métodos de diseño de mezcla: el método ACI 211.4R, el método de Densidad Óptima y el método de Fuller y Thompson de mezclas controladas en laboratorio basados en dosificaciones al peso, observando de esta manera, cuál se adapta mejor a los agregados procedentes de la cantera de Pintag.

El diseño de la mezcla se efectuará para una resistencia de diseño de 60 MPa, resistencia elegida para la elaboración de ciertos elementos estructurales de obras especiales como pavimentos rígidos de las terminales terrestres,

presas de hormigón armado y revestimientos de desagües en obras hidráulicas determinando de esta manera, la combinación más práctica y económica de materiales disponibles para producir un concreto que satisfaga requerimientos bajo condiciones particulares de uso, logrando obtener un hormigón en estado fresco maleable y económico y en estado endurecido las resistencias a la compresión deseadas a los 28 días, mediante un control de avance de las mismas a las diferentes edades de 1, 3, 7 y 28 días.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Materiales

Los agregados utilizados, fueron originarios de la cantera de Pintag, la misma que se encuentra en una zona cercana al valle de los Chillos y valle de Tumbaco ubicada a 27.5 Km al Suroeste de Quito en la Provincia de Pichincha, sector caracterizado por la explotación de materiales pétreos que abastecen a la ciudad de Quito.

Se utilizó cemento industrial Chimborazo tipo HE que brindó a la mezcla características propias de mayor durabilidad, mayor resistencia a la compresión, resistencia al ataque de sulfatos y mayor impermeabilidad.

Con la incorporación de aditivo superplastificante viscomix de la marca Setmix en la mezcla se aumentó la trabajabilidad del hormigón en estado fresco sin necesidad de aumentar agua.

### 2.2. Metodología

#### 2.2.1. Revisión bibliográfica

Se recolectó la mayor cantidad de bibliografía existente sobre tesis y artículos académicos relacionados; así como, normativas, procedimientos y métodos para los trabajos de investigación.

#### 2.2.2. Ensayos de caracterización

Los ensayos efectuados en laboratorio se ejecutaron en base a las normas detalladas en la Tabla 1.

Tabla 1: Ensayos de caracterización.

Ensayo	Norma Ecuatoriana	Norma Internacional
<b>Análisis granulométrico</b>	AG y AF NTE INEN 696	AG y AF ASTM C-136
<b>Peso específico (D<sub>ssAg</sub>, D<sub>ssAf</sub>) y porcentaje de absorción.</b>	AG: NTE INEN 857 AF: NTE INEN 856	AG: ASTM C-127 AF: ASTM C-128
<b>Densidad aparente suelta y compactada</b>	AG y AF NTE INEN 858	AG y AF ASTM C-29
<b>Densidad Óptima</b>	“Universidad Central del Ecuador”	-
<b>Porcentaje de abrasión</b>	AG y AF NTE INEN 860	AG y AF ASTM C-131
<b>Contenido de humedad</b>	AG y AF NTE INEN 862	AG y AF ASTM -566
<b>Densidad del cemento</b>	NTE INEN 156	AG y AF ASTM -18

#### 2.2.3. Diseño teórico de los hormigones de alta resistencia, bajo la aplicación de diferentes métodos de diseño:

- Método ACI 211.4R
- Método de Fuller y Thompson
- Método de Densidad Óptima

#### 2.2.4. Ensayos de hormigón en estado fresco, bajo la aplicación de las normas:

- Muestreo de hormigón recién mezclado ASTM C173
- Ensayo de asentamiento ASTM C143
- Densidad del hormigón ASTM C138
- Temperatura del hormigón ASTM C1064
- Contenido de aire, método por presión ASTM C231
- Preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto ASTM C31

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Análisis granulométrico

##### 3.1.1. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

En el análisis granulométrico del agregado grueso se obtuvo un tamaño máximo nominal de 3/8" y un tamaño máximo de 1/2", presentó un módulo de finura de 5.96 y el porcentaje de validez del ensayo fue de 0.04 %, cumpliendo de esta manera con el porcentaje máximo permisible de 0.3 % según lo establece la norma INEN 696 para la aceptación de los resultados obtenidos de este ensayo.

La figura 1 indica la granulometría del agregado grueso.

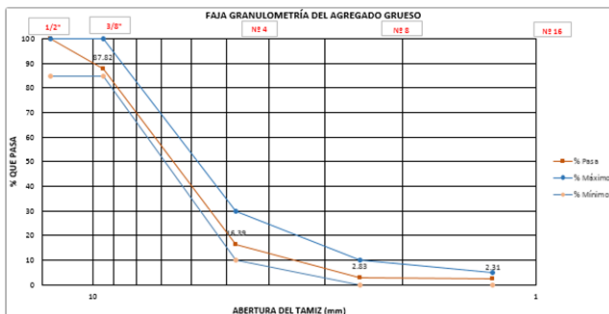


Figura 1. Faja granulométrica del agregado grueso.

##### 3.1.2. Análisis Granulométrico del Agregado Fino

En el análisis granulométrico del agregado fino se obtuvo un módulo de finura de 3.21 cuyo porcentaje de validez del ensayo fue de 0.00 %.

La figura 2 indica la granulometría del agregado fino.

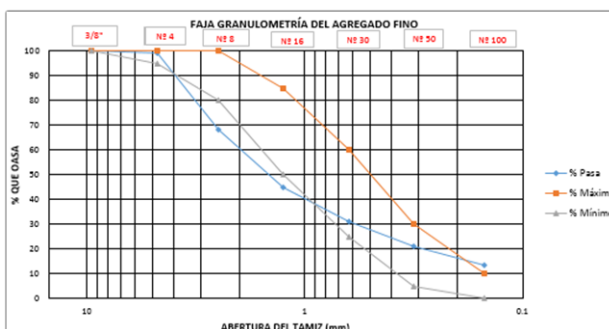


Figura 2. Faja granulométrica del agregado fino.

#### 3.2. Peso específico

En laboratorio se realizaron dos muestras para cada tipo de agregado, alcanzando una precisión y desviación aceptable entre dos resultados de 20 Kg/m<sup>3</sup>.

La tabla 2 presenta los resultados obtenidos del peso específico de los agregados.

Tabla 2: Resultados del ensayo de peso específico.

Tipo agregado	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )
Agregado Grueso	2430
Agregado Fino	2450

#### 3.3. Capacidad de Absorción

La tabla 3 presenta los resultados obtenidos de absorción de los agregados.

Tabla 3: Resultados de absorción de los agregados.

Tipo agregado	Absorción (%)
Agregado Grueso	4.5
Agregado Fino	3.1

Los resultados fueron obtenidos después de haberse realizado dos muestras por agregado y cumpliendo con el rango aceptable entre resultados de 0.31 % indicado por la norma del ensayo.

#### 3.4. Abrasión

Se observó que el agregado grueso es apto para ser empleado en las mezclas debido a que presentó una resistente al desgaste que no excede el 50 % establecido en la NORMA INEN 872.

La tabla 4 presenta los resultados obtenidos del ensayo de abrasión del agregado grueso.

Tabla 4: Resultados del ensayo de abrasión.

Tipo agregado	Abrasión (%)
Agregado Grueso	27



### 3.5. Densidad Aparente Suelta y Compactada

Se realizó al menos 5 veces para obtener resultados válidos entre sí.

Las tablas 5 y 6 presentan los resultados obtenidos del ensayo de Densidad suelta y compactada respectivamente.

Tabla 5: Resultados del ensayo densidad suelta.

Tipo agregado	Densidad suelta (kg/m <sup>3</sup> )
Agregado grueso	1100
Agregado fino	1420

Tabla 6: Resultados del ensayo densidad compactada.

Tipo agregado	Densidad compactada (kg/m <sup>3</sup> )
Agregado grueso	1230
Agregado fino	1570

### 3.6. Densidad Óptima

El ensayo se realizó bajo el procedimiento estipulado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Central del Ecuador más conocido como “Ensayo de masa unitaria óptima de los agregados” [8]; definida la masa unitaria máxima del agregado grueso en el ensayo (20 Kg cuando se tiene tamaño nominal de hasta 3/8”) se inicia con el primer punto o combinación del ensayo, que sería la compactación del material en tres capas (100 % ripio) al ras del recipiente, obteniendo la densidad aparente en cada punto, del punto 2 al 6 a la masa unitaria máxima de ripio se le va añadiendo porcentajes definidos de arena (disminución del 10 % de la masa unitaria máxima del agregado grueso) y del 7 al 9 (5 % arena) del ensayo el valor de densidad máxima a partir del cual se recorre 4 % hacia la izquierda y se obtiene los porcentajes de agregados óptimos.

La figura 3 indica la gráfica obtenida con los puntos o combinaciones entre agregados grueso y fino.

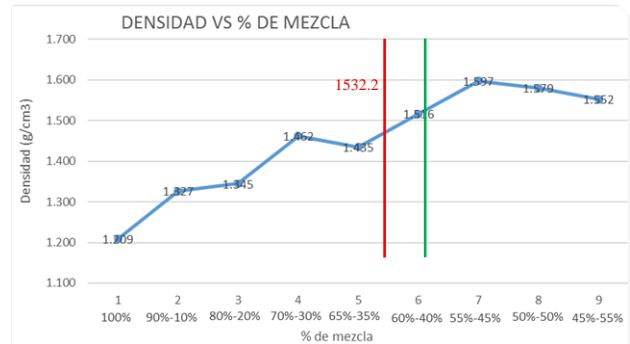


Figura 3. Gráfica densidad vs puntos o combinaciones que representan los porcentajes de agregados.

La tabla 7 presenta los porcentajes de agregados óptimos y la densidad óptima de los agregados (DOM) obtenidos del ensayo.

Tabla 7: Resultados del ensayo de densidad óptima.

Tipo Agregado	Cantidad	Unidad
Agregado Grueso (% Ag)	59	%
Agregado Fino (% Af)	41	%
DOM	1532.2	Kg/m <sup>3</sup>

### 3.7. Contenido de humedad

Se lo llevó a cabo antes de ejecutar las mezclas de hormigón.

La tabla 8 presenta los resultados obtenidos del ensayo.

Tabla 8: Resultados del contenido de humedad de los agregados.

Tipo agregado	Humedad (%)
Agregado Grueso	0.45
Agregado Fino	0.11

### 3.8. Densidad del cemento

Aplicado para un cemento industrial Chimborazo tipo HE controlado una temperatura de 23±2 °C y una humedad relativa de 60 %.

La tabla 9 presenta los resultados obtenidos del ensayo de la densidad del cemento.

Tabla 9: Resultados del ensayo densidad del cemento.

Cemento	Tipo	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Chimborazo	HE	2.97

### 3.9. Dosificación del Hormigón de alta resistencia

Los diseños de hormigón de alta resistencia requirieron de los resultados de los ensayos de caracterización de los materiales como parámetros iniciales de diseño y a su vez, de la resistencia requerida basada en la norma ACI 211.4R, determinando un valor de  $722 \text{ Kg/cm}^2$  que resulta de sumar  $1.10(f'c) + 700 \text{ psi}$ , donde  $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2 = 8702.28 \text{ psi}$ .

#### 3.9.1. Método de la Densidad óptima

Con lo anteriormente establecido en el numeral 3.9 se procedió a estimar la relación agua cemento de 0.22 en función a la resistencia requerida mediante una extrapolación.

La tabla 10 presenta los resultados obtenidos de los parámetros de diseño utilizados en el método de la Densidad Óptima [8] en base a las fórmulas establecidas por el mismo.

Tabla 10: Parámetros de diseño-Método de Densidad Óptima.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Relación w/c	0.22	Adimensional
Densidad real de la mezcla (DRM)	2.5	$\text{g/cm}^3$
Porcentaje óptimo de vacíos (%OV)	31.3	%
Asentamiento estimado	90-120	mm
Cantidad de pasta (%CP)	35.1	%
Cantidad de cemento	626.3	$\text{Kg/m}^3$
Cantidad de arena (SSS)	652.9	$\text{Kg/m}^3$
Cantidad de ripio (SSS)	933.2	$\text{Kg/m}^3$
Cantidad de agua	140.2	$\text{Lt/m}^3$

#### 3.9.2. Método del ACI

Con lo anteriormente establecido en el numeral 3.9.

La tabla 11 presenta los resultados obtenidos de los parámetros de diseño utilizados en el método del ACI [4] en base a las fórmulas establecidas por el mismo.

Tabla 11: Parámetros de diseño-Método del ACI.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Cantidad del agregado grueso (SSS)	801.7	$\text{kg/m}^3$
Asentamiento estimado	120	mm
Agua de mezclado	197.1	$\text{Lt/m}^3$
Contenido de aire	2	%
w/c	0.31	Adimensional
Cantidad de cemento	642.6	$\text{Kg/m}^3$
Cantidad de arena (SSS)	583.2	$\text{Kg/m}^3$

#### 3.9.3. Método de Fuller y Thompson

Con lo anteriormente establecido en el numeral 3.9.

La tabla 12 presenta los resultados obtenidos de los parámetros de diseño utilizados en el método de Fuller y Thompson [2] en base a las fórmulas establecidas por el mismo.

Tabla 12: Parámetros de diseño-Método de Fuller y Thompson.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Asentamiento estimado	120	mm
Cantidad de agua de mezclado	228.9	$\text{Kg/m}^3$
Aire atrapado en la mezcla	3	%
Relación w/c	0.24	Adimensional
Volumen del Agregado grueso	0.42	$\text{m}^3$
Cantidad de cemento	957.4	$\text{Kg/m}^3$
Cantidad de ripio (SSS)	518.0	$\text{Kg/m}^3$
Cantidad de arena (SSS)	506.6	$\text{Kg/m}^3$

Con las cantidades de los materiales obtenidos para  $1 \text{ m}^3$  de hormigón en todos los métodos de diseño se procedió a realizar la corrección por humedad para dejar a los agregados en la mezcla en estado saturado con superficie seca (SSS) dando inicio a las mezclas de prueba en laboratorio.

Las cantidades de materiales en los tres métodos de diseño no fueron suficientes para la conformación de una mezcla de hormigón, razón por la cual se procedió en todas las dosificaciones de los diseños de mezclas previamente indicados a aumentar la cantidad de agua en 110.2, 104.9 y 131.7  $\text{Lt/m}^3$  de hormigón hasta obtener mezclas con trabajabilidad pero segregables alcanzando asentamientos de 180 mm, 195 mm, 220 mm y resistencias a la compresión de 45 MPa, 38 MPa

y 55 MPa, con nuevas relaciones agua cemento de 0.46, 0.53, 0.44 para el método de Densidad óptima, ACI 211.4R, Fuller y Thompson respectivamente.

Las primeras mezclas de hormigón producto de los diseños arrojados por los diferentes métodos de diseño dieron como resultado mezclas segregables para el método de Densidad Óptima y el método de ACI 211.4R respectivamente mientras que, por el método de Fuller y Thompson se obtuvo un hormigón con mayor contenido de finos (cemento y arena).

En todos los casos de mezclas y en los tres métodos de diseño (sin la incorporación de aditivo, con la incorporación de aditivo y con el ajuste de los porcentajes de agregados), se replicó las mezclas con un volumen de la amasada requerido de 17 cilindros para la ejecución de los ensayos en el hormigón en estado fresco y endurecido, este volumen se determinó en función al volumen de un cilindro de 100 x 200 mm; utilizando el volumen de 12 cilindros para la fabricación de especímenes de hormigón, el volumen de 5 cilindros para realizar el ensayo de densidad y de contenido de aire por el método a presión.

La tabla 13 presenta las dosificaciones utilizadas para las mezclas de hormigón sin la incorporación de aditivo a fin de producir los asentamientos preestablecidos para el diseño de las mezclas.

Tabla 13: Dosificaciones de mezclas sin incorporación de aditivos.

<b>MÉTODO DE DENSIDAD ÓPTIMA</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad en peso para 1 m<sup>3</sup> kg</b>	<b>Dosificación</b>
Agua	252.60	0.46
Cemento	544.38	1.00
Arena	567.56	1.04
Ripio	811.23	1.49
<b>MÉTODO DEL ACI</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad en peso para 1 m<sup>3</sup> kg</b>	<b>Dosificación</b>
<b>Agua</b>	301.92	0.53
<b>Cemento</b>	572.99	1.00
<b>Arena</b>	520.03	0.91
<b>Ripio</b>	714.86	1.25
<b>MÉTODO DE FULLER Y THOMPSON</b>		
<b>Material</b>	<b>Cantidad en peso para 1 m<sup>3</sup> kg</b>	<b>Dosificación</b>
Agua	360.59	0.44
Cemento	826.06	1.00
Arena	437.09	0.53
Ripio	446.99	0.54

Respecto a los resultados obtenidos con las mezclas iniciales (sin la incorporación de aditivo) al obtener hormigones segregables y no alcanzar la resistencia requerida de 72 MPa se procedió a utilizar un aditivo superplastificante como reductor de agua y aumentar la resistencia y trabajabilidad del hormigón en estado fresco.

De acuerdo con las recomendaciones del Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón previamente a la adición de dicho aditivo se controló un asentamiento inicial de 20 mm obtenido al aumentar el agua en una cantidad de 66.6 y 67.1 lt, posteriormente, se colocó el aditivo superplastificante viscomix-Setmix al 0.35 % y 0,40 % del contenido de cemento, obteniendo finalmente un hormigón con asentamientos finales de 180 mm y 225 mm y resistencias a la compresión de 54 MPa y 63 MPa, para el método de Densidad óptima y ACI 211.4R respectivamente, siendo todavía mezclas de hormigón segregables y por ende no aplicables al mercado; mientras que, en la

mezcla obtenida por el método de Fuller y Thompson para obtener el mismo asentamiento inicial de 20 mm se aumentó 74.9 lt/m<sup>3</sup> alcanzando un asentamiento de 220 mm y una resistencia a la compresión de 71 MPa observándose de igual manera un hormigón con mayor contenido de finos (cemento y arena), razón por la cual esta mezcla tampoco puede ser aplicable en el mercado de la construcción.

La tabla 14 presenta las dosificaciones utilizadas para las mezclas de hormigón con la incorporación de aditivo superplastificante viscomix-Setmix.

Tabla 14: Dosificaciones de mezclas con incorporación de aditivo viscomix-Setmix.

MÉTODO DE DENSIDAD ÓPTIMA		
Material	Cantidad en peso para 1 m <sup>3</sup> kg	Dosificación
Agua	206.82	0.36
Cemento	577.73	1.00
Arena	602.32	1.04
Ripio	860.92	1.49
Viscomix	2.02	0.0035
MÉTODO DEL ACI		
Material	Cantidad en peso para 1 m <sup>3</sup> kg	Dosificación
Agua	264.16	0.44
Cemento	603.98	1.00
Arena	548.16	0.91
Ripio	753.52	1.25
Viscomix	2.42	0.004
MÉTODO DE FULLER Y THOMPSON		
Material	Cantidad en peso para 1 m <sup>3</sup> kg	Dosificación
Agua	303.84	0.34
Cemento	899.39	1.00
Arena	475.89	0.53
Ripio	486.66	0.54
Viscomix	2.70	0.003

Los valores de dosificación que se muestran en las Tablas 13 y 14 se obtuvieron con los valores de agua añadidos.

Las mezclas sin la adición de aditivo y las mezclas con la adición de aditivo

superplastificante viscomix-Setmix, dieron como resultado resistencia a las edades de 1, 3, 7 y 28 días válidos para la elaboración de las gráficas 4 y 5, que señalan la tendencia de las resistencias a diferentes edades y la relación agua-cemento de las mezclas.

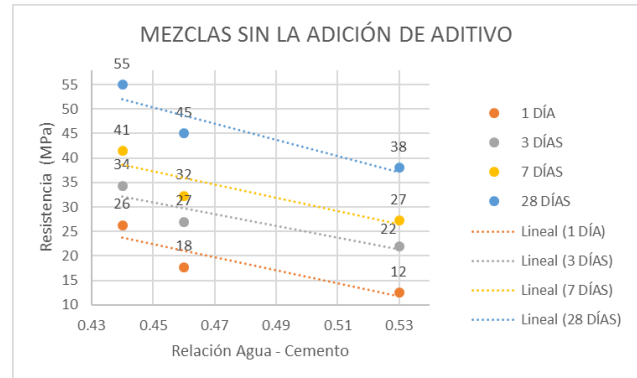


Figura 4. Líneas de tendencia a diferentes edades relación agua-cemento y resistencia de mezclas sin la adición de aditivo.

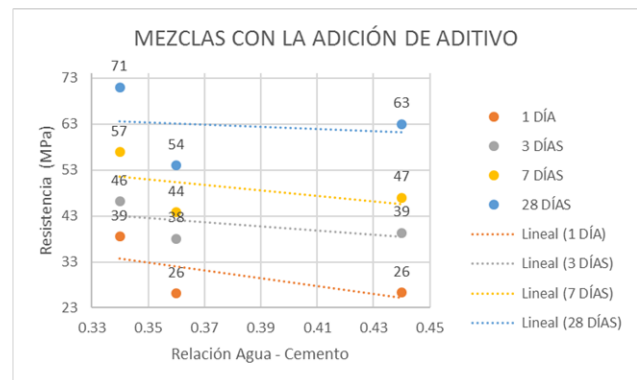


Figura 5. Líneas de tendencia a diferentes edades relación agua-cemento y resistencia de mezclas con la adición de aditivo superplastificante viscomix-Setmix.

Estas gráficas son de utilidad para definir valores de relación agua-cemento en cualquiera de los tres tipos de mezclas sin la adición de aditivo para el caso de la gráfica 4 y con la adición de aditivo superplastificante para la gráfica 5, todo esto bajo la elección de una resistencia a la compresión simple y su edad.

De acuerdo a la gráfica del factor Beta se obtuvo como porcentajes ajustados de grava y arena un valor de 39 % y 61 % respectivamente.

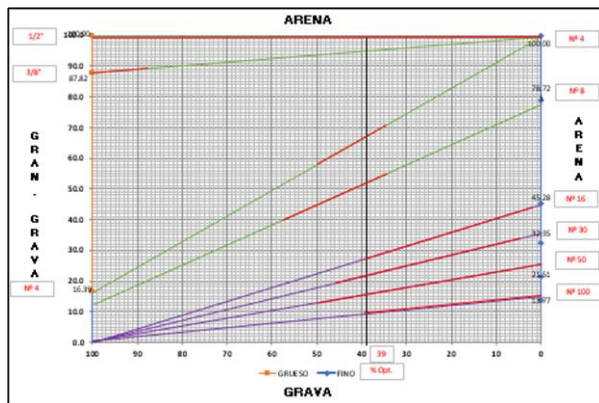


Figura 6. Porcentajes ajustados de grava y arena- gráfica del factor Beta.

Después de haber realizado varias mezclas de prueba en donde se fue variando la cantidad de adición de agua con el objetivo de alcanzar a la resistencia requerida, incorporando la adición del aditivo superplastificante viscomix-Setmix y ajustando los porcentajes de agregados en las mezclas hasta alcanzar una homogeneidad. Se obtuvo una mezcla definitiva en donde la relación agua cemento fue de 0.33, con una cantidad de cemento de 587.62 Kg/m<sup>3</sup>, de la cual se obtuvo resistencias a la compresión simple requeridas a los 28 días de 72 MPa.

Con la relación agua cemento de 0.33 se controló un asentamiento inicial de 10 mm y con la incorporación del aditivo superplastificante viscomix-Setmix al 0.425 % de la cantidad de cemento se obtuvo un asentamiento final de 180 mm, logrando ser una mezcla plástica y consistente.

Los porcentajes de agregados en esta mezcla fue de 45 % para el agregado grueso y 55 % para el agregado fino, obteniendo con estos porcentajes una mezcla no segregable.

La figura 7 muestra la diferencia física entre una mezcla segregable de una mezcla homogénea.



Figura 7. Mezcla segregable (a), mezcla no segregable u homogénea (b)

La tabla 15 presenta la dosificación final utilizada para la mezcla definitiva.

Tabla 15: Dosificación final utilizada para la mezcla definitiva de hormigón, incorporando el aditivo superplastificante viscomix-Setmix y ajustando los porcentajes de agregados.

MEZCLA DEFINITIVA		
Material	Cantidad en peso para 1 m <sup>3</sup> kg	Dosificación
Agua	193.81	0.33
Cemento	587.62	1.00
Arena	818.56	1.39
Ripio	669.73	1.14
Viscomix	2.50	0.00425

### 3.10. Ensayos del Hormigón en Estado Fresco

#### 3.10.1. Ensayo de Asentamiento

El ensayo de revenimiento en laboratorio se realizó bajo la utilización del cono de Abrams y su llenado, ensayo mediante el cual se controló la consistencia del hormigón en estado plástico, observando en las mezclas de prueba que éste aumenta proporcionalmente con el agua de mezclado y es inversamente proporcional a la resistencia del hormigón.

Las tablas 16, 17 y 18 presentan los resultados de los ensayos de asentamientos obtenidos en las diferentes mezclas.

Tabla 16: Resultados del ensayo de asentamiento de las mezclas sin incorporación de aditivo.

	Asentamiento de las mezclas sin aditivo
	mm
Densidad Óptima	180
ACI	195
Fuller y Thompson	220

Tabla 17: Resultados del ensayo de asentamiento de mezclas con incorporación de aditivo.

Método	Asentamiento de las mezclas con aditivo
	mm
Densidad Óptima	180
ACI	225
Fuller y Thompson	220

Tabla 18: Resultado del ensayo de asentamiento de la mezcla definitiva de hormigón.

Método	Asentamiento de la mezcla definitiva con aditivo y corrección de % de los agregados
	mm
<b>Dosificación Propuesta</b>	180



Figura 8. Asentamiento inicial sin aditivo (a), asentamiento final con aditivo (b)

### 3.10.2. Ensayo de Temperatura

Se lo realizó mediante la utilización de un termómetro digital del cual se registró la lectura de las temperaturas en estado fresco cumpliendo el rango de tiempo establecido por la norma (mínimo 2 minutos y máximo 5 minutos). Como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Ensayo de temperatura del hormigón en estado fresco.

Los resultados obtenidos de los ensayos de temperatura del hormigón en estado fresco se presentan en las tablas 19, 20 y 21.

Tabla 19: Resultados del ensayo de temperatura de las mezclas sin incorporación de aditivos.

Método	Temperatura de las mezclas sin aditivo
	°C
<b>Densidad Óptima</b>	21
<b>ACI</b>	23
<b>Fuller y Thompson</b>	22

Tabla 20: Resultados del ensayo de temperatura de mezclas con incorporación de aditivo.

Método	Temperatura de las mezclas con aditivo
	°C
<b>Densidad Óptima</b>	23
<b>ACI</b>	22
<b>Fuller y Thompson</b>	24

Tabla 21: Resultado del ensayo de temperatura de la mezcla definitiva de hormigón.

Método	Temperatura de la mezcla definitiva con aditivo y corrección de % de los agregados
	°C
<b>Dosificación Propuesta</b>	23

### 3.10.3. Ensayo de Densidad

Se lo realizó por el método de compactación por varillado, ya que se obtuvo asentamientos mayores a 75 mm.

Las tablas 22, 23 y 24 muestran los resultados obtenidos de los ensayos de densidad del hormigón en estado fresco.

Tabla 22: Resultados del ensayo de densidad de las mezclas sin incorporación de aditivos.

Método	Densidad de las mezclas sin aditivo
	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad Óptima</b>	2087
<b>ACI</b>	2052
<b>Fuller y Thompson</b>	1975

Tabla 23: Resultados de los ensayos de densidad de mezclas con incorporación de aditivo.

Método	Densidad de las mezclas con aditivo
	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad Óptima</b>	2156
<b>ACI</b>	2108
<b>Fuller y Thompson</b>	2066

Tabla 24: Resultado del ensayo de densidad de la mezcla definitiva de hormigón.

Método	Densidad de la mezcla definitiva con aditivo y corrección de % de los agregados
	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Dosificación Propuesta</b>	2163

### 3.10.4. Ensayo de Contenido de Aire

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del ensayo por el método por presión mediante la utilización de un medidor tipo B.

Tabla 25: Resultados de los ensayos de contenido de aire de las mezclas sin incorporación de aditivo.

Método	Contenido de aire de las mezclas sin aditivo
	%
<b>Densidad Óptima</b>	1.9%
<b>ACI</b>	1.8%
<b>Fuller y Thompson</b>	2.0%

Tabla 26: Resultados de los ensayos de contenido de aire de las mezclas con incorporación de aditivo.

Método	Contenido de aire de las mezclas con aditivo
	%
<b>Densidad Óptima</b>	2.4%
<b>ACI</b>	2.4%
<b>Fuller y Thompson</b>	2.6%

Tabla 27: Resultado del ensayo de contenido de aire de la mezcla definitiva de hormigón.

Método	Contenido de aire de las mezclas con aditivo y corrección de % de los agregados
	%
<b>Dosificación propuesta</b>	2.8%



Figura 10. Contenido de aire método por presión del hormigón en estado fresco.

### 3.11. Condiciones de curado

El curado inicial se efectuó a una temperatura de 21 °C en el cual los especímenes de hormigón permanecieron en el molde cilíndrico por un periodo de 24 horas.

Para el curado final, se procedió al llenado y control del pH del agua con el uso de cal para cumplir con el valor de 12 para pH estipulado por norma; de igual manera se calentó el agua para cumplir con la temperatura de 23±2 °C. Finalmente se desmoldaron los cilindros respetando el tiempo estipulado de 20±4 horas a partir de su fabricación. De igual manera se controló la temperatura diariamente en las tardes dejando el agua de las piscinas a 25 °C.

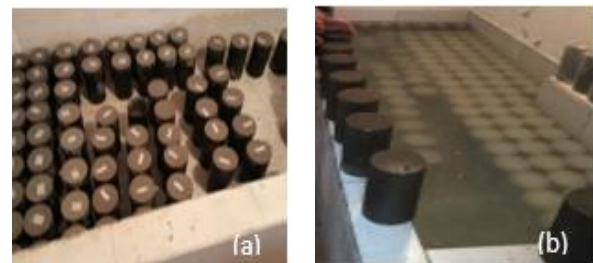
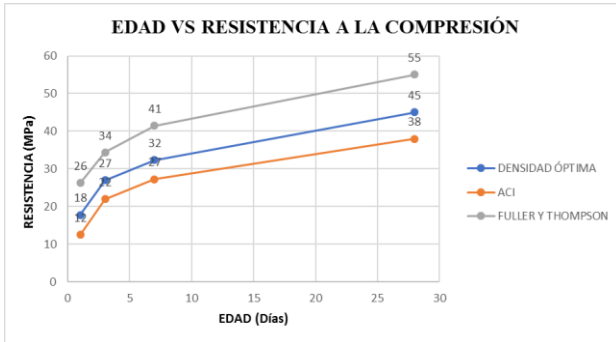


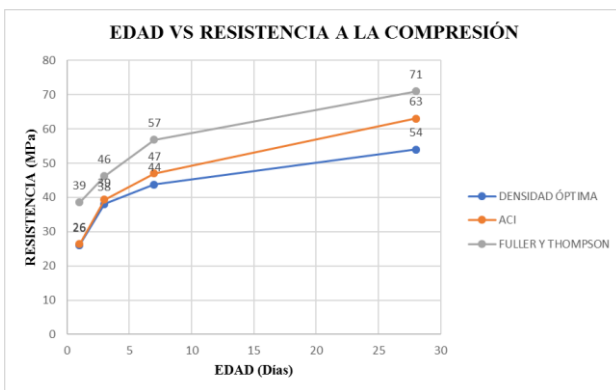
Figura 11. Curado inicial (a), Curado final (b)

### 3.12. Resultados de Resistencia a Compresión

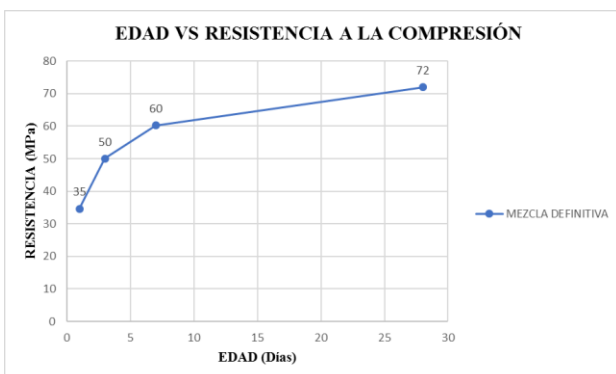
Las figuras 12, 13 y 14 muestran los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón en estado fresco a edades de 1, 3, 7 y 28 días.



**Figura 12.** Resultados de los ensayos de los ensayos de resistencias a la compresión de las mezclas sin incorporación de aditivo.



**Figura 13.** Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de las mezclas con incorporación de aditivo viscomix-Setmix.



**Figura 14.** Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de la mezcla definitiva de hormigón, incorporando el aditivo superplastificante viscomix-Setmix y ajustando los porcentajes de agregados.

En la figura 12 se observa que la mezcla de hormigón sin incorporación de aditivo por el método de Fuller y Thompson presenta a los 28 días mayor resistencia (55 MPa), con una desviación estándar de 0.63 y un coeficiente de variación de 0.016, entre las tres muestras cilíndricas ensayadas a esta edad, respecto a los otros métodos de diseños, este resultado se debe a que el método de Fuller y Thompson utiliza mayor cantidad de cemento en su diseño, observando en laboratorio que esta mezcla es un hormigón con mucho fino (cemento y arena), razón por la cual se descarta en el mercado de la construcción ya que no optimiza la cantidad de cemento y genera un costo elevado en su producción; el método de Densidad Óptima y del ACI arrojaron a los 28 días resistencias de 45 MPa, característica de una desviación estándar calculada de 0.59 y un coeficiente de variación de 0.019; y 38 MPa, con una desviación estándar de 0.86 y un coeficiente de variación de 0.035, respectivamente utilizando una menor cantidad de cemento pero alcanzando mezclas segregables razón por la cual se descartan los 3 diseños obtenidos debido a que no alcanzaron directamente la resistencia requerida de diseño.

En la figura 13 se observa que al utilizar el aditivo superplastificante viscomix-Setmix como reductor de agua se alcanzan mayores resistencias respecto a las mezclas fabricadas sin incorporación de aditivo, pero no se logra mejorar el estado de la mezcla (segregable y heterogénea) ni en las condiciones de producción (cantidades de cemento, agregado grueso y fino).

En la figura 14 se observa que a los 28 días se alcanzan resistencias a la compresión requerida de 72 MPa, obtenidas a partir de la dosificación de la mezcla definitiva de hormigón. Este hormigón presentó al 1 día el 50 % de su resistencia, a los 3 días el 70 %, 7 días el 80 % y a los 28 días alcanzó su resistencia al 100 %; y que la desviación estándar y el coeficiente de variación calculados de los valores de resistencias a la compresión simple de las 3 muestras cilíndricas a los 28 días son de 0.11 y 0.002.



### 3.13. Precios unitarios

En la tabla 28 se muestran los precios unitarios observando que el más económico es el obtenido con el método de Densidad Óptima, seguido del método del ACI y Fuller y Thompson, existiendo una diferencia de precios que varía entre \$5.26 y \$62.01.

Tabla 28: Análisis de precios unitarios para 1m<sup>3</sup> de hormigón.

Método	Mezclas sin Aditivo Dólares (\$)
Densidad Óptima	149.15
ACI	153.86
Fuller y Thompson	201.17
Método	Mezclas con Aditivo Dólares (\$)
Densidad Óptima	164.49
ACI	169.75
Fuller y Thompson	226.50
Método	Mezcla con aditivo y corrección de % de los agregados Dólares (\$)
Mezcla Propuesta	168.10

Con la dosificación propuesta (mezcla definitiva) el costo de metro cúbico de hormigón es de \$168.10.

## 4. Conclusiones

En la presente investigación se diseñó un hormigón de alta resistencia con una relación agua cemento de 0.33, con un asentamiento de 180 mm en estado fresco que alcanzó una densidad en estado endurecido de 2268 Kg/m<sup>3</sup> con una resistencia a la compresión de 72 MPa, hormigón aplicable para pavimentos rígidos, represas de hormigón armado, y revestimientos de desagües en obras hidráulicas con el fin de:

- soportar mayores cargas,
- disminuir la cuantía de acero de refuerzo,
- disminuir la sección de los elementos estructurales y,
- alargar la vida útil del hormigón,

siendo un diseño óptimo y económico en el ámbito de la construcción y de calidad, al obtener un hormigón trabajable, resistente y durable.

Se concluye que ningún método de diseño nos arroja directamente la dosificación definitiva, siempre las mezclas deben ser llevadas a un reajuste y mediante la experimentación en laboratorio apreciar visualmente si la mezcla de

hormigón no es segregable, es trabajable y homogénea para ser puesto en obra.

El método de diseño más cercano a indicar la relación agua/cemento de la mezcla de un hormigón de alta resistencia fue del método del ACI 211.4R debido a que en las tablas establecidas por dicha norma presentan valores estadísticos específicamente para este tipo de hormigones mientras que el diseño de densidad óptima y de Fuller y Thompson al ser utilizados para hormigones ordinarios no tienen este dato con certeza por lo que se tiene que extrapolar para obtener dichas relaciones agua/cemento.

El método de Fuller y Thompson trata que el agregado fino llene los espacios dejados entre las partículas del agregado grueso; en esta investigación el cemento también llenó dichos vacíos consiguiendo una mezcla con excesiva cantidad de cemento y generando en laboratorio una mezcla de hormigón con mucha cantidad de finos (cemento y agua).

La mezcla de hormigón definitiva que alcanzo a los 28 días resistencias a la compresión de 72 MPa, con porcentajes de agregado grueso en un 45 % y agregado fino en un 55, tiene la mayor aproximación de estos valores respecto a los porcentajes obtenidos por el procedimiento de la gráfica beta (figura 6) que fueron del 39 % para el ripio y 61 % para la arena, observándose una variación de 6% y 4%.

El metro cúbico de hormigón de alta resistencia con las características de la mezcla definitiva tendrá un valor de \$168,10; respecto a hormigones convencionales que tienen costos que fluctúan entre los \$150 y \$165 indica que el hormigón de este diseño tiene un costo accesible, considerando que podría ser compensado por la reducción en los tamaños de las secciones y volúmenes de hormigón por colocar en obra.

## Referencias

- [ 1 K. C. y. S. Changoluisa, «Diseño de  
1 hormigones ligeros con diferentes  
1 materiales locales y análisis comparativo  
con un hormigón ordinario» *Repositorio  
UPS*, marzo 2019.
- [ 2 U.N.R, «FCEIA,» Abril 2003. [En línea].  
2 Available:  
1 <https://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/03.01.03-Hormigones%20con%20Agregados%20Livianos.PDF>.
- [ 3 C. E. M. CÓRDOVA, «CONCRETO DE  
3 ALTA RESISTENCIA  
1 (EXPERIMENTACIÓN EN  
GUATEMALA),» Julio 2005. [En línea].  
Available:  
[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2600\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2600_C.pdf).
- [ 4 A. C. I. 211.4R, Guía para seleccionar  
4 proporciones para concreto de alta  
1 resistencia utilizando cemento Portland y  
otros materiales cementantes, USA, 2008.
- [ 5 F. Yépez y F. Calderón, «Diseño de  
5 hormigones de alto desempeño: alta  
1 resistencia a la compresión,  
trabajabilidad,» *Avances en ciencias e  
ingenierías*, p. 7, 2014.
- [ 6 M. E. Coro Paillacho, «Determinación del  
6 módulo de rotura en vigas de hormigón,  
1 fabricado con materiales procedentes de la  
cantera San Roque, para  $f'c = 28\text{MPa}$ ,»  
Quito-Ecuador, 2014.
- [ 7 J. F. B. Rea, «DISEÑO DE HORMIGÓN  
7 AUTOCOMPACTANTE PARA  
1 ESTRUCTURAS DE AGUA POTABLE  
Y ALCANTARILLADO,»  
*REPOSITORIO UIDE*, p. 33, 2016.
- [ 8 C. y. Tulcan, «CORRELACIÓN DEL  
8 MÓDULO DE ROTURA DEL  
1 HORMIGÓN SIMPLE EN VIGAS  
ELABORADAS CON AGREGADOS  
PÉTREOS NATURALES Y  
AGREGADOS RECICLADOS,» Quito,  
2018.