



Estudio comparativo de las propiedades físico - mecánicas de un hormigón elaborado con agregados gruesos de origen triturado y zarandeado

Comparative study of the physical-mechanical properties of concrete made with coarse aggregates of crushed and shaken origin

Estudo comparativo das propriedades físico-mecânicas de concretos fabricados com agregados graúdos de origem britado e sacudido

Jonatan Alexander Chacón-Espín ^I
ajonatan89@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-8998-4441>

Freddy Ricardo Torres-Obando ^{II}
ricardo_fr87@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0005-2738-1370>

Correspondencia: ajonatan89@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 13 de abril de 2024 ***Aceptado:** 12 de mayo de 2024 * **Publicado:** 21 de junio de 2024

- I. Investigador Independiente, Ecuador.
- II. Investigador Independiente, Ecuador.

Resumen

La presente investigación consiste en el análisis comparativo de las características físico - mecánicas de los agregados gruesos como son: el ripio triturado y el ripio zarandeado procedentes de una mina ubicada en la Parroquia Mulaló, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. El objetivo de investigación fue comparar las propiedades mecánicas de dos hormigones elaborados a base de dos clases de materiales para obtener un diseño de hormigón económico, pero de igual resistencia. La metodología utilizada en el manuscrito fue a partir de un diseño documental, porque se realizó una búsqueda exhaustiva de los fundamentos teóricos del tema planteado; posterior al documental, se desarrolló un diseño experimental, en donde los investigadores manipularon en forma intencional las variables, con el propósito de producir cambios en las variables de estudio; utilizando materia prima común de la cantera. Resultados, producto de la aplicación de las pruebas se observó que al elaborar mezclas de hormigón con cada uno de los agregados gruesos antes mencionados en forma separada, considerando la misma arena para todos los casos, diseñados para las resistencias especificadas de 21MPa y 28MPa; y determinar los costos estimados y cantidades necesarias de los materiales para realizar 1m³ de hormigón, para las mezclas realizadas con ripio triturado y las mezclas realizadas con ripio zarandeado, y compararlos entre sí y determinar si es posible utilizar el ripio zarandeado, sin ningún tipo de preparación previa, para la realización de hormigones hasta resistencias de 28MPa.

Palabras clave: Propiedades físico – mecánicas; hormigón; material triturado; resistencia; zarandeado.

Abstract

The present investigation consists of the comparative analysis of the physical-mechanical characteristics of coarse aggregates such as: crushed gravel and shaken gravel from a mine located in the Mulaló Parish, Latacunga Canton, Cotopaxi Province. The research objective was to compare the mechanical properties of two concretes made from two types of materials to obtain an economical concrete design, but of equal resistance. The methodology used in the manuscript was based on a documentary design, because an exhaustive search of the theoretical foundations of the topic raised was carried out; After the documentary, an experimental design was developed, where the researchers intentionally manipulated the variables, with the purpose of producing changes in

the study variables; using common raw material from the quarry. Results, as a result of the application of the tests, it was observed that when preparing concrete mixtures with each of the aforementioned coarse aggregates separately, considering the same sand for all cases, designed for the specified resistances of 21MPa and 28MPa; and determine the estimated costs and necessary quantities of materials to make 1m³ of concrete, for the mixtures made with crushed gravel and the mixtures made with shaken gravel, and compare them with each other and determine if it is possible to use the shaken gravel, without any type of prior preparation, for the production of concrete up to resistance of 28MPa.

Keywords: Physical – mechanical properties; concrete; crushed material; endurance; shaken

Resumo

A presente investigação consiste na análise comparativa das características físico-mecânicas de agregados graúdos como: brita e brita de uma mina localizada na Freguesia de Mulaló, Cantão de Latacunga, Província de Cotopaxi. O objetivo da pesquisa foi comparar as propriedades mecânicas de dois concretos fabricados com dois tipos de materiais para obter um projeto de concreto econômico, mas de igual resistência. A metodologia utilizada no manuscrito baseou-se no desenho documental, pois foi realizada uma busca exaustiva dos fundamentos teóricos do tema levantado; Após o documentário, foi desenvolvido um desenho experimental, onde os pesquisadores manipularam intencionalmente as variáveis, com a finalidade de produzir alterações nas variáveis do estudo; utilizando matéria-prima comum da pedra. Resultados, como resultado da aplicação dos ensaios, observou-se que ao preparar misturas de concreto com cada um dos agregados graúdos citados separadamente, considerando a mesma areia para todos os casos, projetada para as resistências especificadas de 21MPa e 28MPa; e determinar os custos estimados e as quantidades necessárias de materiais para fazer 1m³ de concreto, para as misturas feitas com brita britada e as misturas feitas com brita sacudida, e compará-los entre si e determinar se é possível utilizar a brita sacudida, sem qualquer tipo de preparação prévia, para produção de concreto até resistência de 28MPa.

Palavras-chave: Propriedades físico-mecânicas; concreto; material triturado; resistência; abalado

Introducción

En la ciudad de Latacunga, de manera puntual en la zona rural, existen cinco canteras que cumplen con las normas ambientales y de seguridad, además tienen actualizados los permisos de minería artesanal y de pequeña minería, por otro lado, existen al menos diez canteras pequeñas que no cuentan con ningún tipo de permiso respectivo. En todas estas canteras se procesa y se comercializa material pétreo triturado para la elaboración de hormigones. Sin embargo, existe el material conocido como zarandeado que es muy utilizado debido principalmente a su bajo costo. La población del sector utiliza este material zarandeado, para elaborar hormigón y realizar las construcciones de sus viviendas, sin conocer las verdaderas características del mismo, ya que en la mayoría no se realiza un diseño de hormigón adecuado, que la calidad del mismo sea igual al material triturado. (Bolaños Noboa & Villacres, 2015)

La falta de conocimientos sobre las características físicas y mecánicas de los materiales pétreos, correspondientes a las canteras explotadas artesanalmente y que no necesariamente cuentan con todos los permisos requeridos (Permiso Ambiental, Concesiones Mineras y Plan Emergente), conllevan a conflictos en las construcciones y grandes responsabilidades para los constructores y fiscalizadores de las mismas. En la cantera Rouoka Peilufu, uno de los problemas más frecuentes es la disponibilidad de ciertos materiales para la elaboración de hormigones, por lo que en muchas ocasiones los constructores optan por la utilización del ripio zarandeado en lugar del ripio triturado cuando éste no cubre la demanda; otra razón por la que se escoge el ripio zarandeado es el bajo costo en relación al material triturado.

Debido a que el material zarandeado no tiene el mismo proceso de obtención que el ripio triturado, existe la duda de que no se consigue obtener la resistencia especificada ($f'c$) deseada ni a generar hormigones de altas resistencias. Se conoce generalmente que las canteras aledañas trabajan con los mismos tipos de agregados, sin embargo, los resultados a obtener en esta investigación serán exclusivamente de la mina Rouoka Peilufu, y no será válida para comparación con los materiales de las otras canteras debido a que las características cambian de un lugar a otro.

Planteada la problemática, es necesario formular las hipótesis investigativas, que servirán de guía para alcanzar el objetivo propuesto.

El hormigón elaborado con material triturado es de mejor resistencia que el hormigón elaborado con material zarandeado.

El costo de elaboración de hormigón es menor cuando es realizado con material zarandeado.

Al elaborar hormigón con material zarandeado, se necesitará mayor cantidad de cemento para obtener la resistencia $f'c$ 21 MPa y $f'c$ 28 MPa, en comparación con el hormigón realizado con material triturado.

Debido a las deficientes características físico - mecánicas que tiene el material zarandeado, no será posible obtener un hormigón con resistencia de $f'c$ 28 MPa.

Las características del material zarandeado son de menor calidad con respecto al material triturado. En función de las hipótesis planteadas se traza el objetivo investigativo. Comparar las propiedades mecánicas de dos hormigones elaborados a base de dos clases de materiales para obtener un diseño de hormigón económico, pero de igual resistencia.

En esta línea de elementos introductorios, es necesario justificar la importancia de la presente investigación. En el ámbito de la construcción se usan distintos tipos de agregados pétreos provenientes de varios tipos de explotación minera, muchos de estos controlados y normalizados, pero la mayoría no tiene ningún tipo de control ni norma por lo cual nos crea la incertidumbre de que materiales debemos usar en la construcción, las personas que construyen con hormigón tienden a utilizar los materiales que aparentemente representan menor costo. (León & Ramírez, 2010)

Mediante este trabajo de investigación se brindará información real de los dos tipos de agregados (zarandeado y triturado) de la cantera Rouoka Peilufu, para de esta manera considerar con real conocimiento la utilización de uno u otro material, a fin de tener estructuras de hormigón que cumplan con los requerimientos mínimos de resistencia; además de analizar, comprobar y comparar; experimentalmente todas sus características físicas y mecánicas de los dos tipos de materiales con la ayuda de los ensayos correspondientes.

A continuación, es necesario fundamentar las variables del estudio desde el ámbito teórico.

Propiedades de los materiales

Determinar las características de los materiales con los que se trabajará es fundamental, conocer su comportamiento y poder realizar un adecuado diseño de hormigón para obtener un hormigón con resistencia mecánica y durabilidad aceptable; estas características se las pueden determinar mediante ensayos de laboratorio que tienen sus normativas correspondientes. Los materiales tienen su aporte en la elaboración del hormigón de acuerdo a las características que presente cada uno, desde el momento que se mezclan los agregados para formar el hormigón hasta que el hormigón se haya endurecido. (Chacon & Lema, 2012)

De acuerdo a las propiedades de los materiales, que indiquen los respectivos ensayos de laboratorio, se puede establecer las proporciones idóneas tanto del ripio, arena, cemento y agua para realizar la mezcla de hormigón con una determinada resistencia especificada ($f'c$). Y si las propiedades de los agregados no permiten llegar a una determinada resistencia, se puede utilizar elementos extras como aditivos para compensar la deficiencia de los materiales. (Orbe et al., 2013)

La función que tiene cada material en la mezcla del hormigón es fundamental en su combinación, es así que: El agregado grueso le da la resistencia mecánica al hormigón; El agregado fino tiene la función de llenar todos los espacios vacíos que se encuentre entre el agregado grueso y a la vez darle una adecuada trabajabilidad a la mezcla para ser manipulada cuando se encuentra en estado fresco; Y el cemento en conjunto con el agua se encarga de unir cada una de estas partículas recubriéndolas completamente y rellenar los vacíos que se forman entre ellas, contribuyendo a la resistencia mecánica del hormigón después que se haya endurecido. (Guevara et al., 2012)

Mientras mayor sea el nivel de compactación del hormigón, mejor será su resistencia y más económica será su fabricación; por esta razón resulta importante cuidar la granulometría de los áridos. También es importante que las características mecánicas de los agregados sean adecuadas y que estén libres de impurezas.

Estudio de propiedades físicas y mecánicas de los agregados seleccionados

Los siguientes estudios realizados corresponden a los materiales pétreos, que han sido transportados desde la mina Rouoka Peilufu hasta las instalaciones del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Central del Ecuador, y que son el producto fundamental para esta investigación, para proporcionarnos una idea clara de la calidad y resistencia mecánica de los mismos. Cabe señalar que estos agregados no recibieron ningún tratamiento especial como lavado y clasificación, por lo tanto, han sido manipulados en las mismas condiciones en las que se encuentran en la mina, ya que se trata de aportar al conocimiento común de la elaboración de hormigones sin ningún tipo de alteración de estos materiales.

Las principales propiedades a analizar son: Densidad del cemento, consistencia normal del cemento, tiempos de fraguado del cemento, abrasión, determinación de impurezas orgánicas, peso específico-capacidad de absorción-contenido de humedad, densidad aparente suelta y compactada, densidad aparente máxima y óptima y granulometría.

Diseño de mezclas de prueba

La dosificación de una mezcla de hormigón consiste en determinar la combinación más económica y eficiente de los agregados según las características de los mismos, determinando las proporciones óptimas de los materiales a fin de elaborar una mezcla con un buen grado de trabajabilidad, que después de endurecerse adquiera las características de resistencia y durabilidad requerida para una determinada construcción.(Romero & Hernandez, 2014)

Para encontrar las proporciones óptimas, se debe realizar la mezcla de prueba que será calculada de acuerdo a las propiedades de los materiales y principios básicos de diseño. De acuerdo a los resultados que presenta dicha mezcla, se puede realizar las correcciones necesarias para preparar la mezcla definitiva. En nuestro caso, las exigencias principales que debe tener la dosificación son la resistencia, durabilidad y al menor costo.

En esta investigación se realizó el diseño de dos tipos de mezclas, donde la diferencia radica en el agregado grueso, ya que la arena es la misma para ambos casos. Todas las propiedades de los materiales necesarias para el diseño de hormigón, con lo cual se realiza una dosificación de hormigón que brinde resultados fiables.

Métodos de diseño para mezclas

El objetivo fundamental del diseño de mezclas es encontrar una dosificación que utilice la menor cantidad de cemento, si se plantea un mal proporcionamiento de los agregados puede existir consecuencias negativas como: mayor e innecesario costo, exceso de agua de exudación, mayor cantidad de aire y por tanto mayor volumen de vacíos que harán que el hormigón endurecido sea más vulnerable a la humedad.(Guevara Fallas et al., 2012)

Se han realizado gran cantidad de trabajos relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay muchas propiedades importantes del hormigón, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada, así como una trabajabilidad apropiada. Además, es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del hormigón también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico).

Existen varios métodos de diseños de mezclas para lograr obtener una dosificación que cumpla con los requerimientos característicos del hormigón a elaborar; en nuestro caso consideramos la realización del diseño de mezcla en base a dos métodos como son:

- Método ACI (American Concrete Institute)
- Método de la Densidad Óptima

Metodología y métodos

De acuerdo a lo establecido en el presente apartado, el artículo se desarrolló a partir de un diseño documental. Documental, porque se ejecutó una búsqueda crítica de la literatura relacionada con las propiedades mecánicas de dos hormigones elaborados a base de dos clases de materiales para obtener un diseño de hormigón económico, pero de igual resistencia. (Arias, 2012)

En esta línea, para la realización del trabajo investigativo, se consultaron diferentes publicaciones científicas como: libros, artículos y tesis, con la finalidad de obtener información organizada y segura en referencia a las propiedades mecánicas y resistencia de los hormigones, para lo cual se utilizó bases de datos científicas de bibliotecas virtuales en ingeniería, Scielo, Redalyc, Google Académico, Dialnet y repositorio de bibliotecas de universidades nacionales e internacionales.

Para el desarrollo y búsqueda de los elementos teóricos que sustenten la investigación se utilizaron palabras claves y los siguientes términos: propiedades mecánicas y resistencia de los hormigones; palabras que permitieron realizar una búsqueda por bloques, a través de la utilización de conectores booleanos. En este contexto la estrategia de búsqueda bibliográfica comprende los siguientes elementos; en función del objetivo planteado, se seleccionaron una serie de textos identificados en diferentes bases de datos científicas; previo ciertos criterios de inclusión. De acuerdo con la naturaleza del estudio de tipo experimental.

Sumado al diseño documental, se utilizó el diseño investigativo de tipo experimental, en donde los investigadores manipularon en forma intencional las variables, con el propósito de producir cambios en las variables de estudio. Esta investigación experimental estableció si dos materiales provenientes de la misma mina, pero con un proceso de obtención diferente, influyen directamente en la calidad del hormigón y cómo será la variación en el costo.

Para ello se utilizará materia prima común de la cantera Rouoka Peilufu ubicada en la Parroquia Mulaló, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi:

- Agregado grueso zarandeado
- Agregados grueso triturado
- Agregado fino
- Cemento Holcim GU.

En este sentido se dio seguimiento y estudio de la extracción de cada uno de estos productos desde como son procesados hasta la utilización en el hormigón. Además, se obtuvo por medio de ensayos las propiedades físicas y mecánicas de los elementos constituyentes de la mezcla de hormigón. Mediante la realización de dos diseños de mezcla con resistencia especificada ($f'c$) 21 MPa y ($f'c$) 28 MPa obtenidas a base de dos materiales diferentes como son ripio triturado y ripio zarandeado, y así obtener las variantes a producirse.

Se consideró realizar dos etapas para obtener las mezclas de los hormigones con las resistencias antes mencionados:

La primera etapa consiste en realizar cada una de las mezclas mediante los métodos de diseño del A.C.I., y Densidad Óptima; dependiendo de los resultados que proporcione los cilindros ensayados, se procederá a escoger el método para el diseño definitivo de mezclas, que mejor se ajuste a las características de nuestros materiales en función de la resistencia especificada ($f'c$) que necesitamos obtener.

En la segunda etapa se procede a realizar las mezclas definitivas en función del método de diseño escogido, realizando las correcciones necesarias si así lo requiere. (Iman Morales, 2020)

Resultados y discusión

Análisis y comparación de los resultados de los hormigones realizados con agregado triturado y zarandeado

Los ensayos muestran que todos los cilindros cumplen con las resistencias especificadas ($f'c$), a excepción de los cilindros diseñados para $f'c=28$ MPa utilizando ripio zarandeado, que alcanzaron una resistencia promedio de 27,79 MPa, sin embargo, este valor está en el rango aceptable, ya que el A.C.I permite una resistencia menor a la resistencia especificada ($f'c$), cuya diferencia no sea mayor de 3,5 MPa.

Los hormigones realizados utilizando ripio triturado presentan una resistencia mayor que los elaborados con ripio zarandeado.

Las probetas diseñadas para $f'c=21$ MPa utilizando agregado triturado, presenta resistencias más bajas a los 7 días en comparación con las probetas diseñadas para $f'c=21$ MPa utilizando ripio zarandeado; pero al cumplir los 28 días de edad, las probetas elaboradas con ripio triturado tienen mayor resistencia que las probetas realizadas con ripio zarandeado.

El agregado zarandeado cumple satisfactoriamente al ser utilizado para diseñar hormigones de resistencias bajas y medianas; pero no es conveniente utilizarlo para resistencias altas, debido a su gran porosidad y mala granulometría, y principalmente porque de acuerdo a los resultados se necesita la utilización de una cantidad de cemento mayor.

Análisis y comparación de cantidad de materiales sueltos para las mezclas de 21 MPa y 28 MPa, del material triturado y zarandeado

Los materiales necesarios para elaborar hormigón en obra se calculan a partir de la dosificación de diseño, para este análisis consideraremos los volúmenes de materiales sueltos para realizar 1 m^3 de hormigón, para lo cual utilizaremos las densidades aparentes sueltas correspondientes a cada material.

Tabla 1

Cantidad de volúmenes sueltos de materiales con ripio triturado para 21 MPa

TRITURADO 21 MPa				
MATERIAL	MASA (kg)	D. aparente suelta (kg/dcm ³)	CEMENTO (kg/saco)	CANTIDADES
AGUA	195			195 lt
CEMENTO	336,21		50	6,72 sacos
ARENA	677,62	1,38		491,03 dcm ³
RIPIO	943,81	1,26		749,06 dcm ³

Tabla 2

Cantidad de volúmenes sueltos de materiales con ripio triturado para 28 MPa

TRITURADO 28 MPa					
MATERIAL	MASA (kg)	D. aparente suelta (kg/dcm ³)	CEMENTO (kg/saco)	CANTIDADES	
AGUA	195			195	lt
CEMENTO	375		50	7,50	sacos
ARENA	644,86	1,38		467,29	dcm ³
RIPIO	943,81	1,26		749,06	dcm ³

Tabla 3

Cantidad de volúmenes sueltos de materiales con ripio zarandeado para 21MPa

ZARANDEADO 21 MPa					
MATERIAL	MASA (kg)	D. aparente suelta (kg/dcm ³)	CEMENTO (kg/saco)	CANTIDADES	
AGUA	175			175	lt
CEMENTO	301,72		50	6,03	sacos
ARENA	631,52	1,38		457,62	dcm ³
RIPIO	1064,34	1,34		794,28	dcm ³

Tabla 4

Cantidad de volúmenes sueltos de materiales con ripio zarandeado para 28MPa

ZARANDEADO 28 MPa					
MATERIAL	MASA (kg)	D. aparente suelta (kg/dcm ³)	CEMENTO (kg/saco)	CANTIDADES	
AGUA	175			175	lt
CEMENTO	336,54		50	6,73	sacos
ARENA	602,11	1,38		436,31	dcm ³
RIPIO	1064,34	1,34		794,28	dcm ³

Los volúmenes de ripio que se obtienen mediante el diseño del A.C.I, dependen del tamaño máximo de las partículas del ripio y el módulo de finura de la arena, por tal razón los volúmenes de agregado grueso son los mismos para 21 MPa y 28 MPa considerando los mismos materiales.

Los diseños de hormigón al utilizar ripio triturado necesitan menor cantidad de agregado grueso en comparación con los diseños de hormigón al utilizar ripio zarandeado, $749,06 \text{ dm}^3$ y $794,28 \text{ dm}^3$ respectivamente, porque el método de diseño A.C.I. demanda mayor cantidad de material mientras mayor sea el Tamaño Nominal Máximo del ripio, en este caso el agregado triturado tiene un T.N.M. de 1 pulgada mientras que el T.N.M. del ripio zarandeado es de $1 \frac{1}{2}$ pulgada.

La cantidad de cemento necesaria para las mezclas de hormigón está en función de la relación agua / cemento de las tablas correspondientes al método de diseño A.C.I., y mientras mayor sea el Tamaño Nominal Máximo del ripio, menor será la cantidad de agua requerida y por ende menor será la cantidad de cemento. Esto explica la razón por la que los diseños realizados con el ripio zarandeado utilizan menor cantidad de cemento que los diseños elaborados con ripio triturado ya que sus tamaños máximos son de $1 \frac{1}{2}$ " y 1" respectivamente.

Finalmente, la arena es calculada con el volumen faltante para completar 1 m^3 de hormigón, y de acuerdo a las tablas de volúmenes de material suelto, se observa que el hormigón con ripio triturado necesita mayor cantidad de agregado fino que el hormigón realizado con ripio zarandeado, porque la cantidad de agregado grueso depende de su Tamaño Nominal Máximo, y el T.N.M. del ripio triturado es menor que el T.N.M del ripio zarandeado.

Análisis económico de materiales para las mezclas de 21 MPa y 28 MPa, del material triturado y zarandeado

Los precios que utilizamos para hacer el análisis de costos de los materiales, son los que pertenecen a la mina Rouoka Peilupo y con los que se comercializan los agregados finos y gruesos; mientras que para el cemento se utilizó precios que se encuentran en el mercado. El agua no se considera en este análisis debido a su muy bajo costo y por tal razón no tiene influencia importante en el precio global del hormigón.

El precio de la arena es de $\$3,50/\text{m}^3$; del ripio zarandeado $\$3,50/\text{m}^3$; ripio triturado $12,50/\text{m}^3$; y el cemento Holcim GU tiene un costo de $\$7,80/$ saco. Estos precios incluyen el Impuesto al Valor Agregado (I.V.A.) que es cuando se elaboró las mezclas de hormigón.

Tabla 5

Precios de materiales con ripio triturado para 21MPa

TRITURADO 21 MPa						
MATERIAL	CANTIDADES		CANTIDADES		PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
AGUA	195	lt	195	lt	-	-
CEMENTO	6,72	sacos	6,72	sacos	7,80	52,45
ARENA	491,03	dcm ³	0,491	m ³	3,50	1,72
RIPIO	749,06	dcm ³	0,749	m ³	12,50	9,36
TOTAL						63,53

Tabla 6

Precios de materiales con ripio triturado para 28MPa

TRITURADO 28 MPa						
MATERIAL	CANTIDADES		CANTIDADES		PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
AGUA	195	lt	195	lt	-	-
CEMENTO	7,50	sacos	7,50	sacos	7,80	58,50
ARENA	467,29	dcm ³	0,467	m ³	3,50	1,64
RIPIO	749,06	dcm ³	0,749	m ³	12,50	9,36
TOTAL						69,50

Tabla 7

Precios de materiales con ripio zarandeado para 21MPa

ZARANDEADO 21 MPa						
MATERIAL	CANTIDADES		CANTIDADES		PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
AGUA	175	lt	175	lt	-	-
CEMENTO	6,03	sacos	6,03	sacos	7,80	47,07
ARENA	457,62	dcm ³	0,458	m ³	3,50	1,60
RIPIO	794,28	dcm ³	0,794	m ³	3,50	2,78
TOTAL						51,45

Tabla 8*Precios de materiales con ripio zarandeado para 28MPa*

ZARANDEADO 28 MPa						
MATERIAL	CANTIDADES		CANTIDADES		PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
AGUA	175	lt	175	lt	-	-
CEMENTO	6,73	sacos	6,73	sacos	7,80	52,50
ARENA	436,31	dcm ³	0,436	m ³	3,50	1,53
RIPIO	794,28	dcm ³	0,794	m ³	3,50	2,78
					TOTAL	56,81

Como se puede observar, el valor del cemento es mucho más alto que los agregados, sin embargo, hay que considerar que no se tomó en cuenta el costo de la mano de obra para fabricar hormigón ni el transporte de los materiales.

Como ya se mencionó antes, las mezclas de hormigón utilizando ripio zarandeado requieren de mayor agregado grueso que las mezclas de hormigón utilizando ripio triturado; sin embargo, el precio del ripio zarandeado es mucho más bajo que el ripio triturado, influyendo en el precio final del hormigón.

Conclusiones

El ripio zarandeado indica ser más poroso que el agregado triturado debido a su mayor capacidad de absorción siendo de 4,34% y 2,78% respectivamente, haciendo que el ripio zarandeado absorba una gran cantidad de agua al momento de realizar la mezcla dependiendo de la humedad con la que se encuentre al momento de realizar el hormigón.

De acuerdo al ensayo de abrasión, el ripio triturado y ripio zarandeado indican tener una buena calidad, aunque el agregado triturado con porcentaje de desgaste de 31,91% es menor que el ripio zarandeado con porcentaje de desgaste de 32,18%, debido a que este último tiene mayor porosidad. El módulo de finura de la arena es de 2,71, y se encuentra dentro de los parámetros normales de acuerdo a la ASTM que aceptan valores entre 2.3 y 3.1, lo cual ayuda a mejorar la granulometría de la mezcla y minimizar los espacios vacíos.

Las curvas granulométricas del ripio triturado y ripio zarandeado presentan una mala gradación, debido a que no se encuentran dentro de los límites finos y gruesos correspondientes,

caracterizándose los dos como un material fino ya que están sobre el límite de finos; disminuyendo la capacidad portante del material en conjunto y por ende la resistencia, especialmente en el ripio zarandeado.

Las densidades aparentes suelta y compactada del ripio zarandeado resulto ser mayor que las correspondientes al agregado triturado, esto se debe a que el ripio zarandeado tiene mayor cantidad de finos y cuyo Tamaño Nominal Máximo es de 1 ½ pulgada., ajustándose las partículas de mejor manera al rellenar los espacios vacíos existentes entre ellas y haciendo que la mezcla sea más pesada, mientras que el ripio triturado contiene un porcentaje no mayor del 5% de finos y su Tamaño Nominal Máximo es de 1 pulgada.

Al realizar las mezclas de arena y ripio para obtener la densidad aparente máxima y óptima, resulta que al utilizar el agregado triturado conseguimos un valor de densidad mayor que la mezcla con el ripio zarandeado; esto se debe porque al combinar la arena - ripio triturado, se ajusta mejor la mezcla de los dos materiales reduciendo los espacios vacíos durante la compactación en comparación con la mezcla de arena – ripio zarandeado, debido a que esta última mezcla posee una excesiva cantidad de finos contenida en el ripio.

De acuerdo al ensayo de densidad máxima y óptima de la mezcla entre agregado grueso y fino, presenta bastante diferencia en sus porcentajes; en el caso de la mezcla con ripio triturado comprende 69% y 31% de ripio y arena respectivamente, y en el caso de la mezcla con ripio zarandeado corresponde 74% y 26% de agregado grueso y fino. Como se observa existe mayor diferencia entre los porcentajes de ripio y arena para la mezcla con ripio zarandeado, debido la excesiva cantidad de material fino que contiene el ripio zarandeado.

Se escogió el método de diseño A.C.I. para elaborar las mezclas definitivas, esto debido a que los resultados obtenidos al ensayar las probetas presentaban resistencias mayores que los cilindros diseñados con el método de densidad óptima.

El método de diseño A.C.I. se considera válido para diseñar hormigones de resistencias bajas, pero no es confiable para diseñar hormigones con resistencias altas, porque este método considera materiales que desde su extracción tiene un estricto control de calidad, además este método fue desarrollado mediante la experimentación de agregados con propiedades geológicas, físicas y mecánicas diferentes a las de nuestro país.

En las mezclas de prueba que se realizaron mediante el método de Densidad Óptima, los hormigones realizados para la resistencia especificada ($f'c$) de 21 MPa, fueron los únicos que

alcanzaron satisfactoriamente la resistencia requerida, obteniendo un porcentaje de resistencia de 86% para el hormigón realizado con ripio triturado y 75% para el hormigón realizado con ripio zarandeado, ensayados a los 14 días, mientras que los demás cilindros diseñados para $f'_c=28$ MPa no alcanzaron el porcentaje mínimo. Porque la cantidad de pasta-cemento que requiere el método de Densidad Óptima es deficiente al estar limitada al 30% y que es un porcentaje máximo que este método aplica para proporcionar adecuadamente los materiales en la mezcla, sin embargo, la deficiencia de cemento se produce por la gran diferencia de porcentajes entre ripio y arena que el método de densidad óptima demanda y que deja gran cantidad de espacios vacíos.

Mediante el método de Densidad Máxima, la cantidad de cemento que se requiere para 21 MPa, es la misma cantidad tanto para el ripio triturado como para el ripio zarandeado, y de la misma manera para la mezcla de 28 MPa; esto se debe porque al calcular la cantidad de pasta (agua / cemento) necesaria, sobrepasa el 30% de pasta que permite el método de Densidad Máxima, de acuerdo a la fórmula $CP = \%OV + 0,09 * \%OV$, por tal razón se adoptó para las cuatro mezclas un porcentaje de 30% de pasta - cemento.

Los hormigones elaborados con ripio zarandeado alcanzaron las resistencias especificadas aunque sus resultados fueron más bajos que el hormigón realizado con ripio triturado, debido a que este último presenta mejor granulometría y menor desgaste a la abrasión que el ripio zarandeado, además la cantidad de cemento que se utilizó es menor en el hormigón con ripio zarandeado que el hormigón con ripio triturado, ya que el método A.C.I. demanda menor cantidad de pasta-cemento mientras mayor sea el Tamaño Nominal Máximo del ripio, y el Tamaño Nominal Máximo de ripio zarandeado es de 1 ½ pulgada mientras que el del ripio triturado es 1 pulgada.

En los diseños de la mezcla mediante el método de Densidad Óptima, la cantidad de ripio que exigen los diseños es mayor que las cantidades que se obtienen mediante el método A.C.I.; esto se debe a la gran diferencia que existen entre los porcentajes de ripio y arena para obtener las densidades óptimas de sus mezclas.

Se considera al ripio zarandeado como un material apto para realizar hormigones de baja y mediana resistencia; realizando las correcciones adecuadas y un estricto control de calidad, durante el proceso de mezclado, es posible considerarlo para hormigón de alta resistencia.

El análisis de costos demostró que el hormigón realizado con ripio zarandeado es de menor costo que el hormigón realizado con ripio triturado tanto para $f'_c=21$ MPa y $f'_c=28$ MPa, debido a que

el primer hormigón necesitó menor cantidad de cemento que el hormigón realizado con ripio triturado; siendo el cemento el material más caro del hormigón.

Referencias

1. American Concret Institute ACI 318-05, (2005). Normas para ensayos y materiales, Parte II;
2. Arias, F. (2012). EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACIÓN-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf (sexta). Episteme. <https://evidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>
3. Bolanos Noboa, J., & Villacres, I. O. (2015). Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agregados para un hormigón. [Pregrado, UIDE]. <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2197/1/T-UIDE-1246.pdf>
4. Chacon, E., & Lema, G. (2012). ESTUDIO COMPARATIVO DE ELEMENTOS FABRICADOS DE HORMIGÓN CON MATERIAL RECICLADO PET (POLIETILENO TEREFTALATO) Y DE HORMIGÓN CONVENCIONAL [Pregrado, Escuela Politecnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4837/1/CD-4430.pdf>
5. CAMPOSANO, José. (2009). Notas técnicas, control de calidad en el hormigón. (Control por resistencia Parte I). Ecuador - Quito: INECYC.
6. HOLCIM, (2016). de <http://www.holcim.com.ec/productos-y-servicios/portafolio-holcim/cementoholcim.html>.
7. Iman Morales, F. M. (2020). La danza folclórica en el nivel inicial [Pregrado, Universidad Nacionak de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/2524>
8. Instituto Español de Cemento y sus Aplicaciones, (2016). de https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179
9. León, M. P., & Ramírez, F. (2010). Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. Revista ingeniería de construcción, 25(2), 215-240. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732010000200003>
10. Loachamin, V (2015) Cemento. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/56223870/Monografias-Del-Cemento-Vinicio-Loachamin>

11. KOSMALKKA, Steven, KERLHOFF, Beatrix, (2004). Diseño y control de mezclas de concreto: Ensayos de control del concreto, Capítulo 16. EEUU - Illinois: Portland Cement Association, PCA
12. Mejía Lenin. 2013. Hormigones de alta resistencia ($f_c = 42$ MPa) utilizando agregados del sector de Guayllabamba y cemento campeón Especial – Lafarge. Pag. 86.
13. NEVILLE. A. M. (1975). Tecnología del concreto, Tomo II: Pruebas del concreto endurecido, Capítulo VIII. Londres: Edición Pitman publishing.
14. Normas Técnica Ecuatoriana NTE INEN 860: Ensayo de abrasión de los Ángeles (2011)
15. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 855: Ensayo de determinación de impurezas existentes en el agregado fino (2010)
16. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 856 y NTE INEN 857: Ensayo de peso específico, capacidad de absorción y contenido de humedad de agregados (2010)
17. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 858: Ensayo de densidad aparente suelta y compactada de los agregados (2010).
18. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696: Estudio granulométrico de los agregados (2011).
19. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 156: Ensayo de densidad del cemento utilizando el método del frasco de LeChatellier (2011).
20. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 157 y NTE INEN 155: Ensayo de consistencia normal del cemento (2010).
21. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 158: Ensayo de tiempos de fraguado del cemento (2010).
22. Norma ASTM C 496-96, Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens (2009).
23. Notas dosificación de mezclas Ing. Raúl CAMANIERO: Ensayo de densidad aparente máxima y óptima de los agregados (2001).
24. SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. (2001). Tecnología del concreto y del mortero: Resistencia del concreto, Capítulo 6. Colombia: Edición Bhandar Editores Ltda.