



Diseño y determinación de la resistencia óptima de un adoquín peatonal con sustitución de ripio con material de reciclaje de piezas de cerámica vitrificada de lavabos e inodoros en 25%, 50% y 75%.

Ayo Abadiano, Félix Sebastián; Codena Lugmaña, Kevin Mesias; Paillacho Gómez, Dennis
Vanessa; y Sánchez Gavilanes, Paola Estefanía

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Ing. Durán Carrillo José Ricardo

3 de marzo de 2023

Reporte de verificación de similitud



Duran

7% Similitudes

< 1% Texto entre comillas
< 1% similitudes entre comillas
< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Duran.docx
ID del documento: e28fcbec20b5c01b634123eb755bae001d38271
Tamaño del documento original: 3,86 Mo

Depositante: MARCO VINICIO MASABANDA CAISAGUANO
Fecha de depósito: 3/3/2023
Tipo de carga: Interface
fecha de fin de análisis: 3/3/2023

Número de palabras: 28.005
Número de caracteres: 180.769

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	library.co Elaboración de un manual de procesos constructivos del adoquinado. https://library.co/document/yj79lx5y-elaboracion-de-un-manual-procesos-constructivos-del-adoquina... 6 fuentes similares	1%		Palabras idénticas : 1% (307 palabras)
2	Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado Aar/dspace/bitstream/15000/6104/3/CD-4795.pdf.bt 12 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (241 palabras)
3	Documento de otro usuario #508ce9 El documento proviene de otro grupo 26 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (174 palabras)
4	www.normalizacion.gob.ec https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/hormas/nte_jnen_3040.pdf 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (166 palabras)
5	dspace.ups.edu.ec Manual de laboratorio de ensayo de materiales para la construc... http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17044/1/UPE-5T004014.pdf 26 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas : < 1% (159 palabras)



Firmado electrónicamente por:
JOSE RICARDO DURAN CARRILLO

Ing. Durán Carrillo José Ricardo

Tutor

C.C. 1706351192



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Diseño y determinación de la resistencia óptima de un adoquín peatonal con sustitución de ripio con material de reciclaje de piezas de cerámica vitrificada de lavabos e inodoros en 25%, 50% y 75%" fue realizado por los señores Ayo Abadiano Félix Sebastián, Codena Lugmaña Kevin Mesias, Paillacho Gómez Dennis Vanessa y Sánchez Gavilanes Paola Estefanía, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 31 de mayo de 2023



Ing. Durán Carrillo José Ricardo

C.C. 1706351192



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Ayo Abadiano, Félix Sebastián** con cédula de ciudadanía No. **1722302906**, **Codena Lugmaña, Kevin Mesias** con cédula de ciudadanía No. **1725672446**, **Paillacho Gómez, Dennis Vanessa** con cédula de ciudadanía No. **1727288274** y **Sánchez Gavilanes Paola Estefania** con cédula de ciudadanía No. **1726268533**, declaramos que el contenido, ideas y criterios de trabajo de integración curricular: **"Diseño y determinación de la resistencia óptima de un adoquín peatonal con sustitución de ripio con material de reciclaje de piezas de cerámica vitrificada de lavabos e inodoros en 25%, 50% y 75%"** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnico y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Ayo Abadiano, Félix Sebastián

C.I.: 1722302906

Sangolquí, 25 de mayo de 2023

Codena Lugmaña, Kevin Mesias

C.I.: 1725672446

Paillacho Gómez, Dennis Vanessa

C.I.: 1727288274

Sánchez Gavilanes, Paola Estefanía

C.I.: 1726268533



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotros, **Ayo Abadiano Félix Sebastián**, con cédula de ciudadanía No. **1722302906**, **Codena Lugmaña Kevin Mesías**, con cédula de ciudadanía No. **1725672446**, **Paillacho Gómez Dennis Vanessa**, con cédula de ciudadanía No. **1727288274** y **Sánchez Gavilanes Paola Estefanía**, con cédula de ciudadanía No. **1726268533**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular, "Diseño y determinación de la resistencia óptima de un adoquín peatonal con sustitución de ripio con material de reciclaje de piezas de cerámica vitrificada de lavabos e inodoros en 25%, 50% y 75%" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 5 de junio de 2023

Ayo Abadiano, Félix Sebastián

C.I.: 1722302906

Codena Lugmaña, Kevin Mesías

C.I.: 1725672446

Paillacho Gómez, Dennis Vanessa

C.I.: 1727288274

Sánchez Gavilanes, Paola Estefanía

C.I.: 1726268533

Dedicatorias

Quiero dedicar este logro a Dios por la vida y por la sabiduría que me brindó para afrontar cualquier dificultad atravesada a lo largo de mi carrera universitaria. A mis queridos padres Doris y Edison a quienes dedico este esfuerzo como una humilde ofrenda por todo su trabajo, por su preocupación y cuidado, por ser mis mentores no sólo en la vida sino también por compartirme sus experiencias y lo que será de ahora en adelante mi trabajo, y como no por todo el amor que tienen día tras día para que yo ahora pueda cumplir este objetivo.

A mis hermanos y a toda mi familia que sin duda hicieron que este proceso sea más cálido, en especial a Katherine a quien tuve la bendición de conocer al inicio de la carrera, caminar de su mano y con su apoyo y amor poder alcanzar esta meta tan anhelada.

Félix Ayo

Agradecer en primer lugar a Dios por guiar cada uno de mis pasos en el transcurso de la carrera, por la vida, la fortaleza y por la sabiduría que fueron la base para poder cumplir con uno de mis sueños más anhelados. A mis padres Angelita y Manuel que siempre velaron por mi bienestar, por mi salud y por mi ser, a ellos se los dedicó por brindarme de su sabiduría y consejos en este arduo camino, a mi hermana Gabriela que siempre fue mi confidente y me brindó todo su amor al igual que su apoyo, a mi abuelo Manuel que desde el cielo me guió en cada uno de los pasos que daba y todo el amor que siempre me brinda desde muy pequeño.

A mis amigos y a toda mi familia que estuvieron presentes en este proceso muy difícil y que con su presencia siempre hacían que este camino sea mucho más ameno.

Kevin Codena

Este trabajo dedico a Dios por darme la sabiduría y fuerza para no rendirme en el proceso de mi formación como profesional. A mi madre Zoila por creer en mí y no dejarme sola en cada decisión que he tomado, por su amor y paciencia a lo largo de esta etapa universitaria,

a mi padre Sebastián por siempre guiarme por el camino de superación y su gran sacrificio que día a día lo hace, además de las palabras de aliento y grandes consejos de vida para mi crecimiento personal y profesional, a mis abuelos Rosa y Sebastián quienes me cuidaron desde pequeña y me brindaron su amor y apoyo a lo largo de la carrera.

A mis hermanos por hacer cálido todo el proceso de realización de este trabajo, a toda mi familia por aportar con un granito de arena en toda mi formación académica y por último a mis amigos con los cuales he compartido risas, llantos, desvelos y siempre me han apoyado a lo largo de estos años de universidad.

Vanessa Paillacho

Es grato y satisfactorio saber que con empeño, esfuerzo y dedicación todo se puede lograr, me siento orgullosa de haber sido exigente con el cumplimiento de una de las metas más valiosas de mi vida, si bien el camino no fue fácil supe direccionarme de manera correcta, ya que rendirme o detenerme nunca ha sido una opción. Grandes conocimientos, experiencias y aprendizajes son las cosas más importantes que pude conseguir durante todo el transcurso de mi vida universitaria y que me trajeron hasta este momento de realización del trabajo de titulación, el mismo que se lo dedico a Dios y a todas las personas que me dieron su apoyo día a día: A mi madre y padre, pilares fundamentales de mi vida, quienes supieron inculcarme esos principios y valores que me permiten ser una persona exitosa y confiable, por apoyarme y siempre tener esas palabras de motivación. A mis hermanos y hermana que siempre estuvieron y están para darme ánimo. A mis tías por alentarme y querer siempre mi bien. Dedico este proyecto a mi grupo de amigos de la universidad con quienes compartí noches y días de estudio y ocio, que con sus locuras, ocurrencias y sabiduría supieron hacer de esta etapa una de las más valiosas.

Estefanía Sánchez

Agradecimiento

Gracias a Dios por guiarnos, llenarnos de sabiduría y fortaleza para culminar exitosamente una de nuestras metas más anheladas. A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por haberse convertido en nuestro segundo hogar, donde nos fuimos formando día a día a través de los conocimientos impartidos por nuestros docentes. A nuestro tutor el Ing. Ricardo Durán Carrillo por darnos la oportunidad, confianza y paciencia durante el desarrollo de nuestro trabajo de titulación, al Ing. Juan Haro, analista del laboratorio de ensayo de suelos, pavimentos y hormigones, quien nos ayudó y asesoró en cada uno de los ensayos realizados.

A la industria FV Andina por facilitarnos los residuos cerámicos que fue el principal material para lograr cumplir el objetivo de esta investigación y a la Distribuidora de Adoquines y Bloques “Puente Negro” quienes nos facilitaron sus instalaciones y maquinaria para la elaboración de nuestros adoquines.

Finalmente agradecemos a nuestras familias y amigos quienes fueron motivación, por acompañarnos, apoyarnos y alentarnos en cada momento de nuestra vida universitaria, así como en la culminación de este trabajo.

Tabla de contenido

Reporte de verificación de similitud	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	4
Dedicatorias	6
Agradecimiento	8
Resumen	19
Abstract.....	20
Capítulo I: Introducción	21
Antecedentes	21
Planteamiento del Problema	22
Justificación	22
Alcance del Proyecto	23
Objetivos.....	23
Objetivo General	23
Objetivos Específicos	23
Hipótesis	24
Capítulo II: Marco Teórico	24
Adoquines.....	24
Material Cerámico.....	32
Capítulo III: Materiales y Métodos	35
Materia Prima	35
Obtención de la materia prima.....	36
Caracterización del Agregado Fino.....	36

	10
Caracterización del Agregado Grueso-grava	48
Caracterización de la Cerámica.....	57
Dosificación	64
Dosificación del hormigón con árido grueso compuesto por 100% de grava y 0% de cerámica	64
Diseño de mezcla para probetas 0% cerámica	75
Diseño de mezcla para probetas con 25% de cerámica.....	79
Diseño de mezcla para probetas con 50% de cerámica.....	84
Diseño de mezcla para probetas con 75% de cerámica.....	90
Elaboración de Cilindros	95
Elaboración de Adoquines	98
Capítulo IV: Análisis de Resultados.....	99
Probetas de Hormigón	99
Resistencia a la Compresión	99
Módulo de Elasticidad	117
Ensayo de módulo de elasticidad para probetas sin adición de cerámica.....	119
Ensayo de módulo de elasticidad para probetas con 25% de cerámica.....	126
Ensayo de módulo de elasticidad para probetas con 50% de cerámica.....	132
Ensayo de módulo de elasticidad para probetas con 75% de cerámica.....	139
Resumen de módulos de elasticidad para probetas con distintos porcentajes de cerámica	146
Adoquines.....	148
Índice de absorción de agua.....	148
Tracción indirecta	150
Resistencia a la abrasión.....	155
Conclusiones	159
Recomendaciones	162

Bibliografía.....	163
Apéndices.....	167

Índice de tablas

Tabla 1 Criterios de conformidad para propiedades de Adoquines.	26
Tabla 2 Tipos de Cemento Portland.....	28
Tabla 3 Tipos de cerámica.....	33
Tabla 4 Límites de gradación para el agregado fino.....	38
Tabla 5 Agregado Fino que se retiene y pasa por cada tamiz, expresado en porcentajes.	39
Tabla 6 Porcentaje de humedad que presenta el agregado fino de Pintag.	42
Tabla 7 Densidades y absorción del agregado fino.....	44
Tabla 8 Densidades Volumétrica y porcentaje de vacíos del agregado fino.....	47
Tabla 9 Cantidad mínima de agregado grueso, a ensayar, según su tamaño.....	49
Tabla 10 Límites de gradación para el agregado grueso.....	51
Tabla 11 Cantidad de agregado grueso que se retiene y pasa por cada tamiz.	51
Tabla 12 Porcentaje de humedad que presenta el agregado grueso de Pintag.	53
Tabla 13 Densidades y absorción del agregado grueso.....	55
Tabla 14 Densidades Volumétrica y porcentaje de vacíos del agregado grueso.....	56
Tabla 15 Cantidad de material cerámico que se retiene y pasa por cada tamiz, expresado en porcentajes.	59
Tabla 16 Porcentaje de humedad de la cerámica.	61
Tabla 17 Densidades y absorción de la cerámica triturada.	62
Tabla 18 Densidades Volumétrica.....	63
Tabla 19 Resultados para el porcentaje de vacíos de la cerámica.....	64
Tabla 20 Resumen de las propiedades de los agregados.....	65
Tabla 21 Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción.....	66
Tabla 22 Cantidad de agua recomendada en kg/m ³ de concreto.....	67

Tabla 23 Resistencia Promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	68
Tabla 24 Relación entre la resistencia a la compresión y valores de la relación a/c.....	69
Tabla 25 Extrapolación de relación agua/cemento para una resistencia a la compresión $f'c=491,00 \text{ kg/cm}^2$	70
Tabla 26 Volumen de grava por unidad de volumen de concreto (b/b_o)	71
Tabla 27 Interpolación de relación b/b_o para máximo tamaño nominal de 9,51 mm	72
Tabla 28 Peso y volumen de componentes para un metro cúbico de hormigón.....	73
Tabla 29 Cálculo de volumen de las probetas m^3	75
Tabla 30 Masa seca de los componentes para 0% cerámica.....	76
Tabla 31 Agua final para el ajuste por humedad de los agregados	77
Tabla 32 Peso húmedo de cada componente	77
Tabla 33 Resumen de diseño de probetas de hormigón	78
Tabla 34 Resumen de las propiedades de agregados gruesos y cerámica.....	79
Tabla 35 Cálculo de volumen para probetas m^3	80
Tabla 36 Masa seca de los componentes para 25% cerámica.....	80
Tabla 37 Agua final para el ajuste por humedad de los agregados	81
Tabla 38 Peso húmedo de cada componente	82
Tabla 39 Pesos volumétricos para mezcla con 25% de cerámica.....	83
Tabla 40 Agua final para el ajuste por humedad de la cerámica	83
Tabla 41 Peso húmedo de los componentes con 25% de cerámica	84
Tabla 42 Resumen de las propiedades de agregados gruesos y cerámica.....	84
Tabla 43 Cálculo de volumen m^3	85
Tabla 44 Masa seca de los componentes para 50% cerámica.....	86
Tabla 45 Agua final para el ajuste por humedad de los agregados	87
Tabla 46 Peso húmedo de cada componente	87

Tabla 47 Pesos volumétricos para mezcla con 50% de cerámica.....	88
Tabla 48 Agua final para el ajuste por humedad de la cerámica	89
Tabla 49 Peso húmedo de los componentes con 50% de cerámica	89
Tabla 50 Resumen de las propiedades de agregados gruesos y cerámica.....	90
Tabla 51 Cálculo de volumen m ³	91
Tabla 52 Masa seca de los componentes para 75% cerámica.....	91
Tabla 53 Agua final para el ajuste por humedad de los agregados	92
Tabla 54 Peso húmedo de cada componente	93
Tabla 55 Pesos volumétricos para mezclas con 75% de cerámica	94
Tabla 56 Agua final para el ajuste por humedad de la cerámica	94
Tabla 57 Peso húmedo de los componentes con 75% de cerámica	95
Tabla 58 Resultados de compresión a los 4 días.....	100
Tabla 59 Resultados de compresión a los 7 días.....	103
Tabla 60 Resultados de compresión a los 14 días.....	105
Tabla 61 Resultados de compresión a los 28 días con 0% de cerámica.....	107
Tabla 62 Resultados de compresión a los 28 días con 25% de cerámica.....	109
Tabla 63 Resultados de compresión a los 28 días con 50% de cerámica.....	110
Tabla 64 Resultados de compresión a los 28 días con 75% de cerámica.....	112
Tabla 65 Resumen de ensayos de compresión a los 28 días.	114
Tabla 66 Resumen de resultados de resistencia a la compresión.....	116
Tabla 67 Parámetros geométricos de los cilindros y esfuerzos con 0% de cerámica.....	119
Tabla 68 Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 1 de hormigón con 0% de cerámica.....	120
Tabla 69 Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,000050$, cilindro 1.	121
Tabla 70 Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.....	122

Tabla 71 Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 2 de hormigón con 0% de cerámica.	123
Tabla 72 Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 2.	124
Tabla 73 Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 2.	125
Tabla 74 Parámetros geométricos de los cilindros y esfuerzos con 25% de cerámica.	126
Tabla 75 Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 1 de hormigón con 25% de cerámica.	126
Tabla 76 Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 1.	128
Tabla 77 Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.	129
Tabla 78 Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 2 de hormigón con 25% de cerámica.	129
Tabla 79 Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 2.	131
Tabla 80 Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 2.	132
Tabla 81 Parámetros geométricos de los cilindros y esfuerzos con 50% de cerámica.	133
Tabla 82 Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 1 de hormigón con 50% de cerámica en su mezcla.	133
Tabla 83 Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 1.	135
Tabla 84 Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.	136
Tabla 85 Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 2 de hormigón con 50% de cerámica.	136

Tabla 86 Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 2.	138
Tabla 87 Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 2.	139
Tabla 88 Parámetros geométricos de los cilindros y esfuerzos con 75% de cerámica.	139
Tabla 89 Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 1 de hormigón con 75% de cerámica en su mezcla.	140
Tabla 90 Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 1.	141
Tabla 91 Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.	142
Tabla 92 Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 2 de hormigón con 75% de cerámica.	143
Tabla 93 Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 2.	144
Tabla 94 Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.	145
Tabla 95 Comparación módulos de elasticidad experimentales vs teóricos.	146
Tabla 96 Resumen de coeficientes de Poisson.....	147
Tabla 97 Resultados de ensayo de índices de absorción de agua para adoquines con distintos porcentajes de cerámica.	149
Tabla 98 Factor de corrección k.....	151
Tabla 99 Resultados de resistencia y carga de tracción indirecta para probetas de hormigón con 0% de cerámica.....	152
Tabla 100 Resultados de resistencia y carga de tracción indirecta para probetas de hormigón con 25% de cerámica.....	153
Tabla 101 Resultados de resistencia y carga de tracción indirecta para probetas de hormigón con 50% de cerámica.....	153

Tabla 102 Resultados de resistencia y carga de tracción indirecta para probetas de hormigón con 75% de cerámica.....	154
Tabla 103 Resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta.....	154
Tabla 104 Resultados del ensayo de resistencia a la abrasión	156

Índice de figuras

Figura 1 Fabricación Manual de Adoquines.....	30
Figura 2 Fabricación Semi Manual de Adoquines.....	31
Figura 3 Máquina de adoquines Automática.....	32
Figura 4 Clasificación de la cerámica según su aplicación	33
Figura 5 Curvas de gradación máxima, mínima y del agregado fino de Pintag.....	40
Figura 6 Curvas de gradación máxima, mínima y del agregado grueso de Pintag.	52
Figura 7 Curvas de gradación máxima, mínima y de cerámica.	60
Figura 8 Cono de Abrams: Determinación de Asentamiento.....	96
Figura 9 Proceso de Elaboración de cilindros de Hormigón.	98
Figura 10 Proceso de Elaboración de adoquines de Hormigón.	99
Figura 11 Ensayo de resistencia a la compresión.....	100
Figura 12 Curva de resistencia a los 4 días de curado.	102
Figura 13 Curva de resistencia a los 7 días de curado.	104
Figura 14 Curva de resistencia a los 14 días de curado.	106
Figura 15 Curva de resistencia a los 28 días de curado.	115
Figura 16 Curvas de resistencia a la compresión por edades de curado.....	116
Figura 17 Curvas de resistencia a la compresión por dosificación y tiempo de curado.....	117
Figura 18 Ensayo de módulo de elasticidad.	118
Figura 19 Gráficas comparativas de módulos de elasticidad experimentales vs teóricos.	147
Figura 20 Resumen de ensayos para índice de absorción de agua.	150
Figura 21 Curvas de resistencias características.	155
Figura 22 Curva de la resistencia a la abrasión.....	158

Resumen

Este proyecto tuvo como objetivo, determinar la dosificación óptima de los agregados pétreos y el reemplazo de materiales de reciclaje de piezas de cerámica vitrificada con el árido grueso, en un porcentaje del 25%, 50% y 75%, con el fin de diseñar y dosificar un adoquín peatonal, de resistencia acorde con la normativa nacional vigente (INEN).

En el estudio de hormigones convencionales, el aumento de la fracción granulométrica del árido grueso implica, para una consistencia dada, la posibilidad de disminuir ligeramente el agua de amasado, lo que a su vez se traduce en un incremento de la resistencia obtenida. Con este estudio se buscó establecer la resistencia del hormigón, con las relaciones de los diferentes componentes del hormigón más la acción de la cerámica reciclada.

Para cumplir con esto se realizaron varios ensayos de caracterización de los agregados pétreos, incluida la cerámica: granulometría, porcentaje de humedad, masa unitaria, gravedad y densidad específica, los cuales cumplieron con los resultados adecuados que especifica la normativa NTE INEN, con ello se realizó el diseño para un hormigón de resistencia a la compresión a los 28 días de 400 kg/cm^2 , logrando mediante el método ACI 211 obtener una dosificación de $0,28 : 1,00 : 1,10 : 0,79$ y por medio de esta se determinó la cantidad óptima de cerámica a incluir al 25%, 50% y 75% respectivamente en la elaboración de cilindros de hormigón y posteriormente adoquines, obteniendo como resultados que el hormigón con adición del 50% de cerámica alcanza una resistencia de $496,39 \text{ kg/cm}^2$ superando con un 3,08% a la resistencia del hormigón convencional, con respecto a los adoquines cumplen con los requisitos de índice de humedad, resistencia de tracción indirecta y desgaste que especifica la Norma Técnica Ecuatoriana INEN vigente en el Ecuador, por lo cual se recomienda el uso de la cerámica en un porcentaje de 50% como parte del agregado grueso en la elaboración de Adoquines.

Palabras clave: adoquín, hormigón, resistencia, cerámica.

Abstract

The objective of this project was to determine the optimal dosage of stone aggregates and the replacement of recycling materials of vitrified ceramic pieces with coarse aggregate, in a percentage of 25%, 50%, and 75%, to design and dose a pedestrian paving stone, resistance in accordance with current national regulations (INEN).

In the study of conventional concrete, the increase in the granulometric fraction of the coarse aggregate implies, for a given consistency, the possibility of slightly decreasing the mixing water, which in turn translates into an increase in the resistance obtained. This study sought to establish the resistance of the concrete, with the relationships of the different components of the concrete plus the action of the recycled ceramics.

To comply with this, several characterization tests of the stone aggregates were carried out, including ceramics: granulometry, moisture percentage, unit mass, gravity and specific density, which met the appropriate results specified by the NTE INEN regulations, thus made the design for a concrete with a compressive strength at 28 days of 400 kg/cm², achieving by means of the ACI 211 method obtaining a dosage of 0.28 : 1.00 : 1.10 : 0.79 and by means of This determined the optimal amount of ceramic to include 25%, 50% and 75% respectively in the preparation of concrete cylinders and later paving stones, obtaining as results that concrete with the addition of 50% ceramic reaches a resistance of 496, 39 kg/cm² exceeding the resistance of conventional concrete by 3.08%, compared to paving stones, these meet the requirements of humidity index, indirect traction resistance and wear specified by the Tea Standard Ecuadorian INEN technique in force in Ecuador, for which the use of ceramics is recommended in a percentage of 50% as part of the coarse aggregate in the elaboration of pedestrian pavers.

Key words: cobble, concrete, resistance, ceramics.

Capítulo I: Introducción

Antecedentes

El uso de adoquines se remonta hace aproximadamente 25 siglos atrás en los que romanos y cartagineses los utilizaban en sus vías de comunicación debido a su rapidez de construcción y duración de su vida útil. En principio, los adoquines que se utilizaron fueron piedras redondeadas de ríos y arroyos, las cuales se colocaban sobre una capa de arena y cuyas juntas eran selladas con un mortero de arena y cal, sin embargo, fue la necesidad de un transporte más cómodo lo que hizo que se empezaran a tallar las piedras en estado natural hasta lograr bloques más uniformes obteniendo un mejor acople entre los elementos y posteriormente vías más limpias y durables (Salguero, 2013).

Debido a la urbanización de las ciudades y la aparición del coche con motor, empezó la búsqueda de nuevos materiales para la elaboración de adoquines de forma rápida y en mayor cantidad pasando por bloques macizos de madera, arcilla cocida, hasta llegar al concreto que se empezó a utilizar tras la Segunda Guerra Mundial para la reconstrucción de Europa, y en el que Alemania tomó protagonismo al desarrollar máquinas vibro compactadoras que tenían la capacidad de realizar piezas de concreto en serie, lo cual hizo que se abra paso a la industrialización de adoquines en todo el mundo (Salguero, 2013).

Actualmente, con el fin de disminuir el impacto ambiental y preservar el planeta, se ha buscado la forma de reutilizar desechos generados por la actividad humana y se han desarrollado una serie de investigaciones para el aprovechamiento de agregados no convencionales en la preparación de mezclas de concreto.

(Poveda et al., 2015), en su artículo “Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A”, analizaron la influencia del uso de vidrio molido como sustituto parcial a los agregados que se utilizan en la elaboración artesanal

de adoquines en las que obtuvieron favorables propiedades de resistencia al desgaste con diferentes granulometrías y dosificaciones.

Planteamiento del Problema

Hoy en día, desde el punto de vista económico, existen cierta demanda por la explotación minera de agregados pétreos debido a las actividades a las cuales está destinada (mayormente construcción), sin embargo, muchas veces el aprovechamiento de estos recursos naturales no son los más adecuados puesto que afectan el equilibrio de los ecosistemas generando contaminación atmosférica, degradación del suelo, ruido ambiental, entre otros (Ducat Montero et al., 2022).

En este contexto, surge la necesidad de mitigar la cantidad de extracción de materiales pétreos como materia prima que, si bien es cierto, son abundantes en nuestra zona, no los hacen ilimitados, por lo que es importante que las industrias tengan en sus actividades de producción la reutilización y el aprovechamiento de desechos o recursos naturales no renovables los cuales podrían ser reemplazados como materia prima y como consecuencia prolongar la vida útil de las minas y preservar el medio ambiente.

Justificación

(León-Velez & Guillén-Mena, 2020) mencionan que la industria de la construcción representa el 40% del consumo de energía prima, el 33% de las emisiones de CO₂ y el 60% de la materia prima extraída por la litósfera a nivel global, siendo la actividad con mayor consumo de recursos naturales.

Por otro lado, según la investigación de (Rodríguez, 2016), solo en el Distrito Metropolitano de Quito mediante información obtenida por el Sistema de Información Ambiental Distrital, se produjeron 5086 toneladas de lodos industriales de los cuales apenas el 3% (19,66 toneladas) fueron destinadas a reciclaje, esto exige una mayor demanda de capacidad de rellenos sanitarios por lo que en muchos casos, estos desechos son arrojados a las riberas de

ríos y quebrada provocando su eventual contaminación. (Rodríguez, 2016) también menciona que EDESA en el año 2014 produjeron un total de 4404 toneladas de residuos de cerámica los cuales tuvieron como destino final los rellenos sanitarios y escombreras de la ciudad de Quito.

Por lo antes mencionado, es primordial buscar nuevas tecnologías e innovar en nuevas técnicas de construcción con el fin de minimizar el panorama que genera este sector y más aún si se logra reutilizar desechos como materia prima, es por esto que, la presente investigación tiene la intención de comprobar el uso de los desechos cerámicos como parte del árido grueso en la elaboración de adoquines, esperando que su resistencia y durabilidad no se vea afectada.

Alcance del Proyecto

Por medio de un trabajo de investigación práctico y detallado se busca elaborar adoquines peatonales con una resistencia a la compresión mayor o igual a 400 kg/cm^2 sustituyendo distintos porcentajes de cerámica en la dosificación inicial de grava y así determinar el porcentaje óptimo con el cual se cumpla todos los requisitos que el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN establece con respecto a los ensayos de tracción indirecta, humedad y resistencia a la abrasión de adoquines y que a futuro los residuos cerámicos sean considerados y acogidos como materia prima por parte de pequeños y medianos productores para la elaboración de estos elementos.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la dosificación del cemento, áridos gruesos, arena, agua y cerámica triturada en reemplazo del árido grueso, para varias resistencias de adoquines, con materiales de la cantera de Pintag.

Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas de los materiales pétreos y residuos cerámicos vitrificados para alcanzar una adecuada dosificación.

- Dosificar hormigones de resistencia $f'c=400$ kg/cm², incluyendo varias proporciones de 0%, 25%, 50% y 75% de cerámica triturada.
- Analizar la influencia del uso de cerámica vitrificada triturada en la resistencia y desgaste de adoquines.
- Realizar ensayos de tracción indirecta y resistencia a la abrasión en adoquines.

Hipótesis

Un hormigón para la elaboración de adoquines que tiene en su mezcla incorporado ciertos porcentajes de cerámica vitrificada triturada en reemplazo del agregado grueso, puede adquirir cualidades favorables en su resistencia y desgaste.

Capítulo II: Marco Teórico

Adoquines

Los adoquines se han utilizado desde épocas remotas como ayuda a la estabilización de pisos, los primeros utilizados fueron las mismas piedras cubriendo los terrenos para unificar su recubrimiento por algo más estable. Actualmente esto ha evolucionado y pasado a niveles industrializados para la fabricación de este material, es por ello que el propósito de este trabajo de investigación es diseñar adoquines con base de fabricación de caucho reciclado, y así poder reducir el impacto que tiene este material sobre el ambiente, lo que se espera de esta propuesta que se basa en una metodología cualitativa con base a un diseño descriptivo es poder mejorar esos impactos ambientales y a su vez manejar un material más accesible y económico a poblaciones de bajos recursos y apoyar la trama urbana de esos contextos (Ramírez-Pico et al., 2020).

Clasificación

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en la Norma Técnica Ecuatoriana 1483, clasifica al adoquín en 3 tipos:

Adoquines tipo A. Adoquines dentados que se unen entre sí por los cuatro lados, pueden colocarse en esterilla, y, por su geometría plana, al unirse, resisten la expansión de las juntas paralelamente, tanto en los ejes longitudinales como en los transversales de las unidades (NTE INEN, 1986)

Adoquines tipo B. Adoquines dentados que se unen con el otro solamente en dos de sus lados, que no pueden colocarse en esterilla y que, por su geometría plana, al unirse, resisten la expansión de las juntas paralelamente sólo en los ejes longitudinales de los adoquines; dependen de su precisión en su colocación para que se unan con las otras caras (NTE INEN, 1986).

Adoquines tipo C. Adoquines rectangulares de perfil sencillo que no se unen y que dependen de su precisión dimensional y de la precisión en su colocación para desarrollar el punteo (NTE INEN, 1986).

Requisitos Normativos

La normativa INEN 3040 en base a los Adoquines de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo, especifica los materiales, propiedades, requisitos y métodos de ensayo de los adoquines.

Requisitos de los materiales

En la fabricación de adoquines de hormigón solamente se deben utilizar materiales cuyas propiedades y características sean las adecuadas para ello. Los requisitos de idoneidad de los materiales utilizados deben recogerse en la documentación de control de producción del fabricante (NTE INEN, 2016).

Requisitos de los Productos

La normativa INEN 3040 menciona las propiedades y criterio de conformidad, que se indican en la siguiente tabla

Tabla 1*Criterios de conformidad para propiedades de Adoquines.*

Propiedad	Criterio de Conformidad
Aspectos visuales	Ningún adoquín debe mostrar fisuras, descamaciones
Espesor de la doble capa	Igual o mayor a 4 mm. Ningún adoquín debe presentar delaminación.
Forma y dimensiones	Las tolerancias admisibles para adoquines de espesor <100mm será ± 2 mm de longitud, ± 2 mm de ancho y ± 3 mm de espesor. Para adoquines con un espesor ≥ 100 mm, las tolerancias que se admitirán son ± 3 mm de longitud, ± 3 mm de ancho y ± 4 mm de espesor
Resistencia y carga de tracción indirecta	La resistencia característica a la tracción indirecta debe ser igual o mayor a 3,6 MPa. Ningún adoquín debe tener una resistencia a la tracción indirecta menor que 2,9 MPa, ni una carga de tracción indirecta inferior a 250 MPa.
Resistencia a la abrasión	Todo adoquín debe satisfacer una longitud de cuerda máxima de 23 mm o un desgaste máximo de $20\ 000\ \text{mm}^3 / 5\ 000\ \text{mm}^2$, según el caso.

Propiedad	Criterio de Conformidad
Resistencia a deslizamiento/resbalamiento (solo donde se ensaye).	Los adoquines de hormigón tienen una resistencia satisfactoria al deslizamiento/resbalamiento siempre y cuando la totalidad de su cara vista no haya sido pulida para producir una superficie muy lisa. Debe declararse el valor medio de los 5 adoquines
Resistencia climática	Los adoquines deben cumplir con un índice de absorción inferior o igual a 6 %. Debe declararse el valor medio de los 5 adoquines.

Nota. Tabla de Plan de muestreo y criterios de conformidad para ensayos de tipo inicial y adicionales. Recuperado de (NTE INEN, 2016)

En el proyecto, se realizará la verificación de la Resistencia, Carga de Tracción y Resistencia a la Abrasión de los núcleos obtenidos.

Composición

Los adoquines de hormigón se elaboran de la mezcla de acuerdo a una correcta dosificación de cada uno de sus elementos como el agua, cemento, agregados y aditivo, que son necesarios para desarrollar un elemento de calidad.

Cemento

El cemento tipo Portland, es un producto que se obtiene de la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros

productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante (Ramírez et al., 2020).

El cemento hidráulico Portland es el más utilizado por sus requisitos físicos y químicos para un producto de calidad.

Tabla 2

Tipos de Cemento Portland

Tipo	Característica
I	Para usarse cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
IA	Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo I, donde se desea incorporación de aire.
II	Para uso general, especialmente cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
IIA	Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo II, donde se desea incorporación de aire.
III	Para usarse cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.

Tipo	Característica
IIIA	Cemento con incorporador de aire para el mismo uso que el Tipo III, donde se desea incorporación de aire.
IV	Para usarse cuando se desea bajo calor de hidratación.
V	Para usarse cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos.

Nota. Clasificación *Cemento Portland*. Recuperado de (NTE INEN 152, 2010).

Agregados Pétreos

Agregado Pétreo (del latín Petreus) es aquel material proveniente de la roca y se utiliza sin apenas sufrir transformaciones, regularmente se encuentran en forma de macizos rocosos o en depósitos no consolidados conteniendo fragmentos de distintos tamaños (arena y gravas) (Olguín, 2016).

En base a la normativa INEN 694 referente al *Hormigón y Áridos para elaborar Hormigón*, se tiene dos clases de agregados según el tamaño de la partícula, el agregado fino tamaños entre 0,07 mm y 5 mm y el agregado grueso con tamaños mayores a 5mm.

Dado que tres cuartas partes del volumen de concreto son ocupados por los agregados la calidad de estos es de gran importancia. El agregado debe estar constituido por partículas limpias, duras, resistentes y durables, que a su vez desarrollen buena adherencia con la pasta de cemento. Las arcillas adheridas a los agregados y otras impurezas interfieren con el desarrollo de resistencias del concreto. Las propiedades de los agregados dependen en gran parte de la calidad de la roca madre de la cual proceden (Ferreira & Torres, 2014).

Métodos de Fabricación

El método de fabricación de adoquines en gran porcentaje es artesanalmente de forma manual, semi manual y automático, realizados en moldes de madera, metal e incluso del mismo concreto. El método semi manual será el optado en la presente investigación.

Método Manual

Actualmente este método es muy poco utilizado ya que el producto final no cumple con las especificaciones y normas de calidad necesarias. Los procesos de fabricación de adoquines son realizados sin mayor control y con herramientas muy rudimentarias. Este método es más utilizado en zonas rurales retiradas (Cabezas, 2014).

Figura 1

Fabricación Manual de Adoquines



Nota. Fabricación manual de adoquines de cemento en un molde de madera, obtenido de Molde de Madera para Adoquines. Tomado de [Vinny The Twister, 2018](#).

Método Semi manual

Este es el método más utilizado en Ecuador, se denomina semi - manual porque muchos de los procesos deben ser realizados por los trabajadores. El dosificado, por ejemplo, se lo realiza manualmente, se coloca posteriormente el material en la mezcladora y se espera

el tiempo necesario hasta lograr la consistencia deseada. El moldeo en muchas ocasiones también se lo realiza con la ayuda de trabajadores, ellos trasladan el material con la ayuda de palas desde la mezcladora hasta la máquina vibro-compactadora (Cabezas, 2014).

Figura 2

Fabricación Semi Manual de Adoquines



Nota. Fabricación Semi manual de adoquines en la Máquina Mezcladora.

Método Automático

Durante el proceso de fabricación no se necesita la intervención de trabajadores más que para un simple control, todos los pasos necesarios para la elaboración de adoquines están perfectamente controlados por computadoras. Desde el dosificado hasta el traslado del producto final son realizados automáticamente, los materiales son trasladados en bandas transportadoras para primero ser mezclados, moldeados, vibro-compactados y finalmente apilados en el área de secado (Cabezas, 2014).

Figura 3*Máquina de adoquines Automática*

Nota. Tomada de INDUMEI.

Material Cerámico*Definición*

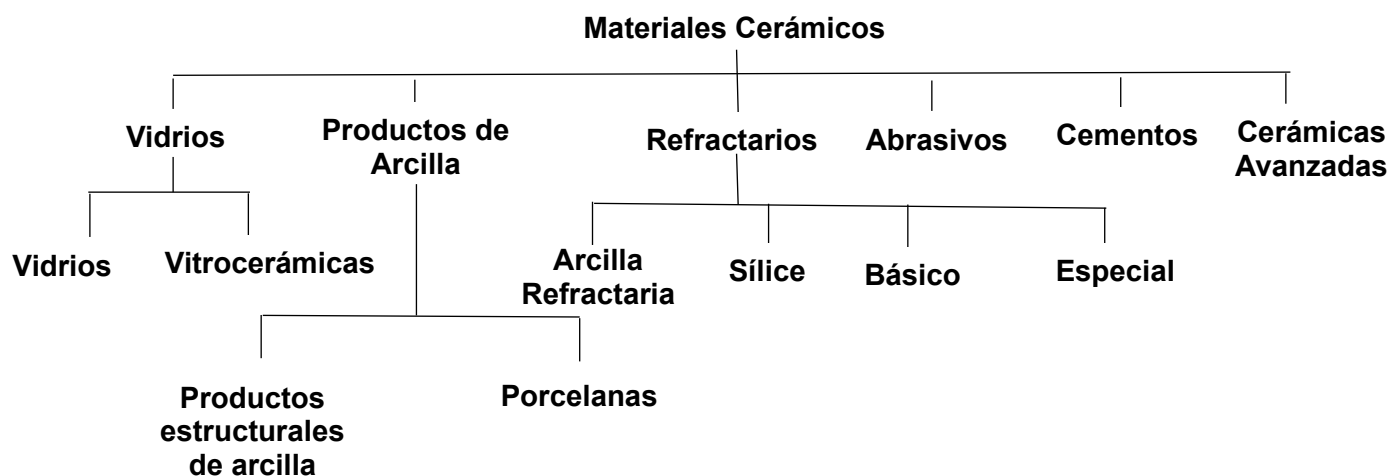
Tradicionalmente se ha definido a la cerámica como el arte de fabricar objetos de arcilla cocida, esta definición debe su origen a que las primeras cerámicas que trabajó y conoció el hombre, fueron materiales arcillosos que encontró en la naturaleza a los cuales sólo tuvo que agregar agua para poder modelarlos. Sin embargo, pronto descubrió que podía obtener mejores resultados, si las arcillas encontradas naturalmente eran mezcladas con otros materiales que le permitieran mejorar sus características antes o después de la quema, logrando así un paulatino perfeccionamiento en las piezas realizadas (Vázquez, 2005).

Clasificación

La cerámica puede clasificarse según su origen (naturales, transformadas y sintéticas) y según su campo de aplicación (vidrios, arcilla cocida, abrasivos, refractarios, cementos y cerámicas avanzadas).

Figura 4

Clasificación de la cerámica según su aplicación



Nota. El mapa conceptual permite observar la clasificación de la cerámica según su aplicación y cada una de sus subdivisiones. Tomado de *Materiales Cerámicos*, 2012.

En el campo de la construcción tenemos varios tipos de cerámicas, dependiendo de sus características y sus aplicaciones que van a tener dentro de determinado ámbito, las cuales se los menciona a continuación.

Tabla 3

Tipos de cerámica

Tipo	Característica	Producto	Aplicaciones
Ladrillería	- Piezas porosas con o sin esmalte.	- Ladrillo común.	- Construcción.
	- De media a mayor dureza.	- Ladrillo de fachada.	- Ingeniería Civil.
	- Aislante térmico.	- Ladrillo hueco.	
		- Ladrillo técnico.	
		- Ladrillo azul.	

Tipo	Característica	Producto	Aplicaciones
Alfarería	- De grano fino y textura más compacta que la de ladrillería con o sin esmalte. -Teñida - Que se superpongan o encajen.	- Teja	- Techado. - Protección de paredes exteriores
Alfarería	- Piezas redondas, huecas, rojas, porosas.	- Tubos de chimenea. - Macetas	- Chimeneas. - Jardinería. - Artículo decorativo
Gres común	Resistencia a: - Ataque químico. - Compresión. - Descomposición, corrosión, contaminación. - Ataque de bacterias. - Erosión, condiciones húmedas y secas. - Heladas, roedores, raíces, etc.	- Tubería de drenaje. - Tubería de gres vidriado con sal.	- Drenaje
Gres, Loza, Alfarería	- Semiporosas con o sin esmalte. - Densas y vitrificadas, con o sin esmalte. - Colores y decorados varios. - Lisas o con textura. - Antiderrapantes.	- Azulejos. - Loseta para piso.	- Revestimiento de pisos y paredes. - Decorativo

Tipo	Característica	Producto	Aplicaciones
	- Resistencia a la abrasión y a la intemperie		
Porcelana vítrea, Gres fino.	<ul style="list-style-type: none"> - Artículos vitrificados. - Baja absorción de agua (1%). - Alta resistencia. - Superficie lisa y esmaltada por limpieza. - Resistencia al trabajo duro. - Resistencia al ataque químico 	- Artículos sanitarios.	- Uso sanitario en general

Nota. La tabla contiene los diversos tipos de cerámica utilizados en el campo de la construcción con sus respectivas características, productos y aplicaciones. Recuperado de Materiales Cerámicos: Propiedades, Aplicaciones y Elaboración, por (Vázquez, 2005).

Cerámicas Vítreas

Las cerámicas vítreas son materiales que se fabrican mediante una cristalización controlada de vidrios con determinadas composiciones. Se caracterizan por tener una estructura uniforme, muy cristalina y no porosa, donde, además de una fase cristalina, conservan una parte de la fase vítrea como componentes estructurales (Janda, 2007).

Capítulo III: Materiales y Métodos

Materia Prima

Para la elaboración de los adoquines se tiene como materia prima los agregados pétreos: árido grueso y árido fino, pero como lo importante de este estudio fue incluir a la cerámica como parte del agregado grueso, entonces será también parte de la materia prima, es así que se realizó la caracterización de estos tres materiales en el “Laboratorio de Ensayo de

Suelos, Pavimentos y Hormigones” de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana vigente, para el posterior cálculo de la dosificación.

Obtención de la materia prima

Agregados pétreos

Los agregados pétreos se adquirieron de la cantera de Pintag ubicada en la provincia de Pichincha al sureste de la ciudad de Quito. En esta cantera se aprovecha las lavas basálticas de tipo “AA” que se originan del flujo lávico de las laderas del volcán Antisana.

El tamaño máximo de agregado grueso que se obtuvo fue de $\frac{1}{2}$ ” (12,50 mm) que proviene del proceso de trituración de la roca basáltica, el agregado fino que se extrajo fue el que se obtiene de la disgregación de la misma roca.

Cerámica

El material cerámico se obtuvo de los residuos de lavabos e inodoros que se desechan por parte de los fabricantes de F.V. La empresa se encuentra ubicada en el Valle, vía Sangolquí-Amaguaña, Km 25.

F.V. es una empresa que provee de grifería, sanitarios, accesorios y otros complementos para construcciones residenciales, es una multinacional presente en gran parte de Latinoamérica, a nivel nacional es una marca líder en el mercado gracias a la calidad de sus productos. (F.V. ÁREA ANDINA S.A, 2019)

Caracterización del Agregado Fino

Granulometría

Para la determinación de la distribución granulométrica y cálculo de módulo de finura del agregado fino, se consideró la norma NTE INEN 696 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011a), por lo que para este ensayo se consideró como materiales y proceso lo siguiente:

Materiales

- Horno
- Balanza
- Juego de Tamices: N°4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100.
- Agitador de tamices mecánico.

Proceso

1. Se secó el agregado durante 24 horas en el horno a una temperatura de 110°C
2. De la muestra ya seca al horno, se tomó 516 gramos para ensayarla, debido a que la norma dice que la muestra no debe ser menor a 300 gramos.
3. La muestra fue colocada en el juego de tamices armado en forma descendente de aberturas.
4. Se agitó el material en la tamizadora mecánica durante 1 minuto.
5. Pesamos la cantidad de muestra retenida en cada uno de los tamices.

El módulo de finura se lo calcula mediante la siguiente expresión

$$MF = \frac{\sum \% \text{ ret. Acum malla (N}^\circ 4, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 100)}{100}$$

Donde:

MF: Módulo de finura del árido fino

Para que sea factible la utilización del agregado fino en la elaboración de hormigones, la norma INEN 872 establece los límites de gradación que se debe cumplir (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011c). En el análisis granulométrico del agregado fino los porcentajes que pasan por cada uno de los tamices debe estar comprendido entre los siguientes límites:

Tabla 4*Límites de gradación para el agregado fino*

Tamaño del tamiz	Porcentaje que
(mm)	pasa (%)
9,50	100 a 100
4,75	95 a 100
2,36	80 a 100
1,18	50 a 85
0,60	25 a 60
0,30	10 a 30
0,15	2 a 10

Nota. La tabla muestra los límites mínimos y máximos, expresados en porcentaje acumulado de agregado fino que pasa por los respectivos tamices. Recuperado de la norma INEN 872 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011c).

Resultados

Una vez que se realizó el respectivo ensayo granulométrico, se obtuvo como resultado que el agregado fino de la cantera de Pintag cumple con los requisitos de gradación ya que la curva granulométrica se encuentra dentro de los rangos límites, tal y como se muestra en la Figura 5. Además, se obtuvo 2,80 como módulo de finura para este agregado, valor que se encuentra entre 2,30 y 3,10 que establece la norma INEN 872 como requisito para que el árido sea utilizado.

Tabla 5

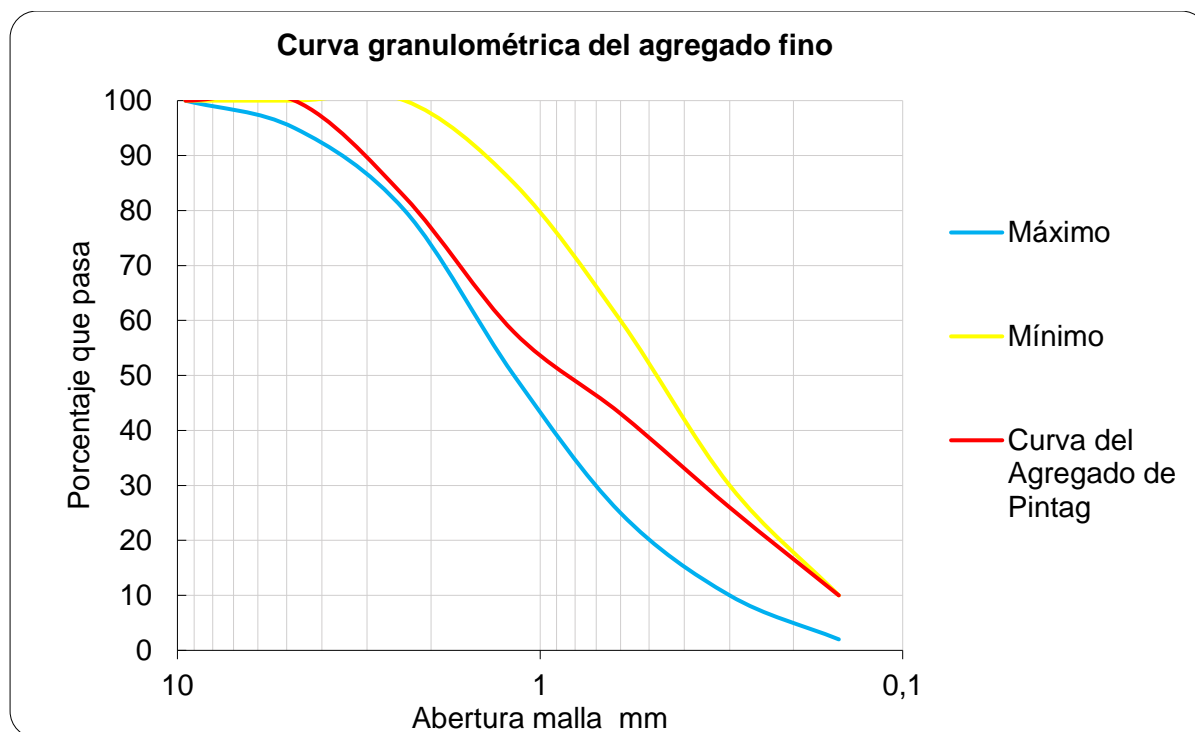
Agregado Fino que se retiene y pasa por cada tamiz, expresado en porcentajes.

Granulometría de la muestra de arena de la cantera de Pintag				
Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa total
3/8" (9.50mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4 (4,76 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 8 (2,36 mm)	89,88	89,88	17,00	83,00
No. 16(1,18 mm)	127,02	216,90	42,00	58,00
No. 30(0,60 mm)	75,98	292,88	57,00	43,00
No. 50(0,30mm)	88,52	381,40	74,00	26,00
No. 100(0,15 mm)	82,03	463,43	90,00	10,00
Pas. N.º 100	52,27	515,70	100,00	0,00
Peso inicial de la muestra: (g)			516,00	
Módulo de finura			2,81	

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos del ensayo granulométrico del agregado fino, así como su módulo de finura.

Figura 5

Curvas de gradación máxima, mínima y del agregado fino de Pintag.



Nota. La gráfica muestra la curva granulométrica obtenida del agregado fino ensayado.

Contenido de Humedad

El contenido de humedad es primordial para la determinación de la dosificación ya que de esta depende la cantidad de agua que se deberá colocar al momento de la elaboración del hormigón. Para la elaboración de este ensayo se tuvo en cuenta los materiales y procesos establecidos en la norma NTE INEN 862. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011b)

Materiales

- Balanza, debe ser legible hasta 0,10 g y tener una precisión de 0,10 g o del 0,10%.
- Recipiente para tomar la muestra.
- Agitador: una cuchara o espátula de metal de tamaño conveniente.

- Horno. Un horno de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Proceso

1. Se pesa el recipiente vacío.
2. Teniendo en cuenta que la cantidad de muestra no debe ser menor a 300gr se pesó el recipiente con la muestra incluida.
3. La muestra fue colocada en el horno durante 24 horas a una temperatura constante de 110°C .
4. Se tomó el peso de la muestra seca.

Con los datos de los pesos tomados tanto con la muestra humedad y seca se pudo obtener el porcentaje de humedad del agregado mediante la siguiente expresión.

$$\%P = \frac{W - D}{D} * 100$$

Donde:

W: peso de la muestra húmeda (g)

D: peso de la muestra seca (g)

%P: contenido de humedad (%)

Resultado

Al realizar el ensayo se determinó un contenido de humedad de 4,47% para el agregado fino de la cantera de Pintag, los resultados se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Tabla 6

Porcentaje de humedad que presenta el agregado fino de Pintag.

Muestra	Agregado fino
Recipiente	A
Peso del recipiente (g)	78,80
Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	578,80
Peso del recipiente + muestra seca (g)	557,40
Peso del agua (g)	21,40
Peso seco (g)	478,60
% agua	4,47

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos del ensayo de humedad de la arena.

Densidad, Gravedad específica y Absorción

Para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino se tuvo en cuenta la normativa NTE INEN 856 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010a) que detalla los materiales y proceso de ensayo que fueron utilizados:

Materiales

- Balanza.
- Frasco volumétrico (fiola con capacidad de 500 cm³.)
- Molde cónico, metálico de $\varnothing < 4$ cm y $\varnothing > 8$ cm, con una altura de 9 cm.
- Varilla de metal con un extremo redondeado.
- Horno.
- Termómetro.
- Agua destilada.

Proceso

1. Se secó una muestra al horno durante 24 horas.
2. Se tomó una muestra de agregado fino retenido en el tamiz N°200.
3. La muestra se saturó con agua durante 24h.
4. Secamos la muestra sobre una superficie de manera natural (con el aire o el sol);
moviendo de tal manera que toda la superficie del agregado llegue a tener un secado
óptimo.
5. Se verificó que el material se encuentre en condiciones adecuada de saturación
superficialmente seca (SSS), para esto se utilizó un cono truncado al cual se lo llenó de
agregado y se lo compactó de manera uniforme dando 25 golpes en todo el proceso
hasta que el cono quedó totalmente lleno, después se lo enrasó y finalmente se retiró el
cono cuidadosamente, verificando que el agregado se derrumbe ligeramente, si sucede
esto se ha llegado al estado óptimo de SSS, si el material no se derrumba o lo hace de
manera excesiva se repite el ensayo hasta obtener el estado adecuado del agregado.
6. Una vez que el agregado quedó en condiciones óptimas de SSS se tomó una muestra
de 500,00 gramos.
7. Se llenó de agua destilada el picnómetro y se tomó su peso.
8. Se retiró el agua del picnómetro y se introdujo la muestra de agregado fino dentro del
picnómetro con la ayuda de un embudo.
9. Posteriormente se llenó de agua destilada hasta los 2/3 del bulbo, evitando el ingreso
de aire, consecutivamente se sometió la muestra al vacío, por un tiempo de hasta 15
minutos.
10. Se llenó con agua destilada el picnómetro hasta la marca de calibración, tomando la
temperatura a la que se encontraba la muestra al momento del ensayo.
11. Se pesó el picnómetro. (Peso del picnómetro + Muestra + Agua destilada).

Densidad relativa

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = \frac{A}{(B+S-C)}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = \frac{S}{(B+S-C)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{A}{(B+A-C)}$$

Absorción

$$\text{Absorción \%} = \frac{(S-A)}{A} * 100$$

Donde:

A: masa de la muestra seca al horno, g.

B: masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g.

C: masa del picnómetro lleno con muestra, hasta la marca de calibración, g.

S: masa de muestra saturada superficialmente seca utilizada en el proceso gravimétrico.

Resultado

Al realizar el ensayo se logró determinar la densidad relativa aparente 2,63 g/cm³, gravedad específica saturada superficialmente seca 2,52 g/cm³ y absorción para el agregado fino. Los detalles del ensayo se encuentran especificados en la Tabla 7.

Tabla 7

Densidades y absorción del agregado fino

Muestra: agregado fino de la cantera de Pintag			
A	Masa de la muestra saturada con superficie seca	(g)	500,10
C	Masa de la muestra seca al horno	(g)	486,90
D	Masa del picnómetro lleno con agua	(g)	663,80

Muestra: agregado fino de la cantera de Pintag			
E	Masa del picnómetro lleno con muestra y agua	(g/cm ³)	965,80
g	Peso específico del agua a la temperatura que se realizó el ensayo	(g/cm ³)	0,98
(C/C+D-E)*g	Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	(g/cm ³)	2,63
(A/A+D-E)*g	Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	(g/cm ³)	2,52
(C/A+D-E)*g	Densidad relativa (gravedad específica)	(g/cm ³)	2,45
(A-C/C)*100	Absorción de agua	(%)	2,71
Observaciones	Temperatura ensayo =	23,60 °C.	

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de absorción y densidad del agregado fino de la cantera de Pintag que fue ensayado.

Masa Unitaria y Porcentaje de Vacíos

La norma NTE INEN 858 establece el método para realizar el ensayo tanto en condiciones de masa suelta como compactada, aquí también se incluye la determinación de los vacíos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010c). Teniendo en cuenta esta normativa a continuación se detalla los materiales y procesos de ensayo que fueron realizados.

Materiales

- Horno. Un horno de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C.
- Balanza, debe ser legible hasta 0,10 g y tener una precisión de 0,10 g o del 0,10%.
- Recipiente cilíndrico de metal.
- Varilla de compactación

Proceso

Previamente la muestra del árido fino debe estar seca al horno durante 24 horas a una temperatura constante de 110°C.

Masa Unitaria Suelta

1. Se pesó y tomó medidas de la altura y diámetro del molde cilíndrico de metal para el posterior cálculo del volumen, el cual debe cumplir con las características que la norma lo especifica para este tipo de agregado.
2. Se llenó todo el molde dejando caer libremente el agrado desde una altura aproximada de 5 cm por encima del recipiente.
3. Al estar lleno se lo enrasó y tomó su peso.

Masa Unitaria Compactada por Varillado

1. Se pesó y tomó medidas de la altura y diámetro del molde para la determinación de su volumen.
2. Se llenó el molde hasta su primera tercera parte para posteriormente compactarlo mediante 25 varilladas distribuidas uniformemente sobre la superficie.
3. Se llenó los dos tercios del molde, nuevamente se compactó con 25 varilladas.
4. Finalmente se llenó la última capa del molde, se compactó para después enrasarlo y concluir con la toma del peso.

La masa unitaria es importante porque permite convertir los pesos en volúmenes y viceversa cuando se trabaja con agregados, por tal motivo la norma especifica la siguiente expresión con la que se obtuvo el peso volumétrico:

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M= masa unitaria de árido kg/m^3

G= masa del árido más el molde, kg

T= masa del molde, kg

V= volumen del molde m^3

Contenido de vacíos

$$vacios \% = \frac{[(S * M) - Da] * 100}{(S * Da)}$$

Donde:

M= masa unitaria de árido kg/m^3

S= gravedad específica en condición seca, de acuerdo con la NTE INEN 857 0 856

Da= densidad del agua $998 kg/m^3$

Resultados

Después de haber realizado el ensayo se tuvo como resultado un valor promedio de densidad volumétrica del agregado fino de $1,41 g/cm^3$ y un porcentaje de vacíos de 1,37%, los mismos que se encuentran detallados en la tabla 8 a continuación.

Tabla 8

Densidades Volumétrica y porcentaje de vacíos del agregado fino

Densidad volumétrica suelta de agregado fino		
Molde No.	1	2
Peso del molde (g)	2596,60	2596,60
Peso molde +suelo (g)	6359,30	6380,60
Peso suelo (g)	3762,70	3784,00

Densidad volumétrica suelta de agregado fino		
Volumen (cm ³)	2868,12	2868,12
Densidad suelta (g/cm ³)	1,31	1,32
Media	1,32	
Densidad volumétrica varillada de agregado fino		
Molde No.	1	2
Peso del molde (g)	2596,60	2596,60
Peso molde +suelo (g)	6874,60	6909,60
Peso suelo (g)	4278,00	4313,00
Volumen (cm ³)	2868,00	2868,00
Densidad Varillada (g/cm ³)	1,49	1,50
Media	1,50	
Porcentaje de vacíos		
Densidad Volumétrica agregado fino	1407,00	kg/m ³
Gravedad específica agregado fino	2451,00	kg/m ³
Densidad del Agua	998,00	kg/m ³
%Vacíos =	1,37	%

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de % de vacío, densidad volumétrica suelta y por varillado del árido fino de la cantera de Pintag que fue ensayado.

Caracterización del Agregado Grueso-grava

Granulometría

Para la determinación de la distribución granulométrica y determinación del tamaño máximo nominal del agregado grueso, se consideró la norma NTE INEN 696 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011a), por lo que para este ensayo se utilizó como materiales y proceso de ensayo lo siguiente:

Materiales

- Horno
- Balanza
- Juego de tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4.
- Cuarteador
- Agitador de tamices mecánico

Proceso

1. Se secó el agregado durante 24 horas en el horno a una temperatura de 110°C
2. De la muestra seca al horno se tomó 2000 gramos para ensayarla, ya que la norma así lo especifica. (Ver tabla 9)
3. La muestra fue colocada en el juego de tamices armado en forma descendente.
4. Se agitó durante una hora el material en la tamizadora mecánica.
5. Se pesó la cantidad de muestra retenida en cada uno de los tamices.

Tabla 9

Cantidad mínima de agregado grueso, a ensayar, según su tamaño

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas en (mm)	Tamaño de la muestra del ensayo mínimo (kg)
9,50	1
12,50	2
19,00	5
25,00	10
37,50	15
50,00	20

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas en (mm)	Tamaño de la muestra del ensayo mínimo (kg)
63,00	35
75,00	60
90,00	100
100,00	150
120,00	300

Nota. La tabla muestra la cantidad de agregado grueso mínimo para ensayar, dependiendo del tamaño máximo nominal del material. Recuperado de la norma INEN 696 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011a).

Para determinar el tamaño máximo nominal se tuvo en cuenta el menor tamaño de la malla por la cual pasó la mayor parte del agregado, la malla del tamaño máximo nominal puede retener entre el 5% al 15%. Mientras que el tamaño máximo se lo tomó al menor tamiz por el que pasó toda la muestra.

Resultados

Al realizar el ensayo granulométrico se obtuvo como resultados que el tamaño máximo del agregado grueso es de $\frac{1}{2}$ " ya que por es el tamiz más pequeño por el cual pasó el 100% de la muestra y al quedarse retenido el 12% en el tamiz de $\frac{3}{8}$ " (9,51 mm) se lo considera a este como el tamaño máximo nominal, esto se lo demuestra en la Tabla 11.

Una vez determinado el tamaño máximo nominal se establecieron los límites máximo y mínimo de gradación para el de $\frac{3}{8}$ " mismo que se encuentran en la Norma INEN 872 y se lo especifica en la Tabla 10. Con esos datos de gradación se realizó la curva granulométrica del agregado grueso el cual queda dentro de los límites descritos (Observar la Figura 6), y cumple con el requisito de gradación para ser utilizado en la elaboración de hormigones.

Tabla 10*Límites de gradación para el agregado grueso*

Tamaño del tamiz	Porcentaje que pasa
	(%) para áridos de 9,50-2,30 mm
3/4 " (19,00 mm)	100 a 100
1/2"(12,50mm)	100 a 100
3/8 " (9,51 mm)	85 a 100
No. 4 (4,76 mm)	10 a 30
No. 8 (2.36 mm)	0 a 10

Nota. La tabla muestra los límites mínimos y máximos para el tamaño máximo nominal de 3/8", expresados en porcentaje acumulado de agregado grueso pasantes de los respectivos tamices. Recuperado de la norma INEN 872 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011c).

Tabla 11*Cantidad de agregado grueso que se retiene y pasa por cada tamiz.*

Granulometría del agregado grueso de la cantera Pintag				
Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
3" (76,10 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2"(51,80 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2 " (38,10 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1"(25,40 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 " (19,00 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"(12,50 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 " (9,51 mm)	241,70	241,70	12,00	88,00

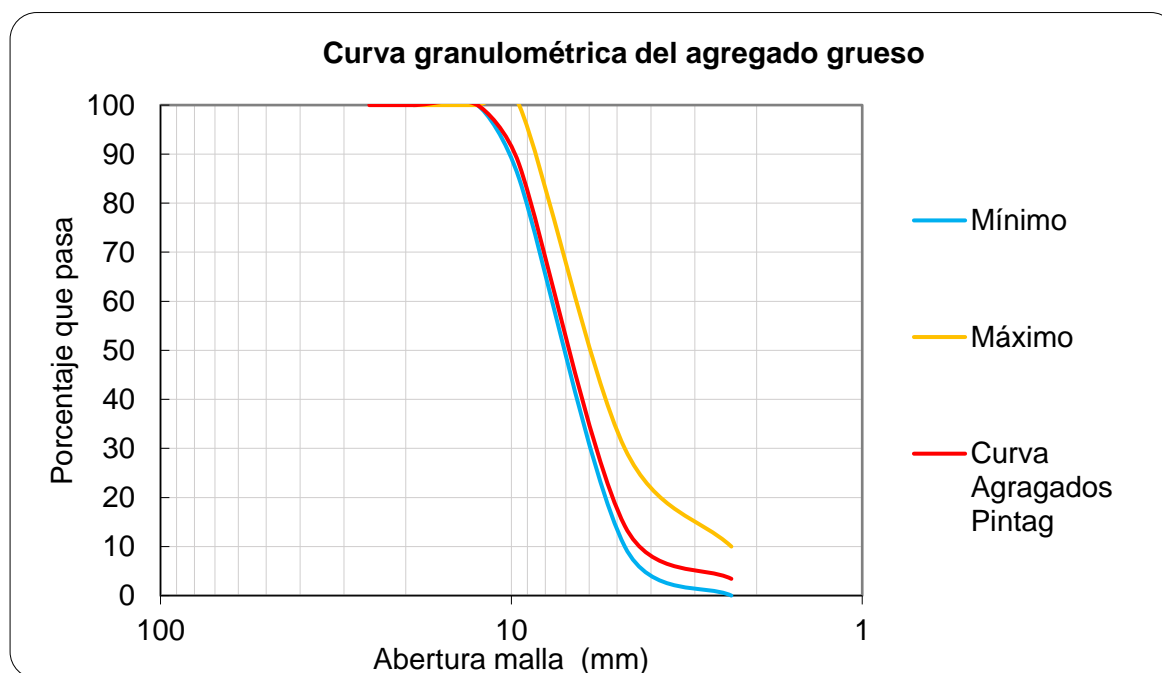
Granulometría del agregado grueso de la cantera Pintag

Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
No. 4 (4,76 mm)	1471,00	1712,70	86,00	14,00
No. 8 (2.36 mm)	215,50	1928,20	97,00	3,00
Pas No. 8	68,20	1996,40	100,00	0,00
Peso inicial de la muestra: (g)			2000,00	
Tamaño máximo nominal (in)			3/8	

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos del ensayo granulométrico del agregado grueso, así como su tamaño máximo nominal.

Figura 6

Curvas de gradación máxima, mínima y del agregado grueso de Pintag.



Nota. La gráfica muestra la curva granulométrica obtenida del agregado grueso de la cantera de Pintag que fue ensayado.

Contenido de Humedad

Para la elaboración de este ensayo se tuvo en cuenta los materiales y procesos establecidos en la norma NTE INEN 862 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011b). Los mismos que son detallados en el contenido de humedad del agregado fino, con la excepción del tamaño de muestra, ya que la cantidad de muestra depende del tamaño del agregado grueso, por tal razón y de acuerdo a la normativa se tomó una muestra de 2,00 kg para dicho ensayo.

Resultado

Al realizar el ensayo se determinó un contenido de humedad de 1,27% para el agregado grueso de la cantera de Pintag, los resultados se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Tabla 12

Porcentaje de humedad que presenta el agregado grueso de Pintag.

Muestra	Agregado grueso
Recipiente	1
Peso del recipiente (g)	2602,60
Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	4602,60
Peso del recipiente + muestra seca (g)	4577,60
Peso del agua (g)	25,00
Peso seco (g)	1975,00
% agua	1,27

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos del ensayo de humedad del árido grueso.

Densidad, Gravedad específica y Absorción

Para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado fino se tuvo en cuenta la normativa NTE INEN 857 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010b), la misma que detalla los materiales y proceso de ensayo que se utilizó:

Materiales

- Balanza
- Canastilla
- Tanque de agua
- Horno
- Franelas

Proceso

1. Se secó previamente una muestra en el horno durante 24 horas.
2. Se sumerge la muestra en agua durante 24 horas.
3. Se retiró la muestra del agua colocándola sobre un paño absorbente para eliminar toda la lámina de agua visible.
4. Se pesó una determinada cantidad de muestra (en función del Tamaño del agregado) en este caso 2 kg. Esa muestra vendría a ser el peso al aire en estado de SSS.
5. Sumergimos la muestra en el agua y tomamos su peso.
6. Por último, la muestra fue colocada al horno por 24 horas, para obtener el peso de la muestra seca.

Para determinar la densidad y absorción se utilizó las siguientes expresiones

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SH)} = \frac{A}{(B-C)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) (SSS)} = \frac{A}{(A-C)}$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)} = \frac{B}{(B-C)}$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{(B-A)}{A} * 100$$

Donde:

A= masa en aire de la muestra seca al horno, g

B= masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g

C= masa aparente en agua de la muestra saturada, g

Resultado

Al realizar el ensayo se logró determinar la densidad relativa aparente 2,52 g/cm³, gravedad específica saturada superficialmente seca 2,40 g/cm³ y absorción para el agregado grueso 3,40%. Los detalles del ensayo se encuentran especificados en la Tabla 13.

Tabla 13

Densidades y absorción del agregado grueso

Muestra: agregado grueso de la cantera de Pintag			
A	Masa de la muestra saturada con superficie seca en aire	(g)	2181,00
B	Masa aparente saturada en agua	(g)	1274,00
C	Masa de la muestra seca al horno	(g)	2109,60
g	Densidad del agua a la temperatura que se realizó el ensayo	(g/cm ³)	0,998
(C/C-B)*g	Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	(g/cm ³)	2,52
(A/A-B)*g	Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	(g/cm ³)	2,40
(C/A-B)*g	Densidad relativa (gravedad específica)	(g/cm ³)	2,32
(A-C/C)*100	Absorción de agua	(%)	3,40

Muestra: agregado grueso de la cantera de Pintag

Observaciones: Temperatura ensayo 20 °C.

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de absorción y densidad del agregado grueso de la cantera de Pintag que fue ensayado.

Masa Unitaria y Porcentaje de Vacíos

Para este ensayo se utilizó la norma NTE INEN 858 que establece el método para realizar el ensayo tanto en condiciones de masa suelta y compactada, aquí también se incluye la determinación de los vacíos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010c). Teniendo en cuenta esta normativa se sigue el mismo proceso utilizado en la determinación de masa unitaria detallados en el árido fino, con la excepción del uso del molde, para este caso se utilizó un molde más grande.

Tabla 14

Densidades Volumétrica y porcentaje de vacíos del agregado grueso

Densidad volumétrica suelta y compactada del agregado grueso		
Densidad volumétrica suelta		
Molde No.	1	2
Peso del molde (g)	7681,40	7681,40
Peso molde +suelo (g)	24000,00	24800,00
Peso suelo (g)	16318,60	17118,60
Volumen (cm ³)	13854,60	13854,60
Densidad suelta (g/cm ³)	1,18	1,24
Media	1,21	
Densidad volumétrica varillada - compactada		
Molde No.	1	2

Densidad volumétrica suelta y compactada del agregado grueso		
Peso del molde (g)	7681,40	7681,40
Peso molde +suelo (g)	26000,00	26000,00
Peso suelo (g)	18318,60	18318,60
Volumen (cm ³)	13854,60	13854,60
Densidad Varillada (g/cm ³)	1,32	1,32
Media	1,32	
Porcentaje de vacíos		
Densidad volumétrica agregado grueso	1264,00	kg/m ³
Gravedad específica agregado grueso	2322,00	kg/m ³
Densidad del Agua	998,00	kg/m ³
%VACÍOS =	1,22	%

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de % de vacío, densidad volumétrica suelta y por varillado del árido grueso de la cantera de Pintag que fue ensayado.

Caracterización de la Cerámica

Trituración

El material cerámico fue triturado con la máquina de compactación Marshall con el fin de obtener un tamaño máximo nominal igual al que se obtuvo y fue considerado para el agregado grueso, en este caso el de 3/8". Para ello se trituró de la siguiente manera:

Materiales

- Máquina de compactación Marshall.
- Martillo compactador de 10,20 kg
- Tamiz de ½ "
- Material residuo de cerámica

Proceso

1. Se colocó los residuos de cerámica en el molde de compactación.
2. Se colocó correctamente el molde y el martillo compactador en la máquina.
3. Se encendió la máquina y se aplicó de 30 a 50 golpes con el martillo, el cual gracias a la distancia de caída y a su propio peso (10,20 kg) permitió que se logre triturar la cerámica.
4. Se pasó el material triturado por el tamiz de $\frac{1}{2}$ ", el material pasante de este tamiz fue utilizado como parte del agregado grueso, mientras que el retenido se lo volvió a triturar hasta obtener el tamaño adecuado y necesario.

Resultados

Con la trituración en la máquina de compactación Marshall se obtuvo un material cerámico del tamaño del agregado grueso que se utilizó de la cantera de Pintag, se logró conseguir una cantidad pequeña de finos y se pudo mantener una cerámica triturada de aristas definidas y bien marcadas, esto es importante ya que con estas características se logra adquirir una mayor adherencia entre los materiales pétreos y el cemento al momento de realizar un hormigón.

Granulometría

El análisis granulométrico de la cerámica se realizó siguiendo el mismo proceso que se utilizó para la granulometría del árido grueso, con la misma serie de tamices y misma cantidad de muestra 2000 gramos. Teniendo en consideración de igual manera los límites de gradación para partículas de 9,50 a 2,36 mm que se especifica en la norma INEN 872 para los requisitos que deben cumplir los áridos (Ver Tabla 10) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011c).

Como resultado del análisis granulométrico de la cerámica se obtuvo que, efectivamente el tamaño máximo nominal es $\frac{3}{8}$ " y que la curva de gradación se encuentra

dentro de los rangos límites, al igual que el agregado grueso de la cantera de Pintag, este material cumple con los requisitos de gradación y puede ser utilizado para realizar hormigón.

Estos resultados se los puede apreciar a continuación:

Tabla 15

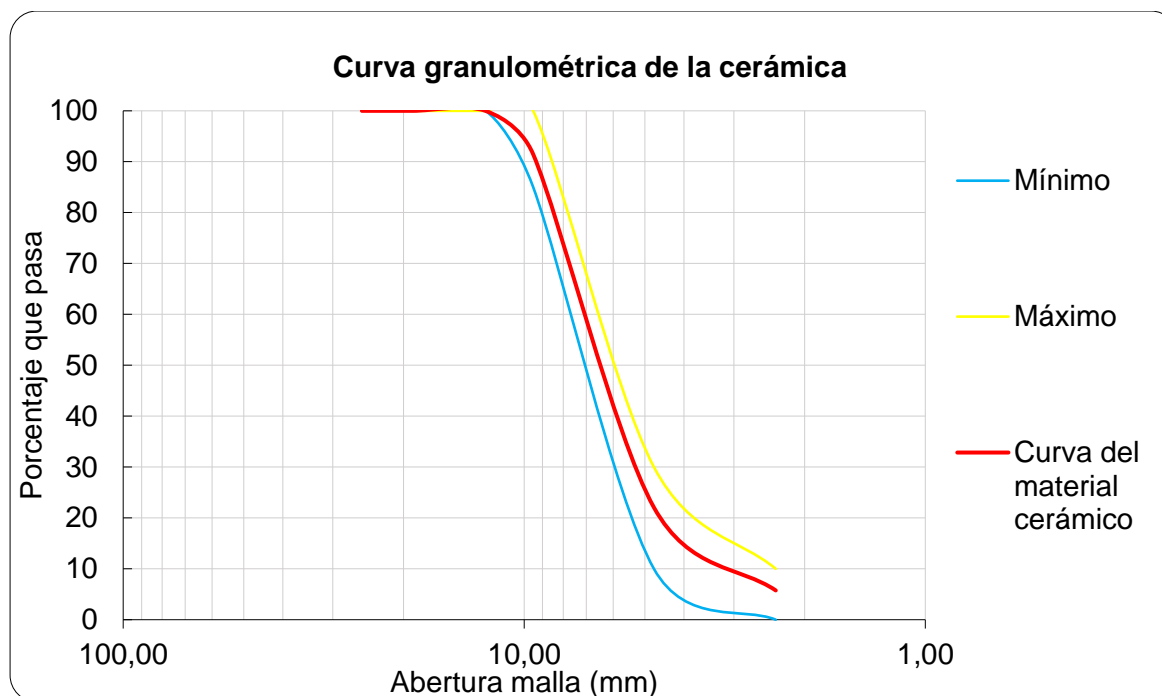
Cantidad de material cerámico que se retiene y pasa por cada tamiz, expresado en porcentajes.

Muestra: cerámica				
Tamices	Peso retenido (g)	Retenido acumulado	% Retenido acumulado	% Acumulado pasa
3" (76,10 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
2"(51,80 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2 " (38,10 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1"(25,40 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 " (19,00 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"(12,50 mm)	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 " (9,51 mm)	170,80	170,80	9,00	91,00
No. 4 (4,76 mm)	1387,10	1557,90	78,00	22,00
No. 8 (2.36 mm)	326,10	1884,00	94,00	6,00
Pas No. 8	115,00	1999,00	100,00	0
Peso inicial de la muestra: (g)			2000,00	
tamaño máximo nominal (in)			3/8	

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos del ensayo granulométrico del material cerámico triturado, así como su tamaño máximo nominal.

Figura 7

Curvas de gradación máxima, mínima y de cerámica.



Nota. La gráfica muestra la curva granulométrica obtenida del ensayo realizado a la cerámica triturada.

Contenido de Humedad

Para la determinación del contenido de humedad de la cerámica se tuvo en cuenta los materiales y procesos establecidos en la norma NTE INEN 862, los mismos que fueron usados para el agregado grueso (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011b). Para este ensayo se consideró una muestra aproximada de 2500 gramos.

Resultado

Al realizar el ensayo se determinó un contenido de humedad de 0,04% para el material cerámico, los resultados se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Tabla 16*Porcentaje de humedad de la cerámica.*

Muestra	Cerámica	
	1	2
Recipiente		
Peso del recipiente (g)	2601,60	2607,20
Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	5448,00	5111,30
Peso del recipiente + muestra seca (g)	5446,60	5110,70
Peso del agua (g)	1,40	0,60
Peso seco (g)	2845,00	2503,50
% agua	0,05	0,02
% agua media	0,04	

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos del ensayo de humedad del árido grueso.

Densidad, Gravedad específica y Absorción

Para la determinación de la gravedad específica y absorción de la cerámica se siguió el proceso que establece la norma NTE INEN 857 (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010b), mismo ensayo que se encuentra detallado en la sección de densidad, gravedad específica y absorción del agregado grueso.

Resultado

Al realizar el ensayo se logró determinar la densidad relativa aparente $2,38 \text{ g/cm}^3$, gravedad específica saturada superficialmente seca $2,19 \text{ g/cm}^3$ y absorción para la cerámica 6,50%. Los detalles del ensayo se encuentran especificados en la tabla 17.

Tabla 17*Densidades y absorción de la cerámica triturada.*

MUESTRA: MATERIAL CERÁMICO			
A	Masa de la muestra saturada con superficie seca en aire	(g)	2333,60
B	Masa aparente saturada en agua	(g)	1272,00
C	Masa de la muestra seca al horno	(g)	2191,40
g	Densidad del agua a la temperatura que se realizó el ensayo	(g/cm ³)	0,998
(C/C-B)*g	Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	(g/cm ³)	2,38
(A/A-B)*g	Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	(g/cm ³)	2,19
(C/A-B)*g	Densidad relativa (gravedad específica)	(g/cm ³)	2,06
(A-C/C)*100	Absorción de agua	(%)	6,50

Observaciones Temperatura ensayo = 19 °C.

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de absorción y densidad del material cerámico que fue triturado para su posterior ensayo.

Masa Unitaria y Porcentaje de Vacíos

Para este ensayo se utilizó de igual forma la norma NTE INEN 858 que establece el método para realizar el ensayo tanto en condiciones de masa suelta como compactada (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010c). Se siguió el proceso y determinó estos valores tal cual se los detalla en la sección de la masa unitaria y porcentaje de vacío del agregado grueso.

Resultados

Después de haber realizado el ensayo se tuvo como resultado un valor promedio de densidad volumétrica del agregado fino de $1,41 \text{ g/cm}^3$ y un porcentaje de vacíos de 1,37%, los mismos que se encuentran detallados en la tabla a continuación.

Tabla 18

Densidades Volumétrica

Densidad volumétrica suelta de la cerámica triturada		
Molde No.	1	2
Peso del molde (g)	7680,00	7680,00
Peso molde +suelo (g)	26600,00	26800,00
Peso suelo (g)	18920,00	19120,00
Volumen (cm^3)	13854,60	13854,60
Densidad suelta (g/cm^3)	1,37	1,38
Media	1,37	
Densidad volumétrica varillada de la cerámica triturada		
Molde No.	1	2
Peso del molde (g)	7680,00	7680,00
Peso molde +suelo (g)	27400,00	27600,00
Peso suelo (g)	19720,00	19920,00
Volumen (cm^3)	13854,60	13854,60
Densidad Varillada (g/cm^3)	1,42	1,44
Media	1,43	

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos densidad volumétrica suelta y por varillado de la cerámica triturada que fue ensayada.

Tabla 19

Resultados para el porcentaje de vacíos de la cerámica

Porcentaje de vacíos de la cerámica		
Densidad Volumétrica de la cerámica	1407,00	kg/m ³
Gravedad específica de la cerámica	2451,00	kg/m ³
Densidad del Agua	998,00	kg/m ³
%Vacíos =	1,36	%

Nota. La tabla muestra los resultados obtenidos de % de vacío de la cerámica triturada que fue ensayada.

Dosificación

El objetivo de la dosificación del hormigón es obtener las proporciones adecuadas en la que los materiales se van a combinar para obtener una mezcla con determinadas características de compacidad, resistencia, consistencia y durabilidad (2014).

Método de Dosificación del ACI 211

Este método inicia de la resistencia que debe tener el hormigón y se sigue una serie de 9 pasos donde se realiza el ajuste por humedad de los agregados y las correcciones a las mezclas (2014). Para asegurar productos de buena calidad en la elaboración de hormigón es necesarios seguir un orden de procedimientos sustentados por normativas, el ACI 211 propone la premisa que se utiliza para cumplir con el procedimiento y se basa en la norma ATM C33 donde hace referencia a las especificaciones granulométricas (2002).

Dosificación del hormigón con árido grueso compuesto por 100% de grava y 0% de cerámica

A partir de los ensayos realizados en laboratorio se obtiene la tabla de resumen con las propiedades de los agregados:

Tabla 20*Resumen de las propiedades de los agregados*

Parámetro	Unidad	Agregados	
		Grueso	Fino
Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)	Kg/m ³	2520,00	2626,00
Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)	Kg/m ³	2400,00	2518,00
Densidad Relativa (Gravedad Específica)	Kg/m ³	2322,00	2451,00
Absorción De Agua	%	3,38	2,71,00
Módulo De Finura			2,81
Tamaño Máximo Nominal	in	3/8	
Humedad Natural	%	1,30	4,50
Peso Vol. Suelto	Kg/m ³	1207,00	1316,00
Peso Vol. Compacto	Kg/m ³	1322,00	1498,00

Nota. Tabla de resumen con los resultados de los ensayos obtenidos en laboratorio.

Elección del Asentamiento

El asentamiento se lo eligió en función del tipo de proyecto, para ello se escogió un asentamiento de 3 cm para la elaboración de adoquines.

Tabla 21

Valores de asentamiento recomendados para diversas clases de construcción

Asentamiento (cm)	Consistencia (Tipo de concreto)	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
0-2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaletas.
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3,5 - 5,0	Semiseca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales.
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muras, con vibración
10,0 - 15,0	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo, Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración.

Nota. Asentamientos establecidos según el tipo de estructura y condiciones de colocación, para la elaboración de adoquines se tomó el valor de 3,00 cm. Recuperado de (ASOCRETO et al., 2010).

Tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado se selecciona en función de las dimensiones del elemento estructural al cual se destinará el hormigón. Para la elaboración de adoquines la Norma INEN 1488 establece que el tamaño máximo nominal del árido no deberá ser mayor a $\frac{1}{4}$ del espesor del adoquín, por lo que el espesor para un adoquín peatonal es de 6 cm y se escogió un tamaño máximo del agregado de $\frac{1}{2}$ "y de acuerdo con los ensayos de caracterización del agregado grueso se obtuvo un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{8}$ ".

Estimación del agua de la mezcla

En función del asentamiento y el tamaño máximo del agregado seleccionado se estima la cantidad de agua necesaria para el mezclado en la tabla 22:

Tabla 22

Cantidad de agua recomendada en kg/m^3 de concreto

Asentamiento (cm)	Concretos sin aire incluido						
	Tamaños máximos nominales (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0 - 2,5	185	180	165	160	140	135	125
3,0 - 5,0	205	200	185	180	160	155	145
5,5 - 7,0	215	210	190	185	170	165	155
8,0 - 10,0	225	215	200	195	175	170	165
10,5 - 15,0	235	225	205	200	180	175	170
15,5 - 18,0	240	230	210	205	185	180	175

Asentamiento (cm)	Concretos sin aire incluido						
	Tamaños máximos nominales (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
%Contenido de aire	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3

Nota. La tabla nos indica la cantidad de agua recomendada en kg/m^3 de concreto, tomando en consideraciones el asentamiento y los tamaños máximos nominales para concretos sin aire incluido pues la mezcla no estará expuesta a ciclos de congelamiento o ambientes agresivos. Recuperado de (ASOCRETO et al., 2010, p. 191).

De esta manera, según la tabla se establece una cantidad de agua de $205,00 \text{ kg/cm}^3$ para el asentamiento seleccionado previamente.

Resistencia de diseño

En virtud de que no se registró al menos 30 ensayos consecutivos y no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra, la ACI 318S establece determinar la resistencia promedio a la compresión requerida mediante la tabla 23 en el numeral 5.3.2.2

Tabla 23

Resistencia Promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 20$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$20 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Nota. En la tabla se establece la resistencia promedio requerida a la compresión cuando no hay datos disponibles para la desviación estándar. Recuperado de (Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05).

La resistencia específica de la compresión es de 400 kg/cm^2 , por lo que la resistencia promedio requerida a la compresión se calcula con la tabla 23 de la siguiente manera:

$$f'_{cr} = 1,10 f'_c + 5,0$$

$$f'_{cr} = 1,10 (39,227) + 5,0$$

$$f'_{cr} = 48,15 \text{ MPa}$$

$$f'_{cr} = 490,99 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto, la resistencia promedio requerida a la compresión es de $490,99 \text{ kg/cm}^2$.

Relación agua / cemento

En función de la resistencia a la compresión que necesita el hormigón, se realiza la relación agua / cemento (Galeas & Guzmán, 2019, p. 15) y estos valores se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 24

Relación entre la resistencia a la compresión y valores de la relación a/c

Resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm²)	Concreto sin incluso de aire Relación absoluta por peso
175	0,65
210	0,58
245	0,52
280	0,47

Resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm²)	Concreto sin incluso de aire Relación absoluta por peso
315	0,43
350	0,40

Nota. La tabla nos indica la resistencia a la compresión a los 28 días para concreto sin inductor de aire obteniendo la relación absoluta por peso. Recuperado de (ASOCRETO et al., 2010, p. 201).

Ya que se espera una resistencia a la compresión de 491,00 kg/cm², se debe realizar una extrapolación con los valores de la tabla 24 para obtener el valor de la relación y se lo calcula con la siguiente fórmula:

Tabla 25

Extrapolación de relación agua/cemento para una resistencia a la compresión f'c= 491,00 kg/cm²

Resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm²)	Concreto sin incluso de aire Relación absoluta por peso
315	0,43
350	0,40
491	x

Nota. La tabla indica los valores que se utilizan con el fin de obtener la relación a/c para una resistencia a la compresión de 491,00 kg/cm².

Mediante la extrapolación se obtuvo una relación agua/cemento de 0,28 para una resistencia a la compresión de 491,00 kg/cm².

$$x = \frac{0,40 - 0,43}{350 - 315} * (491 - 315) + 0,43 = 0,28$$

Contenido de cemento y aditivo

El contenido de cemento se calcula mediante la cantidad de agua y la relación agua/cemento obtenido previamente.

$$\text{contenido de cemento} = \frac{\text{contenido de agua}}{a/c}$$

$$\text{contenido de cemento} = \frac{205 \text{ kg}}{0,28}$$

$$\text{contenido de cemento} = 734,76 \text{ kg}$$

Contenido de agregado grueso

Se obtiene de la relación de volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de concreto (b) y el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso (b_o) para así obtener el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto (b/b_o) (ASOCRETO et al., 2010).

Tabla 26

Volumen de grava por unidad de volumen de concreto (b/b_o)

Máximo tamaño nominal de agregados		Volumen de grava por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
		Módulo de finura			
Pulgadas	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
½	12,50	0,59	0,57	0,55	0,53
¾	19,10	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,40	0,71	0,69	0,67	0,65
1 ½	38,10	0,75	0,73	0,71	0,69

	Máximo tamaño nominal de agregados	Volumen de grava por unidad de volumen de concreto	Volumen de grava por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
			Módulo de finura			
	2	50,80	0,78	0,76	0,74	0,72
	3	76,10	0,82	0,80	0,78	0,76
	6	152,40	0,87	0,85	0,83	0,81

Nota. La tabla muestra los valores para obtener el volumen de grava por unidad de volumen de concreto en función del máximo tamaño nominal de agregado y el módulo de finura.

Recuperado de (ASOCRETO et al., 2010, p. 196).

Debido a que en los ensayos de laboratorio se obtuvo un módulo de finura de 2,81 se debe efectuar la interpolación para obtener la relación b/b_0 dando como resultado un valor de 0,46

Tabla 27

Interpolación de relación b/b_0 para máximo tamaño nominal de 9,51 mm

Módulo de finura	Relación b/b_0
2,80	0,46
2,81	x
3,00	0,44

Nota. La tabla nos muestra los valores para la interpolación y obtener la relación b/b_0 del módulo de finura del proyecto 2,81.

$$x = \frac{0,44 - 0,46}{3,00 - 2,80} * (2,81 - 2,80) + 0,46$$

$$x = 0,46$$

Para determinar el volumen de partículas de agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso se lo obtiene de la relación de masa unitaria compactada y la densidad aparente de la grava cuyos valores están establecidos en la tabla de resumen, 1322,00 kg/m³ y 2520,00 kg/m³ respectivamente.

$$b_o' = \frac{\text{Masa unitaria compacta}}{\text{Densidad aparente de la grava}}$$

$$b_o' = \frac{1322,00 \text{ kg/m}^3}{2520,00 \text{ kg/m}^3} = 0,52$$

De modo que, el volumen de agregado grueso por metro cúbico de concreto es de 0,24 y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$b = \frac{b}{b_o} * b_o'$$

$$b = 0,46 * 0,52 = 0,24$$

Contenido de agregado fino

Para obtener el volumen de agregado fino se resta el volumen del cemento y del agua, puesto que una vez obtenido el peso de estos componentes por unidad de volumen de hormigón y con la relación de volumen es igual peso entre la densidad de cada componente de la siguiente manera:

Tabla 28

Peso y volumen de componentes para un metro cúbico de hormigón

Material	Peso (kg)	Densidad aparente (kg/m³)	Volumen (m³)
Agua	205,00	1000,00	0,21
Cemento	734,77	3140,00	0,23

Nota. En la tabla se muestra el peso y densidad aparente de los componentes de agua y cemento para el cálculo de volumen.

Para un metro cúbico de hormigón se obtiene un porcentaje de agregados de 0,56

$$Ck = \text{Volumen de hormigón} - \text{volumen de agua} - \text{volumen de cemento}$$

$$Ck = 1 \text{ m}^3 - 0,21 \text{ m}^3 - 0,23 \text{ m}^3 = 0,56$$

Para el cálculo de porcentaje de agregado fino en la dosificación se lo realiza con la siguiente ecuación:

$$\emptyset = \frac{Ck - b}{Ck} * 100$$

$$\emptyset = \frac{0,56 - 0,241}{0,56} * 100 = 57,07\%$$

Cálculo de proporciones iniciales

Para el cálculo de las proporciones iniciales se toma en cuenta las proporciones de los diferentes componentes por masa de agua, cemento y agregados.

El factor k es un valor que se viene dado de la relación entre el volumen de los agregados y la masa del cemento expresado en la siguiente ecuación:

$$k = \frac{Ck}{\text{Masa del cemento}}$$

El valor de Ck es de 0,56 y la masa del cemento 734,76 kg obtenidos anteriormente, dando como resultado en el factor k de 0,76

Para la proporción del agregado fino (f) viene dado por la siguiente ecuación, donde d es la densidad aparente del agregado:

$$f = \frac{k * \emptyset}{100} * d$$

$$f = \frac{0,76 * 57,07}{100} * 2,52 = 1,10$$

Para la proporción del agregado grueso (g) viene dado por la siguiente ecuación, donde d es la densidad aparente del agregado:

$$g = \frac{k(100 - \emptyset)}{100} * d$$

$$g = \frac{0,76 * (100 - 57,07)}{100} * 2,40 = 0,79$$

De esta manera se obtiene las proporciones iniciales de los agregados

0,28: 1,00: 1,10: 0,79

Diseño de mezcla para probetas 0% cerámica

Una vez calculada las proporciones iniciales se procede a la elaboración de probetas que se calcula el peso de cada agregado en función del volumen de las probetas seleccionadas. Para la dosificación 0% cerámica se ocupó 10 moldes grandes con una altura de 30 cm y un diámetro de 15 cm considerando un desperdicio del 5% se obtuvo un volumen de 0,01 m³.

Tabla 29

Cálculo de volumen de las probetas m³

Probeta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Desperdicio %	Número de cilindros	Volumen (m ³)
Cilindro Grande	30	15	5%	10	0,01
Volumen Total m ³					0,01

Nota. En la tabla indica el volumen total en m³ para 10 probetas grandes con altura de 30 cm y diámetro de 15 cm, con un desperdicio de 5%.

En la tabla 30 se muestra la masa seca para los componentes para 0% cerámica

Tabla 30

Masa seca de los componentes para 0% cerámica

Materia	Proporción	Masa Seca	Unidad
Agua	0,28	16,91	kg
Cemento	1,00	60,61	kg
Arena	1,10	55,62	kg
Ripio	0,79	38,27	kg

Nota. En la tabla se muestra la masa seca de cada componente.

Ajuste por humedad

Una de la razón que perjudican la cantidad de agua en la mezcla y consecuentemente la relación agua/cemento es que en obra los agregados pueden estar más húmedos o más secos que la condición superficie saturada seca, por esta razón se debe ajustar el agua como el peso de los agregados en relación al contenido de humedad y el porcentaje de absorción (Galeas & Guzmán, 2019).

Para el ajuste por humedad se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = M(H - Abs)$$

Donde:

M = Peso de la muestra seca (Kg)

H = Humedad de Agregados en tanto por uno

Abs = Absorción del agregado en tanto por uno

De la tabla de resumen, obteniendo una humedad de 4,47%, un peso seco de 55,62 kg y absorción de 2,71% para agregado fino; 1,27% de humedad 38,27 kg de peso seco y 3,38% de absorción para agregado grueso mediante la fórmula se obtiene el agua final para el ajuste por humedad.

Tabla 31

Agua final para el ajuste por humedad de los agregados

	Fino	Grueso
Peso seco [kg]	55,62	38,27
% Humedad	4,47	1,27
% Absorción de agua	2,71	3,38
Agua	0,98	-0,81
Agua final [kg]	16,74	

Nota. En la tabla indica el agua final en kg de los áridos fino y grueso para el respectivo ajuste por humedad.

Una vez calculado el agua final se procede a obtener el peso húmedo de cada componente, dando como resultado un peso húmedo para el cemento 60,61 kg, agregado fino 58,11 kg, agregado grueso 38,75 kg y agua 16,74 kg.

Tabla 32

Peso húmedo de cada componente

Materia	Peso húmedo	Unidad
Agua	16,74	kg
Cemento	60,61	kg
Arena	58,11	kg
Ripio	38,75	kg

Nota. En la tabla se detalla el peso húmedo de cada material ya tomando en cuenta el contenido de humedad.

Tabla 33

Resumen de diseño de probetas de hormigón

Parámetro		Valor	Unidad
Asentamiento		3,00	cm
Tamaño nominal		0,50	in
Resistencia de diseño fcr		491,00	kg/cm ²
Relación agua cemento		0,28	
a/c			
	C	1,00	
Proporciones	A	1,10	
	R	0,79	
	Agua	16,91	kg
	Cemento	60,61	kg
Peso seco	Arena	55,62	kg
	Ripio	38,27	kg
	Agua	16,74	kg
Peso húmedo	Cemento	60,61	kg
	Arena	58,11	kg
	Ripio	38,75	kg

Nota. En la tabla se especifica cada uno de los parámetros con su valor respectivo para el diseño de las probetas de hormigón con una resistencia de 400 kg/cm².

Diseño de mezcla para probetas con 25% de cerámica

Obteniendo proporciones iniciales se procede a la elaboración de probetas que se calcula el peso de cada agregado en función del volumen de las probetas seleccionadas y las respectivas propiedades de los agregados y cerámica.

Tabla 34

Resumen de las propiedades de agregados gruesos y cerámica

Parámetro	Unidad	Agregados		
		Grueso	Fino	Cerámica
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	Kg/m ³	2520,00	2626,00	2379,00
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	Kg/m ³	2400,00	2518,00	2194,00
Densidad relativa (gravedad específica)	Kg/m ³	2322,00	2451,00	2061,00
Absorción de agua	%	3,38	2,71	6,49
Módulo de finura			2,81	
Tamaño máximo nominal	in	3/8		3/8
Humedad natural	%	1,30	4,50	0,04
Peso volumétrico suelto	Kg/m ³	1207,00	1316,00	1373,00
Peso volumétrico compactado	Kg/m ³	1322,00	1498,00	1431,00

Nota. En la tabla de resumen muestra las propiedades de los agregados y de la cerámica de los ensayos obtenidos en laboratorio.

De esta manera, para la dosificación 25% cerámica se ocupó un total de 10 probetas, 4 probetas grandes con una altura de 30 cm, un diámetro de 15 cm y 6 probetas pequeñas con

una altura de 20 cm y diámetro de 10 cm considerando un desperdicio del 5% se obtuvo un volumen de 0.03 m³.

Tabla 35

Cálculo de volumen para probetas m³

Probeta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Desperdicio %	Número de cilindros	Volumen (m³)
Cilindro grande	30	15	5%	4	0,01
Cilindro pequeño	20	10	5%	6	0,002
				Volumen total m ³	0,03

Nota. En la tabla indica el volumen total en m³ del cálculo de 4 probetas grandes y 6 probetas pequeñas, con un desperdicio de 5%.

En la tabla 36 se muestra la masa seca para los componentes para 25% cerámica

Tabla 36

Masa seca de los componentes para 25% cerámica

Materia	Proporción	Masa Seca	Unidad
Agua	0,28	9,77	kg
Cemento	1,00	35,02	kg
Arena	1,10	32,14	kg
Ripio	0,79	22,11	kg

Nota. En la tabla indica la masa seca de cada componente.

Ajuste por humedad

Una de la razón que perjudican la cantidad de agua en la mezcla y consecuentemente la relación agua/cemento es que en obra los agregados pueden estar más húmedos o más secos que la condición superficie saturada seca, por esta razón se debe ajustar el agua como el peso de los agregados en relación al contenido de humedad y el porcentaje de absorción (Galeas & Guzmán, 2019).

Para el ajuste por humedad se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = M(H - Abs)$$

Donde:

M = Peso de la muestra seca (Kg)

H = Humedad de Agregados en tanto por uno

Abs = Absorción del agregado en tanto por uno

De la tabla de resumen, obteniendo una humedad de 4,47% ; un peso seco de 32,14 kg y absorción de 2,71% para agregado fino; 1,27% de humedad 22,11 kg de peso seco y 3,38% de absorción para agregado grueso mediante la fórmula se obtiene el agua final para el ajuste por humedad.

Tabla 37

Agua final para el ajuste por humedad de los agregados

	Fino	Grueso
Peso seco [kg]	32,14	22,11
% Humedad	4,47	1,27
% Absorción de agua	2,71	3,38
Agua	0,56	-0,47
Agua final [kg]	9,67	

Nota. En la tabla indica el agua final en kg de los áridos fino y grueso para el respectivo ajuste por humedad.

Una vez calculado el agua final se procede a obtener el peso húmedo de cada componente, dando como resultado un peso húmedo para el cemento 35,02 kg, agregado fino 33,57 kg, agregado grueso 22,39 kg y agua 9,67 kg.

Tabla 38

Peso húmedo de cada componente

Materia	Peso húmedo	Unidad
Agua	9,67	kg
Cemento	35,02	kg
Arena	33,57	kg
Ripio	22,39	kg

Nota. En la tabla se detalla el peso húmedo de cada material ya tomando en cuenta el contenido de humedad.

Para la elaboración de probetas de 25% cerámica, se toma el peso húmedo del agregado grueso de 22,39 kg en relación con el peso volumétrico de 1322,00 kg/m³ y de esta manera se obtiene un volumen de 0,02 m³ de agregado grueso con la siguiente ecuación:

$$Volumen [m^3] = \frac{Peso\ húmedo [Kg]}{Peso\ volumétrico [kg/m^3]}$$

De esta manera se obtiene el 25% del volumen del agregado grueso y con la misma ecuación y el peso volumétrico de la cerámica obtenido en laboratorio se logra un valor de la cerámica de 6,06 kg. El peso húmedo final para el agregado grueso es la diferencia entre el peso del agregado grueso y el peso de la cerámica teniendo como resultado 16,33 kg.

Tabla 39

Pesos volumétricos para mezcla con 25% de cerámica.

	Peso	Peso volumétrico
	[Kg]	[Kg/m³]
Peso Húmedo agregado grueso	22,39	1322,00
Volumen agregado grueso [m ³]	0,02	
25% de volumen [m ³]	0,004	
Cerámica	6,06	1431,00
Agregado Grueso	16,33	

Nota. En la tabla se detalla la cantidad calculada de cerámica en kg y del agregado grueso en kg para una mezcla de 25% de cerámica.

Dado el peso de la cerámica 6,06 kg se realiza la corrección a la humedad, en la tabla de resumen se establece para la cerámica un porcentaje de humedad de 0,04%, un porcentaje de absorción de agua de 6,49%, obteniendo un ajuste de agua de 9,95 kg.

Tabla 40

Agua final para el ajuste por humedad de la cerámica

	Cerámica
Peso seco [kg]	6,06
% Humedad	0,04
% Absorción de agua	6,49
Agua	-0,39
Agua final [kg]	9,95

Nota. En la tabla indica el agua final en kg de la cerámica para la respectiva corrección por humedad.

Una vez obtenido el peso húmedo final de los agregados y la cerámica con un porcentaje de 25% de cerámica se obtiene la siguiente tabla 39 de resumen

Tabla 41

Peso húmedo de los componentes con 25% de cerámica

Materia	Peso húmedo	Unidad
Agua	9,95	kg
Cemento	35,02	kg
Arena	33,57	kg
Ripio	16,33	kg
Cerámica	6,06	kg

Nota. La tabla de resumen muestra los pesos en kg de los agregados, cerámica y agua para la dosificación de 25% cerámica.

Diseño de mezcla para probetas con 50% de cerámica

Para la dosificación de 50% cerámica se procede a la elaboración de probetas que se calcula el peso de cada agregado en función del volumen de las probetas seleccionadas y las respectivas propiedades de los agregados y cerámica.

Tabla 42

Resumen de las propiedades de agregados gruesos y cerámica

Parámetro	Unidad	Agregados		
		Grueso	Fino	Cerámica
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	Kg/m ³	2520,00	2626,00	2379,00
Densidad relativa (gravedad específica) (sss)	Kg/m ³	2400,00	2518,00	2194,00

Parámetro	Unidad	Agregados		
		Grueso	Fino	Cerámica
Densidad relativa (gravedad específica)	Kg/m ³	2322,00	2451,00	2061,00
Absorción de agua	%	3,38	2,71	6,49
Módulo de finura			2,81	
Tamaño máximo nominal	In	3/8		3/8
Humedad natural	%	1,30	4,50	0,04
Peso vol. Suelto	Kg/m ³	1207,00	1316,00	1373,00
Peso vol. Compacto	Kg/m ³	1322,00	1498,00	1431,00

Nota. En la tabla de resumen muestra las propiedades de los agregados y de la cerámica de los ensayos obtenidos en laboratorio.

En la elaboración de probetas se ocupó un total de 10 probetas, 4 probetas grandes con una altura de 30 cm, un diámetro de 15 cm y 6 probetas pequeñas con una altura de 20 cm y diámetro de 10 cm considerando un desperdicio del 5% se obtuvo un volumen de 0.03 m³.

Tabla 43

Cálculo de volumen m³

Probeta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Desperdicio %	Número de cilindros	Volumen (m ³)
Cilindro grande	30	15	5%	4	0,01
Cilindro pequeño	20	10	5%	6	0,002

Probeta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Desperdicio %	Número de cilindros	Volumen (m ³)
				Volumen Total	0,03
				m ³	

Nota. En la tabla indica el volumen total en m³ del cálculo de 4 probetas grandes y 6 probetas pequeñas, con un desperdicio de 5%.

En la siguiente tabla se muestra la masa seca para los componentes para el 50% de grava y 50% cerámica

Tabla 44

Masa seca de los componentes para 50% cerámica

Materia	Proporción	Masa Seca	Unidad
Agua	0,28	9,77	kg
Cemento	1,00	35,02	kg
Arena	1,10	32,14	kg
Ripio	0,79	22,11	kg

Nota. En la tabla se muestra la masa seca de cada componente.

Ajuste por humedad

Una de la razón que perjudican la cantidad de agua en la mezcla y consecuentemente la relación agua/cemento es que en obra los agregados pueden estar más húmedos o más secos que la condición superficie saturada seca, por esta razón se debe ajustar el agua como el peso de los agregados en relación al contenido de humedad y el porcentaje de absorción (Galeas & Guzmán, 2019).

Para el ajuste por humedad se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = M(H - Abs)$$

De la tabla de resumen, obteniendo una humedad de 4,47%, un peso seco de 12,11 kg y absorción de 2,71% para agregado fino; 1,27% de humedad 22,11 kg de peso seco y 3,38% de absorción para agregado grueso mediante la fórmula se obtiene el agua final para el ajuste por humedad.

Tabla 45

Agua final para el ajuste por humedad de los agregados

	Fino	Grueso
Peso seco [kg]	12,11	22,11
% Humedad	4,47	1,27
% Absorción de agua	2,71	3,38
Agua	0,56	-0,47
Agua final [kg]	9,67	

Nota. En la tabla indica el agua final en kg de los áridos fino y grueso para el respectivo ajuste por humedad.

Una vez calculado el agua final se procede a obtener el peso húmedo de cada componente, dando como resultado un peso húmedo para el cemento 35,02 kg, agregado fino 33,07 kg, agregado grueso 22,39 kg y agua 10,22 kg.

Tabla 46

Peso húmedo de cada componente

Materia	Peso húmedo	Unidad
Agua	10,22	kg
Cemento	35,02	kg
Arena	33,07	kg
Ripio	22,39	kg

Nota. En la tabla se detalla el peso húmedo de cada material ya tomando en cuenta el contenido de humedad.

Para la elaboración de probetas de 50% de grava y 50% cerámica, se toma el peso húmedo del agregado grueso de 22,39 kg en relación con el peso volumétrico de 1322,00 kg/m³ y de esta manera se obtiene un volumen de 0,02m³ de agregado grueso con la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen [m}^3\text{]} = \frac{\text{Peso húmedo [Kg]}}{\text{Peso volumétrico [kg/m}^3\text{]}}$$

De esta manera se obtiene el 50% del volumen del agregado grueso y con la misma ecuación y el peso volumétrico de la cerámica obtenido en laboratorio se logra un valor de la cerámica de 1421,00 kg/m³. El peso húmedo final para el agregado grueso es la diferencia entre el peso del agregado grueso y el peso de la cerámica teniendo como resultado 12,11 kg.

Tabla 47

Pesos volumétricos para mezcla con 50% de cerámica.

	Peso [Kg]	Peso volumétrico [Kg/m³]
Peso Húmedo agregado grueso	22,39	1322,00
Volumen agregado grueso [m ³]	0,02	
50% de volumen [m ³]	0,01	
Cerámica	12,11	1431,00
Agregado Grueso	10,28	

Nota. La tabla 45 indica los pesos volumétricos para la mezcla con 50% de cerámica y el peso de cerámica y el agregado grueso.

Dado el peso de la cerámica 12,11 kg se realiza la corrección a la humedad, en la tabla de resumen se establece para la cerámica un porcentaje de humedad de 0,04%, un porcentaje de absorción de agua de 6,49%, obteniendo un ajuste de agua de 10,22 kg.

Tabla 48

Agua final para el ajuste por humedad de la cerámica

	Cerámica
Peso seco [kg]	12,11
% Humedad	0,04
% Absorción de agua	6,49
Agua	-0,78
Agua final [kg]	10,22

Nota. En la tabla indica el agua final en kg de la cerámica para la respectiva corrección por humedad.

Una vez obtenido el peso húmedo final de los agregados y la cerámica con un porcentaje de 50% de cerámica se obtiene la siguiente tabla 49 de resumen.

Tabla 49

Peso húmedo de los componentes con 50% de cerámica

Materia	Peso húmedo	Unidad
Agua	10,22	kg
Cemento	35,02	kg
Arena	33,57	kg
Ripio	10,28	kg
Cerámica	12,11	kg

Nota. La tabla de resumen muestra los pesos en kg de los agregados, cerámica y agua para la dosificación de 50% cerámica.

Diseño de mezcla para probetas con 75% de cerámica

En la dosificación de 75% cerámica se procede a la elaboración de probetas que se calcula el peso de cada agregado en función del volumen de las probetas seleccionadas y las respectivas propiedades de los agregados y cerámica.

Tabla 50

Resumen de las propiedades de agregados gruesos y cerámica

Parámetro	Unidad	Agregados		
		Grueso	Fino	Cerámica
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	Kg/m ³	2520,00	2626,00	2379,00
Densidad relativa (gravedad específica) (sss)	Kg/m ³	2400,00	2518,00	2194,00
Densidad relativa (gravedad específica)	Kg/m ³	2322,00	2451,00	2061,00
Absorción de agua	%	3,38	2,71	6,49
Módulo de finura			2,81	
Tamaño máximo nominal	In	3/8		3/8
Humedad natural	%	1,30	4,50	0,04
Peso vol. Suelto	Kg/m ³	1207,00	1316,00	1373,00
Peso vol. Compacto	Kg/m ³	1322,00	1498,00	1431,00

Nota. En la tabla de resumen muestra las propiedades de los agregados y de la cerámica de los ensayos obtenidos en laboratorio.

En la elaboración de probetas se ocupó un total de 10 probetas, 4 probetas grandes con una altura de 30 cm, un diámetro de 15 cm y 6 probetas pequeñas con una altura de 20 cm y diámetro de 10 cm considerando un desperdicio del 5% se obtuvo un volumen de 0,03 m³.

Tabla 51

Cálculo de volumen m³

Probeta	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Desperdicio %	Número de cilindros	Volumen (m³)
Cilindro grande	30	15	5%	4	0,01
Cilindro pequeño	20	10	5%	6	0,002
Volumen total					0,03
m ³					

Nota. En la tabla indica el volumen total en m³ del cálculo de 4 probetas grandes y 6 probetas pequeñas, con un desperdicio de 5%.

En la siguiente tabla se muestra la masa seca para los componentes para 75% cerámica

Tabla 52

Masa seca de los componentes para 75% cerámica

Materia	Proporción	Masa Seca	Unidad
Agua	0,28	9,67	kg
Cemento	1,00	35,02	kg
Arena	1,10	33,57	kg
Ripio	0,79	22,39	kg

Nota. En la tabla se muestra la masa seca de cada componente.

Ajuste por humedad

Una de la razón que perjudican la cantidad de agua en la mezcla y consecuentemente la relación agua/cemento es que en obra los agregados pueden estar más húmedos o más secos que la condición superficie saturada seca, por esta razón se debe ajustar el agua como el peso de los agregados en relación al contenido de humedad y el porcentaje de absorción (Galeas & Guzmán, 2019).

Para el ajuste por humedad se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = M(H - Abs)$$

De la tabla de resumen, obteniendo una humedad de 4,47%, un peso seco de 32,14 kg y absorción de 2,71% para agregado fino; 1,27% de humedad 22,11 kg de peso seco y 3,38% de absorción para agregado grueso mediante la fórmula se obtiene el agua final para el ajuste por humedad.

Tabla 53

Agua final para el ajuste por humedad de los agregados

	Fino	Grueso
Peso seco [kg]	32,14	22,11
% Humedad	4,47	1,27
% Absorción de agua	2,71	3,38
Agua	0,56	-0,47
Agua final [kg]	9,67	

Nota. En la tabla indica el agua final en kg de los áridos fino y grueso para el respectivo ajuste por humedad.

Una vez calculado el agua final se procede a obtener el peso húmedo de cada componente, dando como resultado un peso húmedo para el cemento 35,02 kg, agregado fino 33,57 kg, agregado grueso 22,39 kg y agua 9,67 kg.

Tabla 54

Peso húmedo de cada componente

Materia	Peso húmedo	Unidad
Agua	9,67	kg
Cemento	35,02	kg
Arena	33,57	kg
Ripio	22,39	kg

Nota. En la tabla se detalla el peso húmedo de cada material ya tomando en cuenta el contenido de humedad.

Para la elaboración de probetas de 25% de grava y 75% cerámica, se toma el peso húmedo del agregado grueso de 22,39 kg en relación con el peso volumétrico de 1322,00 kg/m³ y de esta manera se obtiene un volumen de 0,02m³ de agregado grueso con la siguiente ecuación:

$$Volumen [m^3] = \frac{Peso\ húmedo [Kg]}{Peso\ volumétrico [kg/m^3]}$$

De esta manera se obtiene el 75% del volumen del agregado grueso y con la misma ecuación y el peso volumétrico de la cerámica obtenido en laboratorio se logra un valor de la cerámica de 18,17 kg. El peso húmedo final para el agregado grueso es la diferencia entre el peso del agregado grueso y el peso de la cerámica teniendo como resultado 4,22 kg.

Tabla 55*Pesos volumétricos para mezclas con 75% de cerámica*

	Peso	Peso volumétrico
	[Kg]	[Kg/m³]
Peso Húmedo agregado grueso	22,39	1322,00
Volumen agregado grueso [m ³]	0,02	
75% de volumen [m ³]	0,01	
Cerámica	18,17	1431,00
Agregado Grueso	4,22	

Nota. En la tabla 53 se indica los pesos volumétricos del agregado grueso y de la cerámica, con el cual se calcula el 75% de cerámica y se obtiene el peso húmedo total de agregado grueso y de cerámica.

Dado el peso de la cerámica 18,17 kg se realiza la corrección a la humedad, en la tabla de resumen se establece para la cerámica un porcentaje de humedad de 0,04%, un porcentaje de absorción de agua de 6,49%, obteniendo un ajuste de agua de 10,49 kg.

Tabla 56*Agua final para el ajuste por humedad de la cerámica*

	Cerámica
Peso seco [kg]	18,17
% Humedad	0,04
% Absorción de agua	6,49
Agua	-1,17
Agua final [kg]	10,49

Nota. En la tabla indica el agua final en kg de la cerámica para la respectiva corrección por humedad.

Una vez obtenido el peso húmedo final de los agregados y la cerámica con un porcentaje de 75% cerámica se obtiene la siguiente tabla de resumen.

Tabla 57

Peso húmedo de los componentes con 75% de cerámica

Materia	Peso húmedo	Unidad
Agua	10,49	kg
Cemento	35,02	kg
Arena	33,57	kg
Ripio	4,22	kg
Cerámica	18, 17	kg

Nota. La tabla de resumen muestra los pesos en kg de los agregados, cerámica y agua para la dosificación de 75% cerámica.

Elaboración de Cilindros

Los cilindros fueron elaborados para cada uno de las distintas dosificaciones, basándonos en la Norma INEN 1578 que hace referencia a determinación del asentamiento de hormigones y la Norma INEN 1576 que se basa en la elaboración y en el curado de los especímenes para ensayo. Calculada cada una de las diferentes dosificaciones, se procede a pesar lo necesario para la realización de la mezcla que se lo realiza en la concreteira, transcurrido algunos minutos se vacía el contenido en una carretilla, se toma la respectiva temperatura a la que se encuentra para a continuación realizar la determinación del asentamiento según lo indicado en las normas mencionadas.

Para la determinación del asentamiento se llena en 3 capas el cono truncado de Abrams, cada una a 1/3 de altura y se compacta cada capa con 25 golpes distribuidos en toda

el área con el uso de la varilla que tenga las siguientes características como recta, lisa, de acero, de 16 mm de diámetro y de 600 mm de longitud aproximadamente, teniendo en cada uno de los extremos una punta semiesférica.

Al llenar la capa superior, se debe mantener un excedente de hormigón sobre la parte superior antes de empezar la compactación y luego proceder a enrazar. Inmediatamente medir el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Si ocurre un desprendimiento o corte del hormigón de una parte o porción de la masa, desechar el ensayo y hacer un nuevo ensayo con otra porción de la muestra (NTE INEN, 2010).

Figura 8

Cono de Abrams: Determinación de Asentamiento.



Nota. Fotografía tomada en la determinación del Asentamiento. El asentamiento máximo de obtenida fue de 30 mm.

Luego de la determinación del asentamiento, se procede a la elaboración de las probetas de hormigón:

- 10 cilindros de 15 cm para la mezcla sin contenido de cerámica

- 6 cilindros de 10 cm y 4 de 15 cm para la mezcla con el 25% contenido de cerámica.
- 6 cilindros de 10 cm y 4 de 15 cm para la mezcla con el 50% contenido de cerámica.
- 6 cilindros de 10 cm y 4 de 15 cm para la mezcla con el 75% contenido de cerámica.

Concluido el ensayo de asentamiento, se procede a la elaboración de las probetas de hormigón que fueron cubiertos por una fina capa de aceite en su interior, para la facilidad del retiro de los moldes de nuestras probetas de hormigón. Con el resultado obtenido del ensayo de asentamiento de 30 mm, la norma nos recomienda el vibrado como el método de compactación, donde cada cilindro se lo llena en 2 capas. Para los cilindros de 15 cm se debe hacer 2 inserciones del vibrador con una duración de 5 segundos y para los cilindros de 10 cm se hace solo 1 inserción del vibrador con la misma duración de 5 segundos. Inmediatamente de cada inserción del vibrador, se golpea los cilindros con un mazo de goma para una mejor mezcla. Como último paso realizar el enrasado de cada uno de los especímenes, dejando una superficie lisa y sin depresiones.

Los especímenes se deben desmoldar a las 24 horas, procedimiento con su respectiva identificación del porcentaje de cerámica y colocación en el tanque de curado.

Figura 9

Proceso de Elaboración de cilindros de Hormigón.



(a)

(b)

Nota. a) Mezclado de materiales en la concreteira. b) Enrasado de los cilindros.

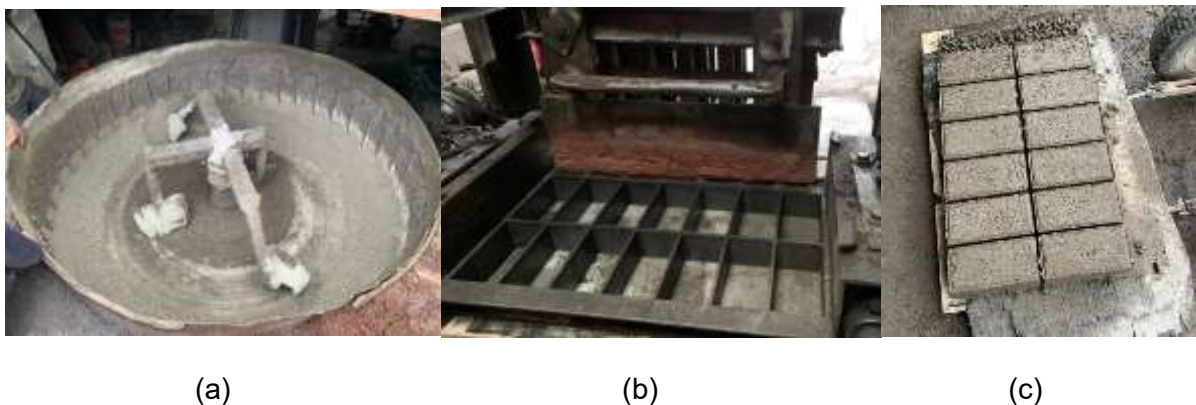
Elaboración de Adoquines

La elaboración de los adoquines se desarrolló en la Distribuidora de Adoquines y Bloques “Puente Negro”, ubicada en el sector de Alangasí, en la Av. Ilaló. Las muestras realizadas posteriormente fueron movilizadas al laboratorio de ensayo de suelos, pavimentos y hormigones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para realizar su curado.

Los adoquines fueron desarrollados para las distintas dosificaciones para unas dimensiones de 20x10x6 cm, donde como primer paso se pesó cada uno de los materiales para realizar la mezcla en el tambor de la máquina. Después de observar una mezcla homogénea, se traslada automáticamente el material por la banda hasta los moldes para realizar la respectiva compactación y vibración de los adoquines. Los adoquines resultantes son sacados para verificar su correcta realización y proceder a identificar cada uno con el porcentaje de cerámica que tiene en su mezcla para inmediatamente ser introducidos en el tanque de curado.

Figura 10

Proceso de Elaboración de adoquines de Hormigón.



Nota. a) Mezclado de materiales en el tambor de mezclado. b) Máquina de compactación. c) Resultado final de adoquines.

Capítulo IV: Análisis de Resultados

Probetas de Hormigón

Resistencia a la Compresión

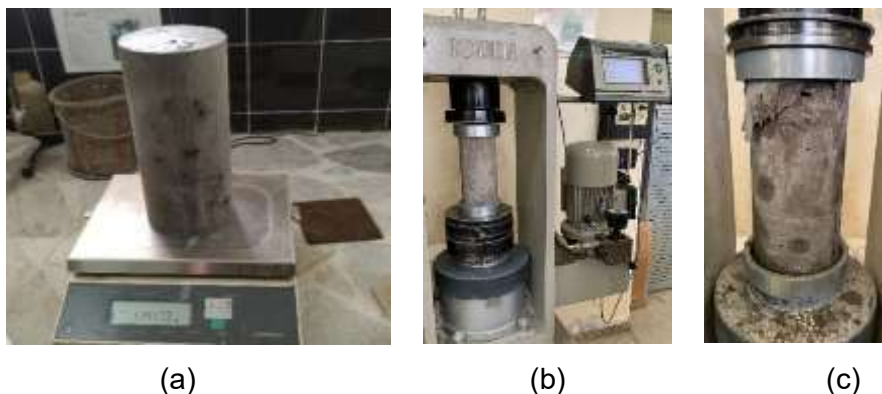
El ensayo de resistencia a la compresión fue realizado a todos los núcleos de hormigón con las distintas dosificaciones propuestas (0% cerámica, 25% de cerámica, 50% de cerámica, 75% de cerámica) en las diferentes edades posterior a su fundición de 4, 7, 14 y 28 días, ensayando 2 especímenes para los 4 días, 1 espécimen para 7 y 14 días y finalmente 6 especímenes para los 28 días de edad lo que dio un total de 40 núcleos de hormigón ensayados. Se procedió a retirar cada uno de los 40 núcleos de hormigón del tanque de curado para su secado y para la toma de los diferentes datos necesarios como su diámetro, altura y peso, los mismos que fueron ingresados en la máquina de compresión.

Luego se colocan cada uno de los cilindros lo más centrado posible entre los cabezales de acero, superior e inferior de carga, en conjunto con las placas de neopreno que facilita la distribución uniforme de la carga axial ejercida por la máquina de compresión, la cual va

incrementando su presión a una velocidad de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s continuamente hasta que ocurra la falla o fractura bien definida de la probeta (Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN 1573, 2010).

Figura 11

Ensayo de resistencia a la compresión.



Nota. a). Pesado de núcleo de hormigón. b) Probeta lista a ensayar entre los cabezales de carga. c) Probeta comprimida hasta la presencia de fractura.









A continuación, se resume los resultados del ensayo de compresión descrito para las distintas edades.

Tabla 58

Resultados de compresión a los 4 días.

	0% de cerámica		25% de cerámica		50% de cerámica		75% de cerámica	
Muestra no.	1	2	1	2	1	2	1	2
Peso [g]	11407,8	11861,3	3578,80	3546,40	3616,40	3531,90	3580,60	3600,90
Altura [cm]	30,00	30,70	20,50	20,40	20,60	20,20	20,40	20,60
Diámetro [cm]	15,14	15,20	10,22	10,30	10,24	10,17	10,28	10,28
Área [cm²]	180,03	181,46	82,03	83,32	82,35	81,23	83,00	83,00

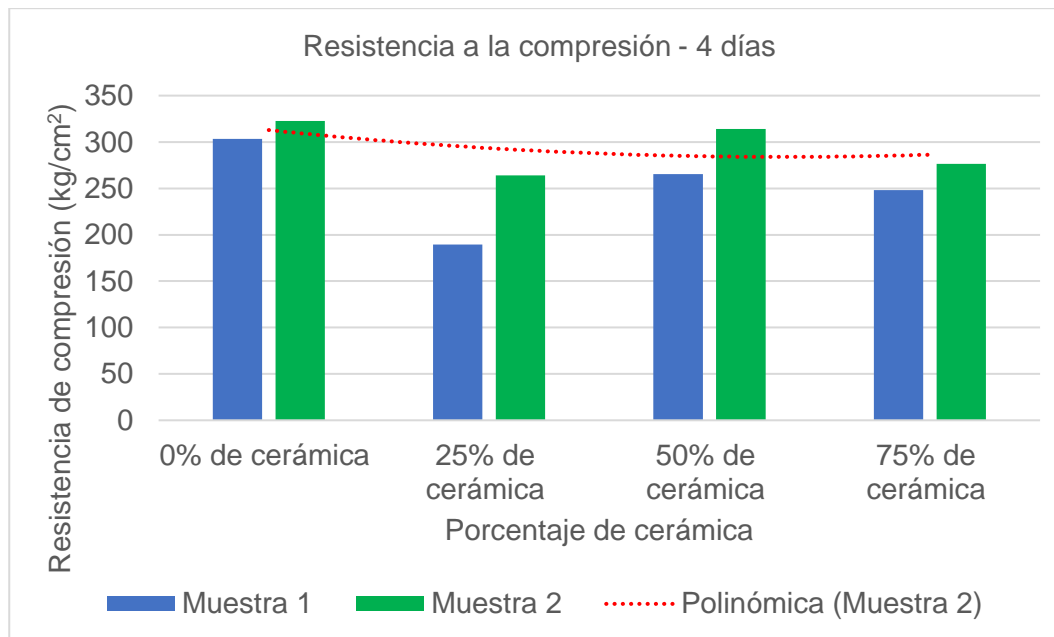
	0% de cerámica		25% de cerámica		50% de cerámica		75% de cerámica	
Muestra no.	1	2	1	2	1	2	1	2
Volumen								
[cm³]	5400,86	5570,77	1681,69	1699,79	1696,51	1640,90	1693,19	1709,79
Peso								
Volumétrico	2,11	2,13	2,13	2,09	2,13	2,15	2,11	2,11
[g/cm³]								
Carga [kg]	54614,0	57877,0	15556,0	21988,0	21859,0	25429,0	20605,0	22951,0
Resistencia								
Compresión	303,36	322,76	189,63	263,89	265,42	314,04	248,26	276,52
[kg/cm²]								
Tipo de Falla	Tipo 5. Fractura a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fractura a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fractura a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fractura a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fractura a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fractura a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fractura a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fractura a los lados en el extremo superior
Resistencia compresión Promedio								
[kg/cm²]	313,06		226,76		289,73		262,39	

	0% de cerámica		25% de cerámica		50% de cerámica		75% de cerámica	
Muestra no.	1	2	1	2	1	2	1	2
Figura								

Nota. La tabla muestra las resistencias obtenidas a los 4 días para las distintas dosificaciones.

Figura 12

Curva de resistencia a los 4 días de curado.



Nota. La gráfica de barras muestra la resistencia de compresión en relación al porcentaje de cerámica utilizado para las distintas dosificaciones de cilindros ensayados a los 4 días de edad.

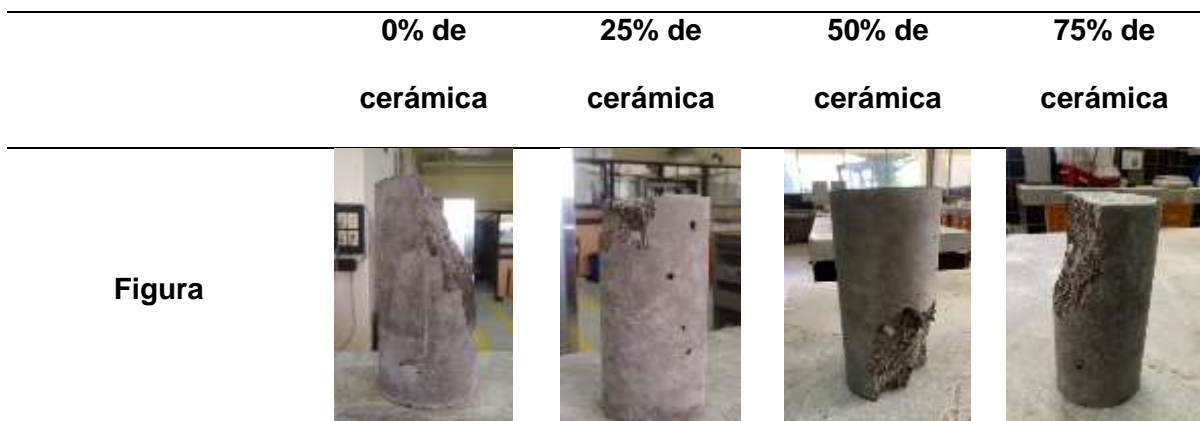
Los resultados obtenidos de los ensayos de compresión para el 4to día indican que, la resistencia a la compresión de las probetas de hormigón sin contenido de cerámica con una magnitud igual a 313,06 kg/cm² predominan sobre las demás en un 27,57% (86,30 kg/cm²) para una mezcla con 25% de residuos cerámicos, 7,45% (23,33 kg/cm²) para una mezcla con 50%

de cerámica y 16,19% (50,67 kg/cm²) para una mezcla con 75% de contenido de cerámica; sin embargo, se pudo evidenciar que los hormigones con 50% de cerámica destacan por tener una mayor resistencia entre aquellos hormigones que incluyen residuos cerámicos en su composición e incluso próximos a igualar en resistencia a las mezclas sin adición de cerámica.

Tabla 59

Resultados de compresión a los 7 días

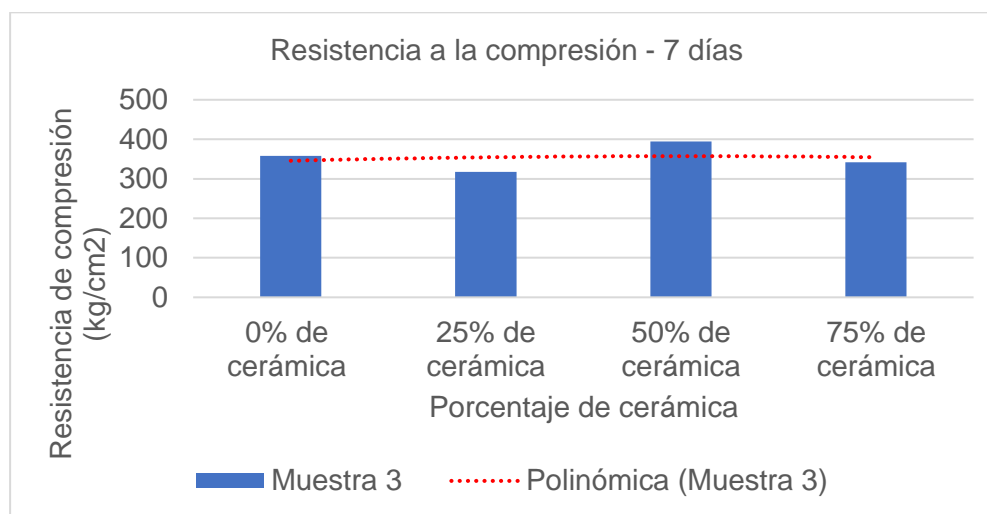
	0% de cerámica	25% de cerámica	50% de cerámica	75% de cerámica
Muestra No.	3	3	3	3
Peso [g]	11417,40	3580,90	3614,50	3594,40
Altura [cm]	29,90	20,40	20,50	20,60
Diámetro [cm]	14,92	10,32	10,24	10,28
Área [cm²]	174,83	83,65	82,35	83,00
Volumen [cm³]	5227,56	1706,39	1688,28	1709,79
Peso Volumétrico [g/cm³]	2,18	2,10	2,14	2,10
Carga [kg]	62578,00	26579,00	32458,00	28401,00
Resistencia Compresión [kg/cm²]	357,93	317,51	394,12	342,18
Tipo de Falla	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el fondo	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior



Nota. La tabla muestra las resistencias obtenidas a los 7 días para las distintas dosificaciones.

Figura 13

Curva de resistencia a los 7 días de curado.



Nota. La gráfica de barras muestra la resistencia de compresión en relación al porcentaje de cerámica utilizado para las distintas dosificaciones de cilindros ensayados a los 7 días de edad.

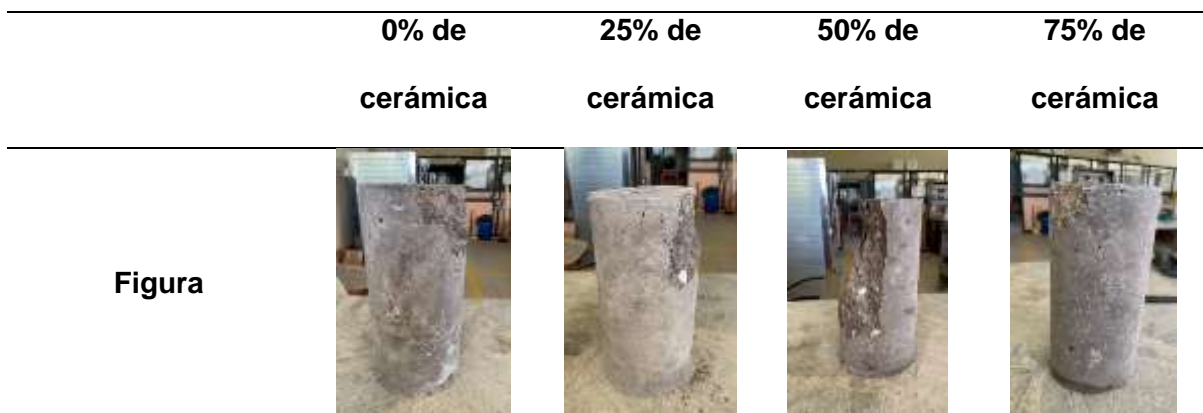
Los resultados obtenidos de los ensayos para el 7mo día mostraron un panorama distinto al anterior puesto que se pudo evidenciar la mayor resistencia a la compresión en la probeta de hormigón con adición de cerámica del 50% y cuya magnitud es igual a 394,12 kg/cm² contra 357,93 kg/cm² de la probeta de hormigón con ausencia de cerámica, lo que quiere decir que hubo un aumento de resistencia del 10,11%. Mientras que, por el contrario, se

manifestó una disminución de resistencia del -11,29% (40,42 kg/cm²) para una mezcla con 25% de residuos cerámicos y de -4,40% (15,75 kg/cm²) para una mezcla con 75% de contenido de cerámica comparándolos con la probeta de 0% de residuos cerámicos.

Tabla 60

Resultados de compresión a los 14 días.

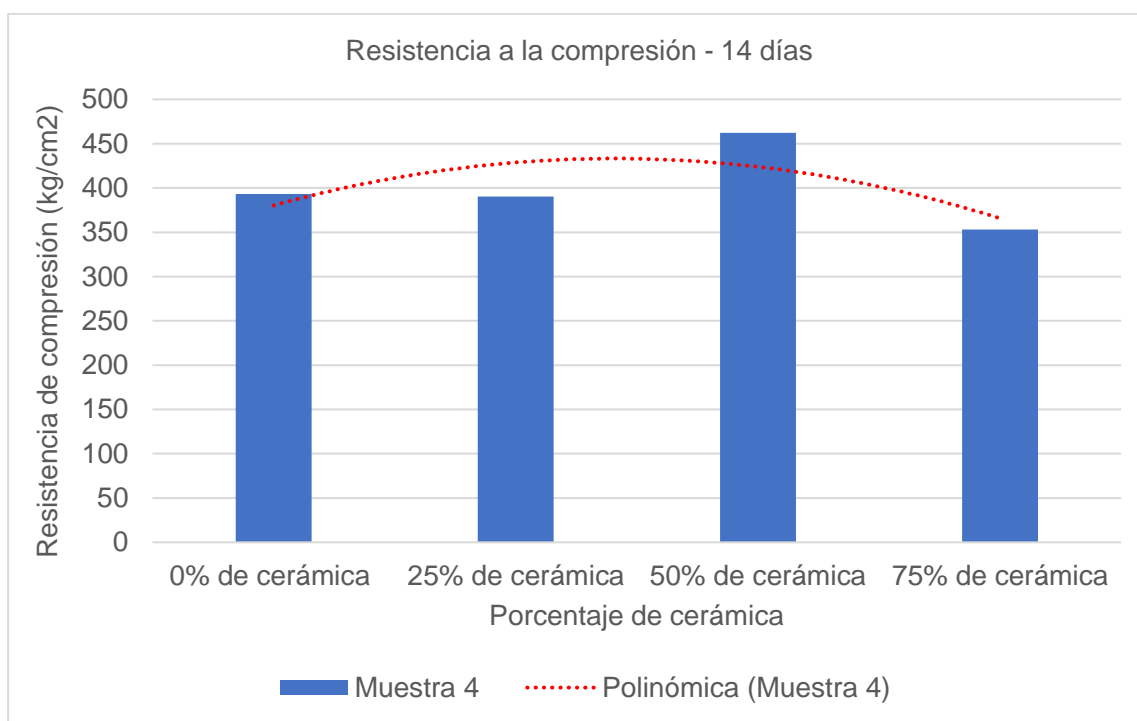
	0% de cerámica	25% de cerámica	50% de cerámica	75% de cerámica
Muestra No.	4	4	4	4
Peso [g]	11829,30	3580,10	3598,60	3595,00
Altura [cm]	30,10	20,30	20,40	20,30
Diámetro [cm]	15,02	10,29	10,20	10,29
Área [cm²]	177,19	83,16	81,71	83,16
Volumen [cm³]	5333,30	1688,17	1666,94	1688,17
Peso Volumétrico [g/cm³]	2,22	2,12	2,16	2,13
Carga [kg]	69652,00	32470,00	37761,00	29361,00
Resistencia Compresión [kg/cm²]	393,10	390,45	462,12	353,06
Tipo de Falla	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 2. Fisura vertical que recorre a través de la cabecera	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior



Nota. La tabla muestra las resistencias obtenidas a los 14 días para cilindros con distintos porcentajes de cerámica.

Figura 14

Curva de resistencia a los 14 días de curado.









Nota. La gráfica de barras muestra la resistencia de compresión en relación al porcentaje de cerámica utilizado para las distintas dosificaciones de cilindros ensayados a los 14 días de edad.

Los resultados obtenidos de los ensayos para el 14vo día mostraron un panorama similar a los ensayos del 7mo día, puesto que se pudo evidenciar nuevamente la mayor resistencia a la compresión en la probeta de hormigón con adición de cerámica del 50% y cuya magnitud es igual a 462,12 kg/cm² contra 393,10 kg/cm² de la probeta de hormigón con ausencia de cerámica, lo que quiere decir que hubo un aumento de resistencia del 17,56%. Mientras que, por el contrario, para una mezcla con 25% de residuos cerámicos se manifestó una disminución de resistencia del -0,67% (2,65 kg/cm²) y de -10,19% (40,04 kg/cm²) para una mezcla con 75% de contenido de cerámica comparándolos con la probeta de 0% de residuos cerámicos.

Tabla 61

Resultados de compresión a los 28 días con 0% de cerámica.

	0% de cerámica					
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Peso [g]	11686,80	12253,60	11611,30	11793,50	11763,30	11993,50
Altura [cm]	30,00	30,50	30,20	30,50	30,30	30,30
Diámetro [cm]	15,00	15,38	15,00	15,16	15,28	15,20
Área [cm²]	176,71	185,78	176,71	180,50	183,37	181,46
Volumen [cm³]	5301,44	5666,34	5336,78	5505,39	5556,22	5498,19
Peso Volumétrico [g/cm³]	2,20	2,16	2,18	2,14	2,12	2,18
Carga [kg]	84250,00	93299,00	79345,00	79956,00	91671,00	94063,00

0% de cerámica						
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Resistencia						
Compresión	476,76	502,20	449,00	442,96	499,91	518,37
[kg/cm²]						
Tipo de	Tipo 5.	Tipo 5.	Tipo 5.	Tipo 5.	Tipo 5.	Tipo 2.
Falla	Fracturas a los lados en el extremo superior	Fracturas a los lados en el extremo superior	Fracturas a los lados en el extremo superior	Fracturas a los lados en el extremo superior	Fracturas a los lados en el extremo superior	Fisura vertical que recorre a través de la cabecera
Resistencia a la Compresión Promedio				481,53		
[kg/cm²]						
Figura						







Nota. La tabla muestra las resistencias obtenidas a los 28 días para cilindros con 0% de cerámica.

Los resultados obtenidos de los ensayos de compresión a los 28 días para un total de 6 probetas de hormigón con 0% de cerámica en la composición de su mezcla muestran una resistencia a la compresión promedio de 481,53 kg/cm².

Tabla 62

Resultados de compresión a los 28 días con 25% de cerámica.

25% de cerámica						
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Peso [g]	11785,50	11522,30	11919,20	11994,40	3595,00	3617,40
Altura [cm]	30,50	30,10	30,60	30,40	20,40	20,50
Diámetro [cm]	15,14	15,10	15,30	15,30	10,10	10,20
Área [cm²]	180,03	179,08	183,85	183,85	80,12	81,71
Volumen [cm³]	5490,87	5390,27	5625,93	5589,16	1634,42	1675,11
Peso Volumétrico [g/cm³]	2,15	2,14	2,12	2,15	2,20	2,16
Carga [kg]	78517,00	73837,00	78742,00	90828,00	42273,00	50576,00
Resistencia Compresión [kg/cm²]	444,31	412,31	428,28	494,02	527,63	496,57
Tipo de Falla	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 3. Fisura vertical a través de ambos extremos, cono no muy bien definido	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior

25% de cerámica						
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Resistencia						
a la						
Compresión				467,19		
Promedio						
[kg/cm²]						
Figura						

Nota. La tabla muestra las resistencias obtenidas a los 28 días para cilindros con 25% de cerámica.

Los resultados obtenidos de los ensayos de compresión a los 28 días para un total de 6 probetas de hormigón con 25% de residuos cerámicos en la composición de su mezcla muestran una resistencia a la compresión promedio de 467,19 kg/cm².

Tabla 63

Resultados de compresión a los 28 días con 50% de cerámica.

50% de cerámica						
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Peso [g]	11373,80	11680,20	11890,90	11828,80	3517,40	3600,90
Altura [cm]	30,00	30,20	30,50	30,20	20,10	20,20
Diámetro						
[cm]	15,00	15,20	15,10	15,30	10,20	10,30
Área [cm²]	176,71	181,46	179,08	183,85	81,71	83,32

50% de cerámica						
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Volumen						
[cm³]	5301,44	5480,04	5461,90	5552,39	1642,43	1683,12
Peso						
Volumétrico	2,15	2,13	2,18	2,13	2,14	2,14
[g/cm³]						
Carga [kg]	89945,00	85907,00	82653,00	91287,00	40082,00	45606,00
Resistencia						
Compresión	508,99	473,42	461,54	496,52	490,52	547,34
[kg/cm²]						
Tipo de Falla	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 2. Fisura vertical que recorre a través de la cabecera	Tipo 3. Fisura vertical a través de ambos extremos, cono no muy bien definido
Resistencia a la Compresión Promedio				496,39		
[kg/cm²]						

50% de cerámica						
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Figura						







Nota. La tabla muestra las resistencias obtenidas a los 28 días para cilindros con 50% de cerámica.

Los resultados obtenidos de los ensayos de compresión a los 28 días para un total de 6 probetas de hormigón con 50% de residuos cerámicos en la composición de su mezcla muestran una resistencia a la compresión promedio de 496,39 kg/cm².

Tabla 64

Resultados de compresión a los 28 días con 75% de cerámica.

75% de cerámica						
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Peso [g]	11795,10	12020,10	11455,40	11781,60	3588,40	3549,60
Altura [cm]	30,50	30,40	30,00	30,50	20,60	20,20
Diámetro [cm]	15,20	15,30	15,10	15,20	10,10	10,10
Área [cm²]	181,46	183,85	179,08	181,46	80,12	80,12
Volumen [cm³]	5534,48	5589,16	5372,36	5534,48	1650,44	1618,39
Peso Volumétrico [g/cm³]	2,13	2,15	2,13	2,13	2,17	2,19

75% de cerámica						
Muestra No.	5	6	7	8	9	10
Carga [kg]	82769,00	86347,00	85088,00	87597,00	35769,00	38608,00
Resistencia						
Compresión	456,13	469,65	475,14	482,74	446,45	481,88
[kg/cm²]						
Tipo de Falla	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 2. Fisura vertical columnar a través de la cabecera	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior	Tipo 5. Fracturas a los lados en el extremo superior
Resistencia a la Compresión Promedio				468,67		
[kg/cm²]						
Figura						

Nota. La tabla muestra las resistencias obtenidas a los 28 días para cilindros con 75% de cerámica.

Los resultados obtenidos de los ensayos de compresión a los 28 días para un total de 6 probetas de hormigón con 75% de residuos cerámicos en la composición de su mezcla muestran una resistencia a la compresión promedio de 468,67 kg/cm².

Tabla 65

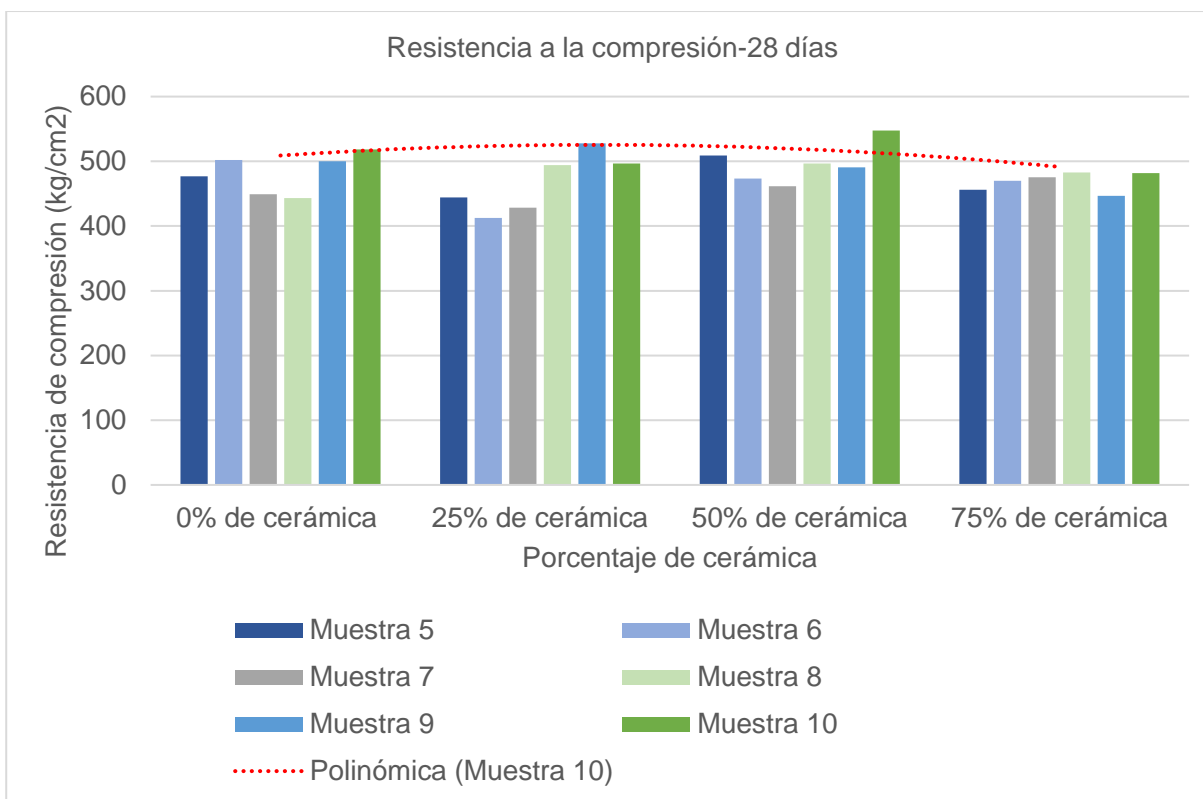
Resumen de ensayos de compresión a los 28 días.

	0% de cerámica	25% de cerámica	50% de cerámica	75% de cerámica
Resistencias				
a la				
compresión	481,53	467,19	496,39	468,67
promedio				
[kg/cm²]				

Nota. Se presentan las resistencias de compresión obtenidos a los 28 días para las distintas dosificaciones de contenido de cerámica.

Figura 15

Curva de resistencia a los 28 días de curado.

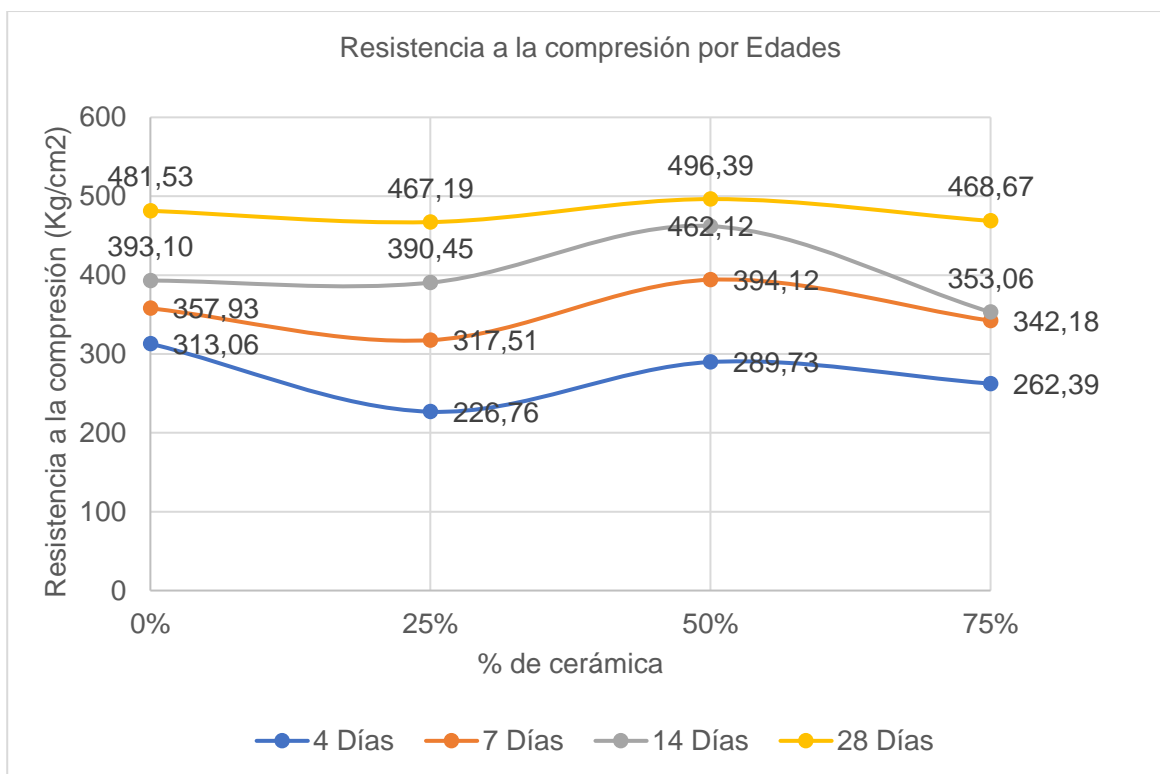


Nota. La gráfica de barras muestra la resistencia de compresión en relación al porcentaje de cerámica utilizado para las distintas dosificaciones de cilindros ensayados a los 28 días de edad.

Los resultados obtenidos de los ensayos para los 28 días de curado mostraron un panorama favorable para las probetas de hormigón con adición de cerámica del 50%, pues en ellas se pudo evidenciar la mayor resistencia a la compresión cuya magnitud es igual a 496,39 kg/cm² superando los 481,53 kg/cm² de las probetas de hormigón con ausencia de cerámica, lo que quiere decir que hubo un aumento de resistencia del 3,08%. Sin embargo, para una mezcla con 25% de residuos cerámicos se manifestó una disminución de resistencia del -2,98% (14,35 kg/cm²) y de -2,67% (12,87 kg/cm²) para una mezcla con 75% de contenido de cerámica comparándolos con las probetas de 0% de residuos cerámicos.

Figura 16

Curvas de resistencia a la compresión por edades de curado



Nota. La gráfica muestra el aumento progresivo de resistencia de compresión para los hormigones con 50% de cerámica con respecto a los hormigones sin adición de cerámica a medida que alcanzan una edad de 28 días.

Tabla 66

Resumen de resultados de resistencia a la compresión.

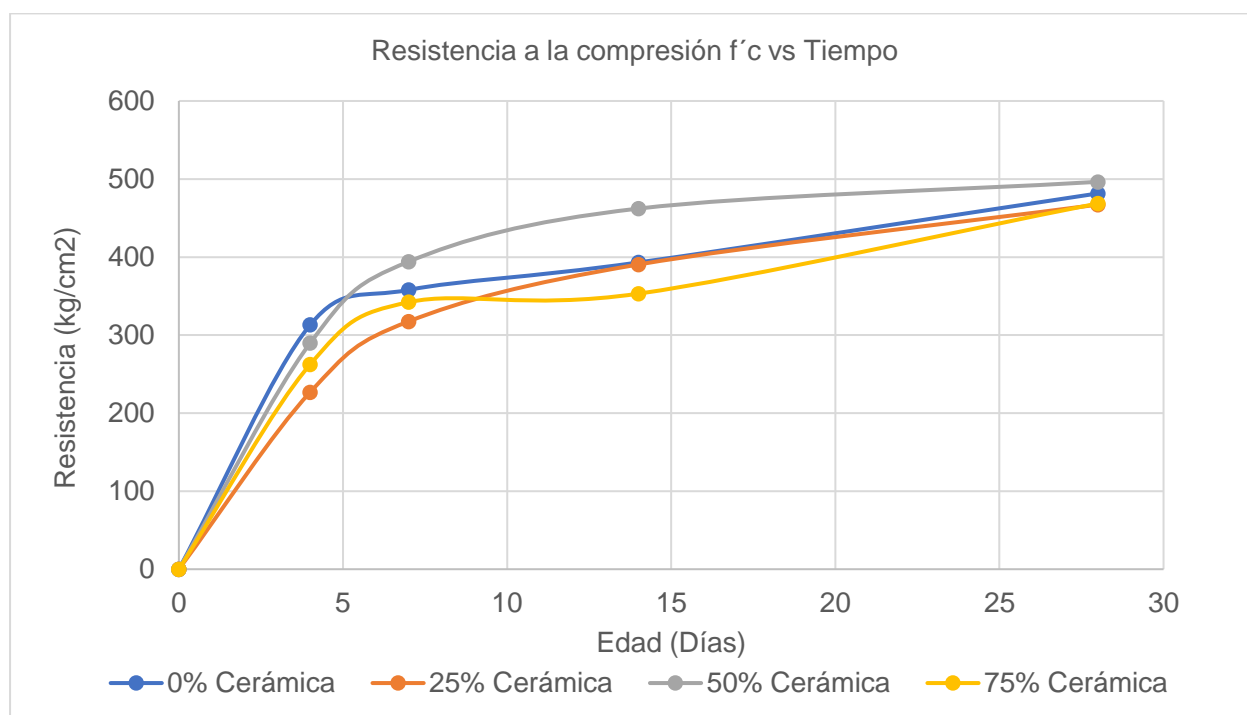
Edad (días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			
	0%	25%	50%	75%
	Cerámica	Cerámica	Cerámica	Cerámica
0	0,00	0,00	0,00	0,00
4	313,06	226,76	289,73	262,39
7	357,93	317,51	394,12	342,18

Resistencia a la compresión (kg/cm ²)				
Edad (días)	0%	25%	50%	75%
	Cerámica	Cerámica	Cerámica	Cerámica
14	393,10	390,45	462,12	353,06
28	481,53	467,19	496,39	468,67

Nota. Se presenta el resumen de las resistencias a la compresión obtenidas para cada dosificación propuesta y para las diferentes edades.

Figura 17

Curvas de resistencia a la compresión por dosificación y tiempo de curado.



Nota. La gráfica muestra el aumento de resistencia de compresión para los hormigones con distintos porcentajes de cerámica a medida que alcanzan una edad de 28 días.

Módulo de Elasticidad

La propiedad mecánica que ayuda a determinar el comportamiento elástico del hormigón es el módulo estático de elasticidad, el mismo que puede ser obtenido de forma

experimental mediante la aplicación de cargas conocidas sobre una probeta de hormigón para evaluar las relaciones deformación longitudinal-transversal (Coeficiente de Poisson) y esfuerzo-deformación (Módulo de Young) (Sánchez Oñate et al., 2020).

El procedimiento para determinar el módulo de elasticidad de los cilindros de hormigón con las diferentes dosificaciones fue el que se indica en la norma ASTM C469-94. Se toma la probeta a ensayarse y se procede a colocar aproximadamente en la mitad del espécimen el equipo de abrazaderas metálicas las cuales se unen mediante pivotes roscables, se ajustan los deformímetros compresor y extensor para medir la deformación vertical y transversal respectivamente mientras se aplica una carga gradualmente para que, posteriormente se vayan recopilando los datos (carga, deformación vertical, deformación transversal) mediante tres observadores.

Figura 18

Ensayo de módulo de elasticidad.



Nota. a). Colocación de equipo para ensayo en cilindro de hormigón. b) Probeta lista a ensayarse entre los cabezales de carga. c) Toma de datos de deformaciones y carga.

La expresión que la (American Society for Testing and Materials., 2014) establece para el cálculo del módulo de elasticidad (1) y la relación de Poisson (2) son las que se indican a continuación:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (1)$$

Donde:

σ_2 = 40% del esfuerzo máximo que resiste la probeta de hormigón.

σ_1 = esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0,000050.

ε_2 = es la deformación longitudinal que ocurre para el esfuerzo de σ_2 .

$$\mu = \frac{\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1}}{\varepsilon_2 - 0,000050} \quad (2)$$

m = relación de Poisson

ε_{t2} = deformación transversal a media altura del espécimen, producida por el esfuerzo σ_2

ε_{t1} = deformación transversal a media altura del espécimen, producida por el esfuerzo σ_1

Ensayo de módulo de elasticidad para probetas sin adición de cerámica

En la siguiente Tabla No 67 se presentan los parámetros geométricos de 2 cilindros sin adición de cerámica para el cálculo de módulo estático de elasticidad y coeficiente de Poisson.

Tabla 67

Parámetros geométricos de los cilindros y esfuerzos con 0% de cerámica.

	Dimensiones del cilindro		Área probeta (cm ²)	Esfuerzo a la ruptura (Kg/ cm ²)		Esfuerzo al 40% (Kg/cm ²)
	Altura (cm)	Diámetro (cm)		Carga (Kg) 40%		
Muestra 1	30,30	15,20	181,46	518,40	37625,20	207,35
Muestra 2	30,50	15,16	180,51	443,00	31982,40	177,18

Nota. En la tabla adicionalmente se presentan los esfuerzos a la ruptura y los esfuerzos correspondientes al 40% de los esfuerzos máximos.

Tabla 68

Coefficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 1 de hormigón con 0% de cerámica.

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/ cm²)	Deformación		Coefficiente de Poisson
		unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	
413	2,276	0,0000000	0,0000000	0,000
1425	7,853	0,0000165	0,0000000	0,000
1940	10,691	0,0000330	0,0000000	0,000
2700	14,879	0,0000495	0,0000000	0,000
3490	19,233	0,0000660	0,0000000	0,000
4600	25,350	0,0000825	0,0000066	0,080
5430	29,924	0,0000990	0,0000066	0,066
6130	33,782	0,0001155	0,0000132	0,114
6830	37,639	0,0001320	0,0000197	0,150
7430	40,946	0,0001485	0,0000263	0,177
8300	45,741	0,0001650	0,0000263	0,159
9970	54,944	0,0001980	0,0000329	0,166
11830	65,194	0,0002310	0,0000461	0,199
13620	75,059	0,0002640	0,0000658	0,249
15025	82,801	0,0002970	0,0000724	0,244
16890	93,079	0,0003300	0,0000789	0,239
20230	111,486	0,0004125	0,0000921	0,223
23980	132,152	0,0004950	0,0001250	0,253
27240	150,117	0,0005776	0,0001382	0,239

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
30240	166,650	0,0006601	0,0001513	0,229
33330	183,678	0,0007426	0,0001776	0,239
36240	199,715	0,0008251	0,0001908	0,231
39525	217,819	0,0009076	0,0002303	0,254

Nota. Se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones y coeficiente de Poisson para la muestra 1 con 0% de cerámica.

Como indica la ecuación (1), para determinar el módulo de elasticidad es necesario calcular el esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,000050$, por lo tanto, se procede a realizar una interpolación con los siguientes valores para cada uno de los cilindros ensayados.

Tabla 69

Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,000050$, cilindro 1.

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/ cm ²)
0,0000495	14,88
0,0000500	X
0,0000660	19,23

Nota.

Mediante los valores de la anterior Tabla No 69 se calculó el esfuerzo igual a $\sigma_1 = 15,01 \text{ kg/cm}^2$ para una deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0,000050$ como indica la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = 14,88 + (0,00005 - 0,0000495) * \frac{19,23 - 14,88}{0,000066 - 0,0000495} = 15,01 \text{ kg/cm}^2$$

De forma similar, para un esfuerzo $\sigma_2 = 207,35 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% del esfuerzo máximo se obtuvo una deformación longitudinal $\varepsilon_2 = 0,000859$ como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_2 = 0,000825 + (207,35 - 199,72) * \frac{0,000908 - 0,000825}{217,82 - 199,72} = 0,000859$$

Con estos valores determinados, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para el cilindro 1 como se expresa a continuación.

$$E = \frac{207,35 - 15,01}{0,000859 - 0,00005} = 237492,29 \text{ kg/cm}^2$$

Para determinar el coeficiente de Poisson se puede utilizar la ecuación (2) la cual relaciona deformaciones transversales, sin embargo, se aplicó una interpolación con los datos indicados en la Tabla No 70 para encontrar el módulo de Poisson con un esfuerzo $\sigma_2 = 207,35 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% de la carga máxima de rotura.

Tabla 70

Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.

Esfuerzo (kg/cm²)	Coeficiente de Poisson
199,715	0,231
207,349	x
217,819	0,254

Nota.

Se obtuvo un coeficiente de Poisson $\mu = 0,241$ como se indica en la siguiente expresión:

$$\mu = 0,231 + (207,349 - 199,715) * \frac{0,254 - 0,231}{217,819 - 199,715} = 0,241$$

Tabla 71

Coefficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 2 de hormigón con 0% de cerámica.

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/ cm²)	Deformación		Coefficiente de Poisson
		unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	
458	2,537	0,0000000	0,0000000	0,000
806	4,465	0,0000164	0,0000000	0,000
1595	8,836	0,0000328	0,0000000	0,000
2163	11,983	0,0000492	0,0000000	0,000
2892	16,022	0,0000656	0,0000000	0,000
3630	20,110	0,0000820	0,0000066	0,080
4232	23,445	0,0000984	0,0000132	0,134
4910	27,202	0,0001148	0,0000198	0,172
5580	30,913	0,0001311	0,0000264	0,201
6233	34,531	0,0001475	0,0000330	0,224
6870	38,060	0,0001639	0,0000396	0,241
8215	45,511	0,0001967	0,0000462	0,235
9590	53,129	0,0002295	0,0000528	0,230
10760	59,611	0,0002623	0,0000594	0,226
11920	66,037	0,0002951	0,0000726	0,246
13215	73,211	0,0003279	0,0000792	0,241
15900	88,086	0,0004098	0,0000923	0,225
18750	103,875	0,0004918	0,0001187	0,241
21750	120,496	0,0005738	0,0001451	0,253

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
24430	135,343	0,0006557	0,0001517	0,231
26900	149,027	0,0007377	0,0001649	0,224
29720	164,650	0,0008197	0,0001781	0,217
32500	180,051	0,0009016	0,0001913	0,212
35560	197,003	0,0009836	0,0002177	0,221

Nota. Se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones y coeficiente de Poisson para la muestra 2 con 0% de cerámica.

Tabla 72

Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 2.

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0,0000492	11,98
0,0000500	x
0,0000660	16,02

Nota.

Mediante los valores de la anterior Tabla No 72 se calculó el esfuerzo igual a $\sigma_1 = 12,19 \text{ kg/cm}^2$ para una deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0,00005$ como indica la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = 11,98 + (0,000050 - 0,0000492) * \frac{16,02 - 11,98}{0,000066 - 0,0000492} = 12,19 \text{ kg/cm}^2$$

De forma similar, para un esfuerzo $\sigma_2 = 177,18 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% del esfuerzo máximo se obtuvo una deformación longitudinal $\varepsilon_2 = 0,000886$ como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_2 = 0,000820 + (177,18 - 164,65) * \frac{0,000902 - 0,000820}{180,051 - 164,65} = 0,000886$$

Con estos valores determinados, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para el cilindro 2 como se expresa a continuación.

$$E = \frac{177,18 - 12,19}{0,000886 - 0,00005} = 197277,14 \text{ kg/cm}^2$$

Para determinar el coeficiente de Poisson se aplicó una interpolación con los datos indicados en la Tabla No 73 para encontrar el módulo de Poisson con un esfuerzo $\sigma_2 = 177,18 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% de la carga máxima de rotura.

Tabla 73

Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 2.

Esfuerzo (kg/cm²)	Coeficiente de Poisson
164,650	0,217
177,183	X
180,051	0,212

Nota.

Se obtuvo un coeficiente de Poisson $\mu = 0,213$ como se indica en la siguiente expresión:

$$\mu = 0,217 + (177,183 - 164,650) * \frac{0,212 - 0,217}{180,051 - 164,650} = 0,213$$

Ensayo de módulo de elasticidad para probetas con 25% de cerámica

En la siguiente Tabla No 74 se presentan los parámetros geométricos de 2 cilindros con 25% de cerámica para el cálculo de módulo estático de elasticidad y coeficiente de Poisson.

Tabla 74

Parámetros geométricos de los cilindros y esfuerzos con 25% de cerámica.

	Dimensiones del cilindro		Área probeta (cm ²)	Esfuerzo		Esfuerzo al 40% (kg/cm ²)
	Altura (cm)	Diámetro (cm)		a la ruptura (kg/cm ²)	Carga (Kg) 40%	
Muestra 1	30,10	15,10	179,08	412,30	29534,80	164,93
Muestra 2	30,40	15,30	183,85	494,00	36331,20	197,61

Nota. En la tabla adicionalmente se presentan los esfuerzos a la ruptura y los esfuerzos correspondientes al 40% de los esfuerzos máximos.

Siguiendo el proceso anterior, para probetas con 25% de cerámica, es necesario calcular el esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,000050$, por lo tanto, se procede a realizar una interpolación con los siguientes valores para cada uno de los cilindros ensayados.

Tabla 75

Coefficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 1 de hormigón con 25% de cerámica.

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria vertical (mm/mm)	Deformación		Coeficiente de poisson
			unitaria horizontal (mm/mm)		
424	2,368	0,000000	0,000000		0,000

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria vertical (mm/mm)	Deformación	
			unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de poisson
1051	5,869	0,0000166	0,0000000	0,000
1750	9,772	0,0000332	0,0000000	0,000
2520	14,072	0,0000498	0,0000066	0,133
3270	18,260	0,0000664	0,0000132	0,199
3890	21,722	0,0000831	0,0000132	0,159
4520	25,240	0,0000997	0,0000199	0,199
5190	28,982	0,0001163	0,0000199	0,171
6151	34,348	0,0001329	0,0000265	0,199
7023	39,217	0,0001495	0,0000331	0,221
7720	43,110	0,0001661	0,0000331	0,199
9460	52,826	0,0001993	0,0000397	0,199
11670	65,167	0,0002326	0,0000464	0,199
12760	71,254	0,0002658	0,0000596	0,224
14000	78,178	0,0002990	0,0000662	0,221
16570	92,529	0,0003322	0,0000795	0,239
21570	120,450	0,0004153	0,0000861	0,207
24890	138,989	0,0004983	0,0001060	0,213
27300	152,447	0,0005814	0,0001192	0,205
31740	177,241	0,0006645	0,0001391	0,209
34270	191,368	0,0007475	0,0001523	0,204
38070	212,588	0,0008306	0,0001722	0,207

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		Coeficiente de poisson
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	
46979	262,337	0,0009136	0,0001854	0,203

Nota. Se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones y coeficiente de Poisson para la muestra 1 con 25% de cerámica.

Tabla 76

Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 1.

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0,0000498	14,07
0,0000500	X
0,0000660	18,26

Nota.

Mediante los valores de la anterior Tabla No 76 se calculó el esfuerzo igual a $\sigma_1 = 14,11 \text{ kg/cm}^2$ para una deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0,000050$ como indica la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = 14,07 + (0,000050 - 0,0000498) * \frac{18,26 - 14,07}{0,000066 - 0,0000498} = 14,11 \text{ kg/cm}^2$$

De forma similar, para un esfuerzo $\sigma_2 = 164,93 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% del esfuerzo máximo se obtuvo una deformación longitudinal $\varepsilon_2 = 0,000623$ como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_2 = 0,000581 + (164,93 - 152,45) * \frac{0,000664 - 0,000581}{177,24 - 152,45} = 0,000623$$

Con estos valores determinados, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para el cilindro 1 como se expresa a continuación.

$$E = \frac{164,93 - 14,11}{0,000623 - 0,00005} = 263106,08 \text{ kg/cm}^2$$

Seguidamente, para determinar el coeficiente de Poisson se aplicó una interpolación con los datos indicados en la Tabla No 77 para encontrar el módulo de Poisson con un esfuerzo $\sigma_2 = 164,93 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% de la carga máxima de rotura.

Tabla 77

Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.

Esfuerzo (kg/cm²)	Coeficiente de Poisson
152,447	0,205
164,926	X
177,241	0,209

Nota.

Se obtuvo un coeficiente de Poisson $\mu = 0,207$ como se indica en la siguiente expresión:

$$\mu = 0,205 + (164,926 - 152,447) * \frac{0,209 - 0,205}{177,241 - 152,447} = 0,207$$

Tabla 78

Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 2 de hormigón con 25% de cerámica.

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria vertical (mm/mm)	Deformación		Coeficiente de Poisson
			unitaria horizontal (mm/mm)		
503	2,736	0,000000	0,000000		0,000

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación		
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
1012	5,504	0,0000164	0,0000000	0,000
1838	9,997	0,0000329	0,0000000	0,000
2558	13,913	0,0000493	0,0000065	0,132
3370	18,330	0,0000658	0,0000131	0,199
4238	23,051	0,0000822	0,0000131	0,159
4895	26,624	0,0000987	0,0000196	0,199
5630	30,622	0,0001151	0,0000261	0,227
6370	34,647	0,0001316	0,0000261	0,199
7155	38,917	0,0001480	0,0000327	0,221
8030	43,676	0,0001645	0,0000392	0,238
9420	51,236	0,0001974	0,0000523	0,265
10820	58,851	0,0002303	0,0000588	0,255
12230	66,520	0,0002632	0,0000588	0,224
13550	73,700	0,0002961	0,0000654	0,221
15230	82,838	0,0003289	0,0000719	0,219
18993	103,305	0,0004112	0,0000784	0,191
22194	120,715	0,0004934	0,0000915	0,185
25580	139,13	0,0005757	0,0001046	0,18
28530	155,18	0,0006579	0,0001242	0,19
31989	173,99	0,0007401	0,0001373	0,19
34300	186,56	0,0008224	0,0001438	0,18

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
39540	215,06	0,0009046	0,0001634	0,18

Nota. Se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones y coeficiente de Poisson para la muestra 2 con 25% de cerámica.

Tabla 79

Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 2.

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0,0000493	13,91
0,0000500	x
0,0000660	18,33

Nota.

Mediante los valores de la anterior Tabla No 79 se calculó el esfuerzo igual a $\sigma_1 = 14,09 \text{ kg/cm}^2$ para una deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0,000050$ como indica la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = 13,91 + (0,000050 - 0,0000493) * \frac{18,33 - 13,91}{0,000066 - 0,0000493} = 14,09 \text{ kg/cm}^2$$

De forma similar, para un esfuerzo $\sigma_2 = 197,61 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% del esfuerzo máximo se obtuvo una deformación longitudinal $\varepsilon_2 = 0,000854$ como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_2 = 0,000822 + (197,61 - 186,56) * \frac{0,000905 - 0,000822}{215,06 - 186,56} = 0,000854$$

Con estos valores determinados, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para el cilindro 2 como se expresa a continuación.

$$E = \frac{197,61 - 14,09}{0,000854 - 0,00005} = 228187,89 \text{ kg/cm}^2$$

Para determinar el coeficiente de Poisson se aplicó una interpolación con los datos indicados en la Tabla No 80 para encontrar el módulo de Poisson con un esfuerzo $\sigma_2 = 197,61 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% de la carga máxima de rotura.

Tabla 80

Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 2.

Esfuerzo (kg/cm²)	Coeficiente de Poisson
186,561	0,175
197,609	X
215,062	0,181

Nota.

Se obtuvo un coeficiente de Poisson $\mu = 0,177$ como se indica en la siguiente expresión:

$$\mu = 0,175 + (197,609 - 186,561) * \frac{0,181 - 0,175}{215,062 - 186,561} = 0,177$$

Ensayo de módulo de elasticidad para probetas con 50% de cerámica

En la siguiente Tabla No 81 se presentan los parámetros geométricos de 2 cilindros con 50% de cerámica para el cálculo de módulo estático de elasticidad y coeficiente de Poisson.

Tabla 81

Parámetros geométricos de los cilindros y esfuerzos con 50% de cerámica.

	Dimensiones del cilindro		Área probeta (cm ²)	Esfuerzo		Esfuerzo al 40% (kg/cm ²)
	Altura (cm)	Diámetro (cm)		a la ruptura (kg/cm ²)	Carga (Kg) 40%	
Muestra 1	30,20	15,20	181,46	473,40	34362,80	189,37
Muestra 2	30,50	15,10	179,08	461,50	33061,20	184,62

Nota. En la tabla adicionalmente se presentan los esfuerzos a la ruptura y los esfuerzos correspondientes al 40% de los esfuerzos máximos.

Seguidamente, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para probetas con 50% de cerámica, para lo cual es necesario calcular el esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,000050$, por lo tanto, se procede a realizar una interpolación con los siguientes valores para cada uno de los cilindros ensayados.

Tabla 82

Coefficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 1 de hormigón con 50% de cerámica en su mezcla.

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria vertical (mm/mm)	Deformación	
			unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
616	3,395	0,0000000	0,0000000	0,000
1198	6,602	0,0000166	0,0000000	0,000
1915	10,553	0,0000331	0,0000066	0,199
2740	15,100	0,0000497	0,0000066	0,132

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		Coeficiente de Poisson
		unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	
3490	19,233	0,0000662	0,0000132	0,199
4260	23,476	0,0000828	0,0000132	0,159
5000	27,555	0,0000993	0,0000197	0,199
5875	32,377	0,0001159	0,0000263	0,227
6580	36,262	0,0001325	0,0000263	0,199
7600	41,883	0,0001490	0,0000329	0,221
8000	44,087	0,0001656	0,0000395	0,238
9886	54,481	0,0001987	0,0000461	0,232
10980	60,510	0,0002318	0,0000461	0,199
12420	68,445	0,0002649	0,0000592	0,224
13850	76,326	0,0002980	0,0000658	0,221
15270	84,152	0,0003311	0,0000724	0,219
18570	102,338	0,0004139	0,0000789	0,191
21900	120,689	0,0004967	0,0000921	0,185
25460	140,308	0,0005795	0,0001118	0,193
28890	159,210	0,0006623	0,0001382	0,209
31570	173,979	0,0007450	0,0001579	0,212
35270	194,370	0,0008278	0,0001842	0,223
36200	199,495	0,0009106	0,0001974	0,217
39400	217,130	0,0009934	0,0002105	0,212

Nota. Se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones y coeficiente de Poisson para la muestra 1 con 50% de cerámica.

Tabla 83

Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 1.

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0,0000497	15,10
0,0000500	X
0,0000660	19,23

Nota.

Mediante los valores de la anterior Tabla No 83 se calculó el esfuerzo igual a $\sigma_1 = 15,18 \text{ kg/cm}^2$ para una deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0,00005$ como indica la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = 15,10 + (0,00005 - 0,0000497) * \frac{19,23 - 15,10}{0,000066 - 0,0000497} = 15,18 \text{ kg/cm}^2$$

De forma similar, para un esfuerzo $\sigma_2 = 189,37 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% del esfuerzo máximo se obtuvo una deformación longitudinal $\varepsilon_2 = 0,000808$ como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_2 = 0,000745 + (189,37 - 173,98) * \frac{0,000828 - 0,000745}{194,37 - 173,98} = 0,000808$$

Con estos valores determinados, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para el cilindro 1 como se expresa a continuación.

$$E = \frac{189,37 - 15,18}{0,000808 - 0,00005} = 229945,32 \text{ kg/cm}^2$$

Posteriormente, se aplicó una interpolación con los datos indicados en la Tabla No 82 para encontrar el módulo de Poisson con un esfuerzo $\sigma_2 = 189,37 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% de la carga máxima de rotura.

Tabla 84

Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.

Esfuerzo (kg/cm²)	Coeficiente de Poisson
173,979	0,212
189,370	X
194,370	0,223

Nota.

Se obtuvo un coeficiente de Poisson $\mu = 0,220$ como se indica en la siguiente expresión:

$$\mu = 0,212 + (189,370 - 173,979) * \frac{0,223 - 0,212}{194,370 - 173,979} = 0,220$$

Tabla 85

Coeficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 2 de hormigón con 50% de cerámica.

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria vertical (mm/mm)	Deformación	
			unitaria horizontal (mm/mm)	Coeficiente de Poisson
439	2,451	0,000000	0,000000	0,000
1138	6,355	0,0000164	0,000000	0,000
1975	11,029	0,0000328	0,0000066	0,202
2680	14,965	0,0000492	0,0000132	0,269
3459	19,316	0,0000656	0,0000132	0,202
4178	23,331	0,0000820	0,0000199	0,242
4938	27,574	0,0000984	0,0000199	0,202
5450	30,434	0,0001148	0,0000265	0,231

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
6238	34,834	0,0001311	0,0000331	0,252
6970	38,921	0,0001475	0,0000397	0,269
7560	42,216	0,0001639	0,0000464	0,283
9178	51,251	0,0001967	0,0000530	0,269
10345	57,768	0,0002295	0,0000596	0,260
11805	65,921	0,0002623	0,0000662	0,252
12240	68,350	0,0002951	0,0000795	0,269
14520	81,082	0,0003279	0,0000861	0,263
17780	99,286	0,0004098	0,0001060	0,259
21680	121,064	0,0004918	0,0001126	0,229
24850	138,766	0,0005738	0,0001258	0,219
27230	152,056	0,0006557	0,0001391	0,212
30240	168,864	0,0007377	0,0001457	0,197
33755	188,493	0,0008197	0,0001722	0,210

Nota. A continuación, se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones y coeficiente de Poisson para la muestra 2 con 50% de cerámica.

Tabla 86

Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 2.

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0,0000492	14,97
0,0000500	X
0,0000660	19,32

Nota.

Mediante los valores de la anterior Tabla No 86 se calculó el esfuerzo igual a $\sigma_1 = 15,18 \text{ kg/cm}^2$ para una deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0,000050$ como indica la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = 14,97 + (0,000050 - 0,0000492) * \frac{19,32 - 14,97}{0,000066 - 0,0000492} = 15,18 \text{ kg/cm}^2$$

De forma similar, para un esfuerzo $\sigma_2 = 184,62 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% del esfuerzo máximo se obtuvo una deformación longitudinal $\varepsilon_2 = 0,000803$ como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_2 = 0,000803 + (184,62 - 168,86) * \frac{0,000820 - 0,000738}{188,49 - 168,86} = 0,000803$$

Con estos valores determinados, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para el cilindro 2 como se expresa a continuación.

$$E = \frac{184,62 - 15,183}{0,000803 - 0,00005} = 224866,45 \text{ kg/cm}^2$$

Seguidamente, se aplicó una interpolación con los datos indicados en la Tabla No 85 para encontrar el módulo de Poisson con un esfuerzo $\sigma_2 = 184,62 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% de la carga máxima de rotura.

Tabla 87

Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 2.

Esfuerzo (kg/cm²)	Coeficiente de Poisson
168,864	0,197
184,618	X
188,493	0,210

Nota.

Se obtuvo un coeficiente de Poisson $\mu = 0,208$ como se indica en la siguiente expresión:

$$\mu = 0,197 + (184,618 - 168,864) * \frac{0,210 - 0,197}{188,493 - 168,864} = 0,208$$

Ensayo de módulo de elasticidad para probetas con 75% de cerámica

En la siguiente Tabla No 86 se presentan los parámetros geométricos de 2 cilindros con 75% de cerámica para el cálculo de módulo estático de elasticidad y coeficiente de Poisson.

Tabla 88

Parámetros geométricos de los cilindros y esfuerzos con 75% de cerámica.

	Dimensiones del cilindro		Área probeta (cm²)	Esfuerzo a la ruptura (kg/cm²)		Esfuerzo al 40% (kg/cm²)
	Altura (cm)	Diámetro (cm)		Carga (Kg) 40%	Esfuerzo al 40% (kg/cm²)	
Muestra 1	30,40	15,30	183,85	469,70	34538,80	187,86
Muestra 2	30,00	15,10	179,08	475,10	34035,20	190,06

Nota. En la tabla adicionalmente se presentan los esfuerzos a la ruptura y los esfuerzos correspondientes al 40% de los esfuerzos máximos.

Se continuó con el cálculo del módulo de elasticidad para probetas con 75% de cerámica, para lo cual es necesario calcular el esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, por lo tanto, se procede a realizar una interpolación con los siguientes valores para cada uno de los cilindros ensayados.

Tabla 89

Coefficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 1 de hormigón con 75% de cerámica en su mezcla.

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		Coeficiente de Poisson
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	
496	2,698	0,0000000	0,0000000	0,000
1185	6,445	0,0000164	0,0000000	0,000
1725	9,382	0,0000329	0,0000000	0,000
2450	13,326	0,0000493	0,0000065	0,132
3420	18,602	0,0000658	0,0000131	0,199
4705	25,591	0,0000822	0,0000196	0,238
5078	27,620	0,0000987	0,0000261	0,265
5789	31,487	0,0001151	0,0000261	0,227
6350	34,538	0,0001316	0,0000327	0,248
7180	39,053	0,0001480	0,0000392	0,265
7790	42,371	0,0001645	0,0000392	0,238
9450	51,400	0,0001974	0,0000458	0,232
10790	58,688	0,0002303	0,0000654	0,284
12120	65,922	0,0002632	0,0000719	0,273

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
13588	73,907	0,0002961	0,0000719	0,243
14752	80,238	0,0003289	0,0000784	0,238
18560	100,950	0,0004112	0,0000850	0,207
21730	118,192	0,0004934	0,0000980	0,199
24250	131,898	0,0005757	0,0001111	0,193
28570	155,395	0,0006579	0,0001307	0,199
30450	165,621	0,0007401	0,0001438	0,194
33570	182,591	0,0008224	0,0001634	0,199
35780	194,611	0,0009046	0,0001699	0,188
39850	216,748	0,0009868	0,0001895	0,192

Nota. Se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones y coeficiente de Poisson para la muestra 1 con 75% de cerámica.

Tabla 90

Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 1.

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0,0000493	13,33
0,0000500	X
0,0000660	18,60

Nota.

Mediante los valores de la anterior Tabla No 90 se calculó el esfuerzo igual a $\sigma_1 = 13,54 \text{ kg/cm}^2$ para una deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0,00005$ como indica la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = 13,33 + (0,000050 - 0,0000493) * \frac{18,60 - 13,33}{0,000066 - 0,0000493} = 13,54 \text{ kg/cm}^2$$

De forma similar, para un esfuerzo $\sigma_2 = 187,86 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% del esfuerzo máximo se obtuvo una deformación longitudinal $\varepsilon_2 = 0,000880$ como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_2 = 0,000905 + (187,86 - 194,66) * \frac{0,000987 - 0,000905}{216,75 - 194,61} = 0,000880$$

Con estos valores determinados, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para el cilindro 1 como se expresa a continuación.

$$E = \frac{187,86 - 13,54}{0,000880 - 0,000050} = 210148,00 \text{ kg/cm}^2$$

Posteriormente, se aplicó una interpolación con los datos indicados en la Tabla N 91 para encontrar el módulo de Poisson con un esfuerzo $\sigma_2 = 187,86 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% de la carga máxima de rotura.

Tabla 91

Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.

Esfuerzo (kg/cm²)	Coeficiente de Poisson
194,611	0,188
187,860	X
216,748	0,192

Nota.

Se obtuvo un coeficiente de Poisson $\mu = 0,186$ como se indica en la siguiente expresión:

$$\mu = 0,188 + (187,860 - 194,611) * \frac{0,192 - 188}{216,748 - 194,611} = 0,186$$

Tabla 92

Coefficiente de Poisson y esfuerzos para la muestra 2 de hormigón con 75% de cerámica.

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria vertical (mm/mm)	Deformación	
			unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
529	2,954	0,0000000	0,0000000	0,000
945	5,277	0,0000167	0,0000000	0,000
1442	8,052	0,0000333	0,0000000	0,000
2320	12,955	0,0000500	0,0000000	0,000
3425	19,126	0,0000667	0,0000000	0,000
4268	23,833	0,0000833	0,0000066	0,079
4794	26,770	0,0001000	0,0000199	0,199
5612	31,338	0,0001167	0,0000265	0,227
6380	35,627	0,0001333	0,0000331	0,248
7150	39,927	0,0001500	0,0000331	0,221
7895	44,087	0,0001667	0,0000397	0,238
9230	51,542	0,0002000	0,0000464	0,232
10873	60,716	0,0002333	0,0000596	0,255
12175	67,987	0,0002667	0,0000662	0,248
13640	76,168	0,0003000	0,0000728	0,243
14950	83,483	0,0003333	0,0000795	0,238
18150	101,352	0,0004167	0,0000927	0,223

Carga (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación		
		Deformación unitaria vertical (mm/mm)	unitaria horizontal (mm/mm)	Coefficiente de Poisson
21488	119,992	0,0005000	0,0000993	0,199
24432	136,432	0,0005833	0,0001192	0,204
27350	152,726	0,0006667	0,0001391	0,209
30636	171,076	0,0007500	0,0001589	0,212
33708	188,230	0,0008333	0,0001788	0,215
36850	205,776	0,0010000	0,0001987	0,199

Nota. Se presentan los resultados de esfuerzos, deformaciones y coeficiente de Poisson para la muestra 2 con 75% de cerámica.

Tabla 93

Interpolación de σ_1 para la deformación unitaria longitudinal $\varepsilon_1 = 0,00005$, cilindro 2.

Deformación unitaria (mm/mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0,0000500	12,96
0,0000500	X
0,0000670	19,13

Nota.

Mediante los valores de la anterior Tabla No 93 se calculó el esfuerzo igual a $\sigma_1 = 12,96 \text{ kg/cm}^2$ para una deformación unitaria $\varepsilon_1 = 0,00005$ como indica la siguiente ecuación:

$$\sigma_1 = 12,96 + (0,00005 - 0,00005) * \frac{19,13 - 12,96}{0,000067 - 0,00005} = 12,96 \text{ kg/cm}^2$$

De forma similar, para un esfuerzo $\sigma_2 = 190,06 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% del esfuerzo máximo se obtuvo una deformación longitudinal $\varepsilon_2 = 0,000851$ como se indica en la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_2 = 0,000833 + (190,06 - 188,23) * \frac{0,00100 - 0,000833}{205,78 - 188,23} = 0,000851$$

Con estos valores determinados, se procedió al cálculo del módulo de elasticidad para el cilindro 2 como se expresa a continuación.

$$E = \frac{190,06 - 12,96}{0,000851 - 0,000050} = 221186,95 \text{ kg/cm}^2$$

Seguidamente, se aplicó una interpolación con los datos indicados en la Tabla No 94 para encontrar el módulo de Poisson con un esfuerzo $\sigma_2 = 190,06 \text{ kg/cm}^2$ correspondiente al 40% de la carga máxima de rotura.

Tabla 94

Interpolación del coeficiente de Poisson para un esfuerzo σ_2 , cilindro 1.

Esfuerzo (kg/cm ²)	Coficiente de Poisson
188,230	0,215
190,057	X
205,776	0,199

Nota.

Se obtuvo un coeficiente de Poisson $\mu = 0,213$ como se indica en la siguiente expresión:

$$\mu = 0,215 + (190,057 - 188,230) * \frac{0,199 - 0,215}{205,776 - 188,230} = 0,213$$

Resumen de módulos de elasticidad para probetas con distintos porcentajes de cerámica

En la Tabla No 95 se resumen los resultados del ensayo de módulo de elasticidad experimental realizado para dos probetas de hormigón de cada dosificación de cerámica y a los que se calculó la media para ser comparados con el módulo de elasticidad teórico usando la expresión $4700\sqrt{f'c}$ (Mpa) que se establece en la norma ACI 318-14I (American Concrete Institute, 2015).

Tabla 95

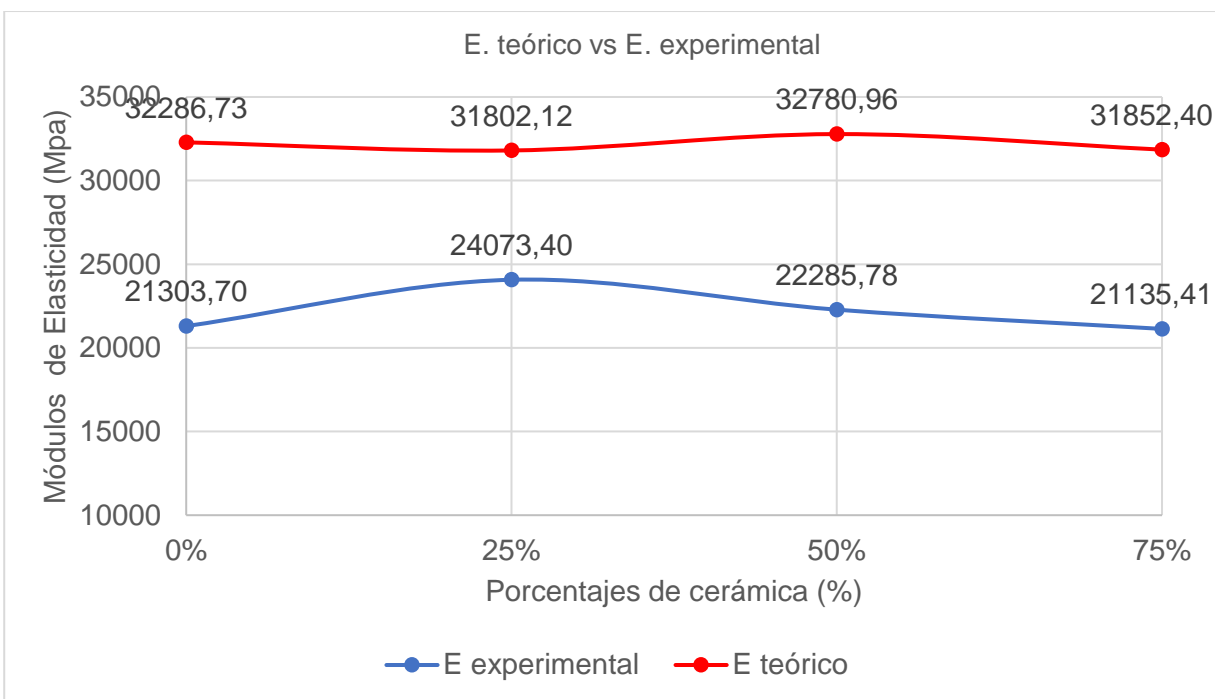
Comparación módulos de elasticidad experimentales vs teóricos.

Muestras	f'c (Mpa)	E. Experimental (Mpa)	E. Teórico $4700\sqrt{f'c}$ (Mpa)	Relación experimental/ teórico
0%	47,19	21303,70	32286,73	65,98%
25%	45,78	24073,40	31802,12	75,70%
50%	48,65	22285,78	32780,96	67,98%
75%	45,93	21135,41	31852,40	66,35%

Nota. La tabla presenta adicionalmente los valores porcentuales de relación entre los módulos de elasticidad experimentales y teóricos.

Figura 19

Gráficas comparativas de módulos de elasticidad experimentales vs teóricos.



Nota. La gráfica muestra la comparación entre módulos de elasticidad experimentales vs teóricos y se observa que los valores para 25% de cerámica son los más próximos.

Tabla 96

Resumen de coeficientes de Poisson.

% Cerámica	Muestras	Coefficiente de Poisson	Coefficiente de Poisson promedio
0%	1	0,24	0,23
	2	0,21	
25%	3	0,21	0,19
	4	0,18	
50%	5	0,22	0,21

% Cerámica	Muestras	Coefficiente de Poisson	Coefficiente de Poisson promedio
	6	0,21	
75%	7	0,19	0,20
	8	0,21	

Nota.

En la tabla anterior se puede evidenciar que los coeficientes de Poisson obtenidos para los distintos cilindros ensayados fluctúan entre 0,19 y 0,23 los cuales son muy similares con el coeficiente de Poisson para el concreto igual a 0,20 propuesto por (Murillo & Ramirez, 2020).

Adoquines**Índice de absorción de agua**

Para este ensayo, el (Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 3040, 2016) inicialmente recomienda que los adoquines a experimentar no tengan un peso mayor a 5,00 kg, se tomó un espécimen para cada dosificación y se los limpió de todo polvo y residuos con un cepillo de alambre para luego ser sumergidos en agua durante un mínimo de 3 días. Pasado ese tiempo se los retiró del agua y se procedió a secarlos hasta que la superficie del hormigón tenga un color mate, se registró su peso e inmediatamente se los colocó dentro de un horno a una temperatura de 105 ± 5 °C en el cual reposaron de igual forma por un mínimo de 3 días como recomienda la norma.

Se retiraron cada uno de los adoquines del horno para ser enfriados a temperatura ambiente y registrar el peso de cada uno y así poder calcular el índice de absorción de agua con la siguiente expresión.

$$Wa = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100\%$$

Donde:

M_1 es la masa de la probeta saturada de agua (g)

M_2 es la masa final de la probeta seca (g)

La siguiente tabla presenta los resultados del índice de absorción de agua para cada uno de los adoquines con los diferentes contenidos de cerámica.

Tabla 97

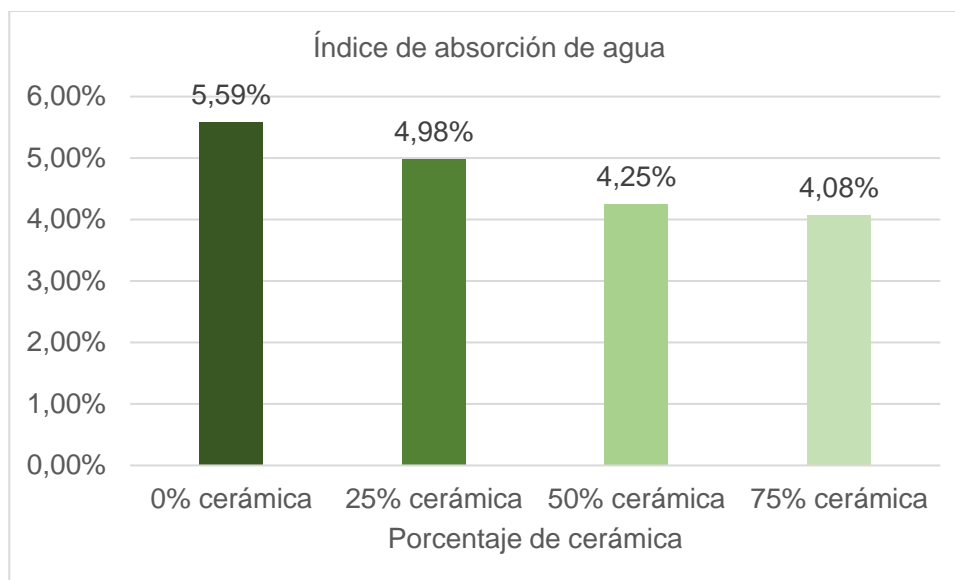
Resultados de ensayo de índices de absorción de agua para adoquines con distintos porcentajes de cerámica.

	0%	25%	50%	75%
	cerámica	cerámica	cerámica	cerámica
M1 (g)	2716,80	2876,70	2677,80	2737,10
M2(g)	2573,00	2740,20	2568,60	2629,80
Wa (%)	5,59%	4,98%	4,25%	4,08%

Nota. La tabla indica los porcentajes de absorción de los adoquines para cada dosificación la cual va disminuyendo a medida que se aumenta la cantidad de cerámica en la mezcla.

Figura 20

Resumen de ensayos para índice de absorción de agua.



Nota. La gráfica muestra que a medida que el porcentaje de cerámica aumenta, el índice de absorción disminuye debido que los residuos cerámicos tienen baja capacidad de absorción.

Tracción indirecta

El ensayo de tracción indirecta se lo realizó siguiendo las especificaciones de la norma NTE INEN 3040, específicamente en el Anexo E. Fueron 4 adoquines ensayados para cada una de las dosificaciones 0%, 25%, 50 % y 75%, para esto se utilizó la máquina de compresión, donde se colocó el adoquín, previamente señalada su plano transversal, entre dos soportes que permitan el giro sobre este plano, para esto se colocó una varilla de 16 mm de diámetro y 25 cm de longitud en la parte superior y una en la parte inferior del adoquín, teniendo en consideración la colocación de las piezas de compresión para después aplicar progresiva y suavemente una carga que permita el aumento de la resistencia a una velocidad de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s hasta que el adoquín falle para registrar la carga de tracción indirecta P (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011d).

El cálculo de la resistencia a la tracción indirecta se lo realizó aplicando la siguiente ecuación:

$$T = 0,637x k x \frac{P}{S}$$

Donde

T: resistencia a la tracción indirecta en Mpa

P: carga de tracción indirecta N

k: factor de corrección para el espesor del adoquín, el cual se calculó de la siguiente manera.

$$k = 1,3 - 30 \left(0,18 - \frac{t}{1000} \right)^2 \text{ si } 140\text{mm} < t \leq 180\text{mm}$$

$$k = 1,3 \text{ si } t > 180\text{mm}$$

para $t \leq 140\text{mm}$ se determina mediante la tabla mostrada a continuación

Tabla 98

Factor de corrección k

t (mm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
k	0,71	0,79	0,87	0,94	1	1,06	1,11	1,15	1,19	1,23	1,25

Nota. Factor de corrección k. Recuperado de (NTE INEN 3040, 2016).

Después se determinó la carga de tracción indirecta por unidad de longitud:

$$F = \frac{P}{l}$$

Se calculó la desviación estándar (S) para a partir de esta, lograr determinar la resistencia característica (fk):

$$S = \sqrt{\frac{\sum(f_i - f_m)^2}{n - 1}}$$

$$fk = (f_m - 1,64S)$$

Donde:

Fi: resistencia a la compresión de cada una de las muestras.

Fm: es la media aritmética de las resistencias a la compresión de todas las muestras.

Tabla 99

Resultados de resistencia y carga de tracción indirecta para probetas de hormigón con 0% de cerámica.

Muestra	I	t	S	P		K	T	F
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(T)	(N)		(Mpa)	(N/mm)
1	201,90	68,10	13749,39	10,51	103028,67	0,91	4,34	510,30
2	200,00	68,00	13600,00	11,17	109530,47	0,91	4,66	547,65
3	200,00	67,00	13400,00	9,83	96399,37	0,90	4,14	482,00
4	201,00	64,00	12864,00	10,17	99753,24	0,89	4,38	496,28

Nota. En la tabla se muestra los resultados de resistencia y carga a tracción indirecta para las probetas de hormigón con 0% de cerámica.

Tabla 100

Resultados de resistencia y carga de tracción indirecta para probetas de hormigón con 25% de cerámica.

Muestra	I	t	S	P		K	T	F
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(T)	(N)		(Mpa)	(N/mm)
1	202,00	71,50	14443,00	10,64	104259,40	0,93	4,26	516,14
2	202,00	70,00	14140,00	9,43	92430,13	0,92	3,83	457,57
3	205,00	75,00	15375,00	10,79	105732,85	0,95	4,14	515,77
4	205,00	65,00	13325,00	9,71	95173,54	0,89	4,06	464,26

Nota. En la tabla se muestra los resultados de resistencia y carga a tracción indirecta para las probetas de hormigón con 25% de cerámica.

Tabla 101

Resultados de resistencia y carga de tracción indirecta para probetas de hormigón con 50% de cerámica.

Muestra	I	t	S	P		K	T	F
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(T)	(N)		(Mpa)	(N/mm)
1	200,00	68,00	13600,00	9,69	95020,56	0,91	4,04	475,10
2	203,00	69,00	14007,00	9,75	95641,81	0,91	3,97	471,14
3	205,00	71,00	14555,00	9,60	94158,55	0,92	3,81	459,31
4	203,00	71,00	14413,00	9,73	95448,62	0,92	3,90	470,19

Nota. En la tabla se muestra los resultados de resistencia y carga a tracción indirecta para las probetas de hormigón con 50% de cerámica.

Tabla 102

Resultados de resistencia y carga de tracción indirecta para probetas de hormigón con 75% de cerámica.

Muestra	l (mm)	t (mm)	S (mm²)	P (T)	P (N)	K	T (Mpa)	F (N/mm)
1	203,00	69,00	14007,00	9,56	93719,70	0,91	3,89	461,67
2	204,00	66,00	13464,00	8,91	87337,04	0,90	3,71	428,12
3	200,00	66,50	13300,00	6,89	90123,11	0,90	3,89	450,62
4	202,00	65,00	13130,00	8,95	87730,29	0,89	3,80	434,31

Nota. En la tabla se muestra los resultados de resistencia y carga a tracción indirecta para las probetas de hormigón con 75% de cerámica.

Tabla 103

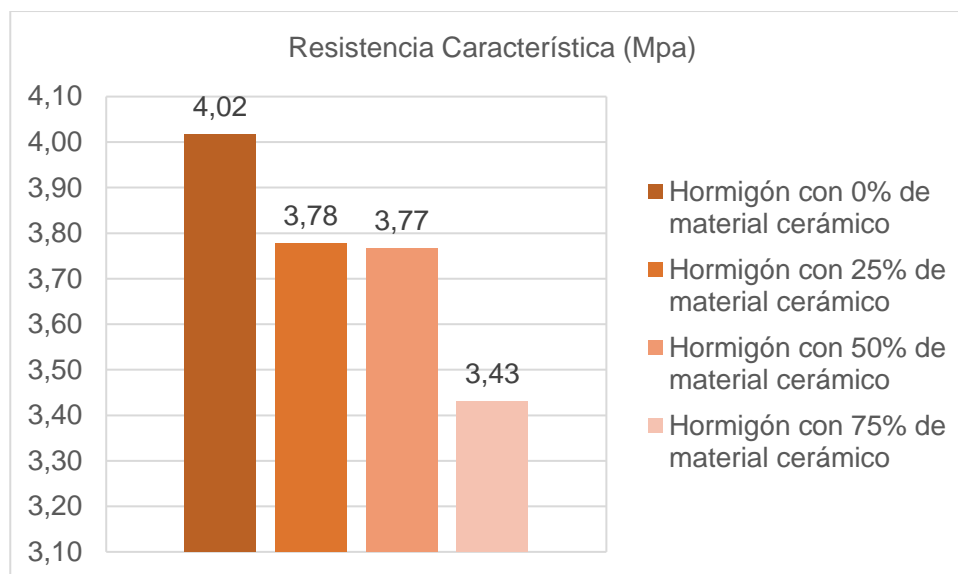
Resultados del ensayo de resistencia a la tracción indirecta.

Tipo de Mezcla	Resistencia Promedio (Mpa)	Desviación Estándar	Resistencia Característica (Mpa)
Hormigón con 0% de material cerámico	4,38	0,22	4,02
Hormigón con 25% de material cerámico	4,07	0,18	3,78
Hormigón con 50% de material cerámico	3,93	0,10	3,77
Hormigón con 75% de material cerámico	3,58	0,09	3,43

Nota. La tabla muestra las resistencias características obtenidas para la adición de la cerámica en los distintos porcentajes.

Figura 21

Curvas de resistencias características.



Nota. La gráfica muestra la comparación de las resistencias características para las distintas dosificaciones.

De la anterior gráfica se puede observar cómo la resistencia a la rotura disminuye a medida que el porcentaje de cerámica en las mezclas va aumentando siendo los adoquines con 75% de cerámica los más afectados con un valor de resistencia característica igual a 3,43 Mpa menor al límite establecido por la normativa ecuatoriana.

Resistencia a la abrasión

Para dicho ensayo se consideró la norma NTE INEN 3040, Anexo F. Para esto se utilizaron 3 adoquines por cada una de las dosificaciones de 0%, 25%, 50% y 75%.

Previamente antes del ensayo se secó, limpió y se pulió ligeramente cada una de las muestras para evitar que la cara vista a ser ensayada tenga una superficie rugosa, después se pintó esta cara superior del adoquín para poder identificar con mayor facilidad la huella obtenida. Una vez listas las muestras se preparó la máquina de desgaste, para ello se colocó el material abrasivo seco (corindón) en la tolva de almacenamiento cerrando su válvula de paso, después se colocó

el adoquín con la cara vista hacia la rueda ancha de abrasión y poniéndola en contacto con la misma, se lo fijó sobre un soporte permitiendo que el flujo de abrasión logre desgatar el adoquín una vez que se abrió la válvula de control. Este ensayo se lo realizó durante un tiempo de 1min de manera que la rueda de abrasión logró alcanzar las 76 revoluciones tal como lo especifica la norma(Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011d).

Una vez realizado el desgaste del adoquín se procedió a calcular la longitud de huella, para esto se dibujaron los límites longitudinales de la huella marcada por el desgaste y se tomaron tres medidas del ancho de la huella considerando dos en sus extremos, medidas a 10mm desde cada uno de los bordes de la huella, y una en la parte central de la misma, obteniendo como resultado la media aritmética de estos valores y realizando un ajuste de corrección mediante un factor de calibración el mismo que fue calculado con la diferencia aritmética entre 20mm y el valor de factor registrado (24,9mm), siendo el factor de calibración de 4,9 mm, al valor resultante se lo aproximó al 0,5mm más cercano. La norma específica que esta longitud de huella debe ser menor o igual a 23mm.

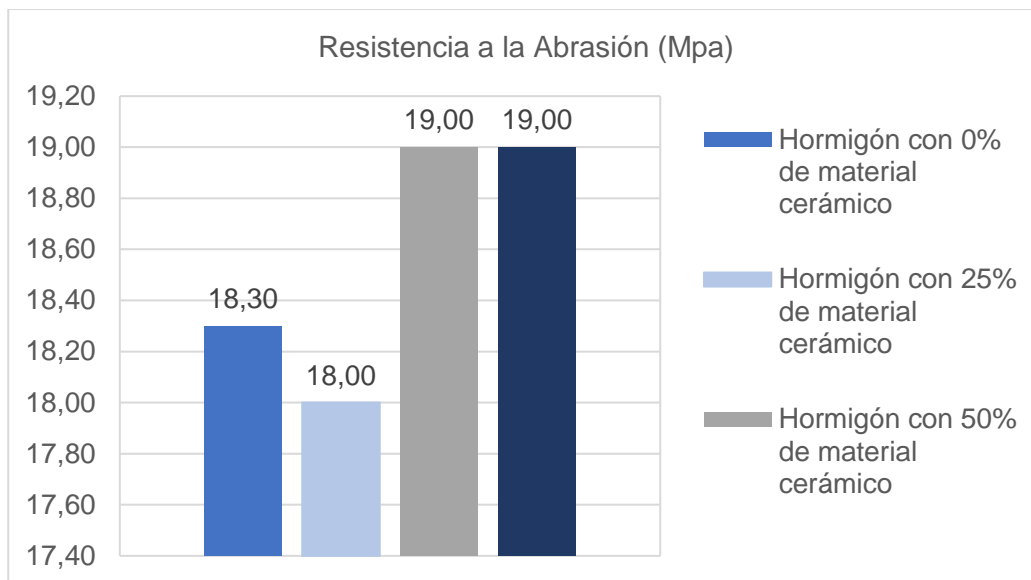
Tabla 104

Resultados del ensayo de resistencia a la abrasión

Probeta	Adoquín	Longitud huella (mm)	Longitud huella corregida (mm)	Longitud huella redondeada (mm)	Promedio longitud huella (mm)
Hormigón con	6	23,17	18,27	18,00	
0% de material	7	22,00	17,10	17,00	18,33
cerámico	8	24,60	19,70	20,00	
	6	23,77	18,87	19,00	18,00
	7	22,13	17,23	17,00	

Probeta	Adoquín	Longitud huella (mm)	Longitud huella corregida (mm)	Longitud huella redondeada (mm)	Promedio longitud huella (mm)
Hormigón con					
25% de material	8	23,33	18,43	18,00	
cerámico					
Hormigón con	6	22,33	17,43	17,00	
50% de material	7	23,17	18,27	18,00	19,00
cerámico	8	26,57	21,67	22,00	
Hormigón con	6	21,67	16,77	17,00	
100% de	7	25,83	20,93	21,00	19,00
material	8	24,00	19,10	19,00	
cerámico					

Nota. En la tabla nos indica las longitudes de las huellas para las diferentes dosificaciones.

Figura 22*Curva de la resistencia a la abrasión*

Nota. La gráfica muestra la comparación de las resistencias a la abrasión para las distintas dosificaciones.

Con los resultados obtenidos mediante el ensayo de resistencia a la abrasión se puede acotar que todas las dosificaciones cumplen con los parámetros que se presentan en la norma. Se puede notar que mientras más cantidad de material cerámico contiene nuestra mezcla va a generar que la longitud de la huella aumente, con su excepción en la mezcla con contenido de 25% de cerámica que disminuyó en 1%, mientras que para la mezcla de 50% y 75% la longitud de la huella aumentó en un 3,83%.

Conclusiones

- En base a todos los ensayos realizados de caracterización de los materiales pétreos, así como de la cerámica, se evidenció y obtuvo como resultados que los agregados de la cantera de Pintag cumplen con las especificaciones normativas para ser utilizados en el diseño de hormigones al igual que el material cerámico.
- Se obtuvo una dosificación mediante el uso de los parámetros de diseño del método ACI 211 de 0,28 : 1,00 : 1,10 : 0,79 para lograr alcanzar una resistencia a la compresión a los 28 días de 400 kg/cm², mediante esta dosificación se debe determinar las cantidades óptimas de cerámica a ser reemplazada por el agregado grueso en 25%, 50% y 75%, para la elaboración de hormigones, teniendo en consideración las propiedades físicas de la cerámica: porcentaje de humedad y peso volumétrico compactado y suelto.
- Realizando una comparación de los resultados de compresión a los 28 días de los cilindros de hormigón de 25%, 50% y 75% de reemplazo de cerámica, con el de hormigón convencional (0% de cerámica) se obtuvo que el de 50% alcanzó una resistencia de 496,39 kg/cm² superando con un 3,08% a la resistencia del hormigón convencional, mientras que para los de 25% y 75% sucedió lo contrario, disminuyó su resistencia en un 2,98% y 2,67%, respectivamente.
- En la gráfica de Resistencia vs Edad del hormigón se puede observar que el hormigón en el que se reemplaza el 50% cerámica como parte del agregado grueso adquiere mayores resistencias a edades tempranas con respecto a las de 25% y 75%, pero adquieren una tendencia de crecimiento hasta llegar a los 28 días.
- Los valores experimentales del módulo de elasticidad de todos los tipos de probetas de hormigón se encuentran entre un 75% y 65% de cercanía respecto a los valores que se obtienen con la fórmula teórica dada por el ACI 318, experimentalmente se determinó

que los cilindros con el reemplazo de 25% de cerámica adquieren un mayor módulo de elasticidad a una edad de 28 días.

- Referente al ensayo de índice de absorción de agua, los adoquines elaborados muestran un índice absorción por debajo del 6% siendo el límite máximo que establece la Norma NTE INEN 3040 para ser declarados conformes para su uso, por lo que se concluye que la incorporación de cerámica no afecta esta propiedad del adoquín ya que es un material con poca capacidad de absorción como se pudo evidenciar en los adoquines con adición de 75% de cerámica en su mezcla teniendo el menor valor de absorción igual a 4,08%.
- Con los resultados obtenidos de la resistencia a la tracción indirecta podemos concluir que la mezcla de hormigón con 75% de cerámica no cumple con los requisitos presentados en la norma para la resistencia y carga de tracción indirecta, ya que presenta un valor de resistencia característica de 3,43 MPa, que es menor a los 3,60 MPa establecido como límite mínimo. Ocurre lo contrario con las mezclas de 25%, 50% y 0% cuyos valores de resistencia a la rotura característica son 3,78 MPa, 3,77 MPa y 4,02 MPa respectivamente por lo que son óptimos para su utilización según esta propiedad.
- Con respecto a los ensayos de resistencia a la abrasión se obtuvo un valor promedio de longitud de huella igual a 18,30 mm para adoquines de hormigón sin adición de cerámica, 18,00 mm de longitud de huella para adoquines con 25% de cerámica en su mezcla y 19,00 mm de longitud de huella promedio tanto para adoquines con 50% y 75 % de cerámica como agregado grueso en su mezcla, por lo que se puede concluir que, la incorporación de residuos de cerámica vitrificada triturada para la elaboración de adoquines no afectan en su resistencia al desgaste haciéndolos aptos para su uso ya

que la norma NTE INEN 3040 correspondiente a requisitos y métodos de ensayo de adoquines establece 23,00 mm de longitud de huella promedio como límite máximo.

- Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos de cada uno de los ensayos realizados se concluye que la incorporación de cerámica en un 50% como reemplazo del agregado grueso para la elaboración de adoquines es el porcentaje óptimo ya que puede no sólo incrementar la resistencia a la compresión comparándola con un hormigón convencional sin cerámica, si no también, pueden mantener sus propiedades mecánicas y físicas como son la resistencia climática por absorción de agua, resistencia al desgaste por abrasión y su resistencia a la rotura por tracción indirecta cumpliendo así con los requisitos que establece la normativa nacional.

Recomendaciones

- Al obtener resultados favorables para hormigones y adoquines utilizando en su mezcla el reemplazo de ciertos porcentajes de cerámica como parte del agregado grueso, recomendamos que se realicen estudios en los que se incorpore la cerámica y agregados pétreos procedentes de otras fuentes y canteras del Ecuador como por ejemplo de yacimientos naturales de los cuales se extraen y utilizan rocas de río para la formación de los agregados que se utilizan para los hormigones, con el fin de a futuro poder establecer a nivel nacional la utilización de nuevos métodos de elaboración de hormigones y reducir la extracción de nuestros recursos naturales.
- Realizar una valoración, evaluación y análisis económico de los adoquines con cerámica agregada, teniendo en consideración el costo-beneficio con respecto a un adoquín convencional y tratar de incorporarlo al mercado como un nuevo elemento de innovación para el uso en aceras, caminos, plazas y lugares donde se requiera el uso de este elemento.
- Recomendamos que se realicen estudios de hormigones con incorporación de cerámica para evaluar su comportamiento no solo en la elaboración de elementos de uso peatonal sino también para la producción de elementos estructurales como vigas y columnas.

Bibliografía

- American Concrete Institute. (2015). ACI 318-14. *Farmington Hills, USA, USA: IHS.*
- American Society for Testing and Materials. (2014). *Standard test method for static modulus of elasticity and poisson's ratio of concrete in compression. C 469-94.*
- ASOCRETO, Gómez, J., Sánchez de Guzmán, D., & Niño, J. (2010). *Tecnología del concreto : materiales, propiedades y diseño de mezclas* (Vol. 1). Asociación Colombiana de Productores de Concreto.
- Cabezas, M. (2014). *ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DEL ADOQUINADO*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7225>
- Ducat Montero, M. A., Quiñónez Pineda, K. D., & López Juvinao, D. D. (2022). Responsabilidad Ambiental de una mina de agregados pétreos. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 10(2), 78–92. <https://doi.org/10.17081/invinno.10.2.5704>
- F.V. ÁREA ANDINA S.A. (2019). *La Empresa*. <https://fvandina.com/la-empresa/>
- Galeas, E. D., & Guzmán, F. A. (2019). *PROPUESTA DE DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN REEMPLAZANDO EL CEMENTO EN DIFERENTES PORCENTAJES DE PESO, CON CENIZA VOLCÁNICA DEL TUNGURAHUA; IDENTIFICANDO LA INFLUENCIA DE UTILIZAR LA FRACCIÓN FINA, GRUESA Y COMPLETA* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20728/1/CD%2010244.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010a). *Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 856, Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010b). *Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 857, Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2010c). *Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 858, Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011a). *Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 696, Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011b). *Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 862, Áridos para hormigón. Determinación del contenido de humedad.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011c). *Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 872, Áridos para hormigón. Requisitos.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011d). *Norma Técnica Ecuatoriana, NTE INEN 3040, Adoquines de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo.*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico (1ra edición).*

Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 3040. (2016). *ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y METODOS DE ENSAYO.*

Janda, R. (2007). Vidrios, Cerámicas Vítreas y Cerámicas. *Quintessence técnica.*

<https://www.elsevier.es/index.php?p=revista&pRevista=pdf-simple&pii=13151893&r=33>

León-Velez, A., & Guillén-Mena, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construido*, 20(3), 611–625.

<https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>

Murillo, I. M. (s/f). *Índices y Bases de Datos: Políticas de Uso: Revista Métodos y Materiales por LanammeUCR se distribuye bajo: Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Determination of the elasticity module of two high-resistance self-compacting concretes (70 MPa).*

NTE INEN. (1986). ADOQUINES. TERMINOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*, 1–4. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1483.pdf>

NTE INEN. (2010). HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*, 1–9.

NTE INEN. (2016). ADOQUINES DE HORMIGÓN. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*, 1–40. https://vipresa.com.ec/wp-content/uploads/2019/02/nte_inen_3040.pdf

NTE INEN 152. (2010). CEMENTO PORTLAND. REQUISITOS. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA*, 1–16.

Ouedraogo, I. S., & Zapata, J. O. (2014). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE HORMIGONES REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO E INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE FIBRA ADICIONADO.*

Poveda, R., Granja, M., Hidalgo, D., & Ávila Carlos. (2015). Análisis de la influencia del vidrio molido sobre la resistencia al desgaste en adoquines de hormigón tipo A. *Revista Politécnica*, 35(3), 61.

https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/413

Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y masivo (ACI 211.1-91) Reporte por el Comité de ACI. (2002).

Ramírez, L., Orjuela, A., & Angulo, G. (2020). Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(1), 44–53.

<https://doi.org/10.25213/2216-1872.34>

Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05). (s/f).

Rodríguez, C. (2016). “*Reutilización de residuos industriales del proceso de fabricación de sanitarios, como materia prima para la producción de ladrillos de la Planta de Edesa Quito*”. Universidad Central del Ecuador.

Salguero, V. (2013). *ADOQUINES MODIFICADOS CON FIBRA DE POLIPROPILENO PARA EL USO EN VIAS DE LA CIUDAD DE QUITO*. Trabajo de Graduación previo la obtención del Título de Ingeniero Civil. UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2212>

Sánchez Oñate, D. M., Chilinginga Cando, J. P., Flores Montalvo, E. P., & Orosco Tacuri, M. K. (2020). Módulo Estático de Elasticidad del Hormigón Fabricado con Agregados de la Mina de San Roque, Imbabura, Ecuador. *Revista Politécnica*, 46(1), 29–38.

<https://doi.org/10.33333/rp.vol46n1.03>

Vázquez, E. del C. (2005). *Materiales cerámicos : propiedades, aplicaciones y elaboración*.

Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones de Diseño

Industrial, Fac. de Arquitectura.

Apéndices