PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE HORMIGONES LIGEROS FABRICADOS CON AGREGADOS DE SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS Y COTOPAXI."

AUTORA

MICHELLE IVANOVA CHACÓN MOROCHO.

DIRECTOR

ING. GUSTAVO YÁNEZ CAJAS.

QUITO, DICIEMBRE 2022

DEDICATORIA

Para los que soñamos con una patria mejor e intentamos aportar un grano de arena a favor de la ciencia y el desarrollo. A quienes entienden que lo único que cae del cielo es la lluvia y salen a buscar puertas, son valientes para abrir las que encuentran e inclusive osados para construir las suyas propias.

A mis padres, Isabel y Miguel por su inagotable amor, pilar fundamental de mis logros. A mi honorable mamá, por enseñarme a nunca quedarme en el punto común de lo ordinario y siempre dar un extra de mi al mundo. A mi papá, por su total entrega de socorro e infalible protección eterna. A ustedes, les debo esta alma competidora.

A mis hermanas, Erika y Belén, por permitirme aprender con ellas, el arte de la hermandad.

A mis abuelitos, Piedadcita y Juanito, por sus valiosos consejos que han caído en tierra fértil. A mi familia entera, a todos ellos, mi primera publicación.

A cada uno de los excelentes profesionales que, sin su experiencia, paciencia, guía y sabiduría, no habría sido posible llegar a los presentes resultados, en especial a los ingenieros; Lauro Lara y Andrés Carpio, por ser unos grandes maestros que nutrieron gran parte de este valioso trabajo.

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Máter, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, cuna que ha forjado profesionales de alto prestigio en todo el país. A su Laboratorio, escenario principal de la fabricación de los especímenes estudiados. Al Ingeniero Gustavo Yánez, por su determinante respaldo en el proseguimiento de la investigación. A Sandro Brito por su gran persona e inconmensurable colaboración en el laboratorio y fuera de él. A cada una de las voces de aliento, participes imprescindibles de lo que hoy presento.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Santo Domingo (GAD-MSD) y EP-CONST, por el auspicio del laboratorio y uso de instalaciones. A su personal por el apoyo en el caminar de este proceso, Ingeniero Alan Carvajal, Ingeniero Freddy Saravia, señores Cristian Chacón, Onny Zamora y Wilmer Granja.

A la mina COPETO CIA. LTDA. por el auspicio de sus materiales pétreos, que representaron un ahorro significativo y permitieron aumentar el número de experimentos.

Al Laboratorio especializado en hormigones LEHOLAB CIA. LTDA, del Ingeniero Jorge Escobar y a cada uno de sus colaboradores.

Al Laboratorio especializado en suelos, hormigones y asfalto, ASHOSUE CIA. LTDA, del Ingeniero Cesar Loor y a su colaborador.

A la empresa de aditivos ADMIX CIA. LTDA, del Ingeniero Guillermo Loayza, por la donación realizada a favor de esta investigación y al Ingeniero Daniel Paucar, por la guía de su correcto uso.

A todos los que se embarraron las manos de hormigón conmigo. Gracias totales.

RESUMEN

A nivel global se ha evidenciado que existen limitadas investigaciones enfocadas en el análisis de hormigones tipo ligero, que indaguen a profundidad el estudio de sus propiedades físico-mecánicas, como el Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson, Módulo de Rigidez, Módulo de Rotura, entre otros. En esta presente investigación se estudiaron estas propiedades, empleando agregados procedentes de las provincias de Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi. Luego del uso de un programa experimental exhaustivo se llegó a determinar distintas correlaciones para los parámetros físico-mecánicos inicialmente mencionados, esperando que de esta manera sirvan de sustento para futuras investigaciones y trabajos dentro del campo de la ingeniería civil.

Es así como se espera de esta manera comprender el comportamiento de los hormigones fabricados con agregados ligeros, en este caso la piedra pómez que disponemos de manera local aquí en el Ecuador.

PALABRAS CLAVE: HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL / AGREGADO LIGERO / PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE HORMIGONES / PIEDRA PÓMEZ / ENSAYO DE AGREGADOS.

ABSTRACT

At a global level, it has been shown that there is limited research focused on the analysis of lightweight concrete, which inquires in depth into the study of its physical-mechanical properties, such as the Modulus of Elasticity, Poisson's Ratio, Modulus of Stiffness, Modulus of Rupture, among others. In this present investigation, these properties were investigated, using aggregates from the provinces of Santo Domingo de los Tsáchilas and Cotopaxi. After the use of an exhaustive experimental program, different correlations for the initially mentioned physical-mechanical parameters were determined, hoping that in this way they will serve as support for future research and work within the field of civil engineering.

This is how it is expected in this way to understand the behavior of concrete made with lightweight aggregates, in this case the pumice stone that we have locally here in Ecuador.

KEY WORDS: STRUCTURAL LIGHTWEIGHT CONCRETE (LWC) / LIGHTWEIGHT AGGREGATE (LWA) / PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE / VOLCANIC PUMICE / AGGREGATE TEST.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

DEDICATORIA 2

AGRADECIMIENTO 3

RESUMEN.....5

ABSTRACT.....6

ÍNDICE DE FIGURAS.....13

ÍNDICE DE TABLAS. 16

ÍNDICE DE DIAGRAMAS 19

ÍNDICE DE ECUACIONES. 21

ÍNDICE DE ANEXOS……...175

CAPÍTULO I 22

1. INTRODUCCIÓN.....22

1.1 Generalidades. 22

1.2 Justificación. 24

1.3 Planteamiento del Problema. 25

1.4 Objetivos.....27

1.4.1 Objetivo General. 27

1.4.2 Objetivos Específicos. 27

1.5 Alcance. 28

1.6 Hipótesis 29

1.7 Variables. 29

1.7.1 Variables Dependientes: 29

1.7.2 Variables Independientes: 29

CAPÍTULO II 30

2. MARCO TEÓRICO. 30

2.1 Antecedentes o Marco Referencial. 30

2.2 Marco Legal. 35

2.3 Marco Conceptual. 37

2.3.1 Hormigón Ligero Estructural. 37

2.3.2 Medios que influyen en las Propiedades del Hormigón. 37

CAPÍTULO III 39

3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES. 39

3.1 Selección de los Materiales. 39

3.1.1 Selección del Cemento. 39

3.1.2 Selección del Aditivo Reductor de Agua. 41

3.1.3. Selección de los Agregados. 42

3.2. Ensayo de Áridos. 45

3.2.1 ASTM C702-18: Reducción de muestras de agregado a tamaño para pruebas. 45

3.2.2 ASTM C117-17: Materiales más finos que un tamiz No 200 en los agregados minerales mediante lavado. 53

3.2.3 ASTM C136 -19 Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos. 59

3.2.4 ASTM C40– 20: Determinación de Impurezas Orgánicas en Agregados Finos para Hormigón.....67

3.2.5 ASTM C128-15: Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción del agregado fino. 75

3.2.6 ASTM C127-15: Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la absorción del Agregado Grueso.....83

3.2.7 ASTM C29-17ª Densidad a Granel (Peso Unitario) y los huecos de aire de un agregado 86

3.2.8 Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción del Agregado Grueso Ligero (Piedra Pómez), con una metodología adaptada para agregados menos densos que el agua, aplicando el principio de Arquímedes. (PROPUESTA).....87

3.2.9 ASTM C535-20 Resistencia a la degradación de los áridos gruesos de gran tamaño, mediante el método de abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.....94

3.3 Resultado de los ensayos empleados para mezclas. 98

CAPÍTULO IV. 99

4. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL.99

4.1 Métodos de Diseño. 99

4.1.1. Método de Volumen Absoluto. 99

4.1.2 Método Volumétrico. 100

4.1.3 Método de Fuller Thompson. 101

4.2 Mezcla Matriz de la Resistencia de 280 f'c con 0% Piedra Pómez. 102

4.2.1 Requerimientos. 102

4.2.2 Características de los materiales. 102

4.2.3 Agua Neta y Aire. 103

4.2.4 Relación Agua/Cemento. 103

4.2.5 Cálculo del Peso Unitario del Hormigón (UM). 105

4.2.6 Establecimiento del porcentaje de agregado fino y grueso (% de fino varía de 35 a 50) 105

4.2.7 Cálculo de agregados en estado natural. 106

4.2.8 Cálculo del Agua de Mezcla. 107

4.2.9 Resumen de la Primera Iteración de la Mezcla Matriz de 280 f'c con 0% de Pómez. 107

4.2.9.1 Cálculo del Asentamiento, Peso Unitario Real del Hormigón y Contenido de Aire. 107

4.2.9.2 Primera Reestimación de Mezcla 280f'c 0% Pómez. 109

4.2.9.3 Resumen de la Mezcla Matriz de 280 f'c 0% Pómez corregida. 110

4.3 Mezcla Matriz de la Resistencia de 350 f'c con 0% Piedra Pómez. 110

4.3.1 Primera Reestimación de Mezcla 350f'c 0% Pómez 110

4.3.2 Resumen de la Mezcla Matriz de 350 f'c con 0% Pómez corregida.....111

4.4 Mezclas de Hormigón Ligero Estructural con 40,50,70 y 85% Piedra Pómez. 111

4.5 Proceso de Fabricación de 60 cilindros y 30 viguetas bajo la ASTM C192-19.....113

4.6 Proceso de curado de especímenes de prueba de hormigón en el laboratorio bajo la ASTM C192-19. 115

CAPÍTULO V.....117

5. ENSAYOS DEL HORMIGÓN.....117

5.1 ASTM C39-21 Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón. 117

5.1.1 Tipos de fallas obtenidas en los especímenes cilíndricos de hormigón. 121

5.2 ASTM C78-21 Determinación de la Resistencia a la flexión del hormigón (usando una viga simple con carga de tres puntos). 123

5.2.1 Fracturas iniciadas en la superficie de tensión, dentro del tercio medio de la longitud de amplitud en todas las vigas ensayadas. 127

5.3 C469-14 Determinación del Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson del concreto a compresión. 128

5.3.1 Metodología aplicada para el cálculo del Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez, mediante tablas dinámicas de elaboración propia.....131

5.3.2 Informe del ensayo para la probeta N°2 de 280f'c 40% pómez.....134

5.3.3 Instrumentación empleada.....139

CAPÍTULO VI 140

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....140

6.1 Metodología implementada para el Análisis de Resultados.....140

6.1.1 Coeficiente de Correlación de Pearson. 140

6.2 Correlaciones Esfuerzo (σ) Vs Propiedades Físico-Mecánicas.....143

6.2.1 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Elasticidad (*E*). 143

6.2.2 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Relación de Poisson (ν).....145

6.2.3 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Rigidez (G). 146

6.2.4 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Peso Específico (ɣ). 147

6.3 Correlaciones Propiedades Físico-Mecánicas Vs Peso Específico (ɣ).....148

6.3.1 Correlación Módulo de Elasticidad (*E*) Vs Peso Específico (ɣ). 148

6.3.2 Correlación Módulo de Rigidez (G) Vs Peso Específico (ɣ). 149

6.3.3 Correlación Relación de Poisson (ν) Vs Peso Específico (ɣ). 150

6.3 Resumen de las Expresiones Propuestas para el Análisis de las Propiedades Físico-Mecánicas. 151

CAPÍTULO VII.....154

7. COSTOS. 154

CAPITULO VIII 156

8. CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES....156

8.1 Conclusiones.....156

8.2 Comentarios. 159

8.3 Recomendaciones. 162

9 BIBLIOGRAFÍA. 166

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2-1 Geometría del Panteón de Roma 30

Figura 2-2 Sección de los diferentes tipos de hormigones utilizados en el Panteón de Roma. ... 31

Figura 2-3 Actividad Volcánica en el Ecuador 35

Figura 3-1 Cemento para todo tipo de construcción tipo GU, marca Holcim 40

Figura 3-2 Aditivo Reductor de Agua de base de Naftaleno Sulfanatado, de la marca AdMix. . 41

Figura 3-3 Obtención de las muestras in situ del agregado grueso convencional de distintos puntos de la mina. 43

Figura 3-4 Obtención de las muestras in situ del agregado fino de distintos puntos de la mina. 44

Figura 3-5 Proceso de obtención de muestras del agregado fino, Método A. 46

Figura 3-6 Proceso de obtención de muestra de agregado fino según el Método B 49

Figura 3-7 Proceso de obtención de muestra de agregado grueso según Método A 50

Figura 3-8 Proceso de obtención de muestra de agregado grueso ligero según Método A 52

Figura 3-9 Proceso de obtención de muestras del agregado grueso ligero, Método B 52

Figura 3-10 Muestra de piedra pómez de 1kg a la izquierda, el mismo volumen ocupa 6 kg de ripio convencional, a la derecha. 53

Figura 3-11 Método de prueba estándar para materiales más finos que un tamiz No 200, agregado fino. 54

Figura 3-12 Método de prueba estándar para materiales más finos que un tamiz No 200, agregado grueso. 56

Figura 3-13 Muestra de 6kg de piedra pómez, demasiado grande para muestra de ensayo. 58

Figura 3-14 Método de prueba estándar para materiales más finos que un tamiz No 200, agregado grueso ligero. 58

Figura 3-15 Tamices para método de análisis granulométrico de agregados finos de EP-CONST. Marca Controls. 59

Figura 3-16. Proceso del análisis granulométrico del agregado fino. 60

Figura 3-17 Proceso del análisis granulométrico del agregado grueso. 63

Figura 3-18 Proceso del análisis granulométrico del agregado grueso ligero. 65

Figura 3-19 Métodos de determinación de Impurezas Orgánicas en los Agregados Finos para Hormigón. según la ASTM C40– 20. 67

Figura 3-20 Método con Solución Reactiva de Na(OH) y Solución de Estándar de Color de ($K_2Cr_2O_7$), según la ASTM C40. 69

Figura 3-21 Método con solución reactiva de Na(OH) y solución de estándar de color de (K2Cr2O7), según la ASTM C40, para agregado fino. 71

Figura 3-22 Método con solución reactiva de Na(OH) y solución de estándar de color de (K2Cr2O7), para el pasante del tamiz No4 de la piedra pómez 72

Figura 3-23 Método Estándar de Color de Vidrio preestablecido por la ASTM C40-20, para el agregado fino. 73

Figura 3-24 Método Estándar de Color de Vidrio preestablecido por la ASTM C40-20, para el pasante del tamiz No4 de la Piedra Pómez. 74

Figura 3-25 Procedimiento del ensayo de Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción del agregado fino. 77

Figura 3-26 Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la absorción del Agregado Grueso según la ASTM C127 83

Figura 3-27 Recolección de 5 muestras de piedra pómez al azar por tamaño de tamiz, para el calculo de su Densidad Relativa, con nueva propuesta de agregados menos densos que el agua. 88

Figura 3-28 Probetas graduadas con diámetros similares, según el agregado ligero a ensayarse. 89

Figura 3-29 Cálculo de volumen inicial de la probeta sin la muestra 89

Figura 3-30 Volumen inicial de la probeta sin la muestra y Volumen final de la probeta con el espécimen. 90

Figura 3-31 Resistencia a la degradación de los áridos gruesos de gran tamaño, mediante el método de abrasión e impacto en la máquina de los ángeles, según ASTM C535. 95

Figura 4-1 Proceso de estimación del Asentamiento, Peso Unitario Real del Hormigón y Contenido de Aire 108

Figura 4-2 Proceso de fabricación de 60 cilindros y 30 viguetas. 113

Figura 4-3. Piscina para curado de especímenes en las instalaciones del GAD-MSD, EP CONST, Santo Domingo. 115

Figura 4-4 Cámara Húmeda para curado de especímenes, en las instalaciones de la PUCE. ... 116

Figura 5-1 Tipos de fallas obtenidas en los especímenes cilíndricos de hormigón 121

Figura 5-2 Fracturas dentro del tercio medio de la longitud de amplitud en todas las vigas ensayadas. 127

Figura 5-3 Instrumentación para el cálculo del Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez. 139

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 3-1. Ensayo No1 y 2 para materiales más finos que un tamiz No200, agregado fino. ASTM C117-17.....55

Tabla 3-2. Ensayo No1 y 2 para materiales más finos que un tamiz No200, agregado grueso, ASTM C117-17.....57

Tabla 3-3. Ensayo No1 y 2 para materiales más finos que un tamiz No200, agregado grueso ligero, ASTM C117-17.....57

Tabla 3-4. Ensayo No1 de granulometría del agregado fino bajo la ASTM C136-19.....61

Tabla 3-5 Ensayo No1 de granulometría del agregado grueso bajo la norma ASTM C136-19. .64

Tabla 3-6 Ensayo No1 de granulometría del agregado grueso ligero bajo la norma ASTM C136-19.....66

Tabla 3-7. Ensayo No1 Densidad Relativa (Gravedad Específica) del agregado fino.....82

Tabla 3-8 Ensayo No1 de la Densidad Relativa (Gravedad Específica) del agregado grueso.....85

Tabla 3-9 Densidad a Granel (Bulk Density) o Peso Unitario y los huecos de aire de la piedra pómez. 86

Tabla 3-10 Densidad Relativa (gravedad específica) del Agregado Grueso Ligero (Piedra Pómez) con metodología propuesta.....92

Tabla3-11 Absorción del Agregado Grueso Ligero (Piedra Pómez) con metodología propuesta. 93

Tabla 3-12 Resistencia a la degradación de los áridos gruesos de gran tamaño, mediante el método de abrasión e impacto en la máquina de los ángeles, según ASTM C535.....97

Tabla 3-13 Resultado de los ensayos empleados para mezclas. 98

Tabla 4-1 Características de los materiales para las mezclas. 102

Tabla 4-2 Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos nominales del Agregado. 103

Tabla 4-3 Correspondencia entre la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes y la resistencia a la compresión del hormigón. 104

Tabla 4-4 Interpolación de la relación a/c 104

Tabla 4-5 Resumen de la primera iteración de la mezcla matriz de 280 f'c con 0% piedra pómez, cálculo para 0.020 m3 de la concretera. 107

Tabla 4-6 Primera reestimación de mezcla 280f'c 0% Pómez 109

Tabla 4-7 Resumen de la Mezcla Matriz de 280 f'c 0% Pómez corregida. 110

Tabla 4-8 Primera Reestimación de Mezcla 350f'c 0% Pómez..... 110

Tabla 4-9 Resumen de la Mezcla Matriz de 350 f'c con 0% Pómez corregida 111

4-10 Resumen de mezclas de hormigón ligero estructural 112

Tabla 5-1 Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de 280kg/cm2 a distintas proporciones de Piedra Pómez. 118

Tabla 5-2 Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de 350 kg/cm2, a distintas proporciones de Piedra Pómez. 119

Tabla 5-3 Porcentaje perdido de la resistencia a la compresión de las mezclas con respecto a la mezcla matriz. 120

Tabla 5-4 Determinación de la Resistencia a la flexión del hormigón (usando una viga simple con carga de tres puntos), para mezclas de 280 f'c esperado. 124

Tabla 5-5 Determinación de la Resistencia a la flexión del hormigón (usando una viga simple con carga de tres puntos), para mezclas de 350 f'c esperado. 125

Tabla 5-6 Porcentaje perdido de la resistencia a la flexión o módulo de rotura de las mezclas con respecto a la mezcla matriz. 126

Tabla 5-7 Datos generales para el cálculo del Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez. 131

Tabla 5-8 Datos de carga y deformación obtenidos en el laboratorio, cálculo de deformaciones unitarias y esfuerzo a la compresión. 132

Tabla 5-9 Cálculo de la deformación longitudinal y transversal correspondiente al 40% de la Carga Última.....133

Tabla 5-10 Cálculo del esfuerzo S1 y deformación transversal Et1 133

Tabla 5-11 Datos para el cálculo del Módulo de Elasticidad. 133

Tabla 5-12 Datos para el cálculo de la Relación de Poisson. 134

Tabla 5-13 Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez. 134

Tabla 5-14 Ensayo para determinar el Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez de 280f'c 40% pómez. 135

Tabla 5-15 Resumen de los Parámetros Elásticos de los 30 cilindros ensayados bajo la norma ASTM C69-14. 136

Tabla -6-1 Resumen de las Expresiones Propuestas para el Análisis de las Propiedades Físico-Mecánicas. 151

Tabla 7-1 Resumen de precios 2023 de los materiales 154

Tabla 7-2 Resumen de cantidades de los materiales del hormigón ligero estructural por m3 ...155

Tabla 7-3 Resumen de costos de las mezclas de hormigón ligero estructural. 155

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 5-1 Esfuerzo a la Compresión Vs Deformación Unitaria longitudinal y transversal de la probeta N°2 de 350f'c con 0% Piedra Pómez 134

Diagrama 6-1 Correlación de Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Elasticidad (E), para especímenes de 280f'c. 143

Diagrama 6-2 Correlación de Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Elasticidad (E), para especímenes de 350f'c. 144

Diagrama 6-3 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Relación de Poisson (ν), para especímenes de 280 f'c. 145

Diagrama 6-4 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Relación de Poisson (ν), para especímenes de 350 f'c. 145

Diagrama 6-5 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Rigidez (G), para especímenes de 280f'c. 146

Diagrama 6-6 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Rigidez (G), para especímenes de 350f'c. 146

Diagrama 6-7 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 280f'c. 147

Diagrama 6-8 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 350f'c. 147

Diagrama 6-9 Correlación Módulo de Elasticidad (E) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 280f'c. 148

Diagrama 6-10 Correlación Módulo de Elasticidad (E) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 350f'c 148

Diagrama 6-11 Correlación Módulo de Rigidez (G) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 280f'c. 149

Diagrama 6-12 Correlación Módulo de Rigidez (G) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 350f'c. 149

Diagrama 6-13 Correlación Relación de Poisson (ν) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 280 f'c. 150

Diagrama 6-14 Correlación Relación de Poisson (ν) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 350 f'c. 150

ÍNDICE DE ECUACIONES.

(Ecuación (3-1) Cantidad que pasa el tamiz No 200, mediante lavado, ASTM C117-17. 55

(**Ecuación (4-1).** Relación Agua/Cemento. 103

(Ecuación (4-2). Volumen de cemento.....104

(Ecuación (4-3) Peso Unitario del Hormigón.....105

(Ecuación (4-4) Peso Unitario de los agregados en estado S.S.S.....105

(Ecuación (4-5) Volumen de Agregado fino (SSS).....106

(Ecuación (4-6) Volumen de Agregado grueso (SSS) 106

(Ecuación (4-7) Masa Seca.....106

(Ecuación (4-8) Masa Natural 106

(Ecuación (4-9) Agua de mezcla. 107

(Ecuación (4-10) Factor de Corrección. 109

(Ecuación (4-11) Corrección de Agua Neta 109

(Ecuación (5-1). Módulo de elasticidad. 128

(Ecuación (5-2) Relación de Poisson. 129

(Ecuación (5-3). Módulo de rigidez o corte. 130

(Ecuación (6-1) Coeficiente de Pearson 141

(Ecuación (6-2) La matriz de correlación R 142

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Generalidades.

El hormigón es un conglomerado pétreo de un poco más de siglo de vida, cuyo desarrollo ha sido tan espectacular y sus campos de aplicación tan importantes, que se puede afirmar que el estudio de estos, va de la mano con el desarrollo del mundo que hoy en día conocemos. Sus exhaustivos análisis lo han colocado en un puesto de vanguardia en la construcción actual, por ende, han surgido continuamente investigaciones que han identificado sus diferentes variedades y cualidades (Casinello, 1996), dependiendo del análisis previo de sus propiedades físico-mecánicas características, acordes a las necesidades del visionario.

El tipo de hormigón que se ajusta a las exigencias actuales de nuestra época es el hormigón tipo ligero, ya que hoy en día la tendencia está enfocada en la construcción de edificaciones cada vez más altas a cortos plazos. El uso de este tipo de hormigón especial ha hecho posible llevar a cabo diseños, que en otra forma hubieran tenido que abandonarse por razones del peso (Short & Kinniburgh, 1967).

En países que cubren una vasta epistemología sobre ellos, han determinado que su uso limitado para bloques, mampostería o prefabricados de paneles, son cosa del pasado, ya que las

resistencias mecánicas que los caracterizaban, han incrementado exponencialmente hoy en día, llegando hasta 80 o 100 MPa (Medina, 2008, p. 253), por lo que actualmente se han ganado la confianza de ser utilizados en obras de alto impacto estructural, como lo son: losas, cubiertas de edificios, voladizos de hasta 10m (Mas, 2012, p. 148), ensanchamiento y reparaciones de puentes viejos, levantamiento de puentes nuevos, incremento de niveles adicionales en edificios existentes, reduccion de cantidad de mezcla y cuantía de acero en edificios nuevos (Chryso, 2022), elementos pretensados o prefabricados de todo tipo, estructuras marinas (ACI 213R-14, p.2), y entre otras aplicaciones además, es decir actualemte su uso es ilimitado y abierto a nuevos descubriemientos.

Por otra parte cabe recalcar que, gracias a su idoneidad superior a los convencionales debido a su ligereza y porosidad, los hormigones ligeros también son más resistentes a las agresiones atmosféricas, como la resistencia al fuego, aislamiento térmico (Mas, 2012, p. 19), absorción de energía, aislamiento acústico (Mas, 2012, p. 18), entre otros, destacando que pueden emplearse sin tratamientos especiales específicos (Mas, 2012, p. 147), por lo que ha conllevado a investigar e implementar nuevos y novedosos mecanimos constructivos para fortalecer sus escasas debilidades, haciendolos aptos y complementarios para cada uno de este tipo de hormigones.

Es por esto, y por una gama de propiedades retributivas que se detallan más adelante, la presente investigación está enfocada al análisis de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón tipo ligero, diseñado con agregados propios de nuestra zona.

1.2 Justificación.

Debido a las ilimitadas posibilidades de este tipo de hormigón y al inmerso análisis, que ha conllevado a nuevos descubrimientos a favor de la construcción futurística mundial, es de esperarse que estadísticamente el precio de los hormigones ligeros sea más elevado que el de los convencionales, ya que el mismo es directamente proporcional a la idiosincrasia constructiva de cada país, es decir, depende de: los recursos de áridos, ubicación geografica, capacidad de industrialización y situación científica (Mas, 2012, p. 147). Lo que nos corrobora para entender que cada país tiene sus propios precios y estos varían según las situaciones detalladas anteriormente, para poder llamarlo elevado o económico.

El Ecuador al ser un país Andino, posee grandes yacimientos de piedra pómez, por ende, amerita el inmerso análisis de hormigones ligeros fabricados con este agregado típico de nuestra zona, además de que el estudio de sus propiedades físico-mecánicas, como el Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson, Módulo de Rigidez, Módulo de Rotura, entre otros, conllevaría a predecir las deformaciones resultantes, logrando que estas no sean excesivas hasta el punto de la deformación plástica, la fatiga acelerada o incluso la rotura (Sonelastic ATCP, 2020), es decir determinar que los diseños estructurales estén ajustados y sean más coherentes a la realidad de los materiales.

Lo cual llevaría a generar a gran escala luces para entender su comportamiento, sirviendo de sustento para futuras investigaciones y proyectos dentro del campo de la ingeniería civil.

1.3 Planteamiento del Problema.

Como se impartió anteriormente, a nivel global existen grandes demandas por satisfacer en tiempos relativamente cortos, paralelo a las tendencias de llegar a grandes alturas vertiginosamente (Short & Kinniburgh, 1967), lo cual es posible únicamente para los países que lideran el conocimiento vasto de las propiedades físico-mecánicas de los hormigones ligeros estructurales (Medina, 2008), ya que han extendido el desarrollo científico de este ámbito, logrando hoy en día gozar de sus ilimitadas posibilidades y beneficios.

Esto implica que el análisis estructural previo, tiene que ajustarse aún más a la exactitud de los parámetros elásticos reales del hormigón, para el correcto modelamiento estructural en los diferentes programas de diseño, ya sea: Etabs, Sap2000, Robot, Revit, Cypecad, entre otros (Mott, 2009, p. 8), y de esta manera garantizar la seguridad y desempeño adecuado de las estructuras civiles.

Se considera que en nuestro país la investigación de estas propiedades, en especial las de los hormigones ligeros es limitada, lo que repercute para que los ingenieros estructurales tomen valores referenciales para modelar en los diversos programas de diseño, reflejando resultados muy alejados a la realidad y como consecuencia de esto, se afecta a la estructura con fallas no predichas en el diseño del proyecto. (Sonelastic ATCP, 2020).

Como se detalló previamente, el uso limitado de hormigones ligeros estructurales para bloques, mamposterías y prefabricados de paredes es cosa del pasado en países que corroboran los cálculos pertinentes de esta tecnología (Medina, 2008, p. 253).

El Ecuador al tener investigaciones acotadas sobre estos parámetros elásticos, da involuntariamente luz verde para que la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), referente a las estructuras de hormigón Armado (NEC - SE – HM - 14) en el acápite 3.2.1 de Generalidades, donde menciona la importancia de las propiedades físico – mecánicas y el sumo cuidado de la relación agua / cemento, recalque que para hormigones ligeros, el lector debe dirigirse a la norma de uso exclusivo para mamposterías (NEC - SE – MP -14), así como también en el acápite 3.2.3 literal b) Requisitos para mezclas de hormigón, envía al lector nuevamente a la norma de mamposterías.

Se constata entonces que el Ecuador no goza de los beneficios de estos hormigones como elementos estructurales de suma importancia, por ende, se espera determinar un aporte fundamental para el análisis del comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de estos hormigones estructurales ligeros fabricados con piedra pómez y de esta manera lograr que en el futuro se sirva de base para futuras investigaciones que lleven al Ecuador a regocijarse de esta tecnología.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Estudiar las propiedades físico – mecánicas de los hormigones ligeros estructurales fabricados con agregados de Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi, mediante diagramas que correlacionen dichos parámetros, para determinar de forma más precisa el comportamiento real de este tipo de hormigones.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ♠ Determinar las características y propiedades de los agregados.
- ♠ Diseñar mezclas de diferentes resistencias y proporciones de piedra pómez del agregado grueso total.
- ♠ Determinar las propiedades físico – mecánicas, como: Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson, Módulo de Rigidez, Módulo de Rotura y Resistencia a la Compresión.
- ♠ Generar gráficos comparativos entre parámetros físico-mecánicos.
- ♠ Analizar el comportamiento de estos hormigones según la influencia del porcentaje de agregado grueso ligero.

1.5 Alcance.

La presente investigación tiene como alcance el análisis de las propiedades físico – mecánicas del hormigón ligero estructural a base de piedra pómez y su comportamiento a la edad normalizada de 28 días, para lo cual se realizarán 5 mezclas diferentes por cada resistencia, es decir, 1 mezcla de hormigón normal sin reemplazo como matriz y 4 mezclas con reemplazo de piedra pómez a distintas proporciones del agregado grueso total, respectivamente de 40, 55, 70 y 85%, para resistencias esperadas de 280 kg/cm^2 y 350 kg/cm^2 (28 MPa y 35 MPa/ o 280fc' y 350 fc') de tal manera que se completarán 10 dosificaciones en total. Por ende, ha surgido la necesidad de emplear dos clases de agregado grueso, que conformen la proporción total del mismo; uno convencional, procedente de la Mina Copeto de Santo Domingo de los Tsáchilas y otro ligero, oriundo de la provincia de Cotopaxi.

Para llevar a cabo lo antes expuesto, se fabricarán 3 viguetas y 6 cilindros de hormigón por dosificación, haciendo un total 60 cilindros y 30 viguetas para ensayar, de los cuales 30 cilindros se tomarán para Compresión Simple, 30 restantes para Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez, y finalmente 30 viguetas para el cálculo del Módulo de Rotura.

1.6 Hipótesis

El desempeño de las propiedades físico-mecánicas de los hormigones ligeros estructurales se ve afectados por la cantidad de agregado ligero que estos contengan.

1.7 Variables.

La operacionalización de la investigación procura estudiar el comportamiento del hormigón para las diferentes resistencias esperadas, en las cuales las variables serán dependientes e independientes:

1.7.1 Variables Dependientes:

a) Propiedades físico-mecánicas.
b) La dosificación.

1.7.2 Variables Independientes:

a) Relación agua - cemento
b) Porcentaje de reemplazo del agregado liviano en la dosificación del hormigón.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 Antecedentes o Marco Referencial.

Su origen se remonta en la adolescencia de la historia, en el siglo II D.C. cuando los Romanos usaban frecuentemente en sus construcciones, un tipo de hormigón ligero a base de piedra pómez, tal es el caso de la cúpula del Panteón de 44 m. de diámetro (Short & Kinniburgh, 1967), el mismo que no hubiese podido llegar a tan gran magnitud, sin la combinación de diferentes tipos de hormigones en su estructura, como así lo pacta Alfred Hummel en 1966, estipulando que; ‘‘La tecnología del hormigón pesado debe complementarse con la tecnología del hormigón ligero.’’ (p. 245).

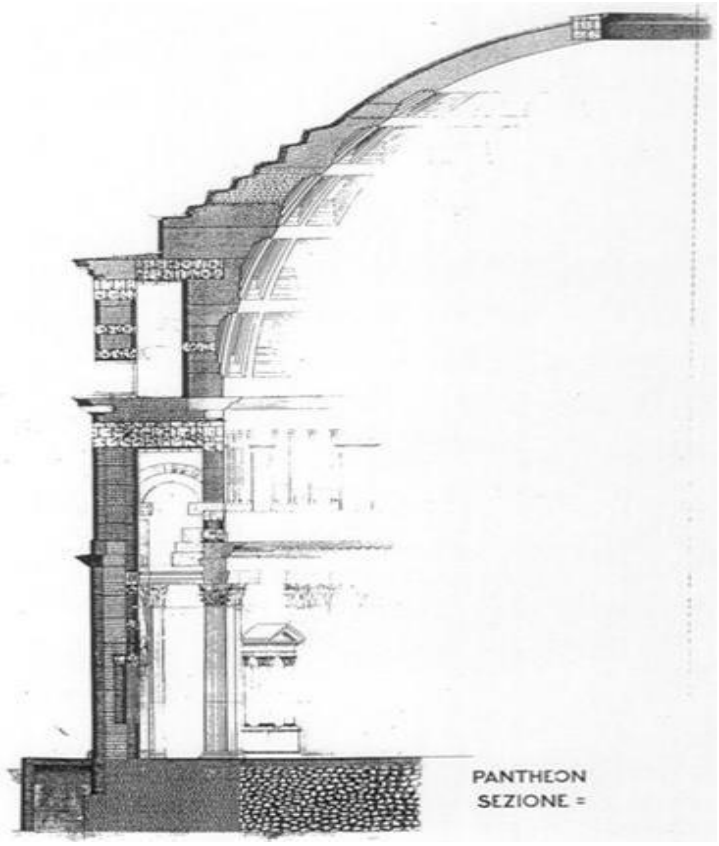
Figura 2-1
Geometría del Panteón de Roma



Tomada de: Panteón de Roma [Fotografía], Amich, (2018).

En 1934 el gobierno italiano dispuso la realización de importantes operaciones de rehabilitación, donde Terenzio analizó directamente los casetones de la cúpula, constatando que esta es maciza y se encuentra constituida por anillos horizontales autoportantes, elaborados con hormigón ligero estructural a base de piedra pómez, lo cual lo lleva a testificar que existe una diferencia de casi dos tercios entre el peso del hormigón de la cimentación y el utilizado en la parte del óculo, logrando crear un elemento monolítico, sin tener que ser homogéneo. Esta variedad y uso de los diferentes tipos de hormigón empleados, nos revela el extraordinario refinamiento que tenían los romanos en la utilización de su material (Amich, 2018, p. 20).

Figura 2-2
Sección de los diferentes tipos de hormigones utilizados en el Panteón de Roma.



Tomada de: Sección de los diferentes tipos de hormigones utilizados en el Panteón de Roma. [Fotografía], Terenzio, (1932).

Es valioso recalcar que después de casi dos mil años, esta importante estructura perdura en el tiempo, además de afirmar que este tipo de sistema constructivo elemental maximiza la potencia de los materiales, desde ese entonces manejados por nuestros antecesores.

En EE. UU. principalmente emergió de manera rauda la necesidad de producir hormigones ligeros a gran magnitud más que en ninguna otra parte, debido al enorme tamaño de este país que origina altos costos de transporte, para movilizar mercancías voluminosas que requieran grandes distancias de acarreo. Así mismo en Alemania, al poseer un volumen cada vez mayor de construcciones, paralelamente a los factores económicos y sociales, señalaron la urgencia de aumentar la producción de concretos ligeros con agregados propios de la zona, lo cual sirvió también como estímulo para el uso de estructuras hechas de hormigón ligero a base de piedra pómez. (Short & Kinniburgh, 1967).

Built Environment, Science and Technology International Conference (BEST ICON, 2018) afirma que, además de la reducción de costo por la facilidad de transporte, el uso del hormigón ligero estructural como material de construcción en áreas propensas a actividad sísmica, sirve como una buena alternativa debido a sus bajas densidades que reducen significativamente la carga si se ven afectados por un terremoto.

Actualmente tanto Occidente como Oriente se han envuelto en la ardua necesidad de analizar las propiedades físico-mecánicas de los hormigones fabricados con este agregado, ya que se forma de manera natural a partir del ácido del magma que emerge de erupciones volcánicas, expulsando este material al aire para luego ser transportado gravitatoriamente de manera horizontal, acumulándose como rocas piroclásticas (Parmo, et al., 2018).

Además de que sus ventajas no sólo engloban la característica de ligereza mencionada previamente, se afirma que también posee un mayor aislamiento térmico o propagación de calor que otros tipos de hormigones ligeros, así como también es resistente al fuego (Mas, 2012, p. 19), no es nocivo para la salud, respeta el medio ambiente, absorbe energía y tiene mejores propiedades de propagación de sonido. (Mas, 2012, p. 18).

Sin embargo, el hormigón ligero tiene algunos inconvenientes, como ser quebradizo a consecuencia de tener baja resistencia a la tracción (Nugraha, 2007) además de que exige un contenido de cemento relativamente alto. Estas debilidades se esfuerzan continuamente por mejorar, por ejemplo, con la adición de refuerzo de fibra, así como la sustitución parcial del cemento por otros materiales aglomerantes más económicos (Abdullah et al., 2007).

En países con alto riesgo sísmico tal y como es el caso del Ecuador, investigaciones como la de Caicedo y Tipán et al. (2019), mencionan que:

> ‘‘El hormigón estructural liviano puede ser implementado en edificaciones, para disminuir la carga muerta y con ello reducir las secciones de elementos estructurales. También es una buena alternativa cuando se tienen suelos con baja capacidad portante. Debido a que la ciudad de Quito se encuentra en una zona de alta peligrosidad sísmica, la utilización de hormigones livianos ayuda a reducir la carga de sismo; los datos de propiedades mecánicas del hormigón ligero pueden utilizarse para el cálculo estructural y con ello predecir que las derivas sean menores a 0.02 que establece el Código NEC - SE – DS – 15 Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente.’’ (p. 112).

Se revela entonces que el uso de este tipo de hormigón ligero estructural, además de permitir inigualables alturas, luces o diámetros que, con un hormigón convencional, goza de una gran variedad de propiedades físico-mecánicas beneficiosas mencionadas previamente, como también se estipuló que es un magnífico colaborador en zonas de alto riesgo de actividad sísmica, como lo es nuestro País.

En este punto llama la atención recalcar que el análisis de las propiedades físico-mecánicas y el meollo exhaustivo de su comportamiento, marcarían un hito trascendental para nuestro país, al ser orgullosamente ubicados en el puesto número 15 de la lista de países con más volcanes del mundo (Quiroz & Guerra, 2015).

Figura 2-3
Actividad Volcánica en el Ecuador



Tomada de: Global Volcanism Program de la Smithsonian Institution (GVP-SI) e Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN) [Mapa] https://especiales.elcomercio.com/2015/09/mapa-volcanes/.

2.2 Marco Legal.

En Ecuador los Hormigones Ligeros Estructurales se encuentran actualmente en su fase de desarrollo y análisis, por lo que se ha mencionado anteriormente, que el código nacional NEC - SE – HM - 14 referente a las Estructuras de Hormigon Armado, estipula que para hormigones ligeros estructurales, el lector debe dirigirse únicamente a la norma de uso exclusivo para mamposterías NEC - SE – MP - 14, ya que no los toma en cuenta como elementos armados por el momento.

El presente estudio al abarcar un análisis de las propiedades fisico-mecánicas, para el diseño y modelamiento en programas estructurales que requieran estos parámetros, amerita un control técnico adecuado y oportuno para su estudio y fabricación, por ende, la presente investigación toma como referencia la normativa de carácter internacional

American Concrete Institute (ACI 318-19) la cual garantiza su adecuada elaboración, proporcionando los requisitos de los materiales, el diseño, construcción y evaluación de la resistencia de miembros y sistemas de concreto estructural de cualquier elemento diseñado y construido bajo esta norma.

Adicionalmente se utilizará: La Práctica Estándar para seleccionar proporciones para

Hormigón Ligero Estructural, reaprobada en 2004 (ACI 211,2-98) que permite el desarrollo de la correcta dosificación y el ajuste de las proporciones de hormigón de grado estructural que contiene áridos ligeros.

Así como también, La Guía para Concreto Estructural de Agregado Liviano (ACI 213R-14) la cual afirma que; “Esta guía cubre las características únicas y el rendimiento de hormigón estructural de agregado ligero (Lightweight-Aggregate) LWA. Proporcionando información histórica general junto con información detallada sobre LWA, dosificación, mezcla y fabricación de hormigón que contenga áridos ligeros.’’. (p. 2)

Para la elaboración de muestras, el ensayo y control de los diferentes agregados, se emplearán las normas nacionales del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), así como también las normas internacionales del American Society for Testing and Materials (ASTM) y ACI, en el caso de una actualización más reciente a las nacionales.

2.3 Marco Conceptual.

2.3.1 Hormigón Ligero Estructural.

De acuerdo con la Práctica estándar para la Selección de Proporciones de Concreto estructural liviano, reaprobada en 2004 (ACI 211,2-98), ‘‘El hormigón de agregado ligero estructural se define como hormigón que: (a) está elaborado con agregados livianos de acuerdo con la especificación de estándar de agregados ligeros para hormigón estructural ASTM C330 , (b) tiene una resistencia a la compresión superior a 172 kg/cm2 a los 28 días de edad cuando se prueba de acuerdo con los métodos establecidos en ASTM C330 , y (c) tiene un peso seco al aire que no excede de 1842 kg/m3 según lo determina la norma ASTM C567.’’ (p.2).

Según la Norma Italiana UNI 7548, 92; ‘’Un hormigón ligero estructural es aquel que tiene una densidad entre 1200 y 2000 kg/m3 y una resistencia entre los 150 y 250 kg/cm2’’ (p.3). Sin embargo, Neville en el 2013, estipula que: ‘‘si un hormigón presenta una densidad menor que la densidad del hormigón de peso normal, es razón suficiente para ser considerado como hormigón ligero’’.

2.3.2 Medios que influyen en las Propiedades del Hormigón.

Los medios para influir en las propiedades físico-mecánicas del hormigón son múltiples y variados, los mismos pueden actuar en conjunto o individualmente, por ende,

amerita recalcar que la falla de un hormigón no siempre depende de la mala calidad del cemento o a la insuficiente dosis de este, como se cree regularmente (Hummel, 1966, p.39).

A continuacion se enumeran algunas causas que influyen:

A. La especie y calidad del aglomerante.

B. El tipo y la composición granulométrica de los áridos.

C. La forma de los granos del árido y la naturaleza superficial de los mismos.

D. La resistencia propia de los áridos empleados.

E. Dosificación del Hormigón (Relación entre el cemento y los áridos).

F. La relación agua/cemento.

G. Control de calidad al momento de realizar la mezcla.

H. La manejabilidad o trabajabilidad del hormigón.

I. El Asentamiento.

J. La temperatura de los materiales mezclados y el medio ambiente.

K. El tratamiento ulterior del hormigón.

L. La edad del endurecimiento.

M. El tamaño de la probeta de ensayo y su forma.

N. La disposición del ensayo.

O. En casos que se haya incrementado, materias con fines especiales.

Por tal motivo se constata que, la fabricación de un hormigón es un arte que implica un inmerso conocimiento de cada una de las causas que podrían generar un efecto positivo o contraproducente en su elaboración, así como también el sumo cuidado y control de estos medios para llegar a obtener propiedades físico-mecánicas esperadas.

CAPÍTULO III

3. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

3.1 Selección de los Materiales.

Las propiedades de los componentes del hormigón ligero a estudiarse, como lo es: agua, agregado grueso, agregado grueso ligero, agregado fino y material cementante, influyen directamente en las propiedades físico-mecánicas del hormigón como producto final, es como decir químicamente que las propiedades de los solutos de una mezcla, producen efectos en la solución final, reflejandose convenientes o contraproducentes, según la dosificacion manejada.

Por tal motivo, para la respectiva proporción de sus componentes, se procura emplear materias primas que ameriten el diseño de un hormigón ligero estructural y que acaten las respectivas normas de control de calidad, tanto nacionales como internacionales.

3.1.1 Selección del Cemento.

El cemento para emplearse debe satisfacer las mismas exigencias que para los hormigones convencionales (Mas, 2012, p.8). El mismo tiene la función de aglomerar

correctamente el conjunto conformado y contribuir con la resistencia mecánica del hormigón (Bermudez & Cadena, 2015).

En tal caso se empleará un cemento de uso general tipo GU (General Use), de la marca Holcim, ya que cumple con la Norma Técnica Ecuatoriana referente a los requisitos de desempeño para Cementos Hidráulicos (NTE INEN 2380:2011) como se muestra en la fotografía, además de que es el más popular actualmente en el mercado de la construcción ecuatoriana y abarca varias investigaciones que respaldan su compatibilidad con la NEC.

Figura 3-1
Cemento para todo tipo de construcción tipo GU, marca Holcim



Tomada de: [Fotografía] (2021), http://www.atramitar.com/publicacion.jsp?id=165

3.1.2 Selección del Aditivo Reductor de Agua.

La mezcla matriz de 350 kg/cm2, al tener una resistencia inicial alta, su relación agua/cemento será relativamente baja, por lo consecuente es necesario el uso de un Aditivo Reductor de agua, de base química de Naftaleno Sulfanatado, ya que tiene compatibilidad con cualquier cemento ecuatoriano, al no inducir una interacción con el agregado netamente. Genera una barrera histeretica, produciendo mayor fluidez al momento de ejecutar la mezcla.

El reductor de agua no actúa reduciendo el agua, más bien incrementa el agua de la pasta, lo que significa que asumiendo relaciones agua/cemento muy bajas de 0.35 a 0.20 de hormigones sumamente secos, este permite que esa relación de 0.35, con cierta adición de aditivo, emule o simule tener una relación agua/cemento de 0.65, sin perder las propiedades de la relación de 0.25 – 0.35 obtenida previamente sin el aditivo. Su objetivo netamente es controlar el tema de la trabajabilidad, no ayuda incrementar la resistencia, esa ventaja genera otro tipo de aditivos que contengan cargas puzolánicas (Admix, 2021).

Figura 3-2
Aditivo Reductor de Agua de base de Naftaleno Sulfanatado, de la marca AdMix.



La hoja de especificaciones técnicas se encuentra en los anexos.

3.1.3. Selección de los Agregados.

3.1.3.1 Agregado Grueso Ligero.

El hormigón ligero estructural por diseñarse utiliza un agregado ligero típico de nuestra zona ecuatoriana, a distintas proporciones del agregado grueso total, por tal motivo genera la necesidad de utilizar dos tipos de agregado grueso que conformen la proporción total del mismo.

Uno ligero procedente de la Provincia de Cotopaxi, como lo es la piedra pómez, ya que cumple con los parámetros exigidos por la especificación estándar de Agregados Ligeros para Hormigón Estructural (ASTM C330M - 17ª), en el acápite 4.1.2. de tipos de agregados, donde menciona; ‘‘Agregados preparados mediante el procedimiento de materiales naturales, como piedra pómez, lava o toba.’’ (p.2).

El mismo satisface además con el capítulo 5 de esta norma sobre Composición Química, ya que los resultados obtenidos bajo la norma ASTM C40M – 20 reflejaron que no contiene impurezas organicas, así como también el acápite 6 sobre Propiedades Físicas. Cabe recalcar que todos estos resultados se detallan más adelante.

3.1.3.2. Agregado Grueso Convencional

Para el agregado grueso convencional se emplea ripio de 1’’ o 25mm, originario de Santo Domingo de los Tsáchilas, de la Compañía de Pétreos del Toachi, Mina COPETO C.

LTDA, el mismo que cumple con la Especificación de Estándar de Agregados para Hormigón (ASTM C33M - 18) y se obtiene de distintos puntos de la mina como se observa a continuación:

Figura 3-3
Obtención de las muestras in situ del agregado grueso convencional de distintos puntos de la mina.



A.



B.



C.

3.1.3.3 Agregado Fino.

Para el agregado fino, se ha tomado Arena Lavada, que procede del río ‘‘Toachi’’ de Santo Domingo de los Tsáchilas, lo cual es beneficioso ya que elimina los finos que pasan el tamiz No 200 como se especifica en la Norma ASTM C117-17, de igual manera este agregado procede de la Mina COPETO C. LTDA.

Esta compañía satisface las normas de calidad nacionales: INEN-NEC e inclusive con la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 MTOP, así como también con el código de índole internacional: ASTM 33/C33M - 18.

Figura 3-4
Obtención de las muestras in situ del agregado fino de distintos puntos de la mina.



A.



B.

3.2. Ensayo de Áridos.

Como se mencionó en el capítulo 2, acápite 2.2 del Marco Legal, en el caso de que las normas de carácter internacional ASTM, se encuentren más actualizadas que las nacionales en vigencia, se tomará inmediatamente la última norma referente al método de prueba estándar a emplearse.

3.2.1 ASTM C702-18: Reducción de muestras de agregado a tamaño para pruebas.

La norma nacional INEN 2 566 vigente ha sido revisada hasta el 2010, por lo que se tomará la ASTM C702 revisada en el 2018 por última vez. Esta norma contribuye con la guía necesaria para minimizar las variaciones o márgenes de error, en los parámetros calculados de los ensayos que se ejecuten a futuro, ya que las especificaciones o normas para la elaboración de ensayos de agregados, requieren la obtención de muestras representativas del material de suministro total o mina, para garantizar una serie de pruebas descriptivas y de calidad (ASTM C702M – 18, p. 2).

Es decir que, se trata de obtener muestras en campo que representen de forma correcta, entre las muestras de prueba seleccionadas y la muestra total de la mina. Para ello se debe recolectar muestras que abarquen varios y distintos puntos de la mina, para luego en el laboratorio homogenizar y mezclar todos los saquillos recolectados.

En el caso de la presente investigación, se recolecto 17 sacos de 50kg de arena, 13 sacos de 50kg de ripio de 1’’ y 10 sacos de Piedra Pómez, muy livianos, lo cual permite afirmar que fue muy cómodo transportarlos, llevándose un saco por mano.

3.2.1.1 Agregado Fino.

Para el agregado fino, existen tres métodos de cuarteo, según esta norma:

- **Método A**: El primero requiere que la arena se encuentre en estado Saturado con Superficie Seca (SSS), y de esta manera hacer uso de un divisor metálico o cuarteador. Ya que esta es procedente del río Toachi y se encuentra lavada, se requirió abrir todos los sacos y a continuación proceder a mezclar u homogenizar cada uno de estos, con el fin de llegar a que el agregado entre en una condición estable de humedad natural.

Figura 3-5
Proceso de obtención de muestras del agregado fino, Método A.



A.



B.



C.



D.



E.



F.



G.



H.



I.



J.

Nota: Las fotografías: **A)**, **B)**, **C)** y **D)**, pertenecen al día 1 de apaleado para llegar a SSS. Mientras que **E)** es el día 3, **F)** día 5, **G)** día 7, **H)** día 9, **I)** día 11 y finalmente **J)** día 13.

Cabe recalcar que este proceso se realizó en las instalaciones del Laboratorio del Gobierno Autónomo Descentralizado de Santo Domingo (GAD M-SD) de la Empresa Pública de Construcción (EP-CONST), por ende, amerita mencionar que el clima de esta provincia es Trópico-Húmedo, y para lograr que las muestras se ambientalicen o lleguen a su humedad natural, tomo casi 2 semanas para este fin.

A continuación se debe cuartear en la maquina metálica un gran porcentaje de esta arena previamente mezclada manualmente, para los ensayos a realizarse y el resto se debe almacenar en los respectivos sacos, para utilizarse en las mezclas a futuro.

Por experiencia, este método es necesario para cuando se vaya a realizar las dosificaciones, ya que se necesita que los agregados estén en estado SSS, por consiguiente para la realización de los ensayos, es mas versátil y eficiente utilizar el método B o C por tiempo, para los ensayos.

- **Método B:** Este método consiste en reducir el tamaño de las muestras que tienen humedad libre en las superficies de las partículas o provienen directamente de la mina en ese estado, mediante división en cuartos o cuarteo manual.

  Este método es más versátil para la realización de muestras para ensayos, ya que se lo realiza enseguida y no necesita un estado SSS, como mencioné anteriormente, fue la razón por la que en primera instancia se lo haya ocupado preferentemente.

Figura 3-6
Proceso de obtención de muestra de agregado fino según el Método B



A. B.

C. D. E.

Este proceso **A)**, **B)**, **C), D)** y **E)** deben repetirse simultáneamente hasta obtener muestras de 1kg como mínimo.

Cabe recalcar que del pastel completo por así decirlo, se debe dividir en cuartos, y por consiguiente, tomar dos cuartos de cada lado y devolverlo al saco, luego se vuelven a mezclar estos dos cuartos restantes y se repite el proceso de cuarteo, hasta llegar a tener muestras de 1kg como lo piden todas las normas ASTM como mínimo.

- **Método C:** Aplica sólo para agregado fino húmedo y mediante tratamiento como pilas en miniatura, el cual no se utilizó para esta investigación.

3.2.1.2 Agregado Grueso.

- **Método A:** Al igual que para el agregado fino, se amerita que se encuentre en estado SSS, pero este requerimiento es más necesario que cumpla el agregado fino, ya que caso contrario, en estado húmedo, lo conllevaría a pegarse en la cuarteadora metálica, por ende este método brinda mayor facilidad para emplearse con el agregado grueso, además de que manualmente con el método B, resultaria muy agotador para el laboratorista u operador.

Figura 3-7
Proceso de obtención de muestra de agregado grueso según Método A



A. B.



C.



D.

Este procedimiento debe repetirse simultáneamente hasta obtener muestras de 5kg como mínimo

- **Método B:** Este método es viable y permitido según la norma para el agregado grueso, sin embargo, a su vez no es óptimo, ya que sería un trabajo sumamente agotador de realizar por cuarteos manuales con este agregado convencional, debido a su considerable peso.

- **Método C:** No aplica.

3.2.1.3 Agregado Grueso Ligero.

- **Método A:** Para el agregado grueso ligero, de igual manera por condiciones de eficacia, este método es compatible, además por su ligereza también podría ser posible realizar con facilidad el método B, el cual es agotador para el ripio convencional.

Figura 3-8
Proceso de obtención de muestra de agregado grueso ligero según Método A



- **Método B:** Por su ligereza es aplicable, sin embargo, para una eficacia mayor de homogeneización de la muestra, es preferible realizar el método A.

Figura 3-9
Proceso de obtención de muestras del agregado grueso ligero, Método B



Obtención de muestras de Piedra Pómez bajo el Método B de la ASTM C702.

- **Método C:** No aplica.

Es oportuno recalcar, que a pesar de que la norma pide 5kg como mínimo de muestra para agregado grueso, para los livianos como la piedra pómez, 1kg es más que suficiente para las muestras a ensayarse.

Figura 3-10
Muestra de piedra pómez de 1kg a la izquierda, el mismo volumen ocupa 6 kg de ripio convencional, a la derecha.



Se ha tomado una graduación similar de ambas muestras de ¾'', se puede observar además que la piedra pómez tiene una apariencia redondeada con respecto a la del ripio convencional, que es angular.

3.2.2 ASTM C117-17: Materiales más finos que un tamiz No 200 en los agregados minerales mediante lavado.

En la normativa nacional dicho ensayo se menciona en la NTE-INEN 697:2010, en la presente investigación se ha tomado la ASTM C117-17 revisada en el 2017. El presente método de prueba tiene como alcance determinar la cantidad de material que pasa el tamiz No 200, es decir con una fineza mayor que dicho tamiz en el agregado mediante lavado.

Esta masa que pasa se reporta nuevamente en el ensayo de granulometría ASTM C136M-19, como pasante del tamiz No4.

3.2.2.1 Agregado Fino.

Figura 3-11
Método de prueba estándar para materiales más finos que un tamiz No 200, agregado fino.



A. B. C. D.

A) Tamices No 200 y No 16. **B)** Posición de los tamices para el ensayo, el tamiz No16, es necesario para atrapar moléculas que podrían dañar la malla fina del tamiz No200. **C)** Proceso de lavado. **D)** Materiales retenidos en cada tamiz.

Lo retenido en el tamiz No 16 y 200, debe volver a la muestra para el siguiente paso de secado en horno, después de 24h de secado, se vuelve a tomar el peso final de la muestra, por ende, la masa inicial antes del ensayo secada al horno, menos la masa final después del

lavado y secado al horno nuevamente, da como resultado la cantidad de material más fino que el tamiz No200.

El secado al horno antes y después, es para garantizar que no existe una incorporación de peso de humedad, ya que ambos se calculan unas horas después de salir de sus 24h de secado, este resultado será el reporte del material que pasa el tamiz No 200.

Para poder promediar los resultados de diferentes muestras, se ha realizado 2 ensayos por tipo de agregado de la presente investigación. A continuación, los resultados.

(Ecuación 3-1)
Cantidad que pasa el tamiz No 200, mediante lavado, ASTM C117-17.

$$\boldsymbol{A = [(B - C)/B] * 100}$$

Donde:

$\boldsymbol{A} = Porcentaje\ del\ Material\ que\ pasa\ por\ el\ Tamiz\ N°200$

$\boldsymbol{B} = Masa\ Seca\ Original\ de\ la\ muestra\ (g)$

$\boldsymbol{C} = Masa\ Seca\ de\ la\ muestra\ después\ del\ lavado\ (g)$

Tabla 3-1.
Ensayo No1 y 2 para materiales más finos que un tamiz No200, agregado fino. ASTM C117-17

	N° Ensayo	
	1	**2**
B	**1329,2**	**722,1**
C	**1313,5**	**710,3**
A	**1,18116**	**1,634123**

Promedio	**1,407642%**

3.2.2.2 Agregado Grueso.

Siguiendo el mismo proceso a diferencia de que aquí la muestra mínima debe ser de 5kg.

Figura 3-12
Método de prueba estándar para materiales más finos que un tamiz No 200, agregado grueso.



A



B



C.



D



E.

A) Tamiz No200, No16 y muestra seca, **B)** Muestra después del riguroso agitado con agua, **C)** Muestra lista para lavarse y pasar por los tamices retenedores, **D)** Una vez que el agua de lavado haya salido transparente se termina el

ensayo y se ingresa al horno por 24h, E) después de 24h y 1h de enfriamiento, se pesa en la balanza de 0.1%+/-error y se calcula el porcentaje de partículas más finas que el tamiz No 200.

Este proceso debe ser repetitivo, hasta que el agua de lavado salga prácticamente transparente y no se observe sólidos suspendidos, una vez finalizado este proceso, no se debe olvidar de devolver el material atrapado en el tamiz No 16 y 200.

Tabla 3-2.
Ensayo No1 y 2 para materiales más finos que un tamiz No200, agregado grueso, ASTM C117-17.

	N° Ensayo	
	1	**2**
B	**6322,2**	**5736,7**
C	**6269,1**	**5704,4**
A	**0,8399**	**0,5630**
	Promedio	**0,702%**

3.2.2.3 Agregado Grueso Ligero.

De igual manera aquí el proceso es el mismo, a diferencia de que la muestra necesaria para la piedra pómez fue menor de 1kg, por lo antes manifestado y demostrado en la figura 3.9 de la presente investigación. Sin embargo, se puede reflejar que el porcentaje de finos que pasan el tamiz No 200, es de casi 21% de pérdida de la masa inicial, mientras que del grueso convencional es apenas el 0.7%.

Tabla 3-3.
Ensayo No1 y 2 para materiales más finos que un tamiz No200, agregado grueso ligero, ASTM C117-17.

	N° Ensayo	
	1	**2**
B	**5284,7**	**6177,4**
C	**4199**	**4891**
A	**20,5442**	**20,82**
	Promedio	**20,68%**

Figura 3-13
Muestra de 6kg de piedra pómez, demasiado grande para muestra de ensayo.



Figura 3-14
Método de prueba estándar para materiales más finos que un tamiz No 200, agregado grueso ligero.



A. B. C.

Como se observa en la figura 3-13, literal **B),** la piedra pómez tiene un sin número de finos que retiene el tamiz No200, por consiguiente, también un 20% de material pasante, al ser mayor del 10% de su peso original, la normal ASTM C117-17, recalca que este resultado se debe reportar, para tomarlo en cuenta más adelante en los resultados de los próximos ensayos.

3.2.3 ASTM C136 -19 Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.

La norma nacional INEN 696, ha sido aprobada por última vez en el 2011, por lo consiguiente, se tomará la norma americana, revisada por última vez en el 2019. Esta norma tiene como alcance determinar los tamaños y cantidades de las partículas de los agregados finos y gruesos, es decir determinar la graduación de estos, para contribuir a futuro con el desarrollo y control de calidad de los materiales, así como también crear relaciones relativas a la porosidad y la compactación (ASTM C136-19).

Los tamices a emplearse para este ensayo en orden descendiente son: No 4, No8, No 16, No 30, No 50 y No 100, finalmente se coloca una bandeja recolectora del pasante del tamiz No 100, se puede realizar el movimiento de zarandeo o agitación con la torre completamente armada, o de dos tamices consecutivos con la respectiva bandeja al final de ellos, para por ultimo colocar el pasante de la bandeja en el siguiente tamiz. Por experiencia prefiero realizar la accion de zarandeo con la torre completamente armada y así evitar pérdidas de cualquier molécula.

Figura 3-15
Tamices para método de análisis granulométrico de agregados finos de EP-CONST. Marca Controls.



A pesar de que aparece el tamiz No 200, no forma parte de la torre para análisis granulométrico del fino.

3.2.3.1 Agregado fino.

Según el acápite 7.3 de muestreo, para este agregado se requiere como mínimo 300g de muestra, por ende, se han tomado muestras de aproximadamente 500 a 1000g a lo sumo.

Figura 3-16.
Proceso del análisis granulométrico del agregado fino.



A



B



C



D



E



F



G



H

A) Obtención de muestra por cuarteo, **B)** Peso de la muestra, **C) y D)** Riego de la muestra en la torre de tamices, ordenados de abertura mayor a menor, **E)** Agitación o zarandeo de la torre con la muestra, varios movimientos de abajo arriba, izquierda derecha y viceversa, **F) y G)** Una vez terminado el movimiento, se prosigue a retirar tamiz por tamiz, sin antes volverlo agitar con otra bandeja puesta bajo ella, para garantizar el correcto tamizado, **H)** Se va pesando tamiz por tamiz, lo retenido y lo pasante será lo retenido del siguiente.

Tabla 3-4.
Ensayo No1 de granulometría del agregado fino bajo la ASTM C136-19.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

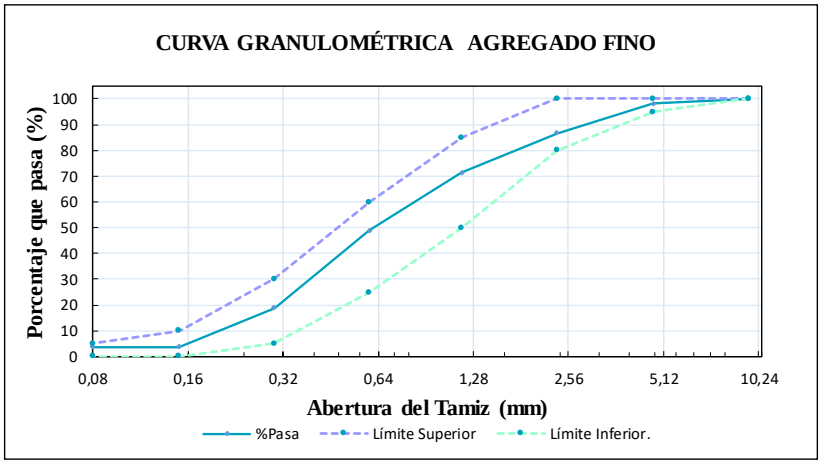
ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS

ESPECIFICACIÓN: ASTM C 33-18 **MÉTODO:** ASTM C 136-19

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No1
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	11-feb-22
MASA INICIAL (g):	1313,5	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO.
LABORATORIO:	EP-CONST	**CIUDAD:**	STO-DGO.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa	Límites Específicos Desde	Límites Específicos Hasta
3/8"	9,53	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
N° 4	4,75	25,40	25,40	1,93	98,07	95	100
N° 8	2,36	149,20	174,60	13,29	86,71	80	100
N° 16	1,18	200,70	375,30	28,57	71,43	50	85
N° 30	0,60	296,40	671,70	51,14	48,86	25	60
N° 50	0,30	393,80	1065,50	81,13	18,87	5	30
N° 100	0,15	198,90	1264,40	96,27	3,73	0	10
N° 200	0,08	0,00	1264,40	96,27	3,73	0	5
BANDEJA (g)		**49,00**	1313,40	100,00			
Masa inicial (g)	**1313,5**		**Σ % ret.acumulado**	**272,3**			
% ERROR	**0,01%**		**Módulo de Finura**	**2,72**			
El error es <0.3%							
Masa Final (g)		**1313,40**					



OBSERVACIÓN: Este ensayo proviene del Método ASTM C117-17 de tamiz No200

Nota: El ensayo No 2 de granulometría del agregado fino, se encuentra en el capítulo de anexos, el mismo que refleja nuevamente la curva del % que pasa vs las aberturas, dentro de los límites, demostrando que la arena de la mina COPETO, satisface este ítem de la norma nacional y americana.

3.2.3.2. Agregado grueso.

En el acápite 6.3, de la ASTM C136-19, menciona que es viable utilizar un dispositivo mecánico de tamizado o tamizadora, ya que el mismo agita eléctricamente las mallas del dispositivo, haciendo que los agregados reboten y giren en distintas direcciones, generando una homogeneidad de vibrado, y por ende logrando reducir los margenes de error del ensayo, ya que la uniformidad de la vibracion y tiempos serán más precisos, el mismo deberá cumplir con la Especificación ASTM E11-22 para telas de tamiz de prueba de tejido de alambre y tamices de prueba 2.2 Estándar AASHTO No T27 de Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.

Cabe recalcar que esta ventaja solo puede utilizarse para muestras de gran magnitud de peso, alrededor de los 20 kg, sin embargo, la norma permite utilizar menores o inclusive para agregados finos, siempre y cuando el porcentaje de pérdida de material por tamiz no sea mayor al 1% (ASTM C136/C136M-19).

El mismo debe cumplir con un vibrado estándarizado de 150 rev/min y procurar que la muestra no permanezca mas de 10 minutos en la máquina, ya que caso contrario podría dañarse para futuros ensayos, por ende un exceso de tiempo es contraproducente. Por tal motivo acatando las recomendaciones de la norma, se ha realizado el proceso para 500 rev en 5 min, es decir, 100 rev/min. El capítulo 7 de esta norma, detalla que para agregados de 25mm o 1’’ de tamaño, mínimo se debe usar 10kg de muestra, cumpliendo con esta norma, se prosigue.

Figura 3-17
Proceso del análisis granulométrico del agregado grueso.



A



B



C



D



E



F



G

A) y B) Aberturas de los tamices para ensayo de granulometría de agregado grueso de 1'' o 25mm, **C)** Tamizadora Gilson Model: TS-1, la misma posee membrete de cumplimiento con ASTM E11, **D)** Entrada de muestra procedente de cuarteos previos, **E)** después de las 500vueltas que realizó la máquina, se fue retirando cuidadosamente la primera bandeja. **F)** Toma de dato de su respectivo peso. **G)** Se repite el procedimiento, hasta llegar a la bandeja final recolectora de finos, Finalmente se procede con los respectivos cálculos y graficas a continuación.

Tabla 3-5
Ensayo No1 de granulometría del agregado grueso bajo la norma ASTM C136-19.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

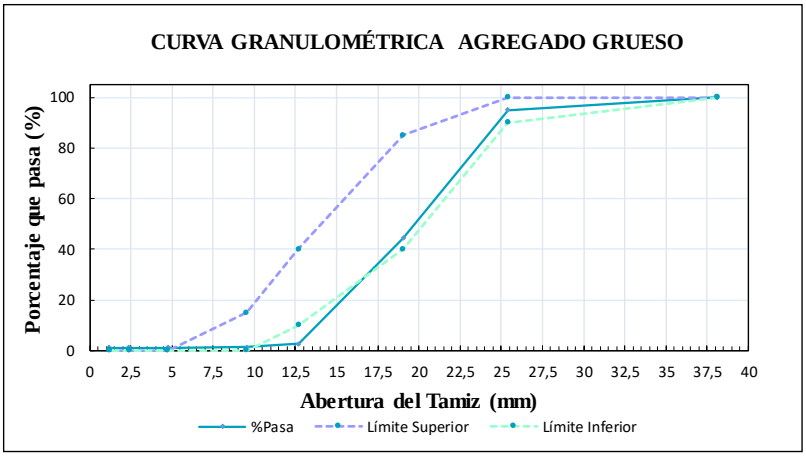
ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS

ESPECIFICACIÓN: ASTM C 33-18 **MÉTODO:** ASTM C 136-19

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No1
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	8-feb-22
MASA INICIAL (g):	8984,2	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO.
LABORATORIO:	EP-CONST	**CIUDAD:**	STO-DGO.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa	Límites Específicos Desde	Límites Específicos Hasta
2"	50,80	0,00	0,0	0,00	100,00	100	100
1 1/2 "	38,10	0,00	0,0	0,00	100,00	100	100
1"	25,40	461,70	461,7	5,14	94,86	90	100
3/4"	19,05	4526,40	4988,1	55,56	44,44	40	85
1/2´´	12,70	3757,30	8745,4	97,42	2,58	10	40
3/8´´	9,53	110,90	8856,3	98,65	1,35	0	15
N° 4	4,75	14,40	8870,7	98,81	1,19	0	0
N° 8	2,36	0,00	8870,7	98,81	1,19	0	0
N° 16	1,18	0,00	8870,7	98,81	1,19	0	0
BANDEJA (g)		**106,50**	8977,2	100,00	0,00		
Masa inicial (g)	**8984,2**		**Σ % ret.acumulado**	**750,66**			
% ERROR	**0,08%**		**Módulo de Finura**	**7,51**			
El error es <0.3%							
Masa Final (g)		**8977,20**					



El ensayo No 2 de granulometría del agregado grueso, se encuentra en el capítulo de anexos, el mismo que refleja nuevamente la curva del % que pasa vs las aberturas, dentro de los límites, demostrando que el ripio de río de la mina COPETO, satisface este ítem de la norma nacional y americana.

3.2.3.3 Agregado Grueso Ligero.

Figura 3-18
Proceso del análisis granulométrico del agregado grueso ligero.



A



B



C



D



E



F



G

A) Tamizadora con muestra de piedra pómez, **B)** Tamaño 1 ½'' **C)** 1'' **D)** ½'' **E)** 3/8'', **F)** No 4 y **G)** pasante No4, no están todas las graduaciones en la imagen.

Tabla 3-6

Ensayo No1 de granulometría del agregado grueso ligero bajo la norma ASTM C136-19.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

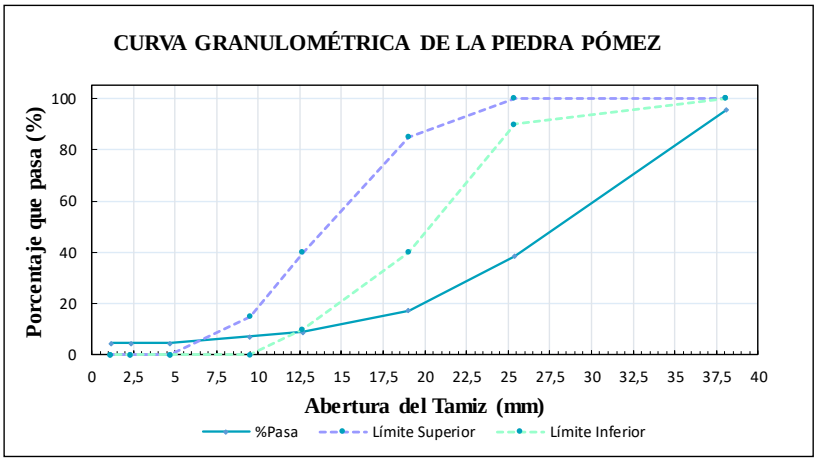
ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS LIGEROS.

ESPECIFICACIÓN: ASTM C 33-18 **MÉTODO:** ASTM C 136-19

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No1
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	22-feb-22
MASA INICIAL (g):	10088,4	**PROCEDENCIA:**	COTOPAXI
LABORATORIO:	EP-CONST	**CIUDAD:**	COTOPAXI.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa	Límites Específicos Desde	Límites Específicos Hasta
2"	50,80	0,00	0,0	0,00	100,00	100	100
1 1/2 "	38,10	452,80	452,8	4,49	95,51	100	100
1"	25,40	5745,20	6198,0	61,50	38,50	90	100
3/4"	19,05	2127,00	8325,0	82,60	17,40	40	85
1/2´´	12,70	847,10	9172,1	91,01	8,99	10	40
3/8´´	9,53	190,00	9362,1	92,89	7,11	0	15
N° 4	4,75	252,40	9614,5	95,40	4,60	0	0
N° 8	2,36	0,00	9614,5	95,40	4,60	0	0
N° 16	1,18	0,00	9614,5	95,40	4,60	0	0
BANDEJA (g)		**463,80**	10078,3	100,00	0,00		
Masa inicial (g)	**10088,4**		**Σ % ret.acumulado**	**766,18**			
% ERROR	**0,10%**		**Módulo de Finura**	**7,66**			
El error es <0.3%							
Masa Final (g)		**10078,30**					



El ensayo No 2 de granulometría del agregado grueso ligero o piedra pómez, se encuentra en el capítulo de anexos, el mismo que refleja nuevamente la curva del % que pasa vs las aberturas, fuera de los límites.

3.2.4 ASTM C40– 20: Determinación de Impurezas Orgánicas en Agregados Finos para Hormigón.

El siguiente método de prueba para la caracterización química de agregados, se menciona en la norma ecuatoriana NTE INEN 855:2010, por ende, se tomará la norma americana ASTM C40/C40M – 20, ya que ha sido revisada recientemente en el año 2020. El valor principal de este método es la determinación preliminar de la aceptabilidad de agregados finos con respecto a los requisitos del código ASTM C33/C33M, ya que el mismo revela una advertencia de la posible presencia de sustancias nocivas de impurezas orgánicas, antes de la fabricación de hormigones o morteros (ASTM C40/C40M – 20).

Este método propone dos procedimientos para la determinación aproximada de estas impurezas nocivas. El primero utiliza una solución de estándar de color de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) de grado reactivo en ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado y la segunda utiliza un estándar de color de vidrio preestablecido por esta normal.

Figura 3-19

Métodos de determinación de Impurezas Orgánicas en los Agregados Finos para Hormigón. según la ASTM C40– 20.



A B

A) Solución de estándar de color de Dicromato de Potasio (K2Cr2O7) de grado reactivo en ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado, **B)** Estándar de color de vidrio preestablecido por la ASTM C40.

3.2.4.1 Método con Solución Reactiva de Hidróxido de Sodio Na(OH) y Solución de Estándar de Color de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$).

A. La muestra deberá tener una masa de aproximadamente 450 g y deberá obtenerse de conformidad con la Práctica C702. Primero se llena los recipientes herméticos graduados de plástico o vidrio transparentes, con el agregado fino hasta el nivel de 130 ml de la probeta, se recomienda el uso de un embudo.

B. Previamente debe tener preparada la solución de hidróxido de sodio Na(OH), disolviendo 3 partes de masa de Na(OH) de grado reactivo, en 97 partes de agua.

C. A continuación, se añade esta solución en el recipiente graduado que contiene la muestra, hasta completar los 200ml de nivel marcado, es decir volumen de muestra + volumen de solución = 200ml.

D. Con un tapón hermético, se tapa la probeta y se agita vigorosamente, para después dejar reposar durante 24h, procure que el nivel de la botella permanezca en 200ml antes y después de agitar con el agregado en ella.

E. Dos horas antes de que la solución de Na(OH) junto con la muestra de arena cumplan 24h de reposo, deberá preparar la solución estándar de color de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$); Disolviendo $K_2Cr_2O_7$ de grado reactivo en ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (gravedad. específica. de 1,84) a una tasa de 0,250 g/100 ml de ácido.

La solución debe estar recién preparada para la comparación de colores, utilizando calor suave si es necesario o un agitador de vidrio como se hizo en esta investigación para disolver el soluto de la solución.

F. Finalmente concluido el período de reposo de 24 h y con la solución estándar de color de $K_2Cr_2O_7$ preparada recientemente, se procede a comparar los colores. Informe si el color del líquido sobrenadante es más claro, más oscuro o igual a la solución de estándar de color.

Figura 3-20
Método con Solución Reactiva de Na(OH) y Solución de Estándar de Color de ($K_2Cr_2O_7$), según la ASTM C40.



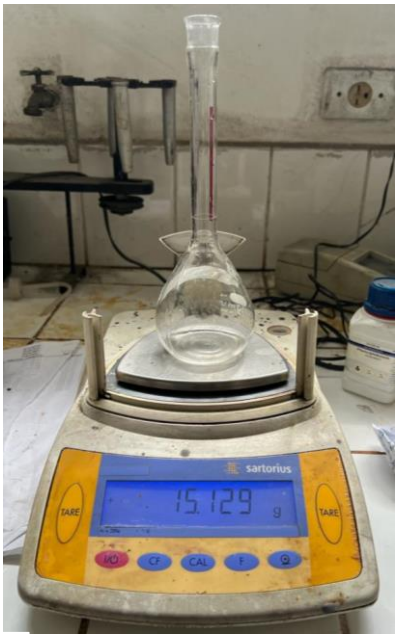
A



A



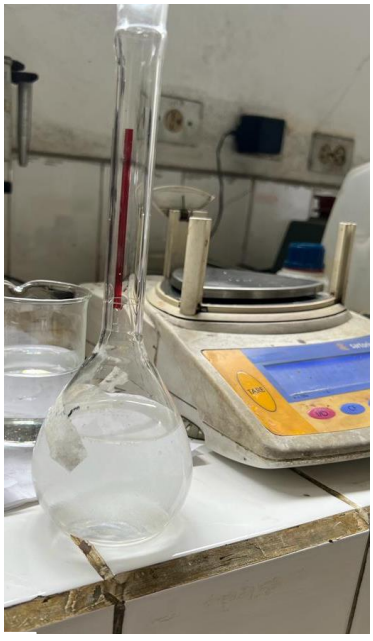
A



B



B



B



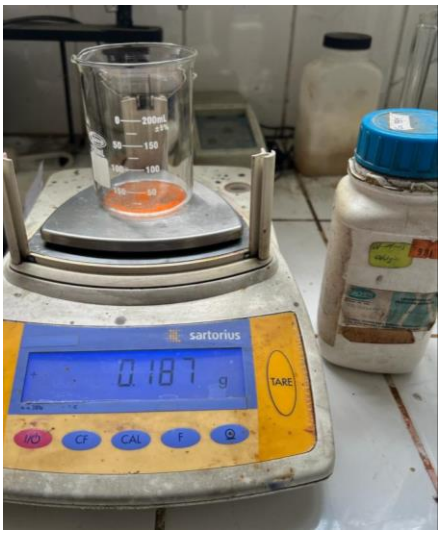
C



C



D



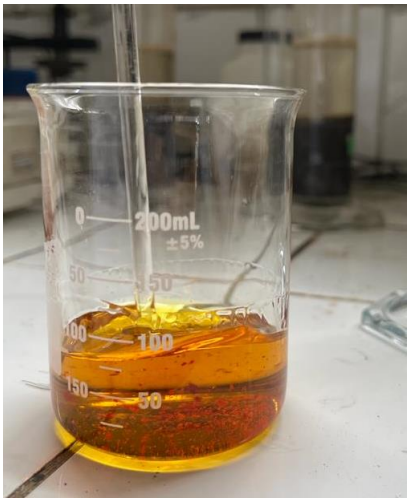
E



E



E



E



E



F

Cada uno de los literales se detallan en la página previa a esta, no esta de mas recomendar el uso de guantes, al momento de la manipulación del H_2SO_4, ya que el mismo es un compuesto químico extremadamente corrosivo perjudicial, tóxico y cancerígeno.

3.2.4.1.1 Agregado Fino.

El agregado fino o arena lavada, demostró su ausencia de impurezas orgánicas, al reflejar ante la luz y comparativa de la solución estándar de dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$, que era relativamente muy clara a comparación de esta. Se realizaron dos ensayos de este calibre, para demostrar significativamente la ausencia de sustancias nocivas de impurezas orgánicas, como se detalla a continuación.

Cabe recalcar que la probeta izquierda de la imagen era antigua, por ende, se observa amarillenta, pero este color tenue le pertenece a la probeta en sí y no al agregado, en tal caso solo la probeta de la derecha es una prueba representativa real del agregado fino.

Figura 3-21
Método con solución reactiva de Na(OH) y solución de estándar de color de (K2Cr2O7), según la ASTM C40, para agregado fino.



Se constata que luego de 24h el agregado fino, sustenta su color más claro que el estándar.

3.2.4.1.2. Pasante del tamiz No4 de la Piedra Pómez

De igual manera, para tener un control de todos los agregados por emplearse en las dosificaciones, se ha realizado este ensayo para el pasante del tamiz No4 de la piedra pómez, al cerciorase que tiene un porcentaje significativo de partículas más pequeñas que el tamiz No200.

Figura 3-22
Método con solución reactiva de Na(OH) y solución de estándar de color de (K2Cr2O7), para el pasante del tamiz No4 de la piedra pómez



A B C

D E

En **E)** Se constata claramente, que luego de 24h el pasante del tamiz No4 de la piedra pómez, mantiene exactamente su color tal cual, más claro que el estándar.

3.2.4.2 Método Estándar de Color de Vidrio Preestablecido por la ASTM C40-20.

A su vez, el mismo tiene una valoración sumamente alta de precios por lo antes mencionado y los desaprobados fines que suelen darle a este químico, por ende, es permitida únicamente su venta para fines de investigación científica no médica, adiestramiento e industrialización no farmacéutica; y, de administración de sustancias catalogadas sujetas a fiscalización recibidas en depósito (RO157, 2020).

La presente investigación, cumple con lo estipulado por el reglamento, ya que el uso de esta sustancia fue de para fines de índole científica no médica. Por todo lo antes expuesto, Se recomienda usar este método como alternativa.

3.2.4.2.1. Agregado Fino

Figura 3-23
Método Estándar de Color de Vidrio preestablecido por la ASTM C40-20, para el agregado fino.



Nuevamente se corrobora que la arena lavada de Santo Domingo de los Tsáchilas, de la Mina COPETO, no contiene sustancias nocivas de impurezas orgánicas, haciéndola apta para continuar con su estudio y futuras mezclas de hormigón.

3.2.4.2.2. Pasante del tamiz No4 de Piedra Pómez.

Figura 3-24
Método Estándar de Color de Vidrio preestablecido por la ASTM C40-20, para el pasante del tamiz No4 de la Piedra Pómez.



Se determina en segunda instancia con mayor precisión el valor de color del menisco o líquido sobrenadante del pasante del tamiz No4, reflejando que el mismo no contiene impurezas orgánicas o sustancias nocivas que afecten de esta manera al hormigón por diseñarse.

Es valioso mencionar que estas muestras se mantuvieron por semanas en el laboratorio, con la solución de Hidróxido de Sodio Na(OH), sin presentar cambios en su composición, demostrando que ambos agregados, se encuentran libres de sustancias nocivas

Cuando una muestra sometida a esta prueba genera un color más oscuro que el del estándar, se recomienda realizar una prueba para analizar el efecto que tienen las impurezas orgánicas en la resistencia del mortero de acuerdo con el Método de prueba ASTM C87/C87M-17

3.2.5 ASTM C128-15: Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción del agregado fino.

El siguiente método de prueba a ejecutarse, se menciona en la NTE INEN 856-857 de la norma ecuatoriana, sin embargo, se corrobora que la última revisión fue hecha en el 2010, lo cual conlleva a valerse de la norma de índole internacional actualizada en el 2015.

Este estándar tiene como objetivo, calcular la densidad relativa o gravedad específica y la absorción de los agregados finos. Se la determina en dos instancias; La primera cuando se encuentra secada al horno, como se la conoce por sus siglas en inglés (OD) de Oven-Dry y la segunda cuando se encuentra en un estado saturado de superficie seca (SSS) o (SSD), por sus siglas en inglés Satured-Superface-Dry.

Como bien se sabe, la densidad relativa o gravedad específica tiene una cualidad adimensional, ya que es la relación entre la masa de un agregado y la masa de un volumen de agua, igual al volumen de las partículas del agregado, es decir el ‘‘volumen absoluto’’ del agregado. Por esta razón la llamamos específica o relativa, ya que se está relacionando dos parámetros de peso. Se lo puede entender también, como la relación entre la densidad de las partículas del agregado y la densidad del agua (ASTM C128-15).

Este método de prueba es utilizado en dosificaciones que requieran conocer el volumen absoluto de los agregados, es decir, donde se necesite saber el volumen total que va a ocupar dicho agregado en la mezcla, como lo es el método volumétrico que se ocupará más adelante para las mezclas de este hormigón ligero que se está estudiando.

La densidad relativa SSD, es necesaria para la fabricación y diseño de las mezclas de hormigón o de cualquier otra índole que requiera el dato de absorción, ya que el cálculo de la humedad relativa superficial se da cuando este ha cumplido con su capacidad de absorción. En una mezcla, se necesita saber cuánta agua se debe agregar a la misma, y, por consiguiente, la cantidad de agua que va a absorber los agregados, para el extra que requerirá.

Así como también la densidad relativa OD, será necesaria en dosificaciones que vayan a emplear el agregado seco o asuman que esté seco. A continuación, se detalla, paso a paso el ensayo por el método del picnómetro, realizado para el agregado fino.

Figura 3-25

Procedimiento del ensayo de Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción del agregado fino.



A



B



C



D



E



F



G



H



I



J



K



L



M



N



O



P



Q



R

Bajo la guía del acápite 8 y 9 de la ASTM C128-15, se resumen el procedimiento del **Método del Picnómetro** a continuación:

A) Una muestra obtenida bajo la norma ASTM C702, de alrededor de 1kg, se deja secar previamente en el horno por 24h a temperatura de 110+-5 °C, para luego ponerla a reposar en agua por 24h más, en este caso se realizó 3 ensayos y en aquel día solo 2.

B) Al día siguiente, se escurre el agua cuidadosamente en el lavabo para evitar la pérdida de finos y se esparce la muestra en un vidrio o superficie impermeable para luego proceder a secarla.

C) Se seca la muestra con una secadora de amperaje suave de aire cálido, con movimientos uniformes, para tener una homogeneidad de la muestra en proceso de llegar al estado SSS.

D) , E), F), G), H), I) Es el procedimiento de prueba de humedad superficial del acápite 8.3 de la normal, el cual establece que se debe realizar constantemente y a varios intervalos frecuentes, conforme se continúa secando la muestra, hasta llegar al estado de Saturado con Superficie Seca SSS o SSD.

En cada intervalo de secado, que se pare a hacer esta prueba con el cono, debe sujetarse firmemente en el vidrio, para luego llenarlo a mano suelta con el agregado fino, es decir se deja caer por gravedad hasta que el cono rebose y se pase de su límite.

Con el pistón a una altura de 5mm de la superficie del agregado puesto en el cono, se deja caer libremente por atracción gravitacional, 25veces, luego se retira el cono y si este presenta un leve asentamiento y sus demás partículas se encuentran regalas alrededor, significa que ha llegado al estado de SSS o SSD.

J) Muestra en estado SSD.

K) y **L)** Se llena un picnómetro con 500ml de agua y se toma su peso, con la balanza encerada preferiblemente, o simplemente restando el peso del frasco si se desea.

M) Se pesa 500g de muestra aproximadamente, en estado SSS.

N) Ahora en el picnómetro con una leve cantidad de agua, para lograr que se acomode mejor el agregado fino con el agua, se rellena el picnómetro.

O) Hasta llegar al nivel de 500ml, se rellena el espacio faltante del picnómetro con agua, se procura que la temperatura se mantenga a una buena condición ambiental.

P) Se procede a tomar el dato de la muestra + agua, con la balanza encerada preferiblemente.

Q) Cuidadosamente se pone esta muestra mojada en un recipiente encerado, retirando cuidadosamente el agua que se pueda, para su respectivo secado.

Se recomienda: tomar una muestra gemela de la que fue ingresada en el picnómetro, es decir una gemela de la imagen **M)** para proceder a ponerla en el horno directamente, logrando así tener un margen de error sumamente bajo, por lo que no se tiene que regar el agua del picnómetro después de su pesaje, y así garantizar un cálculo más limpio y exacto de su absorción.

R) Finalmente, se toma el peso de la muestra seca y de la gemela si se tomó la recomendación impartida en Q).

Se prosigue con los respectivos cálculos donde:

$A = masa\ de\ la\ muestra\ de\ prueba\ secada\ al\ horno.\ (g).$

$B = masa\ del\ picnómetro\ llenado\ con\ agua\ hasta\ la\ marca\ de\ calibración\ (g).$

$C =\ masa\ del\ picnómetro\ llenado\ con\ el\ espécimen\ y\ agua\ hasta\ la\ marca\ de\ calibración\ (g)$

$S = Masa\ del\ espécimen\ saturado\ con\ superficie\ seca\ (g).$

Tabla 3-7.
Ensayo No1 Densidad Relativa (Gravedad Específica) del agregado fino.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

ESPECIFICACIÓN: ASTM C128-15 **MÉTODO:** PICNÓMETRO.

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No1
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	19-feb-22
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO.
		CIUDAD:	STO-DGO.

	Densidad Relativa OD (Gravedad específica) (OD)	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	482,9
B	M. del picnómetro + agua (500ml)	906,4
C	M. picnómetro + espécimen + agua	1205,9
S	M. espécimen SSD	495
	Densidad Relativa OD (Gravedad específica OD)	**2,47**

	Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	482,9
B	M. del picnómetro + agua (500ml)	906,4
C	M. picnómetro + espécimen + agua	1205,9
S	M. espécimen SSD	495
	Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)	**2,53**

	Densidad Relativa (Gravedad Específica) Aparente	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	482,9
B	M. del picnómetro + agua (500ml)	906,4
C	M. picnómetro + espécimen + agua	1205,9
S	M. espécimen SSD	495
	Densidad Relativa (GE) Aparente gr/cm3	**2,63**

	% Absorción	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	482,9
B	M. del picnómetro + agua (500ml)	906,4
C	M. picnómetro + espécimen + agua	1205,9
S	M. espécimen SSD	495
D	S-A	12,1
	% Absorción	**2,51**

OBSERVACIÓN:

El ensayo No 2 y 3 se encuentran en anexos.

3.2.6 ASTM C127-15: Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la absorción del Agregado Grueso.

La presente norma está considerada en NTE INEN 857:2010, por lo consiguiente se tomará, la norma americana revisada en el 2015 por última vez.

Este ensayo, abarca por su puesto nuevamente la teoría del principio de Arquímedes, pero esta vez de manera más notoria, ya que, para calcular la masa desplazada por el agua, la muestra se pesa en condiciones SSS al aire, para luego restar su peso cuando está sumergido en el agua. Es decir que, la diferencia es la masa del volumen del agua desplazado, igual al volumen de las partículas del agregado.

Figura 3-26
Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la absorción del Agregado Grueso según la ASTM C127



A



B



C



D



E



F



G



H

A) Se obtiene la muestra según la norma ASTM C702, de alrededor 5kg, **B)** Se sumerge la muestra en agua por 24h, **C)** Con una toalla se seca la superficie del agregado, uno por uno, retirando la película de agua que aún permanezca en él, se puede usar secadora, pero es tan recomendado debido a que el agregado de igual manera no absorbe a gran escala como lo hacía la arena, y era más exhaustivo llegar a su condición SSS, **D)** Equipo y canasta que cumple con la especificación de esta norma ASTM C127, **E)** Peso de la muestra en estado SSS, **F)** Peso de la muestra sumergida en agua, **G) y H)** Se deja reposar por 24h en el horno, a una temperatura de 110 -+5 °C, y finalmente se toma su peso final.

A continuación, los respectivos cálculos:

Tabla 3-8

Ensayo No1 de la Densidad Relativa (Gravedad Específica) del agregado grueso.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

ESPECIFICACIÓN: ASTM C127-15

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No1
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	19-feb-22
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO.
		CIUDAD:	STO-DGO.

Densidad Relativa OD (Gravedad específica) (OD)		
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	5196,6
B	M. del ripio en SSD (g)	5293,2
C	M. aparente de la muestra saturada en agua	3274,8
	M. de la canastilla sumergida en agua (g)	750,5
	M. de la canastilla + ripio sumergido en agua (g)	4025,3
	Volumen Desalojado (cm3) (B-C)	2018,4
	Densidad Relativa OD (Gravedad específica) (OD)	**2,57**

Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)		
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	5196,6
B	M. del ripio en SSD (g)	5293,2
C	M. aparente de la muestra saturada en agua	3274,8
	Volumen Desalojado (cm3) (B-C)	2018,4
	Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)	**2,62**

Densidad Relativa (Gravedad Específica) Aparente		
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	5196,6
B	M. del ripio en SSD (g)	5293,2
C	M. aparente de la muestra saturada en agua	3274,8
	A-C	1921,8
	Densidad Relativa (GE) Aparente gr/cm3	**2,70**

%Absorción		
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	5196,6
B	M. del ripio en SSD (g)	5293,2
C	M. aparente de la muestra saturada en agua	3274,8
	B-A	96,6
	Absorción (%)	**1,86**

OBSERVACIÓN:

3.2.7 ASTM C29-17ª Densidad a Granel (Peso Unitario) y los huecos de aire de un agregado

Tabla 3-9
Densidad a Granel (Bulk Density) o Peso Unitario y los huecos de aire de la piedra pómez.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DENSIDAD A GRANEL (BULK DENSITY) O PESO UNITARIO DE LA PIEDRA PÓMEZ.

ESPECIFICACIÓN: ASTM C29/C29M-17a

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No1
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	23-feb-22
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	COTOPAXI.

Agregado Grueso (Piedra Pomez)		
Masa del recipiente vacio	1037,7	(g)
Volumen del recipiente:	22469,23	(c.c.)
Masa del ripio suelto + recipiente (g)		
1	9137,6	
2	9160	
3	9093,5	
Promedio	9130,367	
δap. Suelta de la pomez (g/cc)	0,36	
δap. Suelta de la pomez (kg/m3)	360,17	

OBSERVACIÓN:

Este ensayo fue necesario para demostrar que este agregado ligero (piedra pómez), pertenece al Grupo II de la especificación ASTM C332, por ende, la norma ASTM C127 es aplicable para este agregado, según esto.

3.2.8 Densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción del Agregado Grueso Ligero (Piedra Pómez), con una metodología adaptada para agregados menos densos que el agua, aplicando el principio de Arquímedes. (PROPUESTA).

No fue posible aplicar la ASTM C127-15 para el cálculo y la determinación de la densidad relativa de este agregado ligero, a pesar de que la norma en el acápite 1.2 del alcance, menciona que; ‘‘Este método no está diseñado para ser utilizado con agregados ligeros que cumplen con los agregados del Grupo I, pero sí con los del Grupo II de la especificación ASTM C332 para agregados ligeros para hormigón aislante’’ (p.1).

Dadas las circunstancias, bajo esa especificación se demostró que la piedra pómez efectivamente no pertenece al grupo I, por lo tanto, era aplicable la norma ASTM C127-15, ya que su densidad a granel (bulk) es de 360,2 kg/m3 y este grupo permite llegar máximo a 196kg/m3, además de que cumple con ser menor a 880kg/m3 para pertenecer al Grupo II de la tabla 2 de la ASTM C332, de modo que la norma autoriza aplicar este método para usarse con este tipo de agregado ligero. Sin embargo, debido a que su densidad es menor que la del agua, no fue posible hacer uso de esta norma, ni de su metodología con la canasta sumergida en agua, ya que, el agregado flota, por consiguiente, no fue viable, ni aplicable.

A continuación, se detalla la metodología propuesta realizada, aplicando el principio de Arquímedes, con probetas graduadas y estandarizadas, pertenecientes a la marca CONTROLS, de origen norteamericano.

3.2.8.1 Procedimiento de la Metodología Adaptada para agregados menos densos que el agua, aplicando el principio de Arquímedes. (PROPUESTA).

A. Escoger al azar 5 muestras de piedra pómez por cada tamaño de su granulometría, es decir tomar 5 piedras individuales por No de tamiz, se obtiene 5 muestras por malla, perteneciente a la No 4, 3/8'', ½'', ¾'', 1'' y 1 ½'' respectivamente, dando un total de 30 muestras.
B. Se ingresa al horno por 24h, a una temperatura constante de 110 +- 5°C.

Figura 3-27
Recolección de 5 muestras de piedra pómez al azar por tamaño de tamiz, para el calculo de su Densidad Relativa, con nueva propuesta de agregados menos densos que el agua.



A B

C. Se necesita probetas graduadas, de abertura según el diámetro aproximado de cada tamaño de agregado, para tener una mayor precisión de su volumen y su estimación correcta.

Figura 3-28

Probetas graduadas con diámetros similares, según el agregado ligero a ensayarse.



D. Se llena con agua la probeta, a una cantidad suficiente para sumergir el agregado individual totalmente, es decir que este volumen de agua deberá ser un aproximado al de la muestra, pero obviamente un poco mayor para que se sumerga en él.

E. Se toma el dato del volumen inicial de la probeta con agua.

Figura 3-29

Cálculo de volumen inicial de la probeta sin la muestra

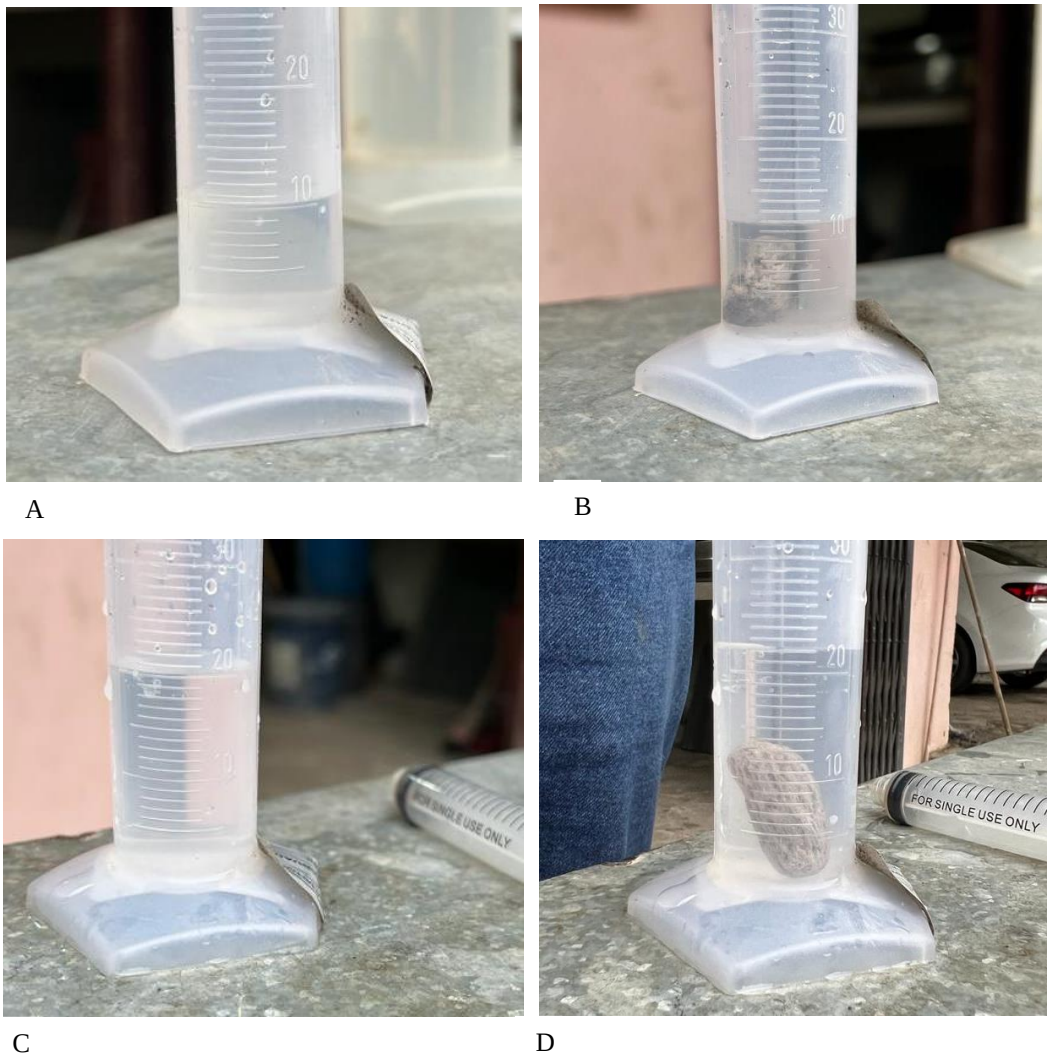


F. Luego con un alambre (lo más delgado que pueda conseguir), se empuja este agregado en el agua de la probeta y se toma el dato del volumen final o del agua + la muestra.

G. La diferencia entre el volumen final con la muestra, menos el volumen inicial sin la muestra será el valor del volumen del agregado estimado.

Figura 3-30

Volumen inicial de la probeta sin la muestra y Volumen final de la probeta con el espécimen.



A B

C D

En la presente investigación se realizó este ensayo para diferentes rangos de tiempo calculados, se empezó analizando el tiempo de duración de una mezcla de hormigón en la concretera o en un carro mixer.

En una concretera la mezcla dura alrededor 5 minutos hasta los 10 exagerando, pero en cambio, sí se trata de un proceso más industrializado como un carro mixer, por supuesto el tiempo de revoluciones será mucho mayor. Por tal motivo, se ha realizado esta metodología propuesta, para los 5,10,15,20,25,30,35 y 40 minutos en agua respectivamente, así como también se ha analizado a las 72horas y a la semana en saturación.

Se puede observar claramente, que es muy fácil apreciar el volumen inicial y final de la probeta con y sin agregado, cabe recalcar que este procedimiento se repitió para cada una de las 30 muestras a los diferentes 10 tiempos antes mencionados. Para lograr hacerlo con frecuencia, se debe sumergir el agregado en agua a los tiempos determinados, y una vez analizado su peso a dicho tiempo, se debe secar con una toalla su superficie, para el siguiente ensayo a distinto rango de tiempo en saturación.

Por tal motivo, se constata que se ha realizado un total de 300 ensayos de Arquímedes, para determinar su volumen y capacidad de absorción con el presente método explicado a continuación.

3.2.8.2 Procedimiento para la estimación de la Absorción, con la metodología propuesta.

A. Pesar cada una de las 30 muestras, luego de las 24h en el horno, para el cálculo de la densidad OD, con una precisión de 0.1% de la balanza que emplee.
B. El Peso del volumen final del agregado, luego de sumergirse en el agua por un tiempo determinado, secando su superficie con la toalla, servirá de dato para la densidad SSD.

Tabla 3-10

Densidad Relativa (gravedad específica) del Agregado Grueso Ligero (Piedra Pómez) con metodología propuesta.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ.

ESPECIFICACIÓN: (METODOLOGÍA PROPUESTA).

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Representación de 300 ensayos
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	16-mar-22
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	COTOPAXI.

Tamaño de la muestra		**1/2 '' a los 5 minutos de saturación**					
N° ensayo	**Vt (ml)**	**Masa SSD (g)**	**Densidad (g/ml)**	**Densidad (kg/m3)**	**Masa OD (g)**	**B-A**	**Abs.**
1	2,98	1,8	0,6040	604	1	0,8	80
2	5,985	4,1	0,6850	685	2,4	1,7	70,833
3	3,01	1,5	0,4983	498	0,7	0,8	114,285
4	6,9	3,9	0,5652	565	2,2	1,7	77,272
5	5,05	3,8	0,7524	752	2,6	1,2	46,153
Promedio	**4,785**	**3,02**	**0,6210**	**621**	**1,78**	**1,24**	**77,71**

Así simultáneamente, se ha hecho el cálculo para los diferentes tiempos, tamaños y No de muestras.

Tamaño de la muestra		**3/4 '' a los 5 minutos de saturación.**					
N° ensayo	**Vt (ml)**	**Masa SSD (g)**	**Densidad (g/ml)**	**Densidad (kg/m3)**	**Masa OD (g)**	**B-A**	**Abs.**
1	7,475	4,3	0,5752	575	2,9	1,4	48,28
2	5,68	3,6	0,6338	634	1,9	1,7	89,47
3	7,915	5,7	0,7201	720	2,7	3	111,11
4	6,0425	4,3	0,7116	712	2,9	1,4	48,27
5	5,265	2,2	0,41785	418	1,6	0,6	37,50
Promedio	**6,476**	**4,02**	**0,6117**	**612**	**2,4**	**1,62**	**66,93**

Promedio de las densidades obtenidas a los diferentes tiempos de saturación, tamaños de agregado y número de muestra, es decir 1, abarca todas las muestras No1, de los diferentes tamaños y a los distintos tiempos de saturación (5-40min).

Muestras N°	**Densidad (kg/m3)**	**Densidad (g/cm3)**	**Masa SSD (g)**	**Masa OD (g)**
1	833	0,8326032	12	7
2	734	0,7337106	13	8
3	743	0,7425414	11	5
4	766	0,7661614	12	7
5	705	0,7049690	10	5
Promedio	**756**	**0,7559971**	**11,376**	**6,575**

Tabla3-11
Absorción del Agregado Grueso Ligero (Piedra Pómez) con metodología propuesta.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

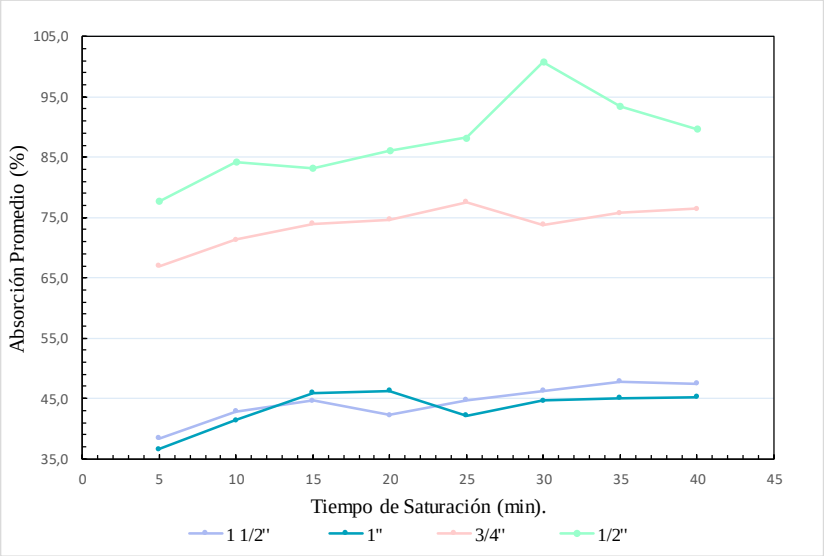
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ.
ESPECIFICACIÓN: (METODOLOGÍA PROPUESTA).

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Representación de 300 ensayos
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	16-mar-22
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	COTOPAXI.

T. Saturación (min)	% de Absorción					
	N° 4	3 / 8''	1/2''	3/4''	1''	1 ½''
5	177,8	35,9	77,7	66,9	36,6	38,4
10	165,6	57,4	84,2	71,3	41,4	42,9
15	246,7	41,6	83,2	74,0	45,9	44,6
20	210,0	74,8	86,1	74,6	46,3	42,3
25	213,3	120,7	88,2	77,6	42,2	44,8
30	281,7	115,6	100,8	73,8	44,7	46,3
35	111,1	116,8	93,4	75,8	45,1	47,8
40	440,0	84,6	89,7	76,5	45,2	47,5



OBSERVACIÓN:

Tabla representativa: de los % de absorción obtenidos, a los diferentes tiempos de saturación, tamaños de agregado y número de muestra, con la respectiva gráfica de tendencia. Se ha descartado los tamaños No4 y 3/8'', debido a que, al ser muestras muy pequeñas, no se puede asegurar que los datos sean exactos.

Entre mayor es el tamaño del agregado, presenta una mejor homogeneidad en la absorción, como lo refleja la gráfica, sin embargo, entre más pequeño es el tamaño de una partícula, mayor superficie específica por unidad de área se tiene, es decir, que los agregados más pequeños, absorben más líquido debido a esto.

3.2.9 ASTM C535-20 Resistencia a la degradación de los áridos gruesos de gran tamaño, mediante el método de abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.

La norma para agregados gruesos pequeños ASTM C131-20, es requerida para áridos de tamaños menores que 37.5 mm, tal y como lo es el rípio de 1’’ o 25mm que se esta utilizando para esta investigación, sin embargo, no es posible su uso, ya que la gradación A, de la tabla 1 de clasificaciones de muestras de prueba de la C131, solicita 1250+-10 g de tamaño de 3/8’’, y la granulometría del agregado grueso empleado, por cada 10kg de muestra total, arroja apenas 250g de esa dimensión aproximadamente.

Además la gradación B, requiere 2500-+10g de 3/8’’ lo cual duplica la cantidad no lograda en primera instancia, así como también la gradación C y D requieren agregados mas pequeños, por consiguiente, no es posible utilizar la norma C131, ya que esto implicaría tomar una gran muestra de agregado grueso para poder obtener las dimensiones y cantidades requeridas.

Por tal motivo, se ha utilizado la norma ASTM C535/C535M-20, con la gradación C, ya que especifica 5000+-25 g de tamaño de muestra de 1’’ y 5000+-25 g del tamaño ¾’’de agregado,

lo cual es viable obtener con la granulometría de este árido, permitiendo recluir dichas cantidades de los tamaños específicos facilmente.

Figura 3-31

Resistencia a la degradación de los áridos gruesos de gran tamaño, mediante el método de abrasión e impacto en la máquina de los ángeles, según ASTM C535.



A



B



C



D



E



F



G



H



I



J



K



L

A) Obtención de la muestra, **B)** Separación de tamaños después del lavado y secado, **C)** Peso de la muestra de 5000+-25g de cada tamaño, **D)** Máquina de los Ángeles, **E)** Combinación de los tamaños requeridos, **F)** Orden de 1000 vueltas, **G)** Muestra Resultante, **H)** Separación preliminar con tamiz No12, **I)** Lavado de todo el material retenido en tamiz No12, **K)** Ingreso al horno por 24h, **L)** Muestra final seca.

Tabla 3-12

Resistencia a la degradación de los áridos gruesos de gran tamaño, mediante el método de abrasión e impacto en la máquina de los ángeles, según ASTM C535.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN - MÉTODO DE ABRASIÓN.

ESPECIFICACIÓN: ASTM C535-20

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No1
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	11-feb-22
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO.
		CIUDAD:	STO-DGO.

Gradación	C
N° Vueltas	1000
N° esferas	12
Tamaño de 1''	5024,2
Tamaño de 3/4''	5020,4
Masa Inicial (C)	10044,6
Masa final (Y)	6702,7
% Perdido	**33,271**
	El error es <0.5%
Masa final lavada y secada (S)	6684,5
% Perdido	**33,5**
	El error es <0.5%

OBSERVACIÓN:

Al ser menor del 50% de porcentaje de pérdida, se constata que el agregado grueso es apto para su empleo en las futuras mezclas. El ensayo No 2, se encuentra en anexos.

3.3 Resultado de los ensayos empleados para mezclas.

Tabla 3-13
Resultado de los ensayos empleados para mezclas.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

CUADRO RESUMEN DE LOS DATOS PARA MEZCLAS.

ESPECIFICACIÓN: ASTM

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Resumen total.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	28-feb-22
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

	Agregado Fino	Agregado Grueso	Piedra Pómez.
Densidad Relativa (GE) (SSS)	2,53	2,62	-
Densidad (kg/m3)	-	-	756
Promedio (GE) (SSS) fino y grueso	2,57		-
% Absorción	2,46	1,93	55

OBSERVACIÓN:

CAPÍTULO IV.

4. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN LIGERO ESTRUCTURAL.

De acuerdo con el código ACI 213R-14, en el capítulo 4, acápite 4.5, sobre Proporción y Ajuste de mezclas, menciona que; ‘‘Los principios y procedimientos para dosificar concreto de peso normal, como el método del volumen absoluto o el método volumétrico, pueden aplicarse en muchos casos al concreto liviano.’’ (p.9).

4.1 Métodos de Diseño.

4.1.1. Método de Volumen Absoluto.

El volumen total del hormigón en estado fresco, producido por cualquier combinación de materiales se considera igual a la suma de los volúmenes absolutos del cemento, agregados, agua neta y aire incorporado (ACI 213R-14, p.9).

Para la correcta dosificación por este método es necesaria la determinación de la absorción del agua y la densidad relativa o gravedad específica de los agregados en una condición de Saturado con Superficie Seca (SSS). El principio involucrado es que el volumen de mortero consiste en el total de los volúmenes de materiales cementantes, agregado fino, agua neta y aire incorporado.

Este volumen de mortero debe ser suficiente para llenar los vacíos en un volumen de agregado grueso varillado más un volumen adicional suficiente para proporcionar una trabajabilidad satisfactoria (ACI 213R-14, 2014) (et al. ACI 211.1).

Este método de dosificación es el más utilizado para mezclas de hormigón de peso normal. La matriz de la mezcla de prueba del método del factor de densidad se describe a detalle en ACI 211.2. Los volúmenes desplazados se calculan para el cemento, el aire y el agua neta. Se asigna luego el volumen restante a los agregados fino y grueso. Este factor se puede usar en los cálculos como si fuera la densidad relativa aparente de los agregados y se debe determinar según el contenido de humedad del agregado que se dosifica (ACI 213R-14, 2014).

4.1.2 Método Volumétrico.

Para este método se elabora una mezcla piloto, en base a sus respectivos cálculos de volúmenes estimados de: materiales cementantes, agregados finos, gruesos y agua, para un peso específico teóricamente calculado (ACI 213R-14, p.9). Una vez realizada la mezcla en el laboratorio, se debe verter rápidamente en un envase que contenga su peso exacto estandarizado, para luego por facilidad de cálculo, poder restar del peso total de la muestra + envase, y finalmente calcular el peso específico real de la muestra.

Si el peso específico teórico calculado previamente difiere con un rango de error razonable al tomado en laboratorio, se puede constatar que la mezcla es correcta y por ende sus cálculos son

acertados a la realidad. Caso contrario se calculan las reestimaciones necesarias en base a los resultados obtenidos de asentamiento y peso específico, para con esto realizar más mezclas de prueba hasta que se logre obtener un aproximado del peso específico teórico y asentamiento en el laboratorio, así también la trabajabilidad debe ser observada para índole constructivo.

Los cálculos se realizan para el rendimiento, que es la masa total del espécimen dividida por el peso específico tomado en laboratorio o densidad fresca, y para las cantidades reales de materiales por unidad de volumen de hormigón (ACI 213R-14, p.9).

4.1.3 Método de Fuller Thompson.

Es un método de optimización general o combinado, se utiliza desde 1907, el mismo proporciona una fórmula de relación entre el tamaño máximo del agregado y la abertura del tamiz por el que pasan, se genera a partir de una curva granulométrica ideal para la composición óptima de los agregados. Se aplica tanto para métodos volumétricos, proporcionamiento de mezclas secas convencionales y también para dosificaciones al peso. Se recomienda su uso cuando los agregados no cumplen con la norma ASTM C 33 (ABRIL & Ramos, 2017).

Ya que el agregado grueso ligero, no cumple con la ASTM C 33, debido a que su curva granulométrica desborda los límites, se ha tomado en consideración este método que ajusta en base al tamaño de los agregados, para la realización de las mezclas matriz de 280f'c y 350f'c.

Una vez obtenidas las curvas granulométricas ideales, se estima la cantidad de agregado grueso y fino por metro cúbico de concreto, es decir que la sumatoria de los dos porcentajes de agregado grueso como fino, deberán sumar un 100% que cabrá en un 1m3 (x + y = 100%), se calcula de manera semejante al método del ACI, ya que para este proceso se requiere sacar una densidad relativa promedio y los pesos del agregado grueso y fino para el metro cúbico.

Para adaptarlo al tipo de hormigón que se requiere fabricar, del porcentaje total del agregado grueso (Xt), se ha repartido para porcentajes de 40, 55, 70 y 85% respectivamente de agregado grueso ligero o piedra pómez del agregado grueso total (x1 + x2 = Xt).

4.2 Mezcla Matriz de la Resistencia de 280 f'c con 0% Piedra Pómez.

4.2.1 Requerimientos.

f'c = 280 kg/cm2

Asentamiento = 9

4.2.2 Características de los materiales.

Tabla 4-1
Características de los materiales para las mezclas.

	Agregado Fino	Agregado Grueso	Piedra Pómez.	Cemento
Densidad Relativa (GE) (SSS)	2,53	2,62	-	2,95
Densidad (kg/m3)	-	-	756	-
Promedio (GE) (SSS) fino y grueso	2,57		-	-
% Absorción	2,46	1,93	55	-
% Humedad Natural	0,66	0,54	9,087	-

La Humedad natural, se debe calcular cada que se vaya a realizar una mezcla, es decir un día previo a la dosificación, se debe dejar en el horno las respectivas muestras, para su estimación.

4.2.3 Agua Neta y Aire

Se ingresa con Asentamiento y Tamaño Máximo del Agregado (Hormigón sin aire incluido).

Tabla 4-2
Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos nominales del Agregado.

Revenimiento [cm]	Agua. [Kg/m3] para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo [pulg] indicado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido [%]	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	
Promedio recomendado de contenido de aire según el nivel de exposición [%]								
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5.5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición Severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Adaptada de la tabla A.1.5.3.3. del ACI 211.1 y del ACI 318, (Hover, 1995)

Agua Neta = 193 kg/m3

% Aire en concreto sin aire incluido = 1.5

4.2.4 Relación Agua/Cemento.

Coeficiente de Seguridad % = 8

Ecuación (4-1).
Relación Agua/Cemento.

$$f'c\ diseño = f'c\ requerido * (1 + \frac{coef\ seguridad}{100})$$

$$f'c\ diseño = 280 * \left(1 + \frac{8}{100}\right) = 302{,}4\ kg/cm^2$$

Tabla 4-3

Correspondencia entre la relación agua/cemento o agua/materiales cementantes y la resistencia a la compresión del hormigón.

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350 (35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (25)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
150 (15)	0.80	0.72

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo durante 28 días, acorde a la ASTM C31 (AASHTO T23) **Adaptada de**: la Tabla A1.5.3.4 del ACI 211.1 y ACI 211.3.

302.4 kg/cm2-300 kg/cm2 = 47.6 kg/cm2

Tabla 4-4

Interpolación de la relación a/c

INTERPOLACION	
300	0,43
350	0,38
50	0,05
47,6	0,0476

Relación a/c = 0.38+0.0476 = 0.42760

(Ecuación 4-2).

Volumen de cemento

$$Cemento = \frac{Agua\ Neta}{Relación\ \frac{a}{c}}$$

$$\frac{193\ kg/m^3}{0.42760} = 451\ kg/m^3$$

4.2.5 Cálculo del Peso Unitario del Hormigón (UM).

(Ecuación 4-3)
Peso Unitario del Hormigón.

$$Um = 10Ga(100 - A) + Cm\left(1 - \frac{Ga}{Gc}\right) - Wm(Ga - 1).$$

$Donde$:

$Ga = Gravedad\ Específica\ (SSS), promedio, del\ agregado\ fino\ y\ grueso.$

$Gc = Gravedad\ específica\ del\ cemento\ (aproximadamente\ 3{,}15).$

$A = \%\ de\ Aire\ contenido.$

$Wm = Agua\ neta\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$Cm = Cemento\ requerido\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$$Um\ (Puh) = 2289\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

(Ecuación 4-4)
Peso Unitario de los agregados en estado S.S.S.

$$S.S.S. = Um - Agua\ neta - Cemento$$

$$S.S.S. = 1645\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

4.2.6 Establecimiento del porcentaje de agregado fino y grueso (% de fino varía de 35 a 50)

% finos= 45% % gruesos = 55%

(Ecuación 4-5)
Volumen de Agregado fino (SSS)

$$Agregado\ fino\ (SSS) = \frac{\%\ finos}{100 * Agregados(SSS)}$$

$$Agregado\ fino\ (SSS) = \frac{\%finos}{100 * \ (Um - Agua\ Neta - Cemento)} = 740\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

(Ecuación 4-6)
Volumen de Agregado grueso (SSS)

$$Agregado\ grueso\ (SSS) = \frac{\%\ gruesos}{100 * Agregados(SSS)}$$

$$Agregado\ grueso\ (SSS) = \frac{\%gruesos}{100 * \ (Um - Agua\ Neta - Cemento)} = 904\ \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

4.2.7 Cálculo de agregados en estado natural.

(Ecuación 4-7)
Masa Seca

$$Masa\ seca\ = \frac{Masa\ (SSS)}{(1 + \%Ab/100)}$$

(Ecuación 4-8)
Masa Natural

$$Masa\ natural = Masa\ Seca * \ 1 + \frac{\%humedad\ natural}{100}$$

$$Agregado\ grueso\ (se) = 887\left(\frac{kg}{m^3}\right) \qquad Agregado\ grueso\ (nat) = 892\left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$Agregado\ fino\ (se) = 722\left(\frac{kg}{m^3}\right) \qquad Agregado\ fino\ (nat) = 727\left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

4.2.8 Cálculo del Agua de Mezcla.

(Ecuación 4-9)
Agua de mezcla.

$$Agua\ de\ mezcla = \frac{Agua\ Neta + Agregado\ fino\ seco * \frac{(\%ab - \%hn)}{100}}{Agregado\ grueso\ seco * \frac{(\%ab - \%hn)}{100}}$$

$$Agua\ de\ mezcla = 218\left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

4.2.9 Resumen de la Primera Iteración de la Mezcla Matriz de 280 f'c con 0% de Pómez.

Tabla 4-5
Resumen de la primera iteración de la mezcla matriz de 280 f'c con 0% piedra pómez, cálculo para 0.020 m3 de la concretera.

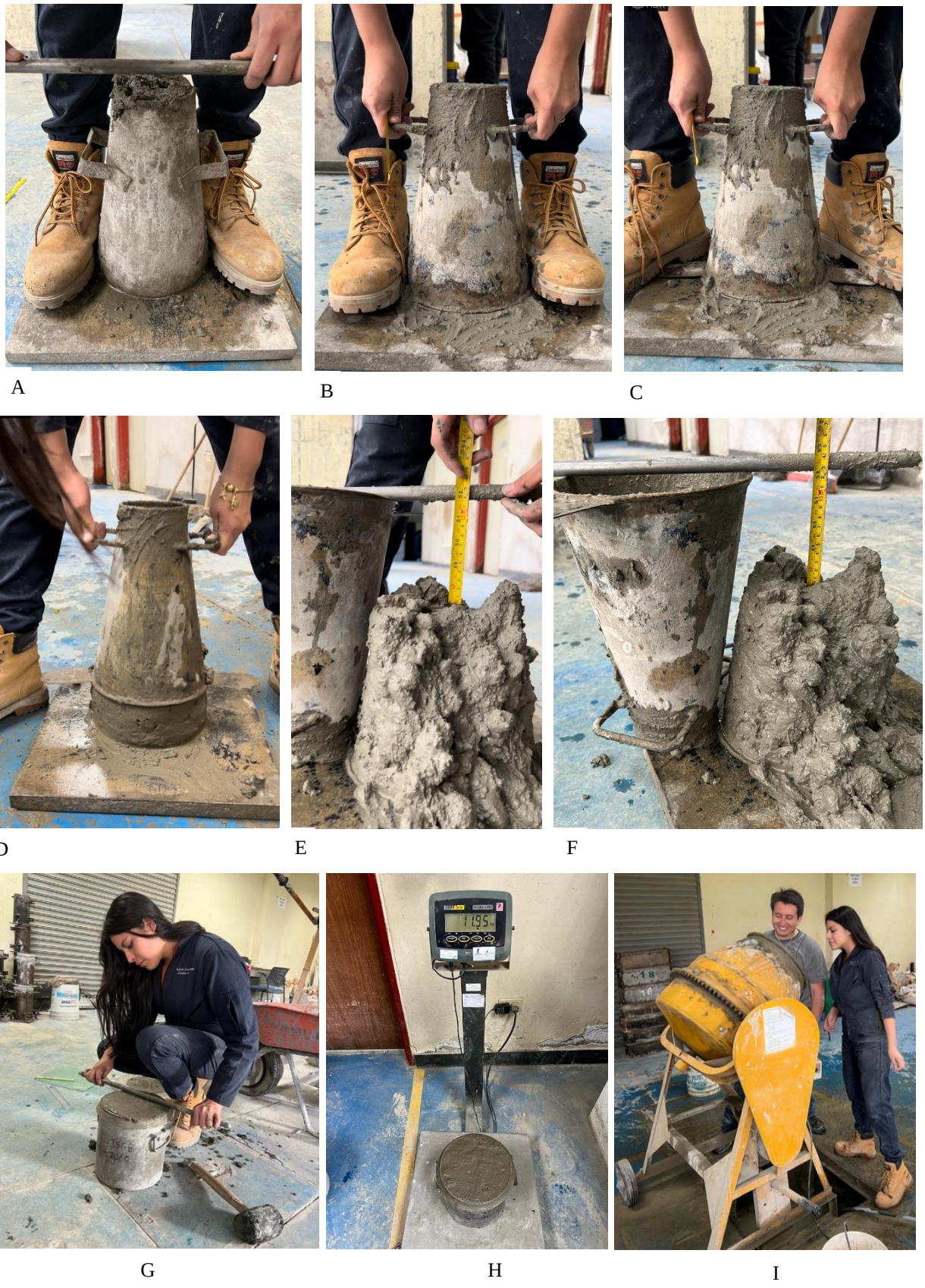
	kg/m^3	**0,020 gr/m^3**
Agua Mezcla	**218**	**4367**
Cemento	**451**	**9027**
Arena Natural	**727**	**14540**
Ripio Natural	**892**	**17843**
Σ	**2289**	

4.2.9.1 Cálculo del Asentamiento, Peso Unitario Real del Hormigón y Contenido de Aire.

Una vez realizada la mezcla en obra, se procede a calcular el Peso Unitario real de la mezcla, así como también el respectivo asentamiento de esta.

Figura 4-1

Proceso de estimación del Asentamiento, Peso Unitario Real del Hormigón y Contenido de Aire



A B C

D E F

G H I

A) Retiro del excedente con la varilla en movimientos ziczac, **B)** Sostener las orejas del cono fuertemente con los brazos **C)** Retirar los pies de las bases del cono, sin retirar las manos, **D)** Levantar de manera unirme el cono, **E)** y **F)** Cálculo del asentamiento en la base central y más alta del espécimen, **G)** Para el cálculo del Peso Unitario Real, retirar exceso con varilla y vidrio en ángulo 45° **H)** Cálculo del peso, para luego dividirlo para su respectivo volumen. **I)** Devolvemos a la mezcla.

4.2.9.2 Primera Reestimación de Mezcla 280f'c 0% Pómez.

Tabla 4-6
Primera reestimación de mezcla 280f'c 0% Pómez

Peso Unitario Real kg/m3	2319
Peso Unitario Teórico kg/m3	2288,9
Asentamiento Real	11,2
Agua Neta kg/m3	193
a/c	0,428
Arena Seca Utilizada kg/m3	722
Ripio Seco Utilizado kg/m3	887
Agua de Mezcla kg/m3	218
Cemento kg/m3	451
Arena Nat Utilizada kg/m3	727
Ripio Nat Utilizado kg/m3	892
% Fino	45
% Grueso	55

(Ecuación 4-10)
Factor de Corrección.

$$F1 = \frac{Peso\ Unitario\ Teórico}{Peso\ Unitario\ Real} = 0.987017$$

(Ecuación 4-11)
Corrección de Agua Neta

$$Agua\ neta\ = \frac{Agua\ neta\ usada}{F1} + 2 * (Ase.Teórico - Ase.Real) = 191.14\ \frac{kg}{m^3}$$

4.2.9.3 Resumen de la Mezcla Matriz de 280 f'c 0% Pómez corregida.

Tabla 4-7
Resumen de la Mezcla Matriz de 280 f'c 0% Pómez corregida.

	Kg/m^3	0,027 gr/m3
Agua mezcla	217	5860
Cemento	447	12069
Arena natural	743	20063
Ripio natural	912	24620
Σ Peso Unitario	2318,97	

4.3 Mezcla Matriz de la Resistencia de 350 f'c con 0% Piedra Pómez.

4.3.1 Primera Reestimación de Mezcla 350f'c 0% Pómez

Tabla 4-8
Primera Reestimación de Mezcla 350f'c 0% Pómez.

Peso Unitario Real kg/m3	2364
Peso Unitario Teórico kg/m3	2338,8
Asentamiento Real	5
Agua Neta kg/m3	160
a/c	0,352
Arena Seca Utilizada kg/m3	774
Ripio Seco Utilizado kg/m3	913
Agua de Mezcla kg/m3	172
Cemento kg/m3	455
Arena Nat Utilizada kg/m3	781
Ripio Nat Utilizado kg/m3	931
Aditivo %	1.4
% Fino	46
% Grueso	54

La cantidad de aditivo máximo que se coloca en una mezcla es del 2% de la cantidad total de cemento, por tal motivo luego de varias pruebas y estimaciones, se determinó que la cantidad

de aditivo que favorece a esta mezcla es al 1.4% de la cantidad de cemento implementada, es decir que, si el volumen de cemento es 455kg/m3, y yo deseo preparar una mezcla que quepa en una concretera de 0.02 m3 o 20 litros, de 455kg/m3 de cemento, entrará en la concretera 9091gr/m3, por consiguiente 1.4%*9091gr/m3, da como resultado 127,27 gr de aditivo para dicha mezcla.

4.3.2 Resumen de la Mezcla Matriz de 350 f'c con 0% Pómez corregida.

Tabla 4-9
Resumen de la Mezcla Matriz de 350 f'c con 0% Pómez corregida

	Kg/M^3	0,027 gr/m3
Agua de mezcla.	**182**	**4920**
Cemento	**482**	**13017**
Arena natural.	**793**	**21402**
Ripio natural.	**907**	**24482**
Σ Peso Unitario	**2363,73**	

4.4 Mezclas de Hormigón Ligero Estructural con 40,50,70 y 85% Piedra Pómez.

Como se ha detallado en el alcance, esta investigación parte de estas 2 mezclas matrices como base, la primera de 280kg/cm2 y la segunda resistencia de 350 kg/cm2, de las cuales, de la cantidad total de agregado grueso convencional, se reparte en porcentajes de 40,55,70 y 85% respectivamente del agregado grueso total, es decir que, si la primera dosificación con pómez tiene 40%, el 60% restante pertenece al agregado grueso convencional de Santo Domingo de los Tsáchilas.

4-10
Resumen de mezclas de hormigón ligero estructural

Resumen de mezclas de hormigón ligero estructural con diferentes % de Piedra Pómez								
Resistencia	%Pómez	kg/m3						cm
		Ripio	Arena	Pómez	Agua	Cemento	Aditivo	Asentamiento
280 kg/cm2	0% Pómez	912	743	0	217	447	0	8
	40% Pómez	492	725	105	258	465	0	8
	55% Pómez	369	725	144	273	465	0	10
	70% Pómez	274	691	199	309	447	0	9
	85% Pómez	128	737	225	321	447	0	8,5
350 kg/cm2	0% Pómez	907	793	0	182	482	6,4	10,5
	40% Pómez	536	782	111	233	455	7,7	11
	55% Pómez	391	806	149	248	455	7,7	11
	70% Pómez	245	856	178	261	455	7,7	11
	85% Pómez	116	897	205	273	455	7,7	10,5

Cabe recalcar que las mezclas de 350kg/cm2, cuentan con la adición de aditivo reductor de agua al 1.4% de la cantidad de cemento total empleada en la primera dosificación con 0% pómez, para las siguientes mezclas con pómez, fue necesario aumentar a 1.7% de la cantidad de cemento el aditivo, es decir para 455kg/m3, fue necesario 7.7kg/m3 de aditivo en cada una de las mezclas que contenían el agregado ligero, ya que estos tienen una capacidad de absorción de 55%, elevada con respecto a los demás agregados, por ende su incremento fue óptimo para lograr asentamientos deseados de 10cm.

4.5 Proceso de Fabricación de 60 cilindros y 30 viguetas bajo la ASTM C192-19.

Figura 4-2

Proceso de fabricación de 60 cilindros y 30 viguetas.



A B C

D E F

G H I

A) En el proceso de mezclado, con un porcentaje del agua de mezcla, se diluye el aditivo, por facilidad constructiva y homogeneidad de la mezcla.

B) Mezcla que alcanza para 2 cilindros y 1 viga, por cada uso de la concretera de capacidad de 25 litros, por lo cual aseguramos homogeneidad de las mezclas y los especímenes a ensayarse.

C) D), E), F), G) y H) Bajo la norma de preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón en el laboratorio (ASTM C192-19), se realiza el respectivo varillaje por capa, así como tambien con el uso de un vidrio, para su correcta preparación.

I) Repeticion del proceso, sin antes mencionar, que es sumamente importa realizar el proceso de asentamiento y Peso Unitario por mezcla, para corroborar que lo teorico calculado, sea congruente con lo real en el laboratorio.

Este proceso tomó alrededor de 3 meses, para completar un total de 10 dosificaciones establecidas, por consiguiente, a partir de la mezcla al 70% Pómez de 280f´c, se realizó la mezcla con el método del volumen absoluto, ya que, al ser un agregado sumamente ligero, era más fácil predecir su espacio en la mezcla al volumen que al peso.

Las fórmulas, tanto de agua neta, corrección de mezclas y demás de Fuller Thompson, se continuó usando, simplemente ahora se partía del Volumen total, para la repartición de proporciones, de igual manera las dosificaciones realizadas anteriormente fuero la base matriz, para realizar las siguientes mezclas con porcentajes preestablecidos de piedra pómez.

4.6 Proceso de curado de especímenes de prueba de hormigón en el laboratorio bajo la ASTM C192-19.

Los diferentes especímenes han sido fabricados en el laboratorio de la PUCE, Quito, a excepción de las mezclas matrices que fueron realizadas en Santo Domingo de los Tsáchilas. Como se ha explicado anteriormente; 30 cilindros pertenecen al ensayo de Compresión Simple C39-21, 30 restantes para el ensayo del Módulo de elasticidad y Relación de Poisson C469-14 y 30 viguetas para determinar la Resistencia a Flexión del hormigón o Módulo de Rotura C78-21.

En los laboratorios de Santo Domingo, se han realizado los ensayos de Compresión Simple y las vigas a Flexión, por lo cual su proceso de curado ha sido diferente al de los 30 cilindros para Módulos de Elasticidad y Relación de Poisson realizados en Quito, ya que en Santo Domingo se contaba con la piscina para especímenes, mientras que en Quito, se utilizaba una cámara de humedad.

Figura 4-3.
Piscina para curado de especímenes en las instalaciones del GAD-MSD, EP CONST, Santo Domingo.



Figura 4-4

Cámara Húmeda para curado de especímenes, en las instalaciones de la PUCE.



El proceso de curado en agua se ha realizado para los 28 días normalizados. Al utilizar dos sistemas diferentes para curado de los especímenes de hormigón, se puede corroborar que los resultados a compresión fueron mejores para las probetas que utilizaron el método de inmersión en la piscina, mientras que los curados en la cámara húmeda, para Módulos de Elasticidad y Relación de Poisson, presentaron valores atípicos en su resistencia a la compresión, para la toma de dato de carga ultima que requiere este método de prueba.

Por cada mezcla en la concretera de 25 litros, alcanzó para fabricar 2 cilindros y 1viga, es decir que, para alcanzar los 6 cilindros y 3 vigas por dosificación, se tuvo que realizar 3 veces este proceso de dosificación, lo cual permite testificar, que las mezclas son homogéneas y el proceso de curado más eficiente es el de la piscina de curado.

CAPÍTULO V.

5. ENSAYOS DEL HORMIGÓN.

5.1 ASTM C39-21 Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.

Este método de prueba calcula la resistencia a la compresión, mediante una carga compresiva axial aplicada a especímenes cilíndricos o núcleos moldeados, la misma se calcula dividiendo la carga máxima lograda durante la prueba, por el área de la sección transversal del espécimen (ASTM C39/C39M-21, p.2).

La resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del hormigón fabricado con sus respectivos materiales, ya que existen varios medios que influyen en las propiedades del hormigón (Hummel, 1966, p.39), como se detalló anterior mente en el capítulo 2.3.2. de esta presente investigación.

Por consiguiente, los valores obtenidos dependerán del tamaño y la forma del espécimen, de la preparación y curado de los mismos, del procedimiento de mezcla, de los métodos de muestreo, del moldeo y la fabricación y de las condiciones de edad, temperatura y humedad durante el curado. A continuación se imparte los respectivos resultados obtenidos, para las diferentes resistencias y dosificaciones.

Tabla 5-1

Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de 280kg/cm2 a distintas proporciones de Piedra Pómez.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN.

ESPECIFICACIÓN: ASTM C39/C39M-21

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Mezclas de 280 f'c esperado
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	Varias
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	STO DGO y COTOPAXI

Tipo	*F. fundición*	*F. ensayo*	*Edad*	Masa (Kg)	$\Phi_{prom}(mm)$	$Área(mm^2)$	$long_T(mm)$	$Carga\ Ult\ (N)$	S Último (Mpa)	*Tipo de Falla*
280 fc' normal	25/3/2022	22/4/2022	28 días	12,65	150	17671,46	305	501220	28,36	5
	25/3/2022	22/4/2022	28 días	12,61	150	17671,46	305	532740	30,15	5
	25/3/2022	22/4/2022	28 días	12,69	150	17671,46	305	547690	30,99	5
40% Pómez	13/4/2022	12/5/2022	29 días	10,77	150	17671,46	305	298550	16,89	5
	13/4/2022	12/5/2022	29 días	11,14	150	17671,46	305	274500	15,53	5
	13/4/2022	12/5/2022	29 días	10,51	150	17671,46	305	205430	11,62	5
55% Pómez	14/4/2022	12/5/2022	28 días	10,72	150	17671,46	305	284970	16,13	3
	14/4/2022	12/5/2022	28 días	9,99	150	17671,46	305	196980	11,15	5
	14/4/2022	12/5/2022	28 días	10,58	150	17671,46	305	216470	12,25	3
70% Pómez V	28/4/2022	26/4/2022	28 días	9,80	150	17671,46	305	134430	7,61	5
	28/4/2022	26/4/2022	28 días	9,99	150	17671,46	305	149280	8,45	5
	28/4/2022	26/4/2022	28 días	9,64	150	17671,46	305	149280	8,45	5
85% Pómez	3/5/2022	31/5/2022	28 días	9,26	150	17671,46	305	140926	7,97	5
	3/5/2022	31/5/2022	28 días	9,64	150	17671,46	305	117134	6,63	5
	3/5/2022	31/5/2022	28 días	9,82	150	17671,46	305	124590	7,05	5

OBSERVACIÓN:

Los resultados obtenidos en estas dosificaciones de 280 kg/cm2, revelan que a mayor incremento de piedra pómez en la mezcla, se observa una reducción de la resistencia a la compresión significativa, cabe destacar que las cantidades de cemento de 447kg/m3, así como también su relación a/c de 0.428 de la matriz sin piedra pómez, se mantuvieron en todas las mezclas, la única variable que se ajustó fue la pómez y su agua de absorción, siempre manteniendo la relación agua/cemento inicial.

Tabla 5-2

Determinación de la Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de 350 kg/cm2, a distintas proporciones de Piedra Pómez.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN.

ESPECIFICACIÓN: ASTM C39/C39M-21

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Mezclas de 350 f'c esperado
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	Varias
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	STO DGO y COTOPAXI

Tipo	*F. fundición*	*F. ensayo*	*Edad*	Masa (Kg)	$\Phi_{prom}(mm)$	$Área(mm^2)$	$long_T(mm)$	$Carga\ Ult\ (N)$	S Último (Mpa)	*Tipo de Falla*
	4/4/2022	3/5/2022	28 días	12,951	150	17671,46	305	778510	44,05	5
350 fc' normal	4/4/2022	3/5/2022	28 días	12,827	150	17671,46	305	820140	46,41	5
	4/4/2022	3/5/2022	28 días	12,854	150	17671,46	305	790140	44,71	5
	5/5/2022	2/6/2022	28 días	12,651	150	17671,46	305	224360	12,70	5
40% Pómez	5/5/2022	2/6/2022	28 días	12,607	150	17671,46	305	254880	14,42	5
	5/5/2022	2/6/2022	28 días	12,688	150	17671,46	305	215940	12,22	5
	9/5/2022	6/6/2022	28 días	12,651	150	17671,46	305	104670	5,92	2
55% Pómez	9/5/2022	6/6/2022	28 días	12,607	150	17671,46	305	134068	7,59	5
	9/5/2022	6/6/2022	28 días	12,688	150	17671,46	305	142800	8,08	2
	10/5/2022	7/6/2022	28 días	12,651	150	17671,46	305	154138	8,72	5
70% Pómez V	10/5/2022	7/6/2022	28 días	12,607	150	17671,46	305	144420	8,17	5
	10/5/2022	7/6/2022	28 días	12,688	150	17671,46	305	143600	8,13	5
	11/5/2022	8/6/2022	28 días	12,651	150	17671,46	305	146383	8,28	5
85% Pómez	11/5/2022	8/6/2022	28 días	12,607	150	17671,46	305	113954	6,45	5
	11/5/2022	8/6/2022	28 días	12,688	150	17671,46	305	113910	6,45	5

OBSERVACIÓN:

Las dosificaciones elaboradas de 350 kg/cm2 con reductor de agua, revelan nuevamente que a mayor incremento de piedra pómez en la mezcla, se reduce la resistencia a la compresión significativamente, cabe destacar que las cantidades de cemento de 482 kg/m3, así como también su relación a/c de 0.352 de la matriz sin piedra pómez, se mantuvieron en todas las instancias, la única variable que se ajustó fue la pómez y su agua de absorción, siempre manteniendo la relación agua/cemento inicial. Sin embargo, se observa valores atípicos en comparación con la resistencia de 280kg/cm2.

Tabla 5-3

Porcentaje perdido de la resistencia a la compresión de las mezclas con respecto a la mezcla matriz.

Resistencia	mezcla	S Últ prom (Mpa)	% de S Últ perdido
280 fc'	0% pómez	29,8	0
	40% pómez	14,7	50,8
	55% pómez	13,2	55,8
	70% pómez	8,2	72,6
	85% pómez	7,2	75,8
350 fc'	0% pómez	45,1	0,0
	40% pómez	13,1	70,9
	55% pómez	7,2	84,0
	70% pómez	8,3	81,5
	85% pómez	7,1	84,3

La resistencia promedio a la compresión de los cilindros normales con 40% pómez, pertenecientes a la mezcla matriz de 28 MPa, redujeron en un 51% su resistencia a 14.68 MPa. Las probetas con 55% pómez, disminuyeron en un 56% su resistencia a 13.17 MPa. Los especímenes pertenecientes al 70% de pómez perdieron un 73% con resistencia de 8.17 MPa, mientras que los cilindros con 85% pómez, bajaron un 76% su capacidad de resistencia a la compresión con 7.22 MPa. Según estos datos de tabla 5-1 y 5-3, se evidencia que este tipo de hormigón ligero no es apto para usarse como elemento estructural a compresión.

La resistencia promedio a la compresión de las probetas normales con 40% pómez, pertenecientes a la mezcla matriz de 35 MPa, redujeron en un 71% su resistencia a 13.11 MPa. Los especímenes con 55% pómez, disminuyeron en un 84% su resistencia a 7.2 MPa. Los pertenecientes al 70% pómez perdieron un 82% con una resistencia de 8.34 MPa, mientras que los cilindros con 85% pómez, bajaron un 84% su capacidad de resistencia a la compresión, con 7.06 MPa.

5.1.1 Tipos de fallas obtenidas en los especímenes cilíndricos de hormigón.

Figura 5-1

Tipos de fallas obtenidas en los especímenes cilíndricos de hormigón





I



J K

A) 280f'c 0% pómez, **B)** 350f'c 0% pómez **C)** 280f'c 40% pómez **D)** 280f'c 55% pómez, **E)** y **F)** 280f'c 70% pómez **G)** 280f'c 85% pómez **H)** 350f'c 40% pómez **I)** 350f'c 55% pómez **J)** 350f'c 70% pómez **K)** 350f'c 85% pómez

Las resistencias a la compresión se reducen gradualmente a medida que el contenido de aire aumenta más allá de los rangos recomendados (ACI 213R-14, p.8). En la mayoría de los cilindros, existe una tendencia a la falla N°5, sin embargo, las mezclas de 350f'c 55% pómez y 350f'c 85% pómez, tuvieron algunos cilindros pertenecientes a la falla tipo 2.

5.2 ASTM C78-21 Determinación de la Resistencia a la flexión del hormigón (usando una viga simple con carga de tres puntos).

Este método de prueba tiene su valor para determinar la resistencia a la flexión de los especímenes preparados y curados bajo las metodologías ASTM C42-20 para la obtención de vigas aserradas de hormigón para pruebas, así como también la ASTM C31/C31M-19 para la preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón en el campo y la ASTM C192-19 para la preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón en el campo.

Los resultados reflejan el Módulo de Rotura, empleado para el diseño y construcción de losas y pavimentos, generalmente se incrementa a medida que disminuye el tamaño del espécimen, este módulo puede emplearse para corroborar el seguimiento de las distintas normas que lo ameritan, como también puede servir de sustento para calcular las proporciones de las mezclas, evaluar la homogeneidad de las mezclas y verificar las operaciones de colocación mediante el uso de vigas aserradas.

Al igual que el ensayo anterior, los resultados pueden verse afectados o beneficiados, según la fabricación de los especímenes, el procedimiento de curado, la condición de humedad en el momento de la prueba, si la viga fue moldeada o aserrada para lograr su tamaño (ASTM C78-21) y demás medios mencionados en el capítulo 3 de esta investigación.

Tabla 5-4

Determinación de la Resistencia a la flexión del hormigón (usando una viga simple con carga de tres puntos), para mezclas de 280 f'c esperado.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN.

(Usando una viga simple con carga de tres puntos).

ESPECIFICACIÓN: ASTM C78/C78M-21

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Mezclas de 280 f'c esperado
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	Varias
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	STO DGO y COTOPAXI

Tipo	*F. fundición*	*F. ensayo*	*Edad*	*Masa*	*Long (L)*	*ancho (b)*	*alto (d)*	*Carga (P)*	*R*
				kg	*(mm)*	*(mm)*	*(mm)*	*(N)*	*(Mpa)*
280f'c normal	**25/3/2022**	**22/4/2022**	**28 días**	**26,50**	**450**	**150**	**150**	**33802,817**	**4,51**
	25/3/2022	**22/4/2022**	**28 días**	**26,70**	**450**	**150**	**150**	**33274,648**	**4,44**
	25/3/2022	**22/4/2022**	**28 días**	**26,80**	**450**	**150**	**150**	**33450,704**	**4,46**
40% Pómez	**13/4/2022**	**12/5/2022**	**29 días**	**25,50**	**450**	**150**	**150**	**28640,141**	**3,82**
	13/4/2022	**12/5/2022**	**29 días**	**25,70**	**450**	**150**	**150**	**33909,155**	**4,52**
	13/4/2022	**12/5/2022**	**29 días**	**26,34**	**450**	**150**	**150**	**26532,394**	**3,54**
55% Pómez	**14/4/2022**	**12/5/2022**	**28 días**	**25,68**	**450**	**150**	**150**	**28144,366**	**3,75**
	14/4/2022	**12/5/2022**	**28 días**	**25,70**	**450**	**150**	**150**	**28516,197**	**3,80**
	14/4/2022	**12/5/2022**	**28 días**	**24,34**	**450**	**150**	**150**	**30438,028**	**4,06**
70% Pómez V	**28/4/2022**	**27/5/2022**	**29 días**	**24,04**	**450**	**150**	**150**	**26966,197**	**3,60**
	28/4/2022	**27/5/2022**	**29 días**	**22,52**	**450**	**150**	**150**	**29011,972**	**3,87**
	28/4/2022	**27/5/2022**	**29 días**	**24,42**	**450**	**150**	**150**	**26408,451**	**3,52**
85% Pómez	**3/5/2022**	**31/5/2022**	**28 días**	**24,00**	**450**	**150**	**150**	**25354,93**	**3,38**
	3/5/2022	**31/5/2022**	**28 días**	**23,50**	**450**	**150**	**150**	**25664,789**	**3,42**
	3/5/2022	**31/5/2022**	**28 días**	**23,48**	**450**	**150**	**150**	**27896,479**	**3,72**

OBSERVACIÓN:

En el cálculo del Módulo de Rotura, se observa ventajosamente que su resistencia tiene una tendencia ajustada y no existe mayor pérdida a pesar del incremento de agregado grueso ligero a diferentes proporciones, como sucedió con el esfuerzo a la compresión. Lo que revela que este tipo de hormigones podrían ser una buena alternativa para su uso en pavimentos rígidos como reemplazo de una base o subbase, losas de pisos industriales, como también, genera la iniciativa para continuar el estudio del Módulo de Rotura de este tipo de hormigones.

Tabla 5-5

Determinación de la Resistencia a la flexión del hormigón (usando una viga simple con carga de tres puntos), para mezclas de 350 f'c esperado.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN.

(Usando una viga simple con carga de tres puntos).

ESPECIFICACIÓN: ASTM C78/C78M-21

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Mezclas de 350 f'c esperado
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	Varias
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	STO DGO y COTOPAXI

Tipo	*F. fundición*	*F. ensayo*	*Edad*	*Masa*	*Long (L)*	*ancho (b)*	*alto (d)*	*Carga (P)*	*R*
				kg	*(mm)*	*(mm)*	*(mm)*	*(N)*	*(Mpa)*
350 f'c normal	**5/4/2022**	**3/5/2022**	**28 días**	**32,90**	**450**	**150**	**150**	**30686**	**4,09**
	5/4/2022	**3/5/2022**	**28 días**	**32,88**	**450**	**150**	**150**	**33413**	**4,46**
	5/4/2022	**3/5/2022**	**28 días**	**32,86**	**450**	**150**	**150**	**33413**	**4,46**
40% Pómez	**5/5/2022**	**2/6/2022**	**28 días**	**31,00**	**450**	**150**	**150**	**30655**	**4,09**
	5/5/2022	**2/6/2022**	**28 días**	**30,80**	**450**	**150**	**150**	**30423**	**4,06**
	5/5/2022	**2/6/2022**	**28 días**	**31,20**	**450**	**150**	**150**	**30458**	**4,06**
55% Pómez	**9/5/2022**	**6/6/2022**	**28 días**	**29,80**	**450**	**150**	**150**	**29581**	**3,94**
	9/5/2022	**6/6/2022**	**28 días**	**29,95**	**450**	**150**	**150**	**29754**	**3,97**
	9/5/2022	**6/6/2022**	**28 días**	**29,75**	**450**	**150**	**150**	**29648**	**3,95**
70% Pómez	**10/5/2022**	**7/6/2022**	**28 días**	**28,50**	**450**	**150**	**150**	**28884**	**3,85**
	10/5/2022	**7/6/2022**	**28 días**	**28,25**	**450**	**150**	**150**	**28577**	**3,81**
	10/5/2022	**7/6/2022**	**28 días**	**28,45**	**450**	**150**	**150**	**28592**	**3,81**
85% Pómez	**11/5/2022**	**8/6/2022**	**28 días**	**27,00**	**450**	**150**	**150**	**27887**	**3,72**
	11/5/2022	**8/6/2022**	**28 días**	**27,20**	**450**	**150**	**150**	**27831**	**3,71**
	11/5/2022	**8/6/2022**	**28 días**	**26,80**	**450**	**150**	**150**	**27324**	**3,64**

OBSERVACIÓN:

El Módulo de Rotura de las dosificaciones de 350kg/cm2, refleja nuevamente que no existe mayor pérdida de resistencia a pesar del incremento de agregado grueso ligero a diferentes proporciones, como sucedió con el esfuerzo a la compresión. Lo que revela que este tipo de hormigones podrían ser una buena alternativa para su uso en pavimentos rígidos como base o subbase, losas de pisos industriales, como también, genera la iniciativa para continuar el estudio a flexión de este tipo de hormigones.

Tabla 5-6

Porcentaje perdido de la resistencia a la flexión o módulo de rotura de las mezclas con respecto a la mezcla matriz.

Resistencia	Mezcla	R prom (Mpa)	% de R perdido
280 fc'	0% pómez	4,5	0
	40% pómez	4,0	11,4
	55% pómez	3,9	13,4
	70% pómez	3,7	18,0
	85% pómez	3,5	21,5
350 fc'	0% pómez	4,3	0,0
	40% pómez	4,1	6,1
	55% pómez	4,0	8,7
	70% pómez	3,8	11,8
	85% pómez	3,7	14,8

El módulo de rotura de las vigas normales con 40% pómez, pertenecientes a la mezcla matriz de 28 MPa, redujeron apenas un 11% su módulo de rotura a 3.96 MPa, con respecto a la normal. Las vigas con 55% pómez, disminuyeron en un 13% su resistencia a 3.87 MPa, las pertenecientes al 70% pómez perdieron un 18% con resistencia de 3.66 MPa, mientras que los especímenes con 85% pómez, bajaron un 22% su capacidad de resistencia a la flexión a 3.51 MPa. Se testifica que la reducción de resistencia a la flexión está entre un 13% a 22% como máximo, para este grupo de vigas, por consiguiente, se revela que este tipo de hormigón ligero estructural tiene mayor capacidad a la flexión que a compresión.

Las vigas normales con 40% pómez, pertenecientes a la mezcla matriz de 35 MPa, redujeron apenas un 6% su módulo de rotura a 4.07 MPa. Las vigas con 55% pómez, disminuyeron en un 9% su resistencia a 3.95 MPa, las pertenecientes al 70% pómez, perdieron un 12% con resistencia de 3.82 MPa, mientras que los especímenes con 85% pómez, bajaron apenas un 15% su capacidad de resistencia a la flexión a 3.69 MPa, Plasmado en la tabla 5-5 y 5-6, se evidencia que la reducción de resistencia a la flexión está entre un 6% a 15% como máximo, para este grupo de vigas.

5.2.1 Fracturas iniciadas en la superficie de tensión, dentro del tercio medio de la longitud de amplitud en todas las vigas ensayadas.

Figura 5-2

Fracturas dentro del tercio medio de la longitud de amplitud en todas las vigas ensayadas.



A B



C D E

A) 280f'c 40% Pómez **B)** 350 f'c 0% Pómez, **C)** 280 f'c 55% pómez, **D)** 280 f'c 70% Pómez, **E)** 350 f'c 70% Pómez.

5.3 C469-14 Determinación del Módulo de Elasticidad y la Relación de Poisson del concreto a compresión.

Este método determina el módulo de Young o módulo de elasticidad, que es una relación entre el esfuerzo y su deformación unitaria, así como también calcula la relación de Poisson que es una relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal, para hormigón endurecido a cualquier edad y condiciones de curado normalizadas (ASTM C469-14).

El módulo de elasticidad, como la relacion de Poisson, se determinan dentro del rango de esfuerzos de trabajo del 0% a 40% del valor de la carga última del hormigón. Su relevancia y uso se da para:

- ♠ El dimensionamiento de elementos armados o no armados.
- ♠ Establecer la cantidad de refuerzo.
- ♠ Calcular los esfuerzos para las deformaciones unitarias observadas.

A continuación, las respectivas formulas establecidas por la ASTM C469-14:

Ecuación (5-1).
Módulo de elasticidad.

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.000050)}$$

Donde:

$E = Módulo\ de\ elasticidad\ cuerda, MPa.$

$S_2 = Esfuerzo\ correspondiente\ al\ 40\%\ de\ la\ carga$ última

$S_1 = Esfuerzo\ correspondiente\ a\ la\ deformación\ unitaria\ longitudinal, \varepsilon_1, de\ 50\ millonésimas.$

$\varepsilon_2 = Deformación\ unitaria\ longitudinal\ producida\ por\ el\ esfuerzo\ S_2.$

Ecuación (5-2)
Relación de Poisson.

$$\nu = \frac{(\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})}{(\varepsilon_2 - 0.000050)}$$

Donde:

$\nu = Relación\ de\ Poisson.$

$\varepsilon_{t2} = Deformación\ unitaria\ transversal\ en\ la\ altura\ media\ del\ espécimen\ producida\ por\ S_2$

$\varepsilon_{t1} = Deformación\ unitaria\ transversal\ en\ la\ altura\ media\ del\ espécimen\ producisa\ por\ S_1.$

Los valores del módulo de elasticidad obtenidos bajo la aplicación de carga estandarizada, con una tasa de movimiento correspondiente a una tasa de deformación del espécimen de 0.25 +- 0.05 MPa/s, establecida en esta norma en el acápite 8.5.1, generalmente son menores a los módulos obtenidos bajo una aplicación rápida de carga (velocidades dinámicas o sísmicas), ya que, se estimarán menores deformaciones unitarias, por ende, módulos más altos. Así mismo, para cargas lentas o de mayor duración, se apreciarán mayores deformaciones unitarias, por consiguiente, menores módulos de elasticidad producidos, a comparación de los normalizados.

Una vez obtenidos los datos del módulo de elasticidad (E) y relación de Poisson (ν), se calcula el módulo de rigidez (G), o módulo de corte en los materiales, esta propiedad evidencia el coeficiente de elasticidad para una fuerza de corte. Se define como la relación entre el esfuerzo cortante y el desplazamiento por unidad de longitud de muestra.

Ecuación (5-3).
Módulo de rigidez o corte.

$$G = \frac{\tau}{\gamma}, \qquad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Donde:

$G = Módulo\ de\ rigidez\ o\ corte, MPa.$

$\tau = Esfuerzo\ cortante.$

$E = Módulo\ de\ elasticidad\ cuerda, MPa.$

$\gamma =\ Desplazamiento\ por\ unidad\ de\ longitud\ de\ muestra$

$\nu = Relación\ de\ Poisson.$

Para la presente investigación, se ha obtenido los resultados del módulo de rigidez, bajo la segunda ecuación de (5-13).

5.3.1 Metodología aplicada para el cálculo del Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez, mediante tablas dinámicas de elaboración propia.

5.3.1.1 Datos Generales del cilindro de 350f'c con 0% Piedra Pómez, Probeta No2.

Tabla 5-7
Datos generales para el cálculo del Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez.

Datos	
Probeta No	**2**
Resistencia	**350 fc'**
Tipo	**Normal**
Fecha fundición	**4-abr**
Fecha ensayo	**3-may**
Edad espécimen	**29 días**
Tipo de Falla	**No 5**
$\phi_1(mm)$	**151,47**
$\phi_2(mm)$	**151,36**
$\phi_3(mm)$	**151,24**
$\phi_{prom}(mm)$	**151,36**
$Área(mm^2)$	**17992,56**
$e_g(mm)$	**121,10**
$e_r(mm)$	**131,28**
$e_g + e_r(mm)$	**252,38**
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	**0,520**
$longitud_{Total}(mm)$	**305**
$l_{efectiva\ long}(mm)$	**305**
$\phi L_{efectiva\ tran}(mm)$	**252,38**
$Carga\ Ultima\ (N)$	**800000,00**
$40\%\ C.Última\ (N)$	**320000,00**
Masa (Kg)	**13,36**
Peso U (Kg/m^3)	**2434,52**
S Último (Mpa)	**44,46**

5.3.1.2 Cálculo de deformaciones unitarias y esfuerzo a la compresión.

Tabla 5-8

Datos de carga y deformación obtenidos en el laboratorio, cálculo de deformaciones unitarias y esfuerzo a la compresión.

350 fc' Normal							
Probeta No 2							
P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
10918	0,60681	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000000	0,0000000
27244	1,51418	0,010	0,00025	0,00520	0,00013	0,0000171	0,0000005
34429	1,91351	0,015	0,00229	0,00780	0,00119	0,0000256	0,0000047
56498	3,14008	0,030	0,00559	0,01561	0,00291	0,0000512	0,0000115
75896	4,21819	0,045	0,01016	0,02341	0,00528	0,0000767	0,0000209
92188	5,12367	0,060	0,01422	0,03121	0,00740	0,0001023	0,0000293
106664	5,92823	0,075	0,01778	0,03901	0,00925	0,0001279	0,0000366
120781	6,71283	0,090	0,02032	0,04682	0,01057	0,0001535	0,0000419
133875	7,44057	0,105	0,02324	0,05462	0,01209	0,0001791	0,0000479
146694	8,15304	0,120	0,02540	0,06242	0,01321	0,0002047	0,0000524
160028	8,89412	0,135	0,02794	0,07022	0,01453	0,0002302	0,0000576
172351	9,57901	0,150	0,03124	0,07803	0,01625	0,0002558	0,0000644
184486	10,2535	0,165	0,03556	0,08583	0,01850	0,0002814	0,0000733
195091	10,8429	0,180	0,03810	0,09363	0,01982	0,0003070	0,0000785
207863	11,5527	0,195	0,04318	0,10143	0,02246	0,0003326	0,0000890
219596	12,2048	0,210	0,04572	0,10924	0,02378	0,0003581	0,0000942
231735	12,8795	0,225	0,04826	0,11704	0,02510	0,0003837	0,0000995
244027	13,5627	0,240	0,05080	0,12484	0,02642	0,0004093	0,0001047
255864	14,2205	0,255	0,05334	0,13264	0,02775	0,0004349	0,0001099
268067	14,8988	0,270	0,05588	0,14045	0,02907	0,0004605	0,0001152
279275	15,5217	0,285	0,05842	0,14825	0,03039	0,0004861	0,0001204
290571	16,1495	0,300	0,06121	0,15605	0,03184	0,0005116	0,0001262
301868	16,7774	0,315	0,06566	0,16385	0,03415	0,0005372	0,0001353
311875	17,3336	0,330	0,06858	0,17166	0,03567	0,0005628	0,0001413
322143	17,9042	0,345	0,07112	0,17946	0,03699	0,0005884	0,0001466
332661	18,4888	0,360	0,07366	0,18726	0,03832	0,0006140	0,0001518
342684	19,0459	0,375	0,07620	0,19506	0,03964	0,0006396	0,0001571
353785	19,6628	0,390	0,07874	0,20287	0,04096	0,0006651	0,0001623
363684	20,213	0,405	0,08128	0,21067	0,04228	0,0006907	0,0001675
374408	20,809	0,420	0,08636	0,21847	0,04492	0,0007163	0,0001780
384492	21,3695	0,435	0,08890	0,22627	0,04624	0,0007419	0,0001832
396998	22,0646	0,450	0,09398	0,23408	0,04889	0,0007675	0,0001937
410225	22,7997	0,465	0,09906	0,24188	0,05153	0,0007930	0,0002042
424349	23,5847	0,480	0,10274	0,24968	0,05344	0,0008186	0,0002118

5.3.1.3 Cálculo de la deformación unitaria longitudinal ε_2 y la deformación unitaria transversal ε_{t2}, correspondientes al 40% de la Carga Última.

Tabla 5-9
Cálculo de la deformación longitudinal y transversal correspondiente al 40% de la Carga Última

	Ponderación para cálculo de		
	ε_2		ε_{t2}
	$Carga\ (N)$	$\varepsilon_{Longitudinal}$	$\varepsilon_{Transversal}$
$\leq 40\%\ CU$	311875,0	0,0005628	0,000141347
$\geq 40\%\ CU$	322143,0	0,0005884	0,000146582
$40\%\ CU$	320000,0	0,0005830	0,0001455

5.3.1.4 Cálculo del esfuerzo S_1y deformación transversal ε_{t1} correspondiente a la deformación unitaria longitudinal ε_1 de 5 millonésimas.

Tabla 5-10
Cálculo del esfuerzo S1 y deformación transversal Et1

	Ponderación para cálculo de		
	S_1		ε_{t1}
	$\varepsilon_{longitudinal}$	$S\ (MPa)$	$\varepsilon_{transversal}$
$\leq (5x10^{-5})$	0,0000256	1,9135130	4,71156E-06
$\geq (5x10^{-5})$	0,0000512	3,1400755	1,15172E-05
$(5x10^{-5})$	0,000050	3,0842629	0,0000112

5.3.1.5 Cálculo del Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez.

Tabla 5-11
Datos para el cálculo del Módulo de Elasticidad.

Para Cálculo del Módulo de Elasticidad					
$\varepsilon(5x10^{-5})$	$\varepsilon\ 40\%_{cu}$	Esfuerzo$(5x10^{-5})$	Esfuerzo $40\%_{cu}$	$(S_2-S_1)(Mpa)$	$\varepsilon_2 - 0,000050$
ε_1	ε_2	$S_1(Mpa)$	$S_2(Mpa)$		
0,00005	0,000583048	3,0842629	17,78512769	14,70086482	0,000533048

Tabla 5-12
Datos para el cálculo de la Relación de Poisson.

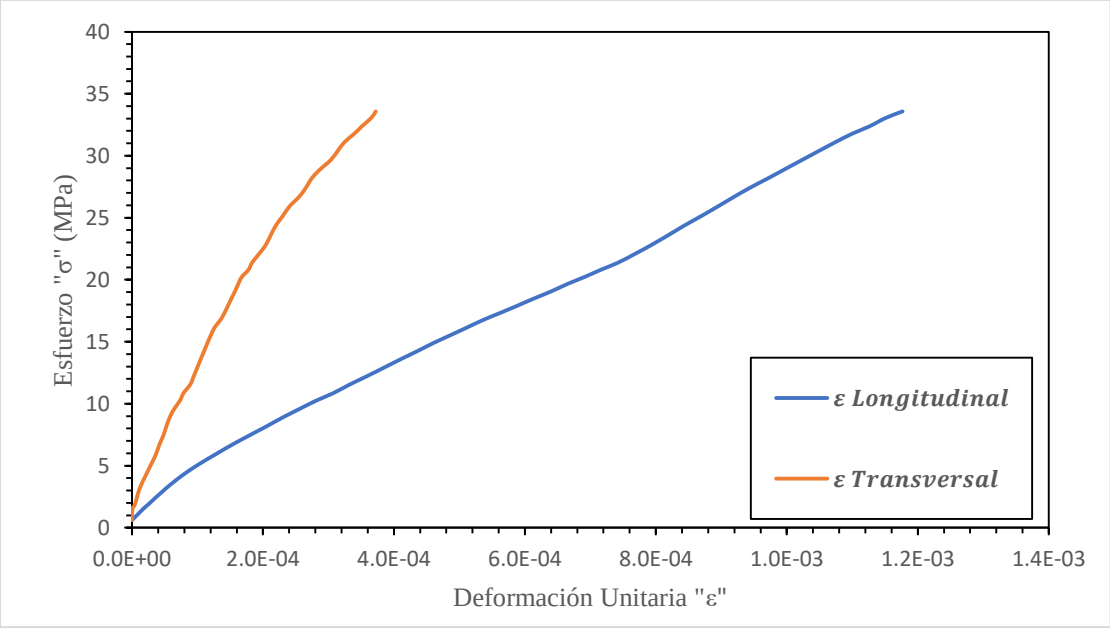
Para Cálculo del Módulo de Poisson			
$\varepsilon_{transv\ de\ S1}$	$\varepsilon_{transve\ de\ S2}$	ε_{t2}-ε_{t1}	$\varepsilon_2 - 0,000050$
ε_{t1}	ε_{t2}		
1,12075E-05	0,000145489	0,000134282	0,000533048

Tabla 5-13
Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez.

M. de Elasticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	ν	G (MPa)
27578,9	0,25	11014,7

5.3.1.6 Diagrama Esfuerzo a la Compresión Vs Deformación Unitaria longitudinal y transversal.

Diagrama 5-1
Esfuerzo a la Compresión Vs Deformación Unitaria longitudinal y transversal de la probeta N°2 de 350f'c con 0% Piedra Pómez



5.3.2 Informe del ensayo para la probeta N°2 de 280f'c 40% pómez.

Tabla 5-14

Ensayo para determinar el Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez de 280f'c 40% pómez.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

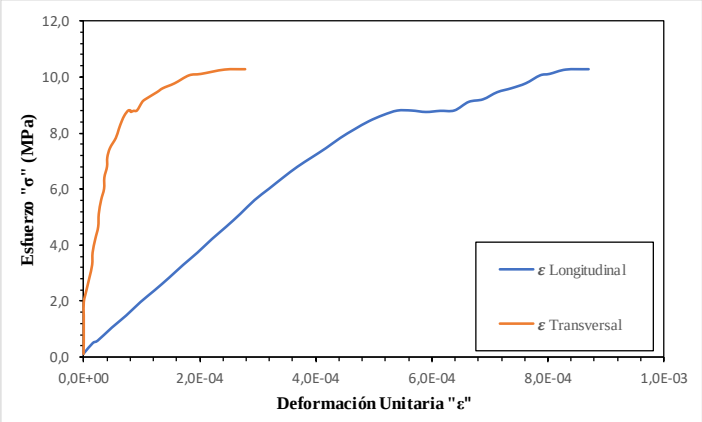
ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 40% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	12-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	2
Resistencia	280 fc'
Tipo	40% Pómez
F. fundición	13-abr
F. ensayo	13-may
Edad espécimer	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	152,99
$\Phi_2(mm)$	153,08
$\Phi_3(mm)$	152,89
$\Phi_{prom}(mm)$	152,99
$Área(mm^2)$	18382,18
$e_g(mm)$	125,27
$e_r(mm)$	125,29
$e_g + e_r(mm)$	250,56
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,500
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,56
Carga Ult (N)	274500
40% $C.Últ\ (N)$	109800
Masa (Kg)	11,80
PU (Kg/m^3)	2104,68
S Últ (Mpa)	14,93

Probeta No 2							
P (N)	S (MPa)	g_{longit} (mm)	g'_{transv} (mm)	d (mm)	d' (mm)	ε_{long}	ε_{tran}
1808	0,1	0,000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000000	0,0000000
8993,8	0,5	0,010	0,00023	0,00500	0,00011	0,0000164	0,0000005
10489	0,6	0,015	0,00023	0,00750	0,00011	0,0000246	0,0000005
19126	1,0	0,030	0,00023	0,01500	0,00012	0,0000492	0,0000005
27038	1,5	0,045	0,00023	0,02250	0,00012	0,0000738	0,0000005
35860	2,0	0,060	0,00025	0,03000	0,00013	0,0000984	0,0000005
43687	2,4	0,075	0,00254	0,03750	0,00127	0,0001230	0,0000051
51828	2,8	0,090	0,00508	0,04500	0,00254	0,0001476	0,0000101
60383	3,3	0,105	0,00749	0,05250	0,00375	0,0001721	0,0000150
68429	3,7	0,120	0,00787	0,06000	0,00394	0,0001967	0,0000157
77234	4,2	0,135	0,01016	0,06751	0,00508	0,0002213	0,0000203
85342	4,6	0,150	0,01270	0,07501	0,00635	0,0002459	0,0000253
93888	5,1	0,165	0,01321	0,08251	0,00660	0,0002705	0,0000264
102955	5,6	0,180	0,01524	0,09001	0,00762	0,0002951	0,0000304
110316	6,0	0,195	0,01778	0,09751	0,00889	0,0003197	0,0000355

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	*v*	*G (MPa)*
18354,2	0,13	8125,9



OBSERVACIÓN:

Los ensayos de los siguientes cilindros se encuentran en anexos.

Tabla 5-15

Resumen de los Parámetros Elásticos de los 30 cilindros ensayados bajo la norma ASTM C69-14.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

CUADRO DE RESUMEN DE LOS PARÁMETROS ELÁSTICOS

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Resumen total.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	10-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

	N° Probeta	$E\ (Mpa)$	v	$G\ (Mpa)$	$PU\ (Kg/m^3)$	$S\ (Mpa)$
			280' fc			
Normal	1	23704,9	0,2	9877,1	2297,42	30,24
	2	26105,3	0,27	10277,7	2289,53	31,93
	3	25188,3	0,18	10673,0	2302,32	32,01
40% Pómez	1	33764,2	0,45	11678,0	2054,32	16,58
	2	18354,2	0,13	8125,9	2104,68	14,93
	3	19068,3	0,14	8393,6	2016,98	11,27
55% Pómez	1	16469,1	0,11	7425,1	1930,67	15,89
	2	18943,8	0,21	7853,2	1975,69	10,66
	3	11446,4	0,05	5476,0	2022,51	12,83
70% Pómez	1	14901,8	0,06	7005,4	1836,00	7,68
	2	18093,7	0,08	8345,3	1891,99	8,62
	3	12959,6	0,10	5864,4	1811,52	8,56
85% Pómez	1	14952,9	0,13	6604,6	1744,63	8,10
	2	15566,5	0,10	7098,2	1798,94	6,67
	3	20800,0	0,18	8822,6	1832,53	7,09
			350 fc'			
Normal	1	14328,7	0,13	6356,1	2412,82	45,00
	2	27578,9	0,25	11014,7	2434,52	44,46
	3	24398,3	0,16	10500,6	2441,08	46,28
40% Pómez	1	24821,9	0,13	11027,5	2084,58	12,73
	2	21945,7	0,10	9955,5	2105,36	14,26
	3	22073,7	0,16	9535,0	2111,92	12,13
55% Pómez	1	23322,7	0,14	10221,5	1942,30	5,95
	2	16708,1	0,11	7522,2	1912,96	7,55
	3	19510,3	0,36	7180,4	1909,04	7,96
70% Pómez	1	20346,8	0,14	9084,8	1943,50	8,78
	2	18548,5	0,06	8745,6	1950,70	8,13
	3	24812,7	0,06	11727,8	1859,49	8,18
85% Pómez	1	21444,6	0,13	9515,4	1824,50	8,41
	2	18564,8	0,02	9095,7	1884,39	6,44
	3	20700,8	0,27	8162,6	1951,87	6,36

OBSERVACIÓN:

Desde el punto de vista constructivo, la trabajabilidad del hormigón ligero fresco también debe proporcionarse para un rendimiento óptimo. Algunas propiedades son interdependientes, por lo que la mejora de una propiedad, como la trabajabilidad, puede afectar a otras propiedades, como la densidad o la resistencia. El criterio final que debe cumplirse es el desempeño general de la estructura según lo especificado por el ingeniero/arquitecto (ACI 213R-14, p.8). Este comentario corrobora para justificar que la trabajabilidad de asentamiento 11cm, que se les dio a las probetas de 35 MPa, pudo repercutir en su resistencia a la compresión, a diferencia de los especímenes de 28 MPa que mantuvieron asentamientos de 8cm.

Los valores del módulo de elasticidad y módulo de rigidez de las probetas son coherentes, a excepción de la probeta N°1 de 28 MPa con 40% pómez, debido a que fue obtenido bajo una aplicación rápida de carga, lo cual genera menores deformaciones unitarias, por ende, módulos más altos (ASTM C469-14, p.4), con respecto a los analizados bajo la velocidad de carga establecida por la norma en el acápite 8.5.1, donde reitera que los especímenes procedentes de carga rápida, son mayores a los determinados bajo la aplicación de carga normada de 0.25 +- 0.05 MPa/s.

Los resultados obtenidos de la relación de Poisson, reflejan algunos valores atípicos que, incentivan para un análisis más profundo a futuro, mientras que, los valores de los pesos unitarios son satisfactorios y esperados, debido a su coherencia con el peso y relación con los parámetros elásticos.

La relación de Poisson se ha vuelto variable para este tipo de hormigón ligero estructural, debido a que se obtuvo un valor atípico por cada 3 cilindros de la respectiva dosificación, es decir que, se evidenció valores bajos y altos, para un mismo grupo de dosificación.

Los cilindros pertenecientes a la mezcla matriz de 28 MPa con 40% pómez, se obtuvo módulos de Poisson de 0.45 0.13 y 0.14. respectivamente. Las probetas con 55% pómez evidencian valores como 0.11, 0.21 y 0.05. De los especímenes con 70% pómez, se obtuvieron resultados de 0.06, 0.08 y 0.10, mientras que, los cilindros con 85% pómez, mostraron valores como 0.13, 0.10 y 0.18. Se observa que no todos los valores siguen una tendencia, ya que se obtuvo valores de Poisson bajos como 0.05 y altos como 0.21. No se toma de ejemplo el dato de 0.45, por lo justificado anteriormente, que para este cilindro se fue aplicada una carga rápida con respecto a la estandarizada.

Las mezclas de 35MPa, presentan la misma variación, ya que de los especímenes con 40% pómez se obtuvieron módulos de Poisson de 0.13 0.10 y 0.16. Las probetas con 55% pómez mostraron valores como 0.14, 0.11 y 0.36. Los especímenes con 70% pómez reflejaron resultados de 0.14, 0.06 y 0.06, mientras que, los cilindros con 85% pómez, evidenciaron valores de 0.13, 0.02 y 0.27. Nuevamente se obtuvo valores de Poisson bajos como de 0.02 y altos como de 0.36, por tanto, se presume que este comportamiento es debido al agregado ligero y su alta porosidad.

5.3.3 Instrumentación empleada.

Figura 5-3

Instrumentación para el cálculo del Módulo de Elasticidad, Relación de Poisson y Módulo de Rigidez.



A B C D E

A) Reglas y Calibrador estandarizado, **B) y C)** Sistema de Compresómetro + Extensómetro y deformómetros (galgas) para las mediciones de las deformaciones longitudinales y transversales **D) y E)** Máquina de Ensayo de las instalaciones del laboratorio de Resistencia de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Metodología implementada para el Análisis de Resultados.

6.1.1 Coeficiente de Correlación de Pearson.

Entre los índices de correlación más destacados por su uso frecuente en taxonomía numérica, está el coeficiente de correlación de Pearson, el cual es determinado entre pares de unidades taxonómicas operativas, es decir que se lo emplea en dos estados donde están presentes todos o casi todos los caracteres (Sneath & Sokal, 1973).

Este coeficiente se emplea cuando los objetos a clasificarse son variables (Espinosa & López, 1977), con variables cuantitativas, el coeficiente de correlación es una medida de similitud entre muestras ‘X’ y ‘Y’ (Seber, 1984), es decir, que es una covarianza estandarizada por la desviación estándar de las dos variables en comparación (Legendre & Legendre, 1983, et al. 2012).

Este coeficiente considera las ausencias conjuntas (Clifford & Stephenson, 1975) y está directamente relacionado con el coeficiente de Yule, denominado como el coeficiente R de correlación producto-momento (Sneath & Sokal, 1973).

(Ecuación 6-1*)*
Coeficiente de Pearson

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})\,(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

$donde =$

$n = número\ de\ variables\ (especies)$

$x_i = la\ medida\ individual\ de\ un\ descriptor\ o\ variable\ en\ la\ primera\ muestra$

$y_i = la\ medida\ individual\ de\ una\ variable\ en\ la\ segunda\ muestra$

$\bar{x}\ y\ \bar{y} = los\ promedios\ de\ x_i\ y\ y_i, respectivamente.$

Es un índice para correlacionar datos binarios, índices cuyo valor se encuentra entre +1 y -1.

Cuando R, refleja un valor de cero **(0)**, significa que no existe asociación entre las dos variables, un valor mayor que 0 (**>0)**, revela una correlación positiva, es decir, que según va aumentando el valor de una variable, consecuentemente también aumenta el valor de la otra variable, por lo cual se considera que se correlacionan directamente.

Si este índice es igual a uno **(1)**, significa que es perfectamente positiva la correlación, lo cual para este tipo de investigaciones no existe, ya que siempre se tendrá un margen de error aceptable en los cálculos.

Un valor menor que cero **(< 0)**, indica una asociación negativa, ya que a medida que aumenta el valor de una variable, el de la otra disminuye, lo que significa que las variables se relacionan inversamente (Ortega, 2022).

En teoría estadística, el coeficiente de correlación de Pearson, que relaciona producto-momento, es la medida de asociación más comúnmente utilizada para datos meristicos y continuos, por meristicos se refiere al recuento de algunos parámetros físicos. Este coeficiente fue diseñado para medir la asociación entre pares de variables como el peso y la altura, habiendo una separación entre ellas para cada muestra, es decir, mide la correlación entre un par de atributos dados (Clifford & Stephenson, 1975).

Si se grafica en el plano cartesiano cada punto, el diagrama de la dispersión resultante puede referirse a los mismos pares de atributos y puede ser una expresión de la magnitud de estos parámetros para cada muestra dada (Rodríguez, Álvarez, & Bravo, 2001, p.56).

El coeficiente de correlación 'r' de Pearson, puede también ser descrito como una covarianza calculada con datos estandarizados, lo cual introduce la media y la desviación estándar de las distribuciones de frecuencia de los datos. La matriz de correlación R puede obtenerse por la siguiente matriz. (Legendre & Legendre, 1983, et al. 2012).

(Ecuación 6-2*)*
La matriz de correlación R

$$R = \frac{1}{v}\left[\frac{y-\bar{y}}{s_y}\right]\left[\frac{y-\bar{y}}{s_y}\right]$$

$$donde =$$

$$y = valor\ de\ las\ variables\ en\ la\ muestra.$$

$$v = número\ total\ de\ individuos\ para\ las\ dos\ muestras.$$

Si la muestra es grande, es más probable la exactitud de la estimación, por tal motivo para la presente investigación se ha tomado como metodología de análisis este coeficiente de correlación de Pearson, para relacionar dos variables cuantitativas, tanto para el eje 'X' como para el eje 'Y', los cuales vienen a ser los parámetros físicos-mecánicos, obtenidos en los capítulos previos.

6.2 Correlaciones Esfuerzo (σ) Vs Propiedades Físico-Mecánicas.

6.2.1 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Elasticidad (*E*).

Diagrama 6-1
Correlación de Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Elasticidad (E), para especímenes de 280f'c.

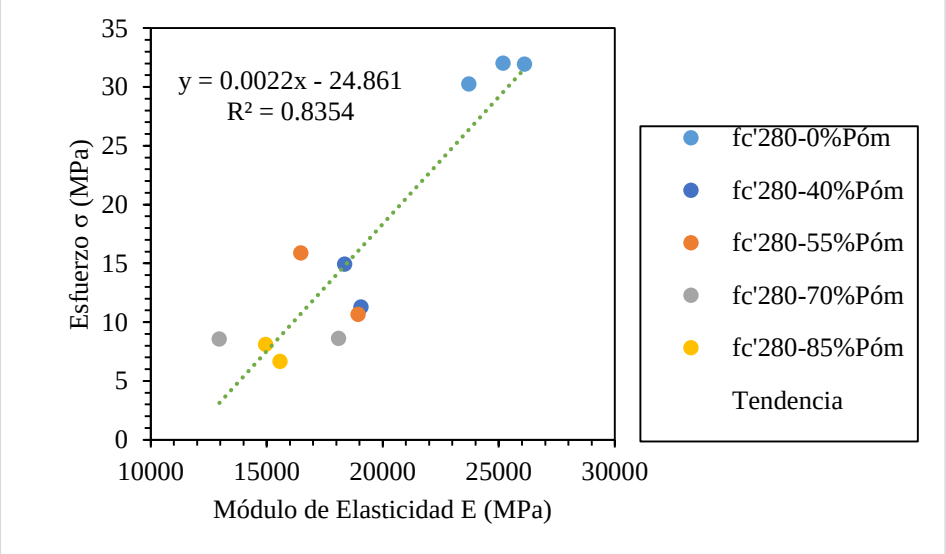
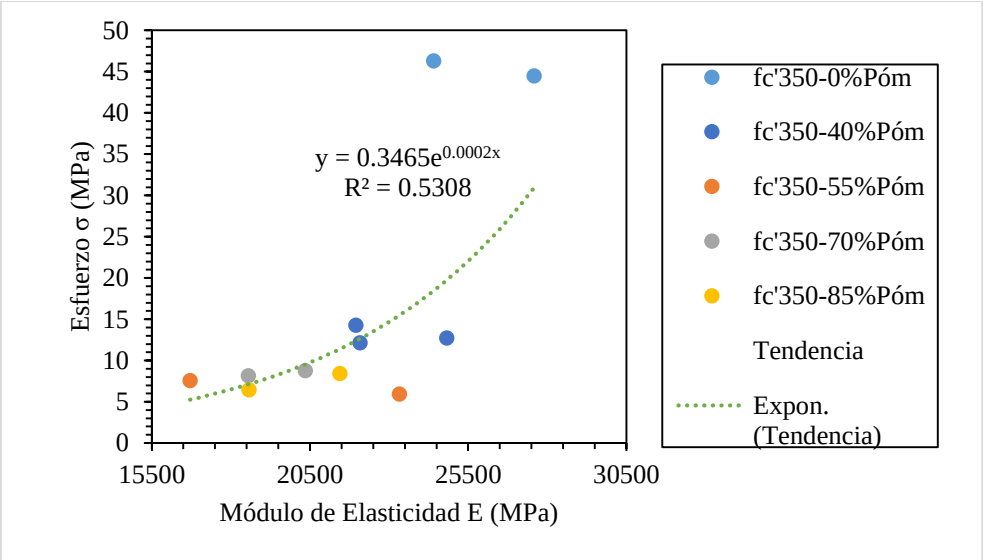


Diagrama 6-2

Correlación de Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Elasticidad (E), para especímenes de 350f'c.



Para que su ajuste sea aún más exacto se ha realizado una correlación exponencial para las probetas de 350 f'c, sin embargo, su valor sigue siendo bajo para tomarlo en cuenta en el análisis.

Se puede apreciar que el coeficiente R de Pearson, se acerca más a la unidad, para el caso de los parámetros elásticos pertenecientes a los especímenes de resistencia 280f'c esperada, lo que significa que las variables se asemejan directamente entre sí, por lo que esta fórmula se la puede tomar en cuenta como alternativa o propuesta para determinar correlaciones entre el Esfuerzo y el Módulo de Elasticidad de hormigones ligeros fabricados a futuro con Piedra Pómez.

La correlación exponencial de las probetas de 350f'c revelan un coeficiente de ajuste bajo de 0.6 positivo, lo cual afirma que las variables tienen una similitud de correlación entre ellas, sin embargo, no es un índice de ajuste idóneo, por lo que en el análisis de la curva de ajuste no es el necesario.

6.2.2 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Relación de Poisson (ν).

Diagrama 6-3

Correlación Esfuerzo (σ) Vs Relación de Poisson (ν), para especímenes de 280 f'c.

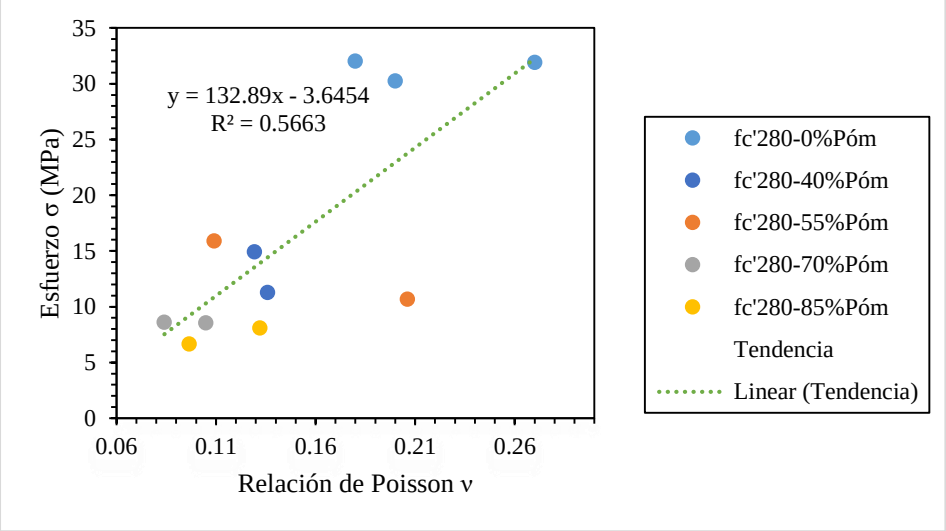
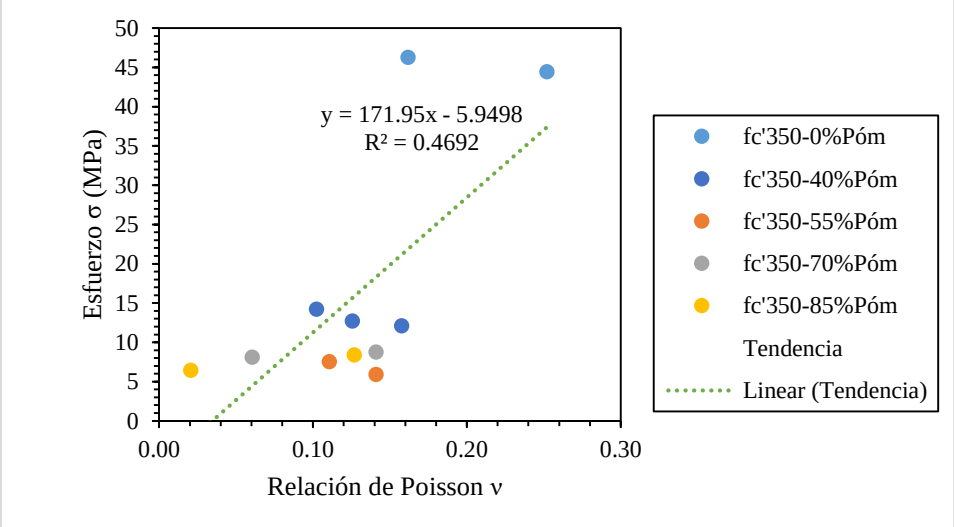


Diagrama 6-4

Correlación Esfuerzo (σ) Vs Relación de Poisson (ν), para especímenes de 350 f'c.



Estas correlaciones tienen un coeficiente de ajuste bajo de 0.6 y 0.5 respectivamente, esto puede deberse a que los resultados de la Relación de Poisson tienen valores ambivalentes tanto para 280f'c como para 350f'c, por lo cual no existe certeza de su comportamiento en el análisis de ajuste de curva.

6.2.3 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Rigidez (G).

Diagrama 6-5

Correlación Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Rigidez (G), para especímenes de 280f'c.

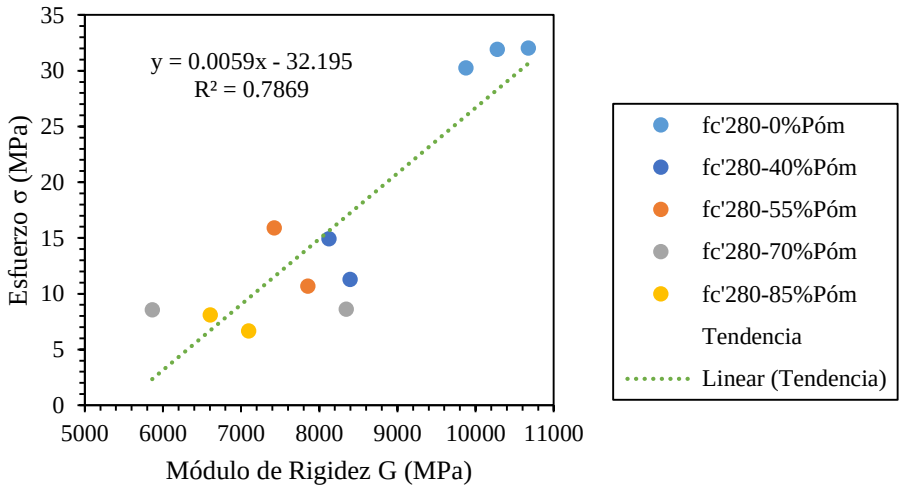
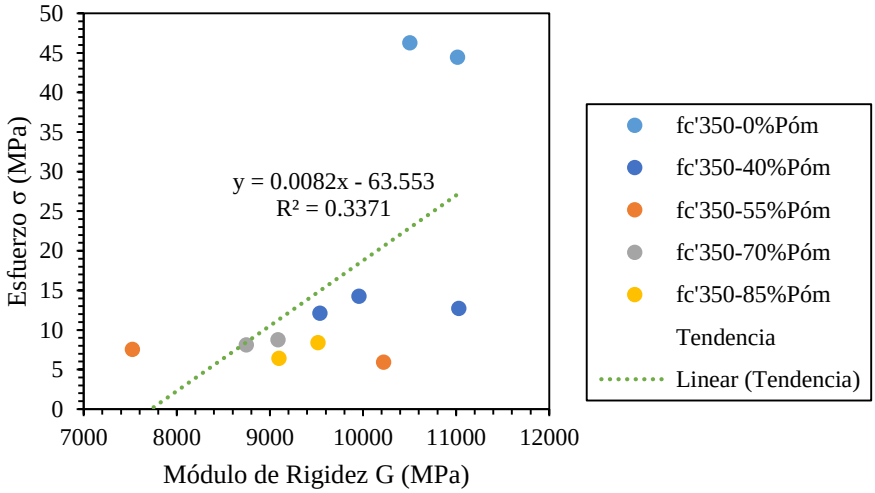


Diagrama 6-6

Correlación Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Rigidez (G), para especímenes de 350f'c.



En esta comparativa, se tomará la ecuación de correlación de las probetas de 280f'c nuevamente, debido a su aproximación a 1, lo que refleja su similitud entre variables que se correlacionan directamente entre sí.

6.2.4 Correlación Esfuerzo (σ) Vs Peso Específico (ɣ).

Diagrama 6-7

Correlación Esfuerzo (σ) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 280f'c.

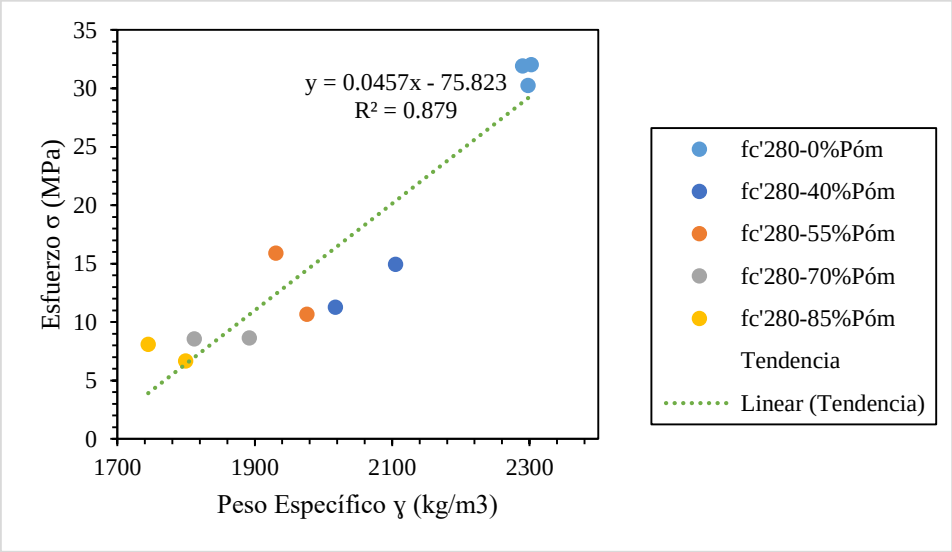
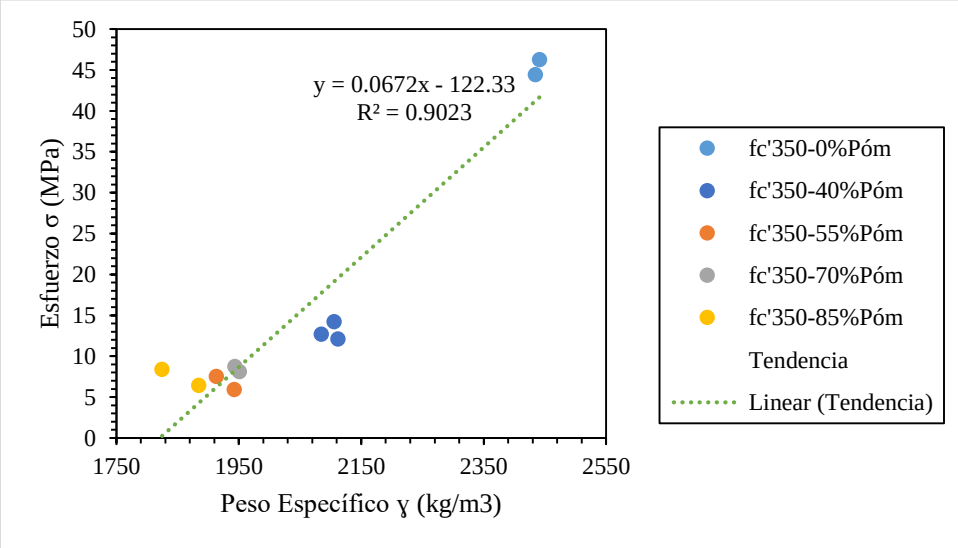


Diagrama 6-8

Correlación Esfuerzo (σ) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 350f'c.



Se puede observar una aproximación muy cercana a 1 en ambos casos, lo cual permite afirmar que este programa de análisis experimental, corrobora que las variables analizadas tienen una similitud casi perfecta, es decir que ambas generan un ajuste de curva satisfactorio, por ende, estas ecuaciones serán tomadas en cuenta para continuar con el estudio de las mismas.

6.3 Correlaciones Propiedades Físico-Mecánicas Vs Peso Específico (ɣ).

6.3.1 Correlación Módulo de Elasticidad (*E*) Vs Peso Específico (ɣ).

Diagrama 6-9

Correlación Módulo de Elasticidad (E) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 280f'c.

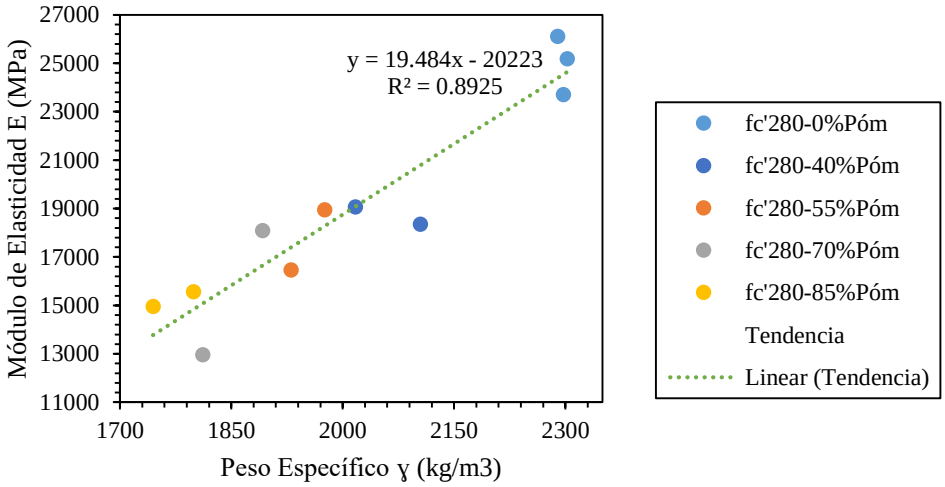
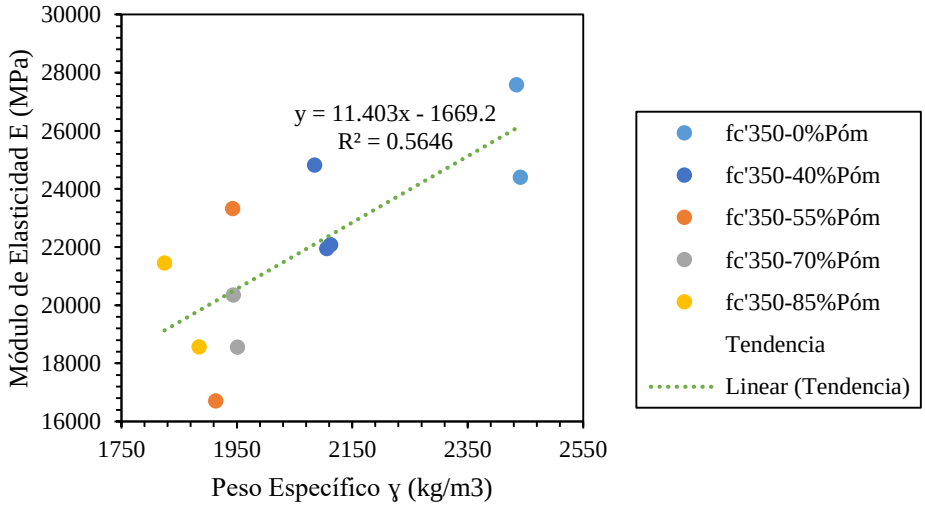


Diagrama 6-10

Correlación Módulo de Elasticidad (E) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 350f'c



La ecuación de correlación a tomarse, será la de 280f'c, debido a que sus variables tienen un mejor ajuste de curva y similitud entre ellas.

Mientras que las de 350f’c, presenta valores dispersos, por ende, no se genera una asociación tan acertada

6.3.2 Correlación Módulo de Rigidez (G) Vs Peso Específico (ɣ).

Diagrama 6-11

Correlación Módulo de Rigidez (G) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 280f'c.

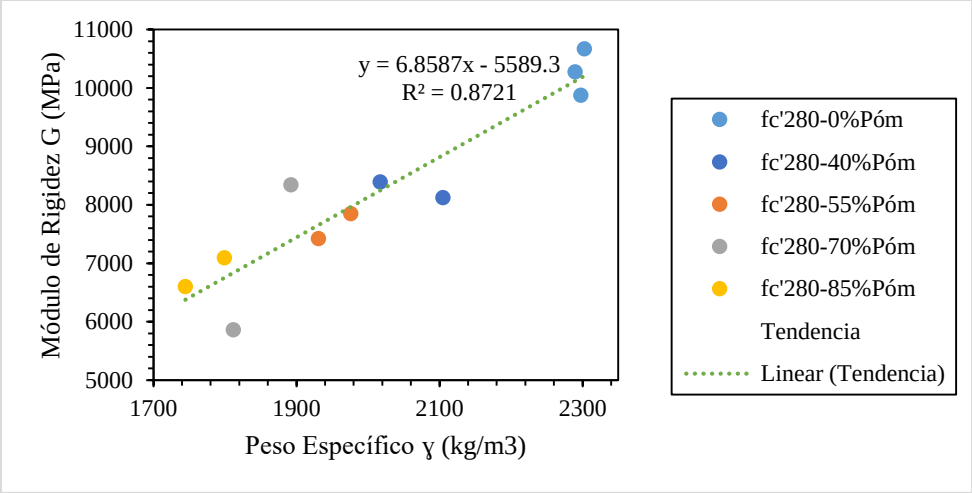
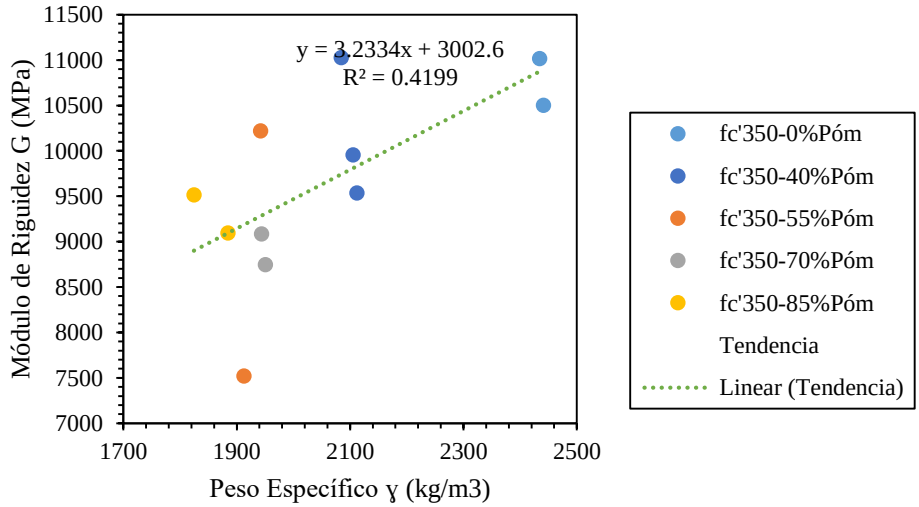


Diagrama 6-12

Correlación Módulo de Rigidez (G) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 350f'c.



Nuevamente el índice de Pearson idóneo para estas correlaciones es el de 280f’c, ya que su linealización o análisis estadístico ejecutado, para el ajuste de curva es el más preciso.

6.3.3 Correlación Relación de Poisson (v) Vs Peso Específico (ɣ).

Diagrama 6-13

Correlación Relación de Poisson (v) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 280 f'c.

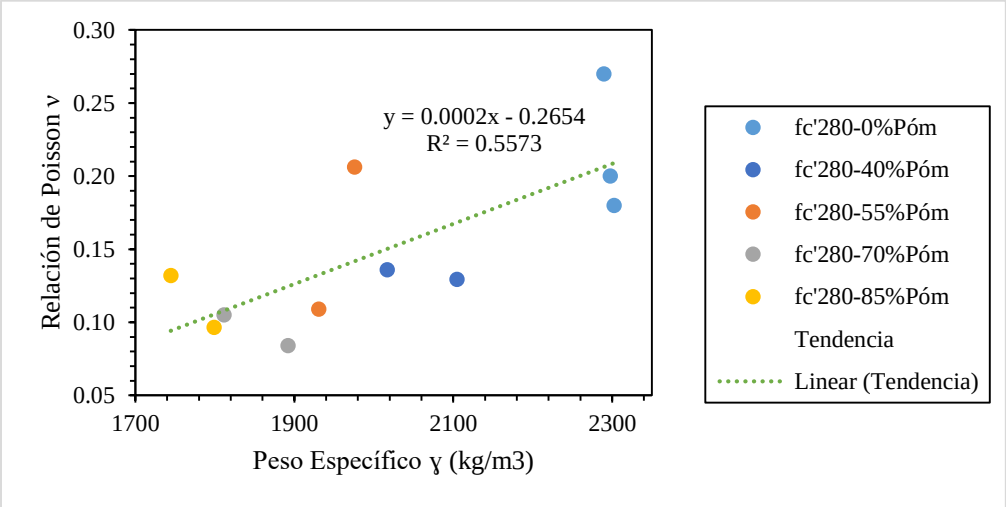
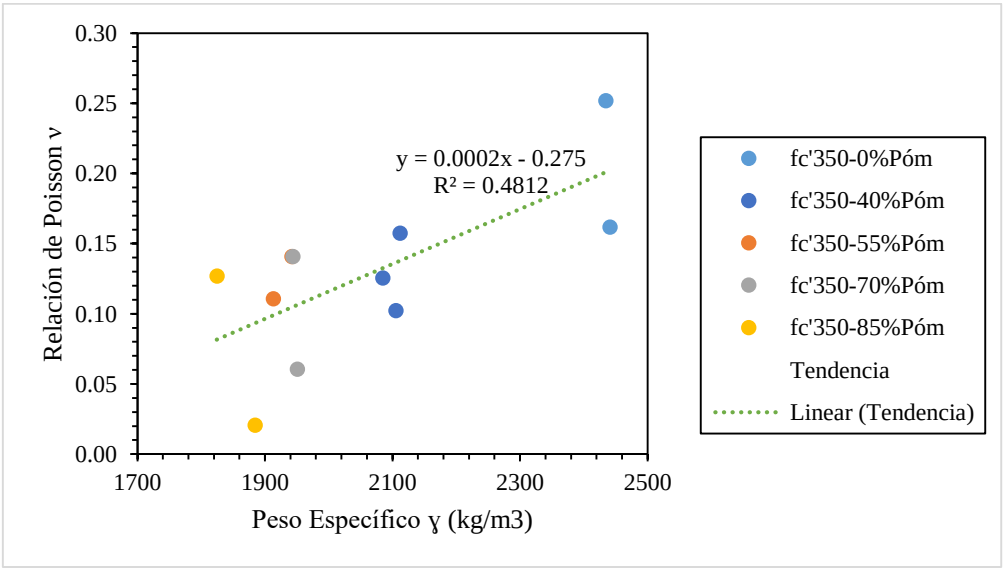


Diagrama 6-14

Correlación Relación de Poisson (v) Vs Peso Específico (ɣ), para especímenes de 350 f'c.



Tal y como sucedió , en la correlación del Esfuerzo Vs la Relación de Poisson, se obtuvieron valores atípicos, debido a los datos ambivalentes de Poisson, por ende el coeficiente de ajuste no es el preciso, ni esta linealización o análsis de ajuste de curva.

6.3 Resumen de las Expresiones Propuestas para el Análisis de las Propiedades Físico-Mecánicas.

Tabla -6-1
Resumen de las Expresiones Propuestas para el Análisis de las Propiedades Físico-Mecánicas.

	Expresión Propuesta:	
Parámetro	**28 MPa**	**35 MPa**
Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Elasticidad (*E*)	$E = 0.0022\sigma - 24.861$ $R^2 = 0.8354$	N/A
Esfuerzo (σ) Vs Relación de Poisson (ν).	N/A	N/A
Esfuerzo (σ) Vs Módulo de Rigidez (G)	G=0.0059σ-32.195 $R^2 = 0.7869$	N/A
Esfuerzo (σ) Vs Peso Específico (ɣ).	ɣ =0.0457σ-75.823 $R^2 = 0.879$	ɣ =0.0672σ-122.33 $R^2 = 0.9023$
Módulo de Elasticidad (*E*) Vs Peso Específico (ɣ)	ɣ =19.484E-20223 $R^2 = 0.8925$	N/A
Módulo de Rigidez (G) Vs Peso Específico (ɣ)	ɣ =6.8587G-5589.3 $R^2 = 0.8721$	N/A
Relación de Poisson (ν) Vs Peso Específico (ɣ).	N/A	N/A

N/A= No Aplica, debido a que el coeficiente de ajuste es muy bajo.

Se evidencia claramente que el reemplazo de agregado ligero, en este caso la Piedra Pómez, conforme se va incrementando en la matriz del hormigón patrón, revela una clara tendencia en la disminución de sus propiedades físico-mecánicas, no obstante, los hormigones diseñados con la

base matriz de 28 MPa, presentan un coeficiente de ajuste más preciso que el de los hormigones diseñados bajo el patrón de 35 MPa, por lo que los valores de los parámetros elásticos correlacionados de las probetas de 28 MPa, reflejan una similitud entre sus variables, por consiguiente en el análisis de ajuste de curva, arroja un coeficiente de Pearson idóneo.

El coeficiente de Pearson, entre más cercano a 1, da a entender que sus variables se ajustan más a la curva, es decir que existe una alta coincidencia entre ellas, por tal motivo los especímenes de 28 MPa, se los ha determinado como confiables para la mayoría de las expresiones propuestas en la tabla 6.1.

Tener coeficientes de Pearson de 0.5, 0.4, 0.3 o más bajos, revela que las ecuaciones obtenidas no tienen una fiabilidad del 100% o una correspondencia de los datos real, sin embargo, es oportuno aclarar que es imposible llegar a coeficientes de Pearson de 1, ya que el mismo hecho de la variación de un experimento, la repetibilidad del mismo, testifican que jamás se puede llegar a tener 100% la copia de algo, siempre va haber un margen de error aceptable, por consiguiente se constata que nunca se podría llegar tener un Pearson exacto de 1.

Los cilindros fabricados bajo el patrón de 35 MPa, presentan coeficientes de Pearson bajos, a pesar de que son positivos, esto simplemente da indicios de que las ecuaciones presentan una tendencia o indican que existe una cierta correlación directa entre ellos, sin embargo, el ajuste de los datos no es el más idóneo.

Como se impartió anteriormente la ACI 213R-14 menciona que; ‘‘Algunas propiedades son interdependientes, por lo que la mejora de una propiedad, como la trabajabilidad, puede afectar a otras propiedades, como la densidad o la resistencia.’’ (p.8), lo cual lleva a servir esto de sustento para justificar que los hormigones diseñados para 35 MPa, obtuvieron asentamientos alrededor de 11cm, mientras que los de 28 MPa, llegaban a 8cm, esto permite testificar que la trabajabilidad dada a este grupo de cilindros pudo repercutir en sus parámetros físico-mecánicos.

CAPÍTULO VII

7. COSTOS.

En el presente capítulo se detalla el valor referencial del costo de hormigón por m3 de cada una de las mezclas realizadas, con precios reales brindados por la mina Copeto, Mina de Cotopaxi y el costo del cemento Holcim tipo GU sin IVA del año 2023, los detalles de estos se encuentran en los Anexos.

El precio de la piedra pómez fue de 5 dólares por saco (40.46 kg aproximadamente), el cual podría variar según el productor, ya que al no estar regulados por una entidad de control de la rama de la construcción que se encargue de estandarizar estos precios, el proveedor toma a su mejor conveniencia el precio de este material ligero, lo cual encarece el producto como tal y refleja precios prácticamente elevados y no autorizados.

Tabla 7-1
Resumen de precios 2023 de los materiales

Resumen de precios de los materiales SIN IVA.			
Materiales	**Kg/m3**	**Precio productivo**	**Unidad**
Cemento GU Holcim	-	7,68	saco de 50kg
Arena	1900	8,00	m3
Ripio	1450	11,00	m3
Agua	1000	0,15	m3
Pómez	360,17	44,50	m3
Aditivo Setmix	-	1,96	1 kg

Tabla 7-2

Resumen de cantidades de los materiales del hormigón ligero estructural por m3

Resumen de cantidades de los materiales del hormigón ligero estructural por m3							
Resistencia	%Pómez	Cantidad kg/m3					
		Ripio	Arena	Pómez	Agua	Cemento	Aditivo
280 kg/cm2	0% Pómez	912	743	0	217	447	0
	40% Pómez	492	725	105	258	465	0
	55% Pómez	369	725	144	273	465	0
	70% Pómez	274	691	199	309	447	0
	85% Pómez	128	737	225	321	447	0
350 kg/cm2	0% Pómez	907	793	0	182	482	6,4
	40% Pómez	536	782	111	233	455	7,7
	55% Pómez	391	806	149	248	455	7,7
	70% Pómez	245	856	178	261	455	7,7
	85% Pómez	116	897	205	273	455	7,7

Tabla 7-3

Resumen de costos de las mezclas de hormigón ligero estructural.

Resumen de costos de las mezclas de hormigón ligero estructural								
Resistencia	%Pómez	Costo por m3 de Hormigón						
		Ripio	Arena	Pómez	Agua	Cemento	Aditivo	**Costo total en dólares USD por m3**
280 kg/cm2	0% Pómez	6,92	3,13	0,00	0,03	68,66	0,00	78,74
	40% Pómez	3,73	3,05	12,97	0,04	71,42	0,00	91,22
	55% Pómez	2,80	3,05	17,79	0,04	71,42	0,00	95,11
	70% Pómez	2,08	2,91	24,59	0,05	68,66	0,00	98,28
	85% Pómez	0,97	3,10	27,80	0,05	68,66	0,00	100,58
350 kg/cm2	0% Pómez	6,88	3,34	0,00	0,03	74,04	0,62	84,91
	40% Pómez	4,07	3,29	13,71	0,03	69,89	0,76	91,75
	55% Pómez	2,97	3,39	18,41	0,04	69,89	0,76	95,45
	70% Pómez	1,86	3,60	21,99	0,04	69,89	0,76	98,14
	85% Pómez	0,88	3,78	25,33	0,04	69,89	0,76	100,67

CAPITULO VIII

8. CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES.

8.1 Conclusiones.

A) El módulo de rotura promedio obtenido, de las 30 vigas analizadas a flexión reflejaron valores satisfactorios, debido a que no disminuyen su resistencia de manera significativa, según la proporción de piedra pómez que contiene cada mezcla, mismo que varía entre el 40, 55, 70 y 85%, respectivamente, comparando con la dosificación normal sin piedra pómez. Las vigas mantuvieron una tendencia de reducción de capacidad entre un 13% al 22% para el grupo de 28 MPa y alrededor de un 6% al 15% para el grupo de 35MPa.

B) La resistencia a la compresión del grupo de 30 probetas de 28 MPa, reducen su capacidad aproximadamente del 51% al 76%, de igual manera, los 30 cilindros de 35 MPa disminuyen entre el 71 al 84% respectivamente. Se evidencia que para este tipo de hormigón ligero estructural a base de piedra pómez, se tendría mayor relevancia de estudio en estructuras que necesiten soportar cargas a flexión, mas no a compresión.

C) Los valores del módulo de elasticidad y módulo de rigidez de las 60 probetas, son congruentes con los resultados obtenidos de los pesos unitarios, por lo que, revelaron datos esperados según su coherencia entre el peso y la relación de los parámetros elásticos. A excepción de la probeta N°1 de 28 MPa con 40% pómez, debido a que fue obtenido bajo una aplicación rápida de carga, lo cual genera menores deformaciones unitarias, por ende, módulos más altos (ASTM C469-14, p.4), con respecto a los analizados bajo la velocidad de carga estandarizada.

D) El vasto conocimiento del comportamiento de la relación de Poisson de un material, es imprescindible para el correcto modelamiento de las estructuras, siendo una propiedad intrínseca del material, como el módulo de elasticidad y módulo de rigidez. Se evidenció algunos valores atípicos que incentivan realizar un análisis más profundo a futuro. Estos valores son variables, tanto para el grupo de 28 MPa, que evidenció valores bajos como 0.05 y altos como 0.21, como también, para el grupo de cilindros de 35 MPa, que mostraron valores bajos como 0.02 y altos como 0.36, de un mismo grupo de dosificación, por tanto, se presume que este comportamiento es debido al agregado ligero y su alta porosidad.

E) El coeficiente de correlación de Pearson de las expresiones obtenidas del ‘‘esfuerzo a la compresión versus los parámetros físico-mecánicos’’, como también de, ‘‘las propiedades físico-mecánicas versus el peso específico’’, son positivos, lo cual da indicios de que las ecuaciones presentan una clara tendencia e indican que existe una correlación directa entre ellos.

Sin embargo, los hormigones diseñados con la matriz base de 28 MPa, presentan un coeficiente de ajuste más preciso, es decir, cercano a 1, reflejando no solo una correlación directa, sino que también, alta entre ellas. A diferencia de los hormigones diseñados bajo el patrón de 35 MPa, que a pesar de que, mostraron valores positivos, su coeficiente de correlación en su mayoría es bajo, con tendencia a 0.5, lo cual genera un ajuste de datos no idóneo, reflejando una similitud no muy confiable entre sus variables. Por tal motivo, la mayoría de las ecuaciones obtenidas del grupo de especímenes de 28 MPa, se los ha determinado como confiables para las expresiones propuestas en la tabla 6.1.

8.2 Comentarios.

A) El reemplazo de agregado grueso ligero, en este caso la piedra pómez, conforme se va incrementando en la matriz del hormigón, evidencia una clara tendencia en la disminución en sus propiedades físico-mecánicas, las cuales se reducen gradualmente a medida que el contenido de aire aumenta más allá de los rangos recomendados por el ACI 213R-14. La implementación de este tipo de agregado, emula esta teoría por el contenido de aire que los caracteriza, sin embargo, no quiere decir que no deben ser utilizados para fines estructurales, más bien, se intenta constatar que una proporción especifica, sin exceso de él, lo hace ideal.

B) La comparación entre los diagramas que correlacionan; ‘‘el esfuerzo a la compresión versus las propiedades físico-mecánicas’’ y ‘‘los pesos específicos versus los parámetros elásticos’’, testifican claramente que, para este tipo de hormigones ligeros es más viable comparar desde el punto de vista de la densidad, que de la resistencia, debido a que, los valores de densidad tienden ajustarse más a la curva y por consiguiente, revelan la similitud alta entre sus variables, mientras que, los valores de los esfuerzos, evidencian un coeficiente de correlación bajo entre sus variables analizadas, tanto para los cilindros de 28 MPa como para los de 35 MPa.

C) Los especímenes cilíndricos de 35 MPa, se vuelven un poco más impredecibles en el análisis del tema de esfuerzos, a consecuencia de las variables que pudieron afectarlo al momento de su fabricación, una de estas puede ser la trabajabilidad, debido a que se les asignó asentamientos de 11cm, a diferencia de los de 28 MPa que mantuvieron asentamientos alrededor de 8 cm. El ACI 213R-14 menciona que; ‘‘Algunas propiedades son interdependientes, por lo que la mejora de una propiedad, como la trabajabilidad, puede afectar a otras propiedades, como la densidad o la resistencia.’’ (p.8), lo cual permite testificar que la trabajabilidad dada a este grupo de cilindros pudo repercutir en sus parámetros físico-mecánicos.

D) La piedra pómez, actualmente en el país no tiene una regulación autorizada de su precio, por un ente de control de la rama de la construcción, lo cual repercute a que el proveedor tome a su mejor conveniencia el precio de este material ligero, por consiguiente, encarece el producto como tal y refleja precios prácticamente elevados. En nuestro país, este agregado grueso ligero se lo comercializa como producto ornamental, mas no estructural.

E) Este tipo de hormigones ligeros con piedra pómez, emulan contener una esponja en su interior, por así decirlo, debido a la alta capacidad de absorción que caracteriza a este árido, ya que va desde el 55% a 60% determinado en el capítulo 3.2.8 de esta investigación. La porosidad de este agregado podría estar aumentando la rapidez y el porcentaje de desecación o pérdida de agua del espécimen, es decir que este tipo de hormigones no solo podría estar perdiendo agua debido a la composición química del aglomerado, sino que también, debido a la capacidad de absorción de este tipo de agregados ligeros.

8.3 Recomendaciones.

A) Este tipo de hormigones ligeros a base de piedra pómez, tendrán mayor relevancia de uso en estructuras que requieran soportar resistencias a flexión, con densificaciones bajas, como lo son; voladizos, cubiertas de edificios, cúpulas, como la realizada en el Panteón de Roma de 44m de diámetro, losas para fines industrializados, base, subbase o capa de protección de estas, en pavimentos rígidos. El ACI 213R-14, pronuncia su necesidad de uso para; protección de estruturas marinas y refuerzo antifuego de elementos estructurales, debido a su alta resistencia a las agresiones atmosféricas; como el agua y el fuego. Así como también, el aislamiento acustico que lo caracteriza.

B) Los pavimentos rígidos requieren un mínimo de 4.5MPa de módulo de rotura, según las especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes (MOP-001-F, 2002, p.IV163). Los resultados obtenidos en esta investigación fueron entre 4.51 a 3.38 MPa respectivamente según el porcentaje de agregado ligero que lo conformen. Lo cual permite sugerir que, después de los estudios correspondientes, un reemplazo de la base, subbase o capa de protección de apoyo de estas, por un hormigón tipo ligero, en zonas viales que peligren a sufrir socavones, podría ser una buena alternativa, debido a que, este tipo de hormigones gozan de una alta porosidad y permeabilidad, lo cual beneficiaría significativamente el desalojo del agua sin la perdida absoluta de finos, evitando así un socavón.

Además, al ser la unión de, hormigón-hormigón, entre la capa de rodadura (con hormigón convencional) y la base, subbase o capa protectora de estas (con hormigón ligero estructural a base de piedra pómez), respaldaría una excelente eficiencia, ya que, trabajarían en conjunto a flexión, además de que existiría una dilatación térmica compatible entre ellas.

C) Para la dosificación del hormigón ligero estructural, se recomienda utilizar métodos de cálculo al volumen, ya que a partir del 70% pómez, en las dosificaciones de 28 MPa, relució la necesidad de cambiar el método de mezcla de Fuller Thompson, a uno de volumen absoluto, debido a que, para este tipo de hormigones, es más coherente calcular su dosificación, según el espacio o volumen que ocupa en la mezcla, mas no al peso. Se puede apreciar en la figura 3-10, donde una muestra de piedra pómez de 1kg, ocupa el mismo volumen que 6kg de ripio convencional.

D) Para el cálculo y la determinación de la densidad relativa o aparente y absorción de agregados ligeros menos densos que el agua, se recomienda hacer uso de la propuesta con probetas, del subcapítulo 3.2.8, debido a que, al no ser posible aplicar la metodología de la norma ASTM C127-15 con la canasta sumergida en agua, ya que, el agregado tiende a flotar, por consiguiente, la propuesta de las probetas fue de gran ayuda para la determinación de este dato imprescindible en el diseño de las mezclas.

E) Se debería fomentar la realización de nuevos experimentos de tal manera que los resultados obtenidos en esta investigación puedan ser corroborados, en su defecto corregidos, o se realicen inéditos hallazgos que generen nuevas luces y abran más caminos sobre este análisis de las propiedades físico-mecánicas, para obtener así valores acordes que permitan diseñar hormigones y conocer mejor sus parámetros mecánicos.

F) El agregado grueso ligero o piedra pómez, tiende a flotar y propicia a que no se genere una buena compactación en la fabricación de los especímenes, por ende, la distribución de las partículas no es tan homogénea. Sin embargo, es oportuno recalcar que el tema de la flotabilidad de la pómez, no es tanto un problema si se controla en el momento de la conformación del elemento estructural, debido a que es una particularidad de este tipo de hormigones que relativamente se esperaría, ya que el fluido o pasta es más densa que el material o agregado, entonces por razones obvias va a flotar.

Se recomienda tomar en cuenta esta particularidad del agregado, para el control en obra, precautelando que no se genere una segregación, es decir, que no se vaya al fondo todo lo fino y flote todo lo grueso.

G) Es sumamente importante tener una correcta homogeneización de la mezcla al momento de tomarla para su colocación en los respectivos moldes. Si se utiliza una concretera de 25lt aproximadamente, se recomienda mezclar manual y constantemente el hormigón, primero para que no se vaya a desecar y segundo para uniformizar la mezcla. Logrando especímenes correctamente proporcionados, ya que puede darse el caso de utilizar más agregado y menos pasta, repercutiendo o afectando la resistencia, con valores más bajos, como también se podría llegar a fabricar hormigones con más pasta y otros con menos pasta, lo cual limita la proporción adecuada que se calculó

H) Se recomienda seguir con sumo cuidado las especificaciones que abordan los procesos de correcta fabricación, curado y ensayo de los especímenes de hormigón, debido a que existen muchas variables que influyen en las propiedades físico-mecánicas, las cuales son mencionadas en el capítulo 2 de esta investigación.

I) Los resultados obtenidos a compresión fueron mejores para las 30 probetas cilíndricas que utilizaron el método de curado en la piscina por 28 días, mientras que los 30 cilindros restantes que utilizaron la cámara húmeda presentaron valores atípicos en su resistencia a la compresión para la determinación de la carga ultima que requiere el módulo de elasticidad, relación de Poisson y módulo de rigidez. Se determina y recomienda que, el mejor método de curado de especímenes de hormigón, es la inmersión en un cuerpo de agua.

9 BIBLIOGRAFÍA.

ABDULLAH, Busa, B., Bahan, S., Bangunan, K., & Sipi, T. (2007). *Journal of Civil Engineering Postgraduate* . Obtenido de Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh. .

ABRIL, M., & Ramos, A. (2017). *Identificación de la variación en la Resistencia del concreto debido al origen del agregado grueso.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/56ce5b3b-0e16-4973-8f8a-ae9980bf586e/content

ACI 211,2-98. (2004). *Práctica estándar para la Selección de Proporciones para Concreto estructural liviano (Reaprobada en 2004).* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://civilwares.free.fr/ACI/MCP04/2112_98.pdf

ACI 213R-14. (2014). *Guía para Concreto Estructural de Agregado Liviano.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cecollection2.files.wordpress.com/2020/05/213r-14-guide-for-structural-lightweight-aggregate-concrete.pdf

ACI 318-19. (Junio de 2019). *American Concrete Institute*. Obtenido de Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural: https://www.udocz.com/apuntes/53414/aci-318-19-espanol

ADMIX. (2021). *Hoja técnica del producto Megamix - SetMix 001-Versión 004.*

AMICH, L. (11 de Junio de 2018). *Panteón de Roma*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://oa.upm.es/51528/1/TFG_Amich_Alemany_Luis.pdf

AMICH, L. (11 de Junio de 2018). *Panteón de Roma, Geometría y construccioón en la época del emperador Adriano [Fotografía]*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://oa.upm.es/51528/1/TFG_Amich_Alemany_Luis.pdf

ASTM C117-17. (2017). *Método de Prueba Estándar para Materiales más finos que un támiz No 200 en los agregados minerales mediante lavado*.

ASTM C128-15. (2015). *Método de prueba estándar para la densidad Relativa (Gravedad Específica) y la Absorción del agregado fino.*

ASTM C131/C131M-20. (2020). *Método de prueba estándar para la Resistencia a la degradación de los áridos de tamaño pequeño, mediantes el método de abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.*

ASTM C136/C136M-19. (2019). *Método de prueba estándar para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.*

ASTM C192/C192M-19. (2019). *Práctica estándar para la preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón en el laboratorio.*

ASTM C31/C31M-19. (2019). *Práctica para la preparación y curado de especímenes de prueba de hormigón en el campo.*

ASTM C33/C33M - 18. (2018). *Especificación Estándar para agregados para hormigón.*

ASTM C330/C330M - 17a. (2017). *Especificación de estándar para agregados ligeros para hormigón estructural.*

ASTM C332-17. (2017). *Agregados Ligeros para Hormigón Aislante.*

ASTM C39/C39M-21. (2021). *Método de prueba estándar para determinar la Resistencia a la Compresión de espécimenes cilíndricos de hormigón.*

ASTM C40/C40M – 20. (2020). *Método de prueba estándar para la determinación de impurezas orgánicas en agregados finos para hormigón.*

ASTM C42/C42M-20. (2020). *Método de prueba para la obtención de núcleos perforados y vigas aserradas de hormigón para pruebas.*

ASTM C469/C469M-14. (2014). *Método de Ensayo Estándar para determinar El Módulo de Elasticidad estático y Relación de Poisson del concreto a compresión.*

ASTM C535/C535M-20. (2020). *Método de Ensayo Normalizado para la Resistencia a la degradación de los áridos gruesos de gran tamaño, mediante el método de abrasión e impacto en la Máquina de los Angeles.*

ASTM C567-05a. (2005). *Método Normalizado de Ensayo para la Determinación de la Densidad de Concreto Estructural Liviano.*

ASTM C702/C702M – 18. (2018). *Práctica estándar para reducir muestras de agregado a tamaño para pruebas.*

ASTM C78/C78M-21. (2021). *Método de prueba estándar para determinar la Resistencia a la Flexión del hormigón (usando una viga simple con carga de tres puntos).*

ASTM C87/C87M-17. (2017). *Método de prueba para determinar el efecto que tienen las impurezas orgánicas de los agregados finos para hormigón en la resistencia de mortero.*

ASTM E11-22. (2022). *Especificación para telas de tamiz de prueba de tejido de alambre y tamices de prueba 2.2 Estándar de AASHTO No T27.*

ATRAMITAR. (2021). *Cemento Todo Tipo de Construcción Holcim Tipo GU [Fotografía]*. Obtenido de http://www.atramitar.com/publicacion.jsp?id=165

BERMUDEZ, D., & Cadena, H. (2015). *Correlación entre la Resistencia al Esfuerzo de Compresión y Tracción del Hormigón, utilizando agregados de las canteras de Pifo y San Antonio, Cemento Holcim Tipo Gu*. Obtenido de http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4413/1/T-UCE-0011-163.pdf

BEST ICON. (2018). Built Environment, Science and Technology International Conference.

Briceño. (S/F). *GRAVEDAD ESPECÍFICA: FÓRMULA Y UNIDADES, CÓMO CALCULARLA.* Obtenido de https://www.lifeder.com/gravedad-especifica/

CAICEDO, W., & Tipán, F. (2019). *P ropiedades mecánicas del hormigón estructural ligero y celular, utilizando materiales de diferentes canteras en la ciudad de Q uito*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18703/1/T-UCE-0011-ICF-135.pdf

CASINELLO, F. (1996). *Construcción, Hormigonería* (2da ed.). Rueda, S. L.

CHRYSO, A. (2022). *CHRYSO Aditivos España*. Obtenido de https://www.chryso.es/news/463/hormigon+ligero+estructural#:~:text=El%20hormig%C3

%B3n%20ligero%20estructural%20est%C3%A1,a%20un%2035%25%20m%C3%A1s%20ligero.

CLIFFORD, H., & Stephenson. (1975). *An introduction to numerical classification.* Academic Press.

COPETO C. LTDA. (2022). *Compañía Pétreos del Toachi desde 1978*. Obtenido de http://www.copeto.com.ec/home

FRAAY, A. &. (1989). *The reaction of fly ash in concrete a critical examination.* Pennsylvania State : Cement and Concrete Research.

GARCÍA C., Pérez, J. M., Brotons, F., & Tenz, A. (2009). *Granulometría III. Determinación de la Granulometría de un Árido. Ajuste por Módulos Granulométricos.* España.

GORKA Álvarez Palacios, E. S. (2012). *Hormigón ligero : aspectos técnicos y estéticos.* Madrid: CEMEX.

GVP-SI; EPN. (2020). *Ecuador entre los 15 países con mas volcanes del Planeta [Mapa]*. Obtenido de Global Volcanism Program de la Smithsonian Institution (GVP-SI) e Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN): https://especiales.elcomercio.com/2015/09/mapa-volcanes/.

HOLM, T. (1995). *Lightweight Concrete and Aggregates.*

HUMMEL, A. (1966). *Pronturario del Hormigón* (2da ed.). España: Editores Tecnicos Asociados S.A.

ARBITO, G. (2016). *Concreto Celular para Uso Estructural* . Cuenca .

LEGENDRE, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology* (3era ed.). Elsevier.

GOLDMAN, G. (2018). *Determinación de la Distribución de la Porosidad en Rocas mediante Resistividad Eléctrica.* . Buenos Aires .

MAS Llorens, V. (2012). *Hormigón Ligero, Aspectos técnicos y estéticos.* Cemex. Obtenido de https://www.hormigonespecial.com/archivos/publicaciones/archivo-00010.pdf

MASÍAS-Mogollón, K. (2018). *Resistencia y Tracción en el concreto usando Ladrillo Triturado como Agregado Grueso* . Piura, Perú .

MEDINA, E. (2008). *Construcción de Estructuras de Hormigón Armado* (2da ed.). DELTA. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=YOcpsoISVBoC&pg=PA245&dq=hormigon+de+alta+resistencia&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjMrtK9-uX7AhW5SDABHSBIDXgQ6AF6BAgLEAI#v=onepage&q=hormigon%20de%20alta%20resistencia&f=false

MEDINA, E. (2008). *Construcción de la Estruturade Hormigon Armado 2da edición.*

MOP-001-F 2002. (2002). *Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes* . Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

MOTT, R. (2009). *Resistencia de Materiales* (5ta ed.). Pearson Education .

MUNIR. (2009). *Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Concrete*. doi:ISBN: 978-989-758-414-5

NEC - SE - DS. (2015). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente.*

NEC - SE - HM. (2014). *Estructuras de Hormigon_Armado.*

NEC - SE - MP. (2014). *Mampostería Estructural.* Obtenido de https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen-nec-se-mp%2026-6.pdf

NEVILLE, A. M. (2013). *Tecnología del Concreto.* México: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.

NTE INEN 2380. (2011). *Cemento Hidráulico, Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos.*

NUGRAHA, A. (2007). *Teknologi Beton, C.V Andi Offset, Yogyakarta.* .

ORTEGA, C. (2022). *Question Pro*. Obtenido de https://www.questionpro.com/blog/es/coeficiente-de-correlacion-de-pearson/

PARMO, Tavio, Riadi, H., Suriani, E., Prianto, K., & Ibnul, F. (2018). *The Mechanical Properties of Lightweight Concrete Made with Lightweight Aggregate Volcanic Pumice*. doi:10.5220/0008906501670171

QUIROZ, G., & Guerra, G. (2015). *Ecuador está entre los 15 países con mas volcanes en el planeta*. Obtenido de GRUPO EL COMERCIO: https://especiales.elcomercio.com/2015/09/mapa-volcanes/

RIXOM, M. (1984). *Aditivos para los Hormigones Composición,Propiedades y Empleo.* Barcelona : Técnicos Asociados, S.A,.

RO157-2020 Registro Oficial. (2020). *Reglamento para el Control y Administración de Sustancias Catalogadas Sujetas a Fiscalización.* Corte Constitucional del Ecuador.

Rodriguez, J. (2010). *Propiedades Físicas: Densidad y Porosidad* . Oviedo, España .

RODRÍGUEZ, M. E., Álvarez, S., & Bravo, E. (2001). *Coeficientes de Asociación.* Plaza y Valdez, Casa abierta al tiempo. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=hitW9gbEGwoC&pg=PA72&dq=coeficiente+de+pearson&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi5wrjp7Y38AhVXSTABHYh_CPcQ6AF6BAgCEAI#v=onepage&q&f=false

SEBER, G. (1984). *Multivariate Observations.* John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9780470316641

SHORT, A., & Kinniburgh, W. (1967). *Concreto Ligero, Cálculo, fabricación, diseño y aplicaciones.* Limusa - Wiley S. A.

SNEATH, P., & Sokal, R. (1973). *Numerical Taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification.* W. H. Freeman.

SONELASTIC ATCP Ingeniería Física. (2020). *Importancia de los Módulos Elásticos*. Obtenido de Sonelastic Advanced Impulse Excitation Technique: https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/bases/modulos-elasticos.html

T27, A. N. (2022). *Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.*

TERENZIO. (1932). *Sección de los diferentes tipos de hormigones utilizados en el Panteón de Roma. [Fotografía]*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://oa.upm.es/51528/1/TFG_Amich_Alemany_Luis.pdf

UNI 7548. (1992). *Hormigón ligero Definición y clasificación (Calcestruzzo leggero con argilla o scisti espansi. Definizione e classificazione).* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.leca.it/wp-content/uploads/2020/07/Calcestruzzo-leggero-in-argilla-espansa-Prof-Sanpaolesi.pdf

VALDEZ, L. F., Suárez, G., & Proaño, G. (2015). *Hormigones Livianos* . Guayaquil, Ecuador .

ÍNDICE DE ANEXOS.

ANEXO A.……...…….……..178

Especificaciones técnicas…….…….……...179

i. Aditivo Megamix, marca ‘‘Setmix’’. 180

ANEXO B.……..……...……..182

Informe de ensayo de áridos…….……183

i. Granulometría del agregado fino (Ensayo No2). 184

ii. Granulometría del agregado grueso (Ensayo No2). 185

iii. Granulometría del agregado grueso ligero (piedra pómez) (Ensayo No2).....186

iv. Densidad Relativa y la absorción del agregado fino (Ensayo No2). 187

v. Densidad Relativa y la absorción del agregado grueso (Ensayo No2).....188

vi. Ensayo resistencia a la degradación, método de abrasión (Ensayo No2).....189

ANEXO C.……..……..190

Informe de ensayos de determinación del módulo de elasticidad y la relación de Poisson del concreto a compresión…….……191

i. 280fc’ 40% pómez, Probeta No1. 192

ii. 280fc’ 40% pómez, Probeta No 3.....193

iii. 280fc’ 55% pómez, Probeta No 1.....194

iv. 280fc’ 55% pómez, Probeta No 2.....195

v. 280fc’ 55% pómez, Probeta No 3.....196

vi. 280fc’ 70% pómez, Probeta No 1.....197

vii. 280fc’ 70% pómez, Probeta No 2.....198

viii. 280fc’ 70% pómez, Probeta No 3. 199

ix. 280fc’ 85% pómez, Probeta No 1.....200

x. 280fc’ 85% pómez, Probeta No 2.....201

xi. 280fc’ 85% pómez, Probeta No 3.....202

xii. 350fc’ 0% pómez, Probeta No 1.....203

xiii. 350fc’ 0% pómez, Probeta No 3. 204

xiv. 350fc’ 40% pómez, Probeta No 1.....205

xv. 350fc’ 40% pómez, Probeta No 2.....206

xvi. 350fc’ 40% pómez, Probeta No 3.....207

xvii. 350fc’ 55% pómez, Probeta No 1. 208

xviii. 350fc’ 55% pómez, Probeta No 2. 209

xix. 350fc’ 55% pómez, Probeta No 3.....210

xx. 350fc’ 70% pómez, Probeta No 1.....211

xxi. 350fc’ 70% pómez, Probeta No 2.....212

xxii. 350fc’ 70% pómez, Probeta No 3. 213

xxiii. 350fc’ 85% pómez, Probeta No 1. 214

xxiv. 350fc’ 85% pómez, Probeta No 2.....215

xxv. 350fc’ 85% pómez, Probeta No 3.....216

ANEXO D……..……..217

Costos de materiales……..…218

i. Tabla de costos 2023 Mina COPETO. 219

ii. Costos de la Arena lavada y Ripio de 1 pulg, Mina COPETO, y ensayos realizados por la empresa. 220

ANEXO A

Especificaciones técnicas.

i. Aditivo Megamix, marca ‘‘Setmix’’.

admix

MEGAMIX

Hoja técnica-001
Versión: 004
13/1/2021
1 de 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Super plastificante, Reductor de agua de rango alto, para alta resistencia inicial. Aditivo de **alto desempeño**, en base polímero naftaleno sulfonatado. Listo para usar.

DATOS TÉCNICOS: Densidad: 1.175 – 1.195
Libre de cloruros, no tóxico.
Aditivo líquido color ámbar obscuro
Cumple normas ASTM C494 Tipo F

2. USOS

- Para todo tipo de hormigón en: edificios, puentes, losas, vigas, pavimentos, etc.
- Puede empleare con todos los tipos de cemento.
- Concreto de bombeo, Concreto marino.
- Concreto prefabricado.
- Concreto arquitectónico.
- Concreto de formas especiales.
- Concreto conteniendo cenizas volantes o humo de sílice.
- Concreto conteniendo escorias de altos hornos.
- Concreto denso, Concreto ligero.

3. BENEFICIOS

- Megamix se usa para mejorar las propiedades reológicas y mecánicas del concreto.
- Dispersa las partículas y rompe los grumos de cemento.
- Mejor Acabado e Impermeabilidad
- Mejor resistencia a la compresión y flexión
- Mejora el Módulo de elasticidad.
- Mejora la fluidez del concreto
- Alta resistencia inicial a la compresión
- Baja relación agua/cemento (reducción de hasta más del 30%)
- Bajo contenido de cemento

4. DOSIFICACIÓN

De 250 a 1250 gramos por saco de cemento. (0.5% al 2.5% al peso de cemento). Se adiciona directamente a la mezcla. A 1% del peso de cemento, permite trabajar con una relación a/mc de 0.33. La dosificación adecuada está alineada a la condición climática que se elabora el hormigón.

5. PRESENTACIÓN

Caneca de 20 kilos (5 galones)
Tambor de 230 kilos (55 galones)
Tótem de 1200 kilos (275 galones)

6. ALMACENAMIENTO

En el envase original bien cerrado, en sitio fresco y bajo techo, su almacenamiento tiene un tiempo de 12 meses.

7. SEGURIDAD

Evitar el contacto con la piel y los ojos. Para su manipulación use guantes y gafas. En caso de contacto lavarse con abundante agua y jabón.

8. NOTA LEGAL

Admix Cía. Ltda. No se hace responsable por la mala manipulación del producto en la elaboración del hormigón.

Oficina y Fabrica: Quito:
Calle de las Avellanas E1-182 y el Juncal
(Sector UVN/Parque de los Recuerdos)
Telf: 6002922-2800183 Fax: 6002922
E-mail: productos@setmix.com

admix Admix Cía. Ltda	SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADA	Código:	Adx SGI GF
		Versión:	0001
	Cotización Materiales Nº 002133	Fecha:	14 / 09 / 2017
		Página:	1 de 1

Quito, 3 marzo 2023

Señorita:
Michele Chacon
Ciudad.-

Estimada Señorita., a continuación presentamos la siguiente cotización de materiales:

PRODUCTO		EMPAQUE			TOTAL	PRECIO c/kg-und	PRECIO TOTAL
		PRESENTACIÓN		#	kg		
1	MEGAMIX	20,00	caneca	1	20	1,96	39,20
						SUBTOTAL	39,20
						ENVIO	0,00
						TOTAL	39,20
						12% IVA	4,70
						TOTAL	43,90

Forma de pago:

- **Contado**
- **no inlcuye envío.**

Nota: Este producto es fabricado bajo pedido y no contempla devoluciones.

Con el afán de dar el mejor servicio posible, Admix Cía.. Ltda. realizara el despacho de (los) materiales de 24 horas después de haber recibido la **orden de compra.**

Los productos Setmix, se fabrican con las mejores materias primas buscando un producto final de calidad.

Nuestra garantía se ajusta a la calidad del producto fabricado y no a sus aplicaciones. Cualquier uso de los productos más allá de los especificado, no es de nuestra responsabilidad.

Ing. Guillermo Loayza
ADMIX CIA. LTDA
Telf.: 2800183 / 2800184

jch/

DATOS BANCARIOS:

Nombre::	ADMIX CIA LTDA
Banco:	PRODUBANCO
Cuenta:	CTA CTE# 02005064445
RUC:	1791408462001

ANEXO B

Informes de ensayo de áridos.

i. Granulometría del agregado fino (Ensayo No2).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

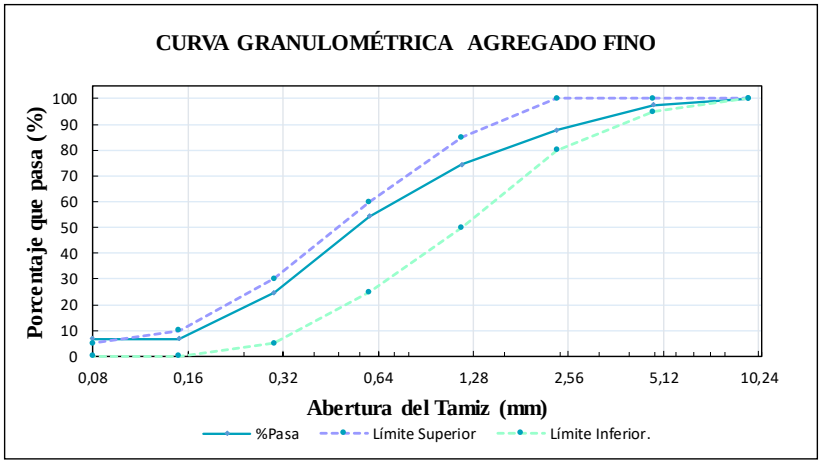
ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS

ESPECIFICACIÓN: ASTM C 33-18 **MÉTODO:** ASTM C 136-19

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No2
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	11-feb-22
MASA INICIAL (g):	710,3	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO.
LABORATORIO:	EP-CONST	**CIUDAD:**	STO-DGO.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa	Límites Específicos Desde	Límites Específicos Hasta
3/8"	9,53	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
N° 4	4,75	16,90	16,90	2,39	97,61	95	100
N° 8	2,36	70,20	87,10	12,30	87,70	80	100
N° 16	1,18	93,90	181,00	25,56	74,44	50	85
N° 30	0,60	142,10	323,10	45,64	54,36	25	60
N° 50	0,30	210,60	533,70	75,38	24,62	5	30
N° 100	0,15	125,80	659,50	93,15	6,85	0	10
N° 200	0,08	0,00	659,50	93,15	6,85	0	5
BANDEJA (g)		**48,50**	708,00	100,00			
Masa inicial (g)	**710,3**	**Σ % ret.acumulado**		**254,4**			
% ERROR	**0,32%**	**Módulo de Finura**		**2,54**			
El error es >0.3%							
Masa Final (g)		**708,00**					



OBSERVACIÓN: Este ensayo proviene del Método ASTM C117-17 de tamiz No200

ii. **Granulometría del agregado grueso (Ensayo No2).**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

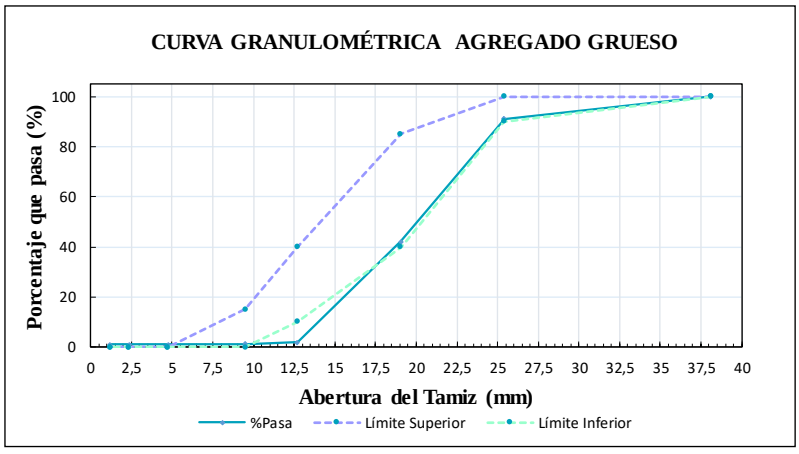
ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS

ESPECIFICACIÓN: ASTM C 33-18 **MÉTODO:** ASTM C 136-19

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No2
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	8-feb-22
MASA INICIAL (g):	9270,5	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO.
LABORATORIO:	EP-CONST	**CIUDAD:**	STO-DGO.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa	Límites Específicos Desde	Límites Específicos Hasta
2"	50,80	0,00	0,0	0,00	100,00	100	100
1 1/2 "	38,10	0,00	0,0	0,00	100,00	100	100
1"	25,40	824,40	824,4	8,90	91,10	90	100
3/4"	19,05	4537,40	5361,8	57,90	42,10	40	85
1/2´´	12,70	3718,70	9080,5	98,06	1,94	10	40
3/8´´	9,53	74,50	9155,0	98,86	1,14	0	15
N° 4	4,75	18,70	9173,7	99,06	0,94	0	0
N° 8	2,36	0,00	9173,7	99,06	0,94	0	0
N° 16	1,18	0,00	9173,7	99,06	0,94	0	0
BANDEJA (g)		**86,90**	9260,6	100,00	0,00		
Masa inicial (g)	**9270,5**		**Σ % ret.acumulado**	**753,94**			
% ERROR	**0,11%**		**Módulo de Finura**	**7,54**			
El error es <0.3%							
Masa Final (g)		**9260,60**					



iii. **Granulometría del agregado grueso ligero (piedra pómez) (Ensayo No2).**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

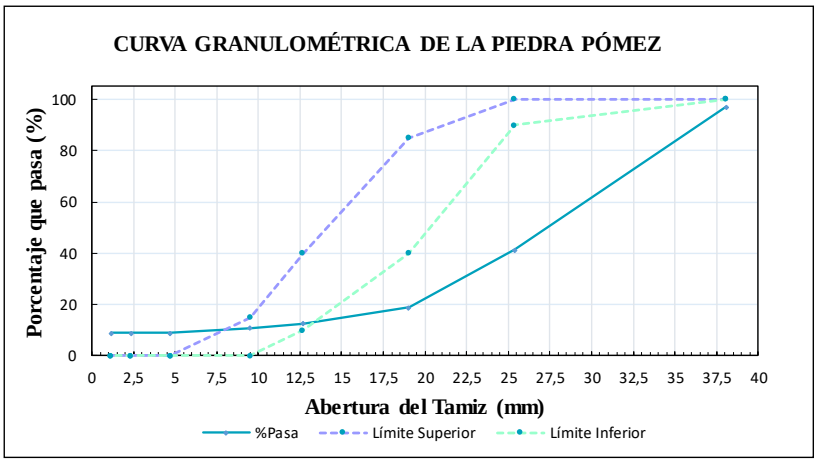
ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS LIGEROS.

ESPECIFICACIÓN: ASTM C 33-18 **MÉTODO:** ASTM C 136-19

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No2
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	22-feb-22
MASA INICIAL (g):	9090	**PROCEDENCIA:**	COTOPAXI
LABORATORIO:	EP-CONST	**CIUDAD:**	COTOPAXI.

Tamiz N°	Abertura (mm)	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	% Retenido	% Pasa	Límites Específicos Desde	Límites Específicos Hasta
2"	50,80	0,00	0,0	0,00	100,00	100	100
1 1/2 "	38,10	266,80	266,8	2,94	97,06	100	100
1"	25,40	5063,00	5329,8	58,75	41,25	90	100
3/4"	19,05	2027,00	7356,8	81,09	18,91	40	85
1/2´´	12,70	577,70	7934,5	87,46	12,54	10	40
3/8´´	9,53	148,80	8083,3	89,10	10,90	0	15
N° 4	4,75	175,40	8258,7	91,03	8,97	0	0
N° 8	2,36	0,00	8258,7	91,03	8,97	0	0
N° 16	1,18	0,00	8258,7	91,03	8,97	0	0
BANDEJA (g)		**813,60**	9072,3	100,00	0,00		
Masa inicial (g)	**9090**		**Σ % ret.acumulado**	**746,23**			
% ERROR	**0,19%**		**Módulo de Finura**	**7,46**			
El error es <0.3%							
Masa Final (g)		**9072,30**					



iv. **Densidad Relativa y la absorción del agregado fino (Ensayo No2).**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

ESPECIFICACIÓN: ASTM C128-15 **MÉTODO:** PICNÓMETRO

	Densidad Relativa OD (Gravedad específica) (OD)	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	496.8
B	M. del picnómetro + agua (500ml)	906
C	M. picnómetro + espécimen + agua	1220.9
S	M. espécimen SSD	509.4
	Densidad Relativa OD (Gravedad específica OD)	**2,55**

	Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	**496.8**
B	M. del picnómetro + agua (500ml)	**906**
C	M. picnómetro + espécimen + agua	**1220.9**
S	M. espécimen SSD	**509.4**
	Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)	**2,63**

	Densidad Relativa (Gravedad Específica) Aparente	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	496.8
B	M. del picnómetro + agua (500ml)	906
C	M. picnómetro + espécimen + agua	1220.9
S	M. espécimen SSD	509.4
	Densidad Relativa (GE) Aparente gr/cm3	**2,73**

	% Absorción	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	**482,8**
B	M. del picnómetro + agua (500ml)	**906**
C	M. picnómetro + espécimen + agua	**1220.9**
S	M. espécimen SSD	**509.4**
D	S-A	**12.6**
	% Absorción	**2,54**

OBSERVACIÓN:

v. Densidad Relativa y la absorción del agregado grueso (Ensayo No2).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

ESPECIFICACIÓN: ASTM C127-15

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	Ensayo No2
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	19-feb-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO
		CIUDAD:	STO-DGO.

	Densidad Relativa OD (Gravedad específica) (OD)	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	5129,1
B	M. del ripio en SSD (g)	5231,6
C	M. aparente de la muestra saturada en agua	3225,5
	M. de la canastilla sumergida en agua (g)	750,5
	M. de la canastilla + ripio sumergido en agua (g)	3976
	Volumen Desalojado (cm3) (B-C)	2006,1
	Densidad Relativa OD (Gravedad específica) (OD)	**2,56**

	Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	**5129,1**
B	M. del ripio en SSD (g)	**5231,6**
C	M. aparente de la muestra saturada en agua	**3225,5**
	Volumen Desalojado (cm3) (B-C)	**2006,1**
	Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)	**2,61**

	Densidad Relativa (Gravedad Específica) Aparente	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	5129,1
B	M. del ripio en SSD (g)	5231,6
C	M. aparente de la muestra saturada en agua	3225,5
	A-C	1903,6
	Densidad Relativa (GE) Aparente gr/cm3	**2,70**

	%Absorción	
A	M. de la muestra de prueba secada al horno (g)	5129,1
B	M. del ripio en SSD (g)	5231,6
C	M. aparente de la muestra saturada en agua	3225,5
	B-A	102,5
	Absorción (%)	**2,00**

OBSERVACIÓN:

vi. **Ensayo resistencia a la degradación, método de abrasión (Ensayo No2).**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN - MÉTODO DE ABRASIÓN.

ESPECIFICACIÓN: ASTM C535-20

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	No2
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	11-feb-22
LABORATORIO:	EP-CONST	**PROCEDENCIA:**	MINA COPETO.
		CIUDAD:	STO-DGO.

Gradación	C
N° Vueltas	1000
N° esferas	12
Tamaño de 1''	5024,2
Tamaño de 3/4''	5020,4
Masa Inicial (C)	10044,6
Masa final (Y)	6702,7
% Perdido	**33,271**
	El error es <0.5%
Masa final lavada y secada (S)	6684,5
% Perdido	**33,5**
	El error es <0.5%

OBSERVACIÓN:

ANEXO C.

Informe de ensayos de determinación del módulo de elasticidad y la relación de Poisson del concreto a compresión.

i. 280fc' 40% pómez, Probeta No1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

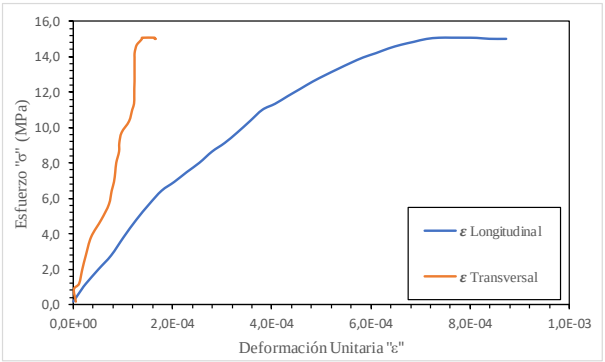
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 40% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	13-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	280 fc'
Tipo	40% Pómez
F. fundición	13-abr
F. ensayo	13-may
Edad espécimen	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	
$\phi_2(mm)$	151,25
$\phi_3(mm)$	151,43
$\phi_{prom}(mm)$	151,52
$Área(mm^2)$	151,40
$e_g(mm)$	18002,87
$e_r(mm)$	123,65
$e_g + e_r(mm)$	132,33
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	255,98
$long_T(mm)$	0,517
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	305
$Carga\ Ult\ (N)$	255,98
$40\%\ C.Últ\ (N)$	298550,00
	119420,00
Masa (Kg)	11,28
PU (Kg/m^3)	2054,32
S Últ (Mpa)	16,5835

Probeta No 1

P (N)	S (MPa)	g_{longit} (mm)	g'_{transv} (mm)	d (mm)	d' (mm)	ε_{long}	ε_{tran}
3179	0,2	0,000	0,00241	0,00000	0,00125	0,0000000	0,0000049
15761	0,9	0,010	0,00051	0,00517	0,00026	0,0000169	0,0000010
21471	1,2	0,015	0,00572	0,00775	0,00295	0,0000254	0,0000115
36160	2,0	0,030	0,00894	0,01551	0,00462	0,0000508	0,0000181
50162	2,8	0,045	0,01245	0,02326	0,00643	0,0000763	0,0000251
68958	3,8	0,060	0,01778	0,03102	0,00919	0,0001017	0,0000359
86479	4,8	0,075	0,02794	0,03877	0,01444	0,0001271	0,0000564
102043	5,7	0,090	0,03556	0,04653	0,01838	0,0001525	0,0000718
115984	6,4	0,105	0,03835	0,05428	0,01983	0,0001780	0,0000775
124887	6,9	0,120	0,04064	0,06203	0,02101	0,0002034	0,0000821
134941	7,5	0,135	0,04191	0,06979	0,02167	0,0002288	0,0000846
144411	8,0	0,150	0,04293	0,07754	0,02219	0,0002542	0,0000867

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	ν	G (MPa)
33764,2	0,45	11678,0



OBSERVACIÓN:

ii. 280fc' 40% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

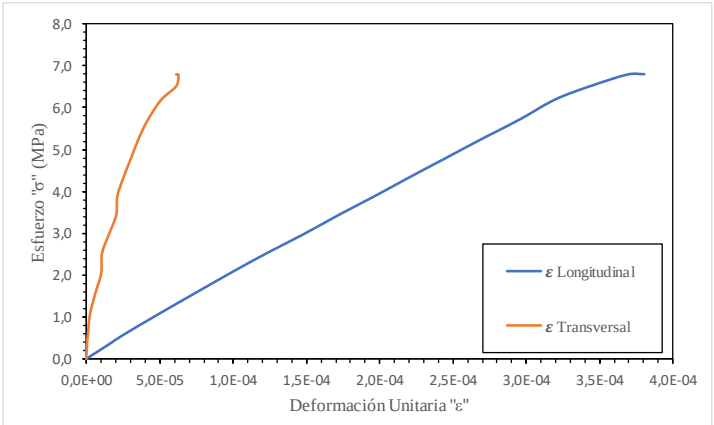
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 40% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	13-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	280 fc'
Tipo	40% Pómez
F. fundición	13-abr
F. ensayo	13-may
Edad espécimer	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	152,63
$\phi_2(mm)$	152,62
$\phi_3(mm)$	151,71
$\phi_{prom}(mm)$	152,32
$Área(mm^2)$	18222,32
$e_g(mm)$	125,27
$e_r(mm)$	125,29
$e_g + e_r(mm)$	250,56
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,500
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,56
$Carga\ Ult\ (N)$	205430,00
$40\%\ C.Últ\ (N)$	82172,00
Masa (Kg)	11,21
PU (Kg/m^3)	2016,98
S Últ (Mpa)	11,27

Probeta No 3

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000000	0,0000000
6708	0,3681	0,0100	0,0003	0,0050	0,0001	0,0000164	0,0000005
10171	0,5582	0,0150	0,0005	0,0075	0,0003	0,0000246	0,0000010
19434	1,0665	0,0300	0,0013	0,0150	0,0006	0,0000492	0,0000025
28436	1,5605	0,0450	0,0030	0,0225	0,0015	0,0000738	0,0000061
37362	2,0503	0,0600	0,0051	0,0300	0,0025	0,0000984	0,0000101
45958	2,5221	0,0750	0,0053	0,0375	0,0027	0,0001230	0,0000106
54025	2,9648	0,0900	0,0076	0,0450	0,0038	0,0001476	0,0000152
62636	3,4373	0,1050	0,0102	0,0525	0,0051	0,0001721	0,0000203
70841	3,8876	0,1200	0,0105	0,0600	0,0053	0,0001967	0,0000210
79347	4,3544	0,1350	0,0127	0,0675	0,0064	0,0002213	0,0000253
87648	4,8099	0,1500	0,0152	0,0750	0,0076	0,0002459	0,0000304
95977	5,2670	0,1650	0,0178	0,0825	0,0089	0,0002705	0,0000355
104026	5,7087	0,1800	0,0208	0,0900	0,0104	0,0002951	0,0000416
112866	6,1938	0,1950	0,0254	0,0975	0,0127	0,0003197	0,0000507
118810	6,5200	0,2100	0,0305	0,1050	0,0152	0,0003443	0,0000608
123698	6,7883	0,2250	0,0312	0,1125	0,0156	0,0003689	0,0000623
123868	6,7976	0,2320	0,0305	0,1160	0,0152	0,0003804	0,0000608

M. de Elaticidac	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	v	G (MPa)
19068,3	0,14	8393,6



OBSERVACIÓN:

iii. 280fc' 55% pómez, Probeta No 1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

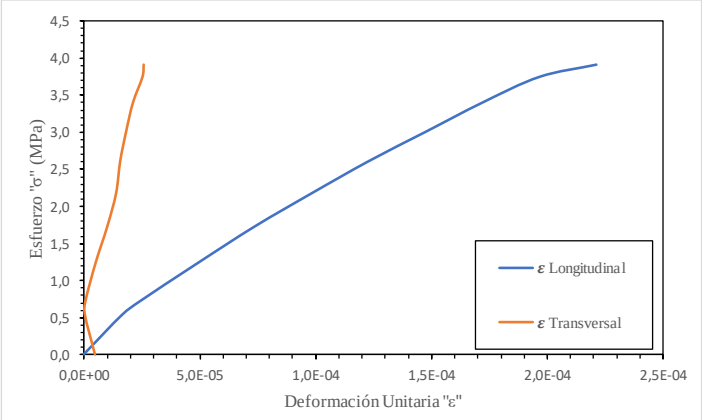
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 55% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	13-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	280 fc'
Tipo	55% Pómez
F. fundición	13-abr
F. ensayo	13-may
Edad espécimen	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	150,99
$\phi_2(mm)$	151,11
$\phi_3(mm)$	151,22
$\phi_{prom}(mm)$	151,11
$Área(mm^2)$	17933,17
$e_g(mm)$	125,27
$e_r(mm)$	125,29
$e_g + e_r(mm)$	250,56
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,500
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,56
$Carga\ Ult\ (N)$	284970
$40\%\ C.Últ\ (N)$	113988
Masa (Kg)	10,56
$PU\ \ (Kg/m^3)$	1930,67
$S\ Últ\ \ (Mpa)$	15,89

Probeta No 1

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0000	0,0000	0,0024	0,0000	0,0012	0,0000000	0,0000048
9489	0,5291	0,0100	0,0003	0,0050	0,0001	0,0000164	0,0000005
12975	0,7235	0,0150	0,0004	0,0075	0,0002	0,0000246	0,0000008
22067	1,2305	0,0300	0,0025	0,0150	0,0013	0,0000492	0,0000051
30907	1,7235	0,0450	0,0051	0,0225	0,0025	0,0000738	0,0000101
38926	2,1706	0,0600	0,0070	0,0300	0,0035	0,0000984	0,0000139
46684	2,6032	0,0750	0,0079	0,0375	0,0039	0,0001230	0,0000157
53776	2,9987	0,0900	0,0091	0,0450	0,0046	0,0001476	0,0000182
60865	3,3940	0,1050	0,0106	0,0525	0,0053	0,0001721	0,0000212
67074	3,7402	0,1200	0,0127	0,0600	0,0064	0,0001967	0,0000253
70033	3,9052	0,1350	0,0130	0,0675	0,0065	0,0002213	0,0000259

M. de Elaticidac	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	ν	G (MPa)
16469,1	0,11	7425,1



OBSERVACIÓN:

iv. 280fc’ 55% pómez, Probeta No 2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

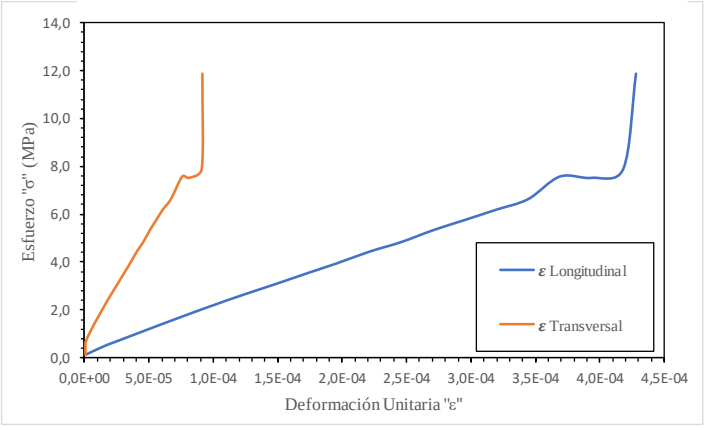
ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 55% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	13-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	2
Resistencia	280 fc'
Tipo	55% Pómez
F. fundición	13-abr
F. ensayo	13-may
Edad espécimen	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	153,31
$\phi_2(mm)$	153,22
$\phi_3(mm)$	153,53
$\phi_{prom}(mm)$	153,35
$Área(mm^2)$	18470,40
$e_g(mm)$	125,27
$e_r(mm)$	125,29
$e_g + e_r(mm)$	250,56
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,500
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,56
$Carga\ Ult\ (N)$	196980
$40\%\ C.Últ\ (N)$	78792
Masa (Kg)	11,13
$PU\ \ (Kg/m^3)$	1975,69
$S\ Últ\ \ (Mpa)$	10,66

Probeta No 2							
P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
2334	0,1264	0,0010	0,0003	0,0005	0,0001	0,0000016	0,0000005
9070	0,4911	0,0100	0,0003	0,0050	0,0001	0,0000164	0,0000005
12204	0,6607	0,0150	0,0004	0,0075	0,0002	0,0000246	0,0000008
21546	1,1665	0,0300	0,0025	0,0150	0,0013	0,0000492	0,0000051
30786	1,6668	0,0450	0,0051	0,0225	0,0025	0,0000738	0,0000101
39741	2,1516	0,0600	0,0076	0,0300	0,0038	0,0000984	0,0000152
48336	2,6169	0,0750	0,0102	0,0375	0,0051	0,0001230	0,0000203
56468	3,0572	0,0900	0,0127	0,0450	0,0064	0,0001476	0,0000253
64844	3,5107	0,1050	0,0152	0,0525	0,0076	0,0001721	0,0000304
73065	3,9558	0,1200	0,0178	0,0600	0,0089	0,0001967	0,0000355
81871	4,4326	0,1350	0,0203	0,0675	0,0102	0,0002213	0,0000406
89284	4,8339	0,1500	0,0229	0,0750	0,0114	0,0002459	0,0000456
98394	5,3271	0,1650	0,0254	0,0825	0,0127	0,0002705	0,0000507
106327	5,7566	0,1800	0,0279	0,0900	0,0140	0,0002951	0,0000558
114355	6,1913	0,1950	0,0305	0,0975	0,0152	0,0003197	0,0000608
122483	6,6313	0,2100	0,0337	0,1050	0,0168	0,0003443	0,0000672
139968	7,5780	0,2250	0,0381	0,1125	0,0191	0,0003689	0,0000760
138949	7,5228	0,2400	0,0406	0,1200	0,0203	0,0003935	0,0000811
145905	7,8994	0,255	0,04572	0,12751	0,02286	0,0004181	9,12429E-05
219560	11,8871	0,261	0,04597	0,13051	0,02299	0,0004279	9,17498E-05

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	v	G (MPa)
18943,8	0,21	7853,2



OBSERVACIÓN:

v. 280fc' 55% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

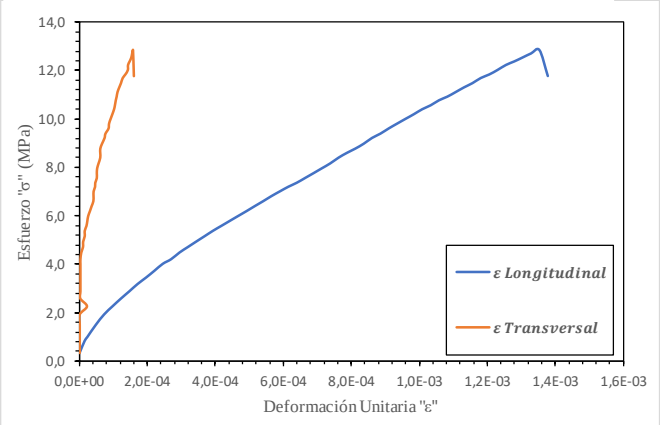
ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 55% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	13-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	280 fc'
Tipo	55%
F. fundición	13-abr
F. ensayo	13-may
Edad espécimen	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	151,56
$\Phi_2(mm)$	151,79
$\Phi_3(mm)$	151,15
$\Phi_{prom}(mm)$	151,50
$Área(mm^2)$	18026,65
$e_g(mm)$	125,27
$e_r(mm)$	125,29
$e_g + e_r(mm)$	250,56
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,500
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,56
Carga Ult (N)	231245
40% $C.Últ(N)$	92498
Masa (Kg)	11,12
PU (Kg/m^3)	2022,51
S Últ (Mpa)	12,83

Probeta No 3							
P (N)	S (MPa)	g_{longit} (mm)	g'_{transv} (mm)	d (mm)	d' (mm)	ε_{long}	ε_{tran}
5934	0,3292	0,0010	0,0003	0,0005	0,0001	0,0000016	0,0000005
14823	0,8223	0,0100	0,0003	0,0050	0,0001	0,0000164	0,0000005
17860	0,9908	0,0150	0,0003	0,0075	0,0001	0,0000246	0,0000006
26807	1,4871	0,0300	0,0003	0,0150	0,0001	0,0000492	0,0000006
34599	1,9193	0,0450	0,0003	0,0225	0,0001	0,0000738	0,0000006
40623	2,2535	0,0600	0,0109	0,0300	0,0055	0,0000984	0,0000218
46345	2,5709	0,0750	0,0011	0,0375	0,0006	0,0001230	0,0000023
51742	2,8703	0,0900	0,0013	0,0450	0,0006	0,0001476	0,0000025
57239	3,1752	0,1050	0,0013	0,0525	0,0006	0,0001721	0,0000025
61984	3,4385	0,1200	0,0013	0,0600	0,0006	0,0001967	0,0000025
67036	3,7187	0,1350	0,0013	0,0675	0,0006	0,0002213	0,0000025
72220	4,0063	0,1500	0,0013	0,0750	0,0006	0,0002459	0,0000025
75670	4,1977	0,1650	0,0013	0,0825	0,0006	0,0002705	0,0000025
80628	4,4727	0,1800	0,0025	0,0900	0,0013	0,0002951	0,0000051
84722	4,6998	0,1950	0,0051	0,0975	0,0025	0,0003197	0,0000101
88788	4,9254	0,2100	0,0053	0,1050	0,0027	0,0003443	0,0000106
92786	5,1472	0,2250	0,0076	0,1125	0,0038	0,0003689	0,0000152

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidé
E (MPa)	ν	G (MPa)
11446,4	0,05	5476,0



OBSERVACIÓN:

vi. 280fc’ 70% pómez, Probeta No 1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

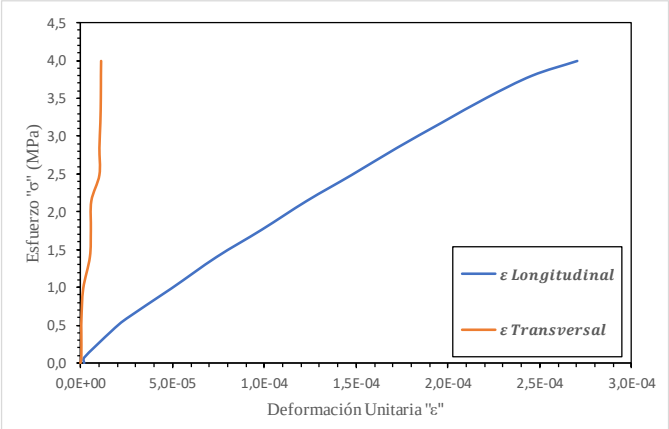
ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 70% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	27-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	280 fc'
Tipo	70%
F. fundición	28-abr
F. ensayo	27-may
Edad espécime	29 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	148,74
$\phi_2(mm)$	149,41
$\phi_3(mm)$	149,67
$\phi_{prom}(mm)$	149,27
$Área(mm^2)$	17500,66
$e_g(mm)$	125,27
$e_r(mm)$	125,29
$e_g + e_r(mm)$	250,56
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,500
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,56
$Carga\ Ult\ (N)$	134430
40% $C.Últ\ (N)$	53772
Masa (Kg)	9,80
PU (Kg/m^3)	1836,00
S Últ (Mpa)	7,68

Probeta No 1							
P (N)	S (MPa)	g_{longit} (mm)	g'_{transv} (mm)	d (mm)	d' (mm)	ε_{long}	ε_{tran}
0	0,0000	0,0010	0,0000	0,0005	0,0000	0,0000016	0,0000000
1257	0,0718	0,0010	0,0003	0,0005	0,0001	0,0000016	0,0000005
7322	0,4184	0,0100	0,0003	0,0050	0,0001	0,0000164	0,0000005
10234	0,5848	0,0150	0,0003	0,0075	0,0001	0,0000246	0,0000006
17229	0,9845	0,0300	0,0008	0,0150	0,0004	0,0000492	0,0000015
24486	1,3991	0,0450	0,0025	0,0225	0,0013	0,0000738	0,0000051
30781	1,7588	0,0600	0,0028	0,0300	0,0014	0,0000984	0,0000056
37448	2,1398	0,0750	0,0029	0,0375	0,0015	0,0001230	0,0000058
43467	2,4837	0,0900	0,0051	0,0450	0,0025	0,0001476	0,0000101
49705	2,8402	0,1050	0,0051	0,0525	0,0025	0,0001721	0,0000101
55569	3,1753	0,1200	0,0053	0,0600	0,0027	0,0001967	0,0000106
61349	3,5055	0,1350	0,0055	0,0675	0,0027	0,0002213	0,0000109
66416	3,7951	0,1500	0,0055	0,0750	0,0027	0,0002459	0,0000109
69804	3,9887	0,1650	0,0055	0,0825	0,0028	0,0002705	0,0000111

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	ν	G (MPa)
14901,8	0,06	7005,4



OBSERVACIÓN:

vii. 280fc’ 70% pómez, Probeta No 2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

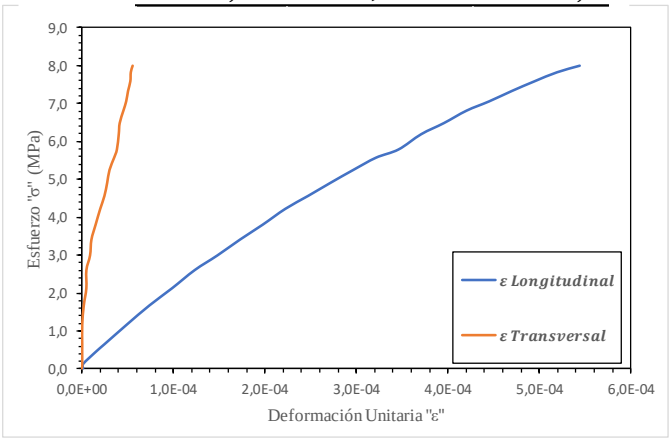
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 70% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	27-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	2
Resistencia	280 fc'
Tipo	70%
F. fundición	28-abr
F. ensayo	27-may
Edad espécimen	29 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	147,92
$\Phi_2(mm)$	148,88
$\Phi_3(mm)$	148,60
$\Phi_{prom}(mm)$	148,47
$Área(mm^2)$	17312,02
$e_g(mm)$	125,14
$e_r(mm)$	126,50
$e_g + e_r(mm)$	251,64
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,503
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\ tran}(mm)$	251,64
Carga Ult (N)	149280
40% $C.Últ\ (N)$	59712
Masa (Kg)	9,99
PU (Kg/m^3)	1891,99
S Últ (Mpa)	8,62

Probeta No 2

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,000000	0,001000	0,000000	0,000503	0,000000	0,000002	0,000000
2028	0,117144	0,001000	0,000254	0,000503	0,000128	0,000002	0,000001
7956	0,459553	0,010000	0,000254	0,005027	0,000128	0,000016	0,000001
10960	0,633086	0,015000	0,000279	0,007541	0,000140	0,000025	0,000001
20047	1,157981	0,030000	0,000284	0,015081	0,000143	0,000049	0,000001
28819	1,664681	0,045000	0,001143	0,022622	0,000575	0,000074	0,000002
36670	2,118181	0,060000	0,002540	0,030162	0,001277	0,000099	0,000005
44965	2,597328	0,075000	0,002565	0,037703	0,001290	0,000124	0,000005
51665	2,984342	0,090000	0,004572	0,045243	0,002298	0,000148	0,000009
58903	3,402433	0,105000	0,005334	0,052784	0,002681	0,000173	0,000011
65707	3,795455	0,120000	0,007620	0,060324	0,003831	0,000198	0,000015
72946	4,213604	0,135000	0,010160	0,067865	0,005107	0,000223	0,000020
78828	4,553368	0,150000	0,012446	0,075405	0,006257	0,000247	0,000025
84876	4,902720	0,165000	0,013970	0,082946	0,007023	0,000272	0,000028
90719	5,240231	0,180000	0,015240	0,090486	0,007661	0,000297	0,000030
96303	5,562782	0,195000	0,017780	0,098027	0,008938	0,000321	0,000036
100087	5,781358	0,210000	0,019304	0,105567	0,009704	0,000346	0,000039
107058	6,184026	0,225000	0,020320	0,113108	0,010215	0,000371	0,000041
112126	6,476771	0,240000	0,020828	0,120649	0,010470	0,000396	0,000042
117806	6,804867	0,255000	0,022860	0,128189	0,011492	0,000420	0,000046

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rig
E (MPa)	v	G (MPa)
18093,7	0,08	8345,3



OBSERVACIÓN:

viii. 280fc’ 70% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

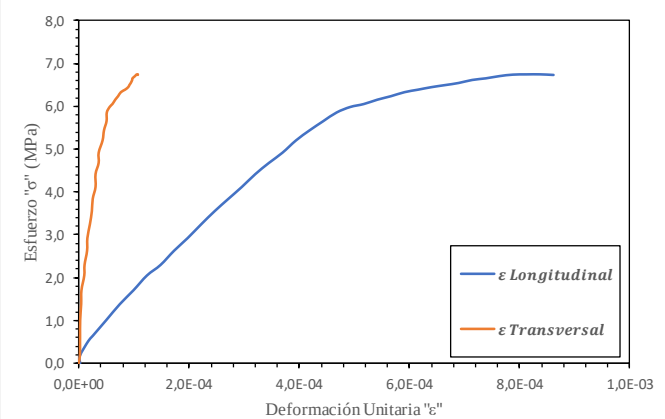
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 70% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	Fecha ensayo
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	280 fc'
Tipo	70%
F. fundición	28-abr
F. ensayo	27-may
Edad espécimen	29 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	148,46
$\Phi_2(mm)$	149,28
$\Phi_3(mm)$	149,4
$\Phi_{prom}(mm)$	149,05
$Área(mm^2)$	17447,55
$e_g(mm)$	125,27
$e_r(mm)$	125,29
$e_g + e_r(mm)$	250,56
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,500
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,56
$Carga\ Ult\ (N)$	149280
$40\%\ C.Últ\ (N)$	59712
Masa (Kg)	9,64
$PU\ \ (Kg/m^3)$	1811,52
$S\ Últ\ \ (Mpa)$	8,56

Probeta No 3

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,000000	0,001000	0,000000	0,000500	0,000000	0,000002	0,000000
3059	0,175343	0,000800	0,001143	0,000400	0,000572	0,000001	0,000002
8990	0,515253	0,010000	0,001270	0,005000	0,000635	0,000016	0,000003
11159	0,639574	0,015000	0,001295	0,007501	0,000648	0,000025	0,000003
17595	1,008451	0,030000	0,001397	0,015001	0,000699	0,000049	0,000003
24098	1,381168	0,045000	0,002286	0,022502	0,001143	0,000074	0,000005
29711	1,702875	0,060000	0,002540	0,030002	0,001270	0,000098	0,000005
35778	2,050603	0,075000	0,005080	0,037503	0,002540	0,000123	0,000010
40067	2,296426	0,090000	0,005334	0,045004	0,002667	0,000148	0,000011
45871	2,629080	0,105000	0,007620	0,052504	0,003810	0,000172	0,000015
51016	2,923964	0,120000	0,007874	0,060005	0,003937	0,000197	0,000016
56647	3,246703	0,135000	0,010160	0,067505	0,005080	0,000221	0,000020
62038	3,555686	0,150000	0,011938	0,075006	0,005969	0,000246	0,000024
66993	3,839680	0,165000	0,012700	0,082507	0,006351	0,000271	0,000025
71877	4,119605	0,180000	0,015240	0,090007	0,007621	0,000295	0,000030
77131	4,420736	0,195000	0,015240	0,097508	0,007621	0,000320	0,000030
81680	4,681460	0,210000	0,018034	0,105008	0,009018	0,000344	0,000036
85852	4,920577	0,225000	0,018059	0,112509	0,009030	0,000369	0,000036
90876	5,208525	0,240000	0,021590	0,120010	0,010796	0,000393	0,000043
94963	5,442770	0,255000	0,022860	0,127510	0,011431	0,000418	0,000046
98686	5,656153	0,270000	0,025146	0,135011	0,012574	0,000443	0,000050
102262	5,861110	0,285000	0,025400	0,142511	0,012701	0,000467	0,000051

M. de Elaticidac	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	ν	G (MPa)
12959,6	0,10	5864,4



OBSERVACIÓN:

ix. 280fc' 85% pómez, Probeta No 1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

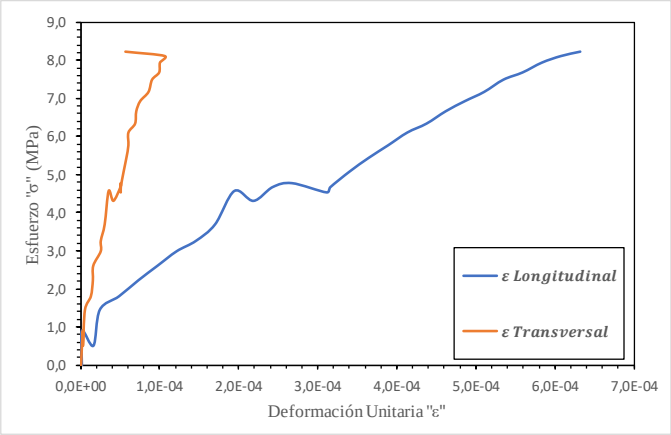
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 85% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	2-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	280 fc'
Tipo	85%
F. fundición	3-may
F. ensayo	2-jun
Edad espécimen	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	149
$\Phi_2(mm)$	148,71
$\Phi_3(mm)$	148,85
$\Phi_{prom}(mm)$	148,85
$Área(mm^2)$	17402,31
$e_g(mm)$	127,00
$e_r(mm)$	124,13
$e_g + e_r(mm)$	251,13
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,494
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\ tran}(mm)$	251,13
$Carga\ Ult\ (N)$	140926,0
$40\%\ C.Últ\ (N)$	56370,4
Masa (Kg)	9,26
$PU\ \left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	1744,63
S Últ (Mpa)	8,10

Probeta No 1

P (N)	S (MPa)	g_{longit} (mm)	g'_{transv} (mm)	d (mm)	d' (mm)	ε_{long}	ε_{tran}
0	0,0	0,001000	0,000000	0,000494	0,000000	0,000002	0,000000
15879	0,9	0,001000	0,001143	0,000494	0,000565	0,000002	0,000002
8990	0,5	0,010000	0,001270	0,004943	0,000628	0,000016	0,000002
25362	1,5	0,015000	0,002540	0,007414	0,001255	0,000024	0,000005
31511	1,8	0,030000	0,006350	0,014829	0,003139	0,000049	0,000012
38746	2,2	0,045000	0,007620	0,022243	0,003766	0,000073	0,000015
45410	2,6	0,060000	0,007874	0,029657	0,003892	0,000097	0,000015
52026	3,0	0,075000	0,012700	0,037071	0,006277	0,000122	0,000025
56739	3,3	0,090000	0,012725	0,044486	0,006290	0,000146	0,000025
64294	3,7	0,105000	0,015240	0,051900	0,007533	0,000170	0,000030
79467	4,6	0,120000	0,017780	0,059314	0,008788	0,000194	0,000035
74965	4,3	0,135000	0,020828	0,066729	0,010295	0,000219	0,000041
81264	4,7	0,150000	0,025400	0,074143	0,012555	0,000243	0,000050
83028	4,8	0,165000	0,025527	0,081557	0,012618	0,000267	0,000050
78814	4,5	0,192000	0,025552	0,094903	0,012630	0,000311	0,000050
81229	4,7	0,195000	0,025603	0,096386	0,012655	0,000316	0,000050
88330	5,1	0,210000	0,027432	0,103800	0,013559	0,000340	0,000054
94597	5,4	0,225000	0,029210	0,111214	0,014438	0,000365	0,000057

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidé
E (MPa)	ν	G (MPa)
14952,9	0,13	6604,6



OBSERVACIÓN:

x. 280fc' 85% pómez, Probeta No 2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

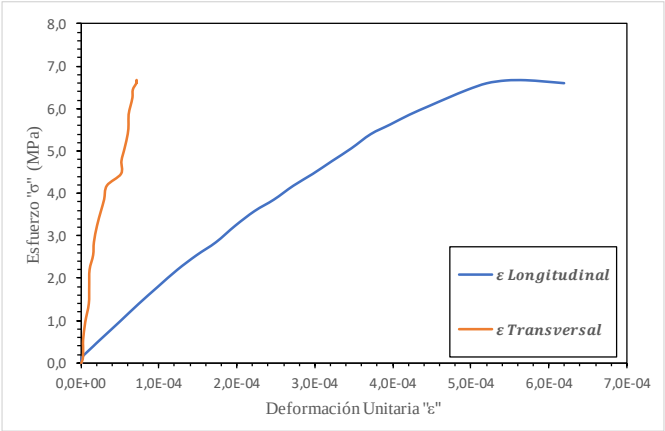
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 85% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	2-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	2
Resistencia	280 fc'
Tipo	85%
F. fundición	3-may
F. ensayo	2-jun
Edad espécimen	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	150
$\phi_2(mm)$	149,5
$\phi_3(mm)$	149,2
$\phi_{prom}(mm)$	149,57
$Área(mm^2)$	17569,5
$e_g(mm)$	125
$e_r(mm)$	127
$e_g + e_r(mm)$	252
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,504
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	252
$Carga\ Ult\ (N)$	117134,0
40% $C.Últ\ (N)$	46853,6
Masa (Kg)	9,64
PU (Kg/m^3)	1798,94
S Últ (Mpa)	6,67

Probeta No 2

P (N)	S (MPa)	g_{longit} (mm)	g'_{transv} (mm)	d (mm)	d' (mm)	ε_{long}	ε_{tran}
2332	0,1	0,00100	0,00104	0,00050	0,00052	0,000002	0,000002
7084	0,4	0,01000	0,00114	0,00504	0,00058	0,000017	0,000002
9611	0,5	0,01500	0,00115	0,00756	0,00058	0,000025	0,000002
17001	1,0	0,03000	0,00254	0,01512	0,00128	0,000050	0,000005
24531	1,4	0,04500	0,00483	0,02268	0,00243	0,000074	0,000010
31653	1,8	0,06000	0,00508	0,03024	0,00256	0,000099	0,000010
38648	2,2	0,07500	0,00533	0,03780	0,00269	0,000124	0,000011
44701	2,5	0,09000	0,00762	0,04536	0,00384	0,000149	0,000015
50056	2,8	0,10500	0,00813	0,05292	0,00410	0,000173	0,000016
56929	3,2	0,12000	0,01016	0,06048	0,00512	0,000198	0,000020
62991	3,6	0,13500	0,01270	0,06804	0,00640	0,000223	0,000025
67727	3,9	0,15000	0,01473	0,07560	0,00742	0,000248	0,000029
73451	4,2	0,16500	0,01651	0,08315	0,00832	0,000273	0,000033
78325	4,5	0,18000	0,02565	0,09071	0,01293	0,000297	0,000051
83659	4,8	0,19500	0,02591	0,09827	0,01306	0,000322	0,000052
88920	5,1	0,21000	0,02794	0,10583	0,01408	0,000347	0,000056
94798	5,4	0,22500	0,02997	0,11339	0,01510	0,000372	0,000060
98757	5,6	0,24000	0,03048	0,12095	0,01536	0,000397	0,000061

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	ν	G (MPa)
15566,5	0,10	7098,2



OBSERVACIÓN:

xi. 280fc' 85% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

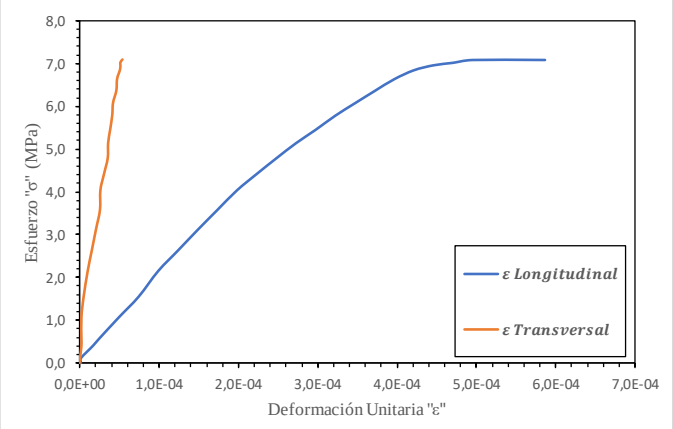
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	280 f'c 85% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	2-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	280 fc'
Tipo	85%
F. fundición	3-may
F. ensayo	2-jun
Edad espécimen	30 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	150
$\phi_2(mm)$	149,5
$\phi_3(mm)$	149,2
$\phi_{prom}(mm)$	149,57
$Área(mm^2)$	17569,50
$e_g(mm)$	124,50
$e_r(mm)$	126,70
$e_g + e_r(mm)$	251,2
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,504
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	251,2
Carga Ult (N)	124590
40% *C. Últ (N)*	49836
Masa (Kg)	9,82
PU (Kg/m^3)	1832,53
S Últ (Mpa)	7,09

Probeta No 3

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
1966	0,1	0,00100	0,00025	0,00050	0,00013	0,000002	0,000001
6950	0,4	0,01000	0,00114	0,00504	0,00058	0,000017	0,000002
10029	0,6	0,01500	0,00115	0,00757	0,00058	0,000025	0,000002
18779	1,1	0,03000	0,00115	0,01513	0,00058	0,000050	0,000002
27223	1,5	0,04500	0,00254	0,02270	0,00128	0,000074	0,000005
37832	2,2	0,06000	0,00508	0,03026	0,00256	0,000099	0,000010
46216	2,6	0,07500	0,00762	0,03783	0,00384	0,000124	0,000015
54692	3,1	0,09000	0,01016	0,04539	0,00512	0,000149	0,000020
62864	3,6	0,10500	0,01270	0,05296	0,00641	0,000174	0,000026
70967	4,0	0,12000	0,01295	0,06053	0,00653	0,000198	0,000026
77676	4,4	0,13500	0,01524	0,06809	0,00769	0,000223	0,000031
84137	4,8	0,15000	0,01753	0,07566	0,00884	0,000248	0,000035
90352	5,1	0,16500	0,01778	0,08322	0,00897	0,000273	0,000036
95854	5,5	0,18000	0,01905	0,09079	0,00961	0,000298	0,000038
101672	5,8	0,19500	0,02032	0,09835	0,01025	0,000322	0,000041
106792	6,1	0,21000	0,02083	0,10592	0,01051	0,000347	0,000042
111815	6,4	0,22500	0,02286	0,11349	0,01153	0,000372	0,000046

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigi
E (MPa)	ν	G (MPa)
20800,0	0,18	8822,6



OBSERVACIÓN:

xii. 350fc' 0% pómez, Probeta No 1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

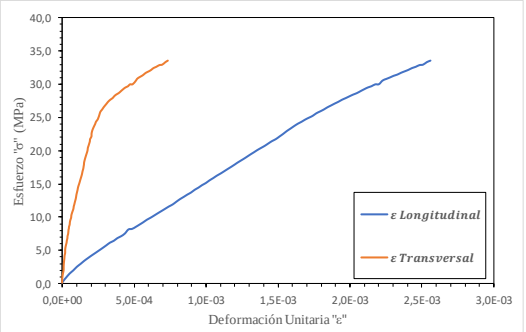
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 0% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	3-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	350 fc'
Tipo	Normal
F. fundición	4-abr
F. ensayo	3-may
Edad espécimen	29 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	151,37
$\Phi_2(mm)$	151,33
$\Phi_3(mm)$	150,84
$\Phi_{prom}(mm)$	151,18
$Área(mm^2)$	17950,58
$e_g(mm)$	121,10
$e_r(mm)$	131,28
$e_g + e_r(mm)$	252,38
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,520
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\,long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\,tran}(mm)$	252,38
Carga Ult (N)	807700
40% C.Últ (N)	323080
Masa (Kg)	13,21
PU (Kg/m³)	2412,82
S Últ (Mpa)	45,00

Probeta No 1

P (N)	S (MPa)	g_{longit} (mm)	g'_{transv} (mm)	d (mm)	d' (mm)	ε_{long}	ε_{tran}
2183	0,1	0,000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
11248	0,6	0,010	0,000254	0,005202	0,000132	0,000017	0,000001
15030	0,8	0,015	0,000508	0,007803	0,000264	0,000026	0,000001
26519	1,5	0,030	0,002540	0,015605	0,001321	0,000051	0,000005
35097	2,0	0,045	0,004826	0,023408	0,002510	0,000077	0,000010
45098	2,5	0,060	0,005080	0,031210	0,002642	0,000102	0,000010
52889	2,9	0,075	0,005588	0,039013	0,002907	0,000128	0,000012
61231	3,4	0,090	0,006604	0,046815	0,003435	0,000153	0,000014
68529	3,8	0,105	0,007595	0,054618	0,003950	0,000179	0,000016
75615	4,2	0,120	0,008255	0,062420	0,004294	0,000205	0,000017
82299	4,6	0,135	0,010135	0,070223	0,005272	0,000230	0,000021
89133	5,0	0,150	0,010160	0,078025	0,005285	0,000256	0,000021
95983	5,3	0,165	0,010922	0,085828	0,005681	0,000281	0,000023
103135	5,7	0,180	0,012700	0,093630	0,006606	0,000307	0,000026
110384	6,1	0,195	0,014986	0,101433	0,007795	0,000333	0,000031
115188	6,42	0,21	0,015621	0,109235	0,008126	0,000358	0,000032
122560	6,83	0,225	0,017780	0,117038	0,009249	0,000384	0,000037
127654	7,11	0,24	0,018085	0,124840	0,009407	0,000409	0,000037
134664	7,5	0,255	0,020320	0,132643	0,010570	0,000435	0,000042
145930	8,13	0,27	0,021590	0,140445	0,011230	0,000460	0,000044
147538	8,22	0,29	0,022606	0,148248	0,011759	0,000486	0,000047
152967	8,52	0,3	0,023089	0,156050	0,012010	0,000512	0,000048
159074	8,86	0,315	0,025375	0,163853	0,013199	0,000537	0,000052
165270	9,21	0,33	0,026035	0,171655	0,013543	0,000563	0,000054
172166	9,59	0,345	0,027940	0,179458	0,014533	0,000588	0,000058
177626	9,9	0,36	0,030277	0,187260	0,015749	0,000614	0,000062
183714	10,2	0,375	0,030988	0,195063	0,016119	0,000640	0,000064
189956	10,6	0,39	0,033020	0,202866	0,017176	0,000665	0,000068
195935	10,9	0,405	0,035535	0,210668	0,018484	0,000691	0,000073
202015	11,3	0,42	0,038075	0,218471	0,019805	0,000716	0,000078
208152	11,6	0,435	0,039116	0,226273	0,020347	0,000742	0,000081
213485	11,9	0,45	0,041021	0,234076	0,021338	0,000767	0,000085
220850	12,3	0,465	0,043180	0,241878	0,022461	0,000793	0,000089
227918	12,7	0,48	0,045593	0,249681	0,023716	0,000819	0,000094
233900	13	0,495	0,046990	0,257483	0,024443	0,000844	0,000097
240222	13,4	0,51	0,048260	0,265286	0,025103	0,000870	0,000099
245824	13,7	0,525	0,049911	0,273088	0,025962	0,000895	0,000103
253208	14,1	0,54	0,052070	0,280891	0,027085	0,000921	0,000107
258971	14,4	0,555	0,053340	0,288693	0,027746	0,000947	0,000110
265800	14,8	0,57	0,055880	0,296496	0,029067	0,000972	0,000115
271335	15,1	0,585	0,058166	0,304298	0,030256	0,000998	0,000120
278550	15,5	0,6	0,060706	0,312101	0,031577	0,001023	0,000125
284686	15,9	0,615	0,062992	0,319903	0,032766	0,001049	0,000130
291318	16,2	0,63	0,065532	0,327706	0,034088	0,001074	0,000135
297016	16,5	0,645	0,067310	0,335508	0,035013	0,001100	0,000139

M. de Elaticidad E (MPa)	Relacion de Poisson ν	Módulo de Rigid G (MPa)
14328,7	0,13	6356,1



OBSERVACIÓN:

xiii. 350fc' 0% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

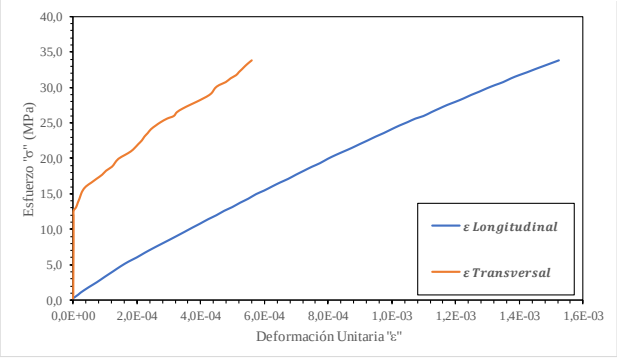
ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 0% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	3-may-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	350 fc'
Tipo	Normal
F. fundición	4-abr
F. ensayo	3-may
Edad espécimen	29 días
Tipo de Falla	No 2
$\phi_1(mm)$	150,68
$\phi_2(mm)$	150,87
$\phi_3(mm)$	151,23
$\phi_{prom}(mm)$	150,93
$Área(mm^2)$	17890,47
$e_g(mm)$	122,76
$e_r(mm)$	126,63
$e_g + e_r(mm)$	249,39
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,508
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	249,39
Carga Ult (N)	828000
40% $C.Últ\ (N)$	331200
Masa (Kg)	13,32
PU (Kg/m^3)	2441,08
S Últ (Mpa)	46,28

Probeta No 3								
P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
3709	0,2	0,000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
13037	0,7	0,010	0,000254	0,005078	0,000254	0,000017	0,000001
18712	1,0	0,015	0,000279	0,007616	0,000279	0,000025	0,000001
32090	1,8	0,030	0,000282	0,015233	0,000282	0,000050	0,000001
44478	2,5	0,045	0,000305	0,022849	0,000305	0,000075	0,000001
58224	3,3	0,060	0,000330	0,030466	0,000330	0,000100	0,000001
71469	4,0	0,075	0,000356	0,038082	0,000356	0,000125	0,000001
84911	4,7	0,090	0,000381	0,045698	0,000381	0,000150	0,000002
96927	5,4	0,105	0,000406	0,053315	0,000406	0,000175	0,000002
107152	6,0	0,120	0,000432	0,060931	0,000432	0,000200	0,000002
118875	6,6	0,135	0,000457	0,068547	0,000457	0,000225	0,000002
129847	7,3	0,150	0,000483	0,076164	0,000483	0,000250	0,000002
140337	7,8	0,165	0,000508	0,083780	0,000508	0,000275	0,000002
150665	8,4	0,180	0,000511	0,091397	0,000511	0,000300	0,000002
161189	9,0	0,195	0,000513	0,099013	0,000513	0,000325	0,000002
171905	9,6	0,210	0,000516	0,106629	0,000516	0,000350	0,000002
182785	10,2	0,225	0,000518	0,114246	0,000518	0,000375	0,000002
193267	10,8	0,240	0,000521	0,121862	0,000521	0,000400	0,000002
204266	11,4	0,255	0,000523	0,129479	0,000523	0,000425	0,000002
214000	12,0	0,270	0,000526	0,137095	0,000526	0,000449	0,000002
225392	12,6	0,285	0,000528	0,144711	0,000528	0,000474	0,000002
234695	13,1	0,300	0,002540	0,152328	0,002540	0,000499	0,000010
245888	13,7	0,315	0,003810	0,159944	0,003810	0,000524	0,000015
255817	14,3	0,330	0,005080	0,167560	0,005080	0,000549	0,000020
267587	15,0	0,345	0,006350	0,175177	0,006350	0,000574	0,000025
276529	15,5	0,360	0,007620	0,182793	0,007620	0,000599	0,000031
286885	16,0	0,375	0,010160	0,190410	0,010160	0,000624	0,000041
296890	16,6	0,390	0,014478	0,198026	0,014478	0,000649	0,000058
305937	17,1	0,405	0,018288	0,205642	0,018288	0,000674	0,000073
316699	17,7	0,420	0,022860	0,213259	0,022860	0,000699	0,000092
326778	18,3	0,435	0,025908	0,220875	0,025908	0,000724	0,000104
336811	18,8	0,450	0,030480	0,228492	0,030480	0,000749	0,000122

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigi
E (MPa)	ν	G (MPa)
24398,3	0,16	10500,6



OBSERVACIÓN:

xiv. 350fc' 40% pómez, Probeta No 1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

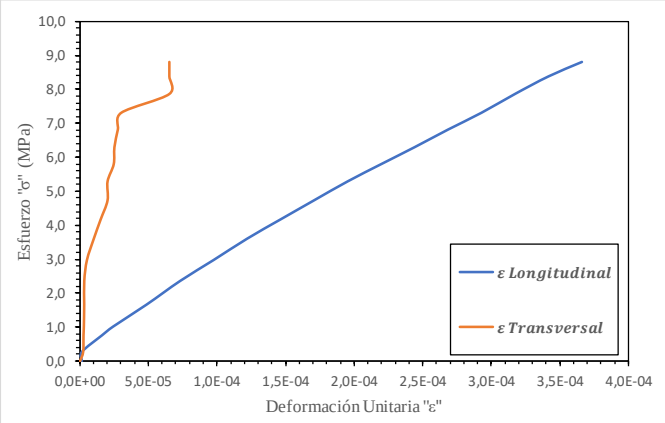
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 40% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	2-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	350 fc'
Tipo	40%
F. fundición	5-may
F. ensayo	2-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	149,98
$\Phi_2(mm)$	150,05
$\Phi_3(mm)$	149,46
$\Phi_{prom}(mm)$	149,83
$Área(mm^2)$	17631,43
$e_g(mm)$	125,81
$e_r(mm)$	123,76
$e_g + e_r(mm)$	249,57
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,496
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\ tran}(mm)$	249,57
$Carga\ Ult\ (N)$	224360
$40\%\ C.Últ\ (N)$	89744
Masa (Kg)	11,21
$PU\ \ (Kg/m^3)$	2084,58
$S\ Últ\ \ (Mpa)$	12,73

Probeta No 1

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
4765	0,3	0,00100	0,00114	0,00050	0,00057	0,000002	0,000002
13327	0,8	0,01000	0,00127	0,00496	0,00063	0,000016	0,000003
17868	1,0	0,01500	0,00140	0,00744	0,00069	0,000024	0,000003
29277	1,7	0,03000	0,00152	0,01488	0,00076	0,000049	0,000003
41509	2,4	0,04500	0,00155	0,02232	0,00077	0,000073	0,000003
52353	3,0	0,06000	0,00254	0,02975	0,00126	0,000098	0,000005
63418	3,6	0,07500	0,00508	0,03719	0,00252	0,000122	0,000010
73419	4,2	0,09000	0,00762	0,04463	0,00378	0,000146	0,000015
83302	4,7	0,10500	0,01016	0,05207	0,00504	0,000171	0,000020
93094	5,3	0,12000	0,01016	0,05951	0,00504	0,000195	0,000020
102033	5,8	0,13500	0,01245	0,06695	0,00617	0,000219	0,000025
110836	6,3	0,15000	0,01270	0,07438	0,00630	0,000244	0,000025
119968	6,8	0,16500	0,01397	0,08182	0,00693	0,000268	0,000028
128703	7,3	0,18000	0,01524	0,08926	0,00756	0,000293	0,000030
138448	7,9	0,19500	0,03302	0,09670	0,01637	0,000317	0,000066
147538	8,4	0,21000	0,03302	0,10414	0,01637	0,000341	0,000066
155045	8,8	0,22500	0,03302	0,11158	0,01637	0,000366	0,000066

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigide
E (MPa)	ν	G (MPa)
24821,9	0,13	11027,5



OBSERVACIÓN:

xv. 350fc’ 40% pómez, Probeta No 2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

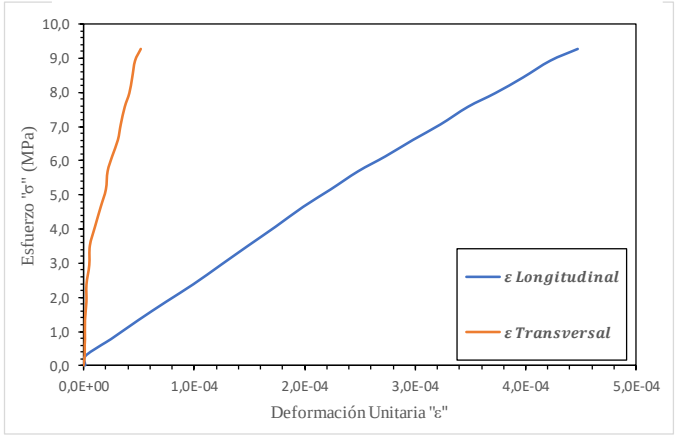
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 40% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	2-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	2
Resistencia	350 fc'
Tipo	40%
F. fundición	5-may
F. ensayo	2-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	150,39
$\Phi_2(mm)$	151,01
$\Phi_3(mm)$	151,22
$\Phi_{prom}(mm)$	150,87
$Área(mm^2)$	17877,83
$e_g(mm)$	124,00
$e_r(mm)$	126,44
$e_g + e_r(mm)$	250,44
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,505
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,44
$Carga\ Ult\ (N)$	254880
$40\%\ C.Últ\ (N)$	101952
Masa (Kg)	11,48
$PU\ \ (Kg/m^3)$	2105,36
$S\ Últ\ \ (Mpa)$	14,26

Probeta No 2

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
4776	0,3	0,00100	0,00048	0,00050	0,00024	0,000002	0,000001
10764	0,6	0,01000	0,00051	0,00505	0,00026	0,000017	0,000001
13697	0,8	0,01500	0,00064	0,00757	0,00032	0,000025	0,000001
23675	1,3	0,03000	0,00064	0,01515	0,00032	0,000050	0,000001
33208	1,9	0,04500	0,00127	0,02272	0,00064	0,000074	0,000003
42458	2,4	0,06000	0,00130	0,03029	0,00065	0,000099	0,000003
52580	2,9	0,07500	0,00254	0,03787	0,00128	0,000124	0,000005
62716	3,5	0,09000	0,00279	0,04544	0,00141	0,000149	0,000006
72675	4,1	0,10500	0,00508	0,05301	0,00256	0,000174	0,000010
83052	4,6	0,12000	0,00762	0,06058	0,00385	0,000199	0,000015
92174	5,2	0,13500	0,00991	0,06816	0,00500	0,000223	0,000020
101672	5,7	0,15000	0,01067	0,07573	0,00539	0,000248	0,000022
109553	6,1	0,16500	0,01270	0,08330	0,00641	0,000273	0,000026
118148	6,6	0,18000	0,01524	0,09088	0,00769	0,000298	0,000031
126244	7,1	0,19500	0,01651	0,09845	0,00834	0,000323	0,000033
135477	7,6	0,21000	0,01829	0,10602	0,00923	0,000348	0,000037
142694	8,0	0,22500	0,02032	0,11360	0,01026	0,000372	0,000041
150826	8,4	0,24000	0,02159	0,12117	0,01090	0,000397	0,000044
159671	8,9	0,25500	0,02286	0,12874	0,01154	0,000422	0,000046
165840	9,3	0,27000	0,02540	0,13632	0,01282	0,000447	0,000051

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigide
E (MPa)	ν	G (MPa)
21945,7	0,10	9955,5



OBSERVACIÓN:

xvi. 350fc' 40% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

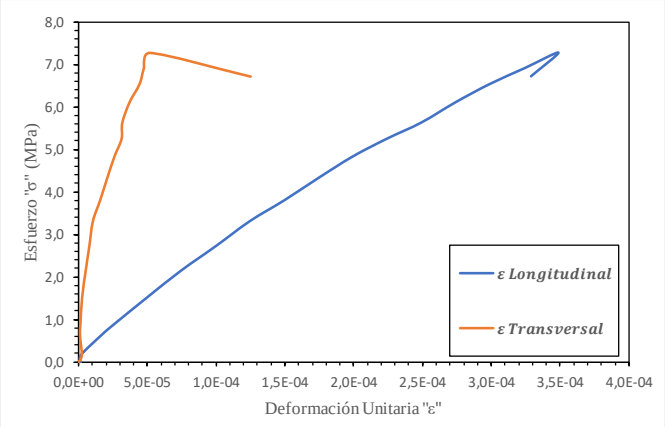
ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 40% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	2-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	350 fc'
Tipo	40%
F. fundición	5-may
F. ensayo	2-jun
Edad espécimer	28 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	150,52
$\phi_2(mm)$	150,56
$\phi_3(mm)$	150,64
$\phi_{prom}(mm)$	150,57
$Área(mm^2)$	17806,81
$e_g(mm)$	121,75
$e_r(mm)$	125,00
$e_g + e_r(mm)$	246,75
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,507
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	246,75
Carga Ult (N)	215940
40% C. Últ (N)	86376
Masa (Kg)	11,47
PU (Kg/m^3)	2111,92
S Últ (Mpa)	12,13

Probeta No 3							
P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00051	0,00000	0,000002	0,000000
2974	0,2	0,00100	0,00114	0,00051	0,00058	0,000002	0,000002
11312	0,6	0,01000	0,00051	0,00507	0,00026	0,000017	0,000001
15450	0,9	0,01500	0,00064	0,00760	0,00032	0,000025	0,000001
27078	1,5	0,03000	0,00127	0,01520	0,00064	0,000050	0,000003
38383	2,2	0,04500	0,00254	0,02280	0,00129	0,000075	0,000005
48469	2,7	0,06000	0,00381	0,03040	0,00193	0,000100	0,000008
58975	3,3	0,07500	0,00508	0,03799	0,00257	0,000125	0,000010
67643	3,8	0,09000	0,00762	0,04559	0,00386	0,000149	0,000016
77008	4,3	0,10500	0,01016	0,05319	0,00515	0,000174	0,000021
85972	4,8	0,12000	0,01270	0,06079	0,00643	0,000199	0,000026
93423	5,2	0,13500	0,01524	0,06839	0,00772	0,000224	0,000031
100141	5,6	0,15000	0,01549	0,07599	0,00785	0,000249	0,000032
108629	6,1	0,16500	0,01803	0,08359	0,00914	0,000274	0,000037
116268	6,5	0,18000	0,02159	0,09119	0,01094	0,000299	0,000044
122776	6,9	0,19500	0,02311	0,09878	0,01171	0,000324	0,000047
129366	7,3	0,21000	0,02540	0,10638	0,01287	0,000349	0,000052
119462	6,7	0,19800	0,06096	0,10030	0,03088	0,000329	0,000125

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigi
E (MPa)	v	G (MPa)
22073,7	0,16	9535,0



OBSERVACIÓN:

xvii. 350fc’ 55% pómez, Probeta No 1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

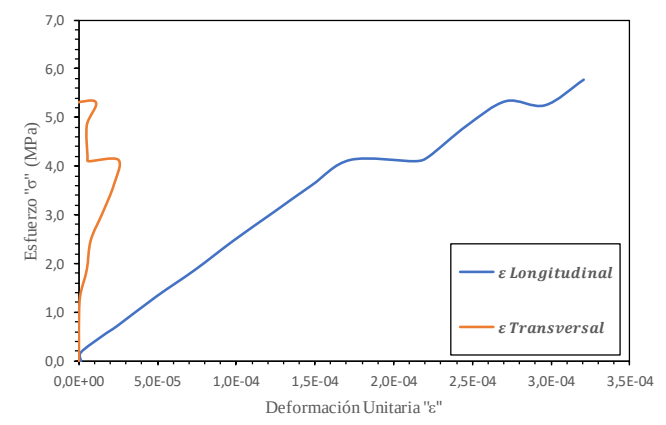
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 55% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	6-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	350 fc'
Tipo	55%
F. fundición	9-may
F. ensayo	6-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 2
$\phi_1(mm)$	149,54
$\phi_2(mm)$	149,33
$\phi_3(mm)$	150,30
$\phi_{prom}(mm)$	149,72
$Área(mm^2)$	17606,33
$e_g(mm)$	125,83
$e_r(mm)$	126,45
$e_g + e_r(mm)$	252,28
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,501
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	252,28
Carga Ult (N)	104670
40% $C.Últ\ (N)$	41868
Masa (Kg)	10,43
PU (Kg/m^3)	1942,30
S Últ (Mpa)	5,95

Probeta No 1

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
3228	0,2	0,00100	0,00003	0,00050	0,00001	0,000002	0,000000
9601	0,5	0,01000	0,00003	0,00501	0,00001	0,000016	0,000000
12728	0,7	0,01500	0,00003	0,00752	0,00001	0,000025	0,000000
23291	1,3	0,03000	0,00038	0,01504	0,00019	0,000049	0,000001
32970	1,9	0,04500	0,00254	0,02256	0,00127	0,000074	0,000005
43607	2,5	0,06000	0,00381	0,03007	0,00191	0,000099	0,000008
53528	3,0	0,07500	0,00762	0,03759	0,00382	0,000123	0,000015
63463	3,6	0,09000	0,01118	0,04511	0,00560	0,000148	0,000022
72647	4,1	0,10500	0,01270	0,05263	0,00637	0,000173	0,000025
72174	4,1	0,13000	0,00305	0,06516	0,00153	0,000214	0,000006
73696	4,2	0,13500	0,00279	0,06767	0,00140	0,000222	0,000006
85090	4,8	0,15000	0,00254	0,07518	0,00127	0,000247	0,000005
93844	5,3	0,16500	0,00508	0,08270	0,00255	0,000271	0,000010
92334	5,2	0,18000	-0,00889	0,09022	-0,00446	0,000296	-0,000018
101583	5,8	0,19500	-0,00914	0,09774	-0,00458	0,000320	-0,000018

M. de Elaticidac	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	v	G (MPa)
23322,7	0,14	10221,5



OBSERVACIÓN:

xviii. 350fc’ 55% pómez, Probeta No 2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

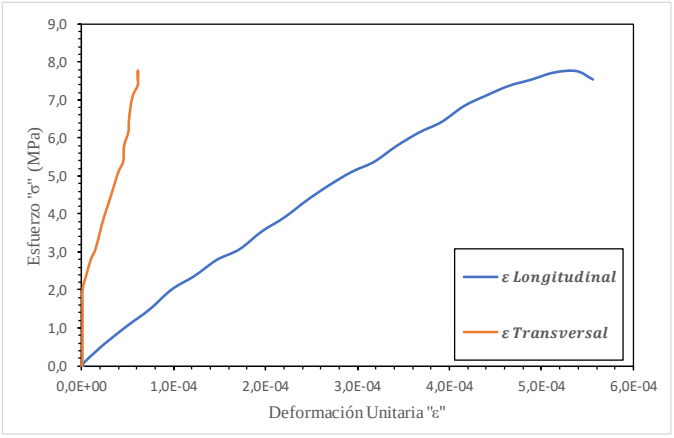
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 55% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	6-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	2
Resistencia	350 fc'
Tipo	55%
F. fundición	9-may
F. ensayo	6-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 7
$\phi_1(mm)$	150,34
$\phi_2(mm)$	150,31
$\phi_3(mm)$	150,43
$\phi_{prom}(mm)$	150,36
$Área(mm^2)$	17756,38
$e_g(mm)$	126,00
$e_r(mm)$	124,86
$e_g + e_r(mm)$	250,86
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,498
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	250,86
$Carga\ Ult\ (N)$	134068
$40\%\ C.Últ\ (N)$	53627,2
Masa (Kg)	10,36
$PU\ \ (Kg/m^3)$	1912,96
$S\ Últ\ \ (Mpa)$	7,55

Probeta No 2

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
1473	0,1	0,00100	0,00051	0,00050	0,00025	0,000002	0,000001
7374	0,4	0,01000	0,00056	0,00498	0,00028	0,000016	0,000001
10478	0,6	0,01500	0,00058	0,00747	0,00029	0,000024	0,000001
18813	1,1	0,03000	0,00061	0,01493	0,00030	0,000049	0,000001
26524	1,5	0,04500	0,00064	0,02240	0,00032	0,000073	0,000001
35975	2,0	0,06000	0,00066	0,02986	0,00033	0,000098	0,000001
42195	2,4	0,07500	0,00254	0,03733	0,00126	0,000122	0,000005
49757	2,8	0,09000	0,00508	0,04480	0,00253	0,000147	0,000010
54648	3,1	0,10500	0,00762	0,05226	0,00379	0,000171	0,000015
63025	3,5	0,12000	0,01016	0,05973	0,00506	0,000196	0,000020
69541	3,9	0,13500	0,01219	0,06719	0,00607	0,000220	0,000024
77538	4,4	0,15000	0,01524	0,07466	0,00759	0,000245	0,000030
84656	4,8	0,16500	0,01778	0,08213	0,00885	0,000269	0,000035
90859	5,1	0,18000	0,02007	0,08959	0,00999	0,000294	0,000040
95610	5,4	0,19500	0,02261	0,09706	0,01125	0,000318	0,000045
103005	5,8	0,21000	0,02311	0,10452	0,01150	0,000343	0,000046
109278	6,2	0,22500	0,02540	0,11199	0,01264	0,000367	0,000050
114213	6,4	0,24000	0,02565	0,11945	0,01277	0,000392	0,000051

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	*v*	G (MPa)
16708,1	0,11	7522,2



OBSERVACIÓN:

xix. 350fc’ 55% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

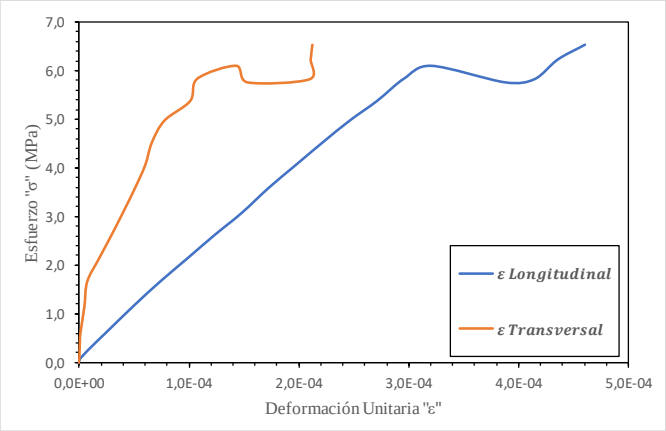
ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 55% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	6-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	350 fc'
Tipo	55%
F. fundición	9-may
F. ensayo	6-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 7
$\phi_1(mm)$	150,57
$\phi_2(mm)$	151,56
$\phi_3(mm)$	151,37
$\phi_{prom}(mm)$	151,17
$Área(mm^2)$	17947,42
$e_g(mm)$	124,20
$e_r(mm)$	125,21
$e_g + e_r(mm)$	249,41
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,502
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	249,41
Carga Ult (N)	142800
40% $C.Últ\ (N)$	57120
Masa (Kg)	10,45
PU (Kg/m^3)	1909,04
S Últ (Mpa)	7,96

Probeta No 3							
P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000000	0,000000
1718	0,1	0,00100	0,00025	0,00050	0,00013	0,000002	0,000001
7836	0,4	0,01000	0,00051	0,00502	0,00026	0,000016	0,000001
11044	0,6	0,01500	0,00076	0,00753	0,00038	0,000025	0,000002
20758	1,2	0,03000	0,00254	0,01506	0,00128	0,000049	0,000005
29937	1,7	0,04500	0,00381	0,02259	0,00191	0,000074	0,000008
38462	2,1	0,06000	0,00914	0,03012	0,00459	0,000099	0,000018
47066	2,6	0,07500	0,01473	0,03765	0,00740	0,000123	0,000030
55218	3,1	0,09000	0,01981	0,04518	0,00995	0,000148	0,000040
64523	3,6	0,10500	0,02540	0,05271	0,01275	0,000173	0,000051
72972	4,1	0,12000	0,02997	0,06024	0,01505	0,000198	0,000060
81393	4,5	0,13500	0,03302	0,06777	0,01658	0,000222	0,000066
89465	5,0	0,15000	0,03874	0,07530	0,01945	0,000247	0,000078
96664	5,4	0,16500	0,05029	0,08283	0,02525	0,000272	0,000101
104949	5,8	0,18000	0,05359	0,09036	0,02691	0,000296	0,000108
109639	6,1	0,19500	0,07112	0,09789	0,03570	0,000321	0,000143
103508	5,8	0,23600	0,07620	0,11848	0,03825	0,000388	0,000153
104664	5,8	0,25200	0,10414	0,12651	0,05228	0,000415	0,000210
111965	6,2	0,26500	0,10465	0,13304	0,05254	0,000436	0,000211
117406	6,5	0,28000	0,10541	0,14057	0,05292	0,000461	0,000212

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidé
E (MPa)	v	G (MPa)
19510,3	0,36	7180,4



OBSERVACIÓN:

xx. 350fc’ 70% pómez, Probeta No 1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

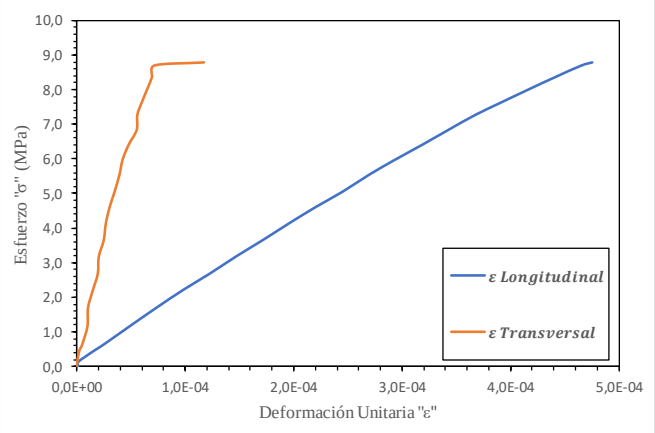
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 70% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	7-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	350 fc'
Tipo	70%
F. fundición	10-may
F. ensayo	7-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	149
$\phi_2(mm)$	150
$\phi_3(mm)$	149,6
$\phi_{prom}(mm)$	149,53
$Área(mm^2)$	17561,67
$e_g(mm)$	127,00
$e_r(mm)$	126,00
$e_g + e_r(mm)$	253
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,498
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	253
Carga Ult (N)	154138
40% $C.Últ\ (N)$	61655,2
Masa (Kg)	10,41
PU (Kg/m^3)	1943,50
S Últ (Mpa)	8,78

Probeta No 1

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
2183	0,1	0,00100	0,00025	0,00050	0,00013	0,000002	0,000000
7907	0,5	0,01000	0,00127	0,00498	0,00063	0,000016	0,000002
10766	0,6	0,01500	0,00254	0,00747	0,00126	0,000024	0,000005
20255	1,2	0,03000	0,00508	0,01494	0,00253	0,000049	0,000010
29584	1,7	0,04500	0,00533	0,02241	0,00266	0,000073	0,000010
38586	2,2	0,06000	0,00762	0,02988	0,00379	0,000098	0,000015
46843	2,7	0,07500	0,00991	0,03735	0,00493	0,000122	0,000019
55646	3,2	0,09000	0,01041	0,04482	0,00519	0,000147	0,000020
63904	3,6	0,10500	0,01270	0,05229	0,00632	0,000171	0,000025
72500	4,1	0,12000	0,01372	0,05976	0,00683	0,000196	0,000027
80766	4,6	0,13500	0,01549	0,06723	0,00772	0,000220	0,000030
88455	5,0	0,15000	0,01778	0,07470	0,00885	0,000245	0,000035
97070	5,5	0,16500	0,02007	0,08217	0,00999	0,000269	0,000039
104886	6,0	0,18000	0,02159	0,08964	0,01075	0,000294	0,000042
112298	6,4	0,19500	0,02438	0,09711	0,01214	0,000318	0,000048
119982	6,8	0,21000	0,02819	0,10458	0,01404	0,000343	0,000055
127474	7,3	0,22500	0,02845	0,11206	0,01417	0,000367	0,000056
133977	7,6	0,24000	0,03061	0,11953	0,01524	0,000392	0,000060
140389	8,0	0,25500	0,03302	0,12700	0,01644	0,000416	0,000065

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidé
E (MPa)	v	G (MPa)
20346,8	0,12	9084,8



OBSERVACIÓN:

xxi. 350fc’ 70% pómez, Probeta No 2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

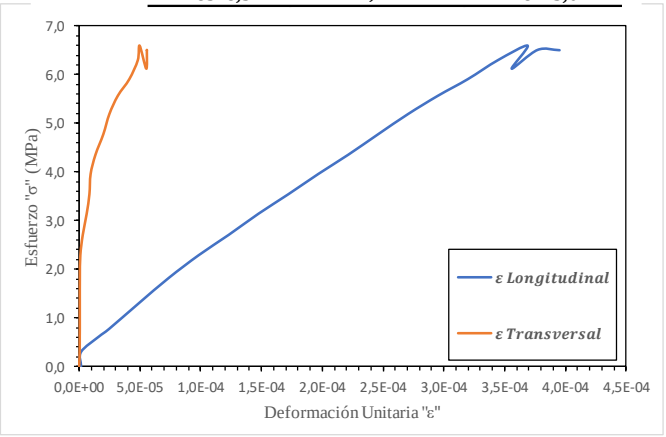
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 70% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	7-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	2
Resistencia	350 fc'
Tipo	70%
F. fundición	10-may
F. ensayo	7-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	151
$\Phi_2(mm)$	150,3
$\Phi_3(mm)$	149,9
$\Phi_{prom}(mm)$	150,40
$Área(mm^2)$	17765,83
$e_g(mm)$	126,86
$e_r(mm)$	127,00
$e_g + e_r(mm)$	253,86
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,500
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\ tran}(mm)$	253,86
$Carga\ Ult\ (N)$	144420
$40\%\ C.Últ\ (N)$	57768
Masa (Kg)	10,57
$PU\ \ (Kg/m^3)$	1950,70
$S\ Últ\ \ (Mpa)$	8,13

Probeta No 2

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
5308	0,3	0,00100	0,00023	0,00050	0,00011	0,000002	0,000000
10936	0,6	0,01000	0,00025	0,00500	0,00013	0,000016	0,000001
13669	0,8	0,01500	0,00028	0,00750	0,00014	0,000025	0,000001
23118	1,3	0,03000	0,00028	0,01501	0,00014	0,000049	0,000001
32369	1,8	0,04500	0,00030	0,02251	0,00015	0,000074	0,000001
40672	2,3	0,06000	0,00051	0,03002	0,00025	0,000098	0,000001
48081	2,7	0,07500	0,00152	0,03752	0,00076	0,000123	0,000003
55847	3,1	0,09000	0,00318	0,04502	0,00159	0,000148	0,000006
62983	3,5	0,10500	0,00432	0,05253	0,00216	0,000172	0,000009
70388	4,0	0,12000	0,00483	0,06003	0,00241	0,000197	0,000010
77420	4,4	0,13500	0,00686	0,06754	0,00343	0,000221	0,000014
84924	4,8	0,15000	0,01016	0,07504	0,00508	0,000246	0,000020
92307	5,2	0,16500	0,01270	0,08255	0,00635	0,000271	0,000025
99003	5,6	0,18000	0,01626	0,09005	0,00813	0,000295	0,000032
105080	5,9	0,19500	0,02108	0,09755	0,01055	0,000320	0,000042
111990	6,3	0,21000	0,02464	0,10506	0,01233	0,000344	0,000049
117339	6,6	0,22500	0,02540	0,11256	0,01271	0,000369	0,000050
108888	6,1	0,21700	0,02819	0,10856	0,01410	0,000356	0,000056
115779	6,5	0,23000	0,02845	0,11506	0,01423	0,000377	0,000056
115670	6,5	0,24100	0,02845	0,12057	0,01423	0,000395	0,000056

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidé
E (MPa)	v	G (MPa)
18548,5	0,06	8745,6



OBSERVACIÓN:

xxii. 350fc’ 70% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

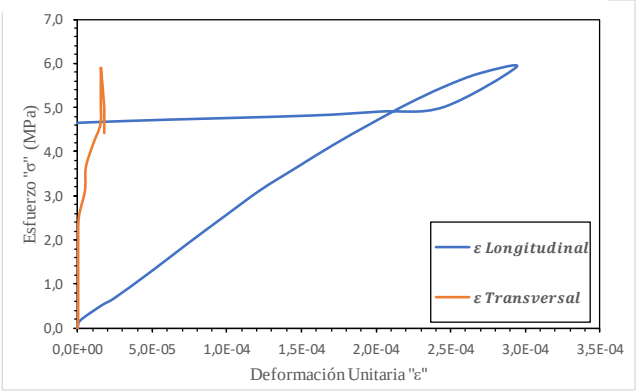
ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 70% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	7-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	350 fc'
Tipo	70%
F. fundición	10-may
F. ensayo	7-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 5
$\phi_1(mm)$	149
$\phi_2(mm)$	150
$\phi_3(mm)$	149,6
$\phi_{prom}(mm)$	149,53
$Área(mm^2)$	17561,67
$e_g(mm)$	127,00
$e_r(mm)$	126,00
$e_g + e_r(mm)$	253
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,498
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	253
$Carga\ Ult\ (N)$	143600
$40\%\ C.Últ\ (N)$	57440
Masa (Kg)	9,96
$PU\ \ (Kg/m^3)$	1859,49
$S\ Últ\ \ (Mpa)$	8,18

Probeta No 3							
P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,000000	0,000000
3135	0,2	0,00100	0,00025	0,00050	0,00013	0,000002	0,000000
9267	0,5	0,01000	0,00028	0,00498	0,00014	0,000016	0,000001
12000	0,7	0,01500	0,00028	0,00747	0,00014	0,000024	0,000001
22530	1,3	0,03000	0,00028	0,01494	0,00014	0,000049	0,000001
33615	1,9	0,04500	0,00028	0,02241	0,00014	0,000073	0,000001
44401	2,5	0,06000	0,00051	0,02988	0,00025	0,000098	0,000001
54999	3,1	0,07500	0,00254	0,03735	0,00126	0,000122	0,000005
64063	3,6	0,09000	0,00279	0,04482	0,00139	0,000147	0,000005
72998	4,2	0,10500	0,00508	0,05229	0,00253	0,000171	0,000010
81220	4,6	0,12000	0,00762	0,05976	0,00379	0,000196	0,000015
89043	5,1	0,13500	0,00775	0,06723	0,00386	0,000220	0,000015
95908	5,5	0,15000	0,00775	0,07470	0,00386	0,000245	0,000015
101392	5,8	0,16500	0,00777	0,08217	0,00387	0,000269	0,000015
103836	5,9	0,18000	0,00780	0,08964	0,00388	0,000294	0,000015
87910	5,0	0,15000	0,00889	0,07470	0,00443	0,000245	0,000017
86178	4,9	0,12400	0,00889	0,06175	0,00443	0,000202	0,000017
84577	4,8	0,09500	0,00889	0,04731	0,00443	0,000155	0,000017
82406	4,7	0,01900	0,00889	0,00946	0,00443	0,000031	0,000017
80273	4,6	-0,03200	0,00889	-0,01594	0,00443	-0,000052	0,000017
79106	4,5	-0,05100	0,00889	-0,02540	0,00443	-0,000083	0,000017
78018	4,4	-0,12100	0,00889	-0,06026	0,00443	-0,000198	0,000017
77791	4,4	-0,14900	0,00889	-0,07421	0,00443	-0,000243	0,000017

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidé
E (MPa)	v	G (MPa)
24812,7	0,06	11727,8



OBSERVACIÓN:

xxiii. 350fc’ 85% pómez, Probeta No 1.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

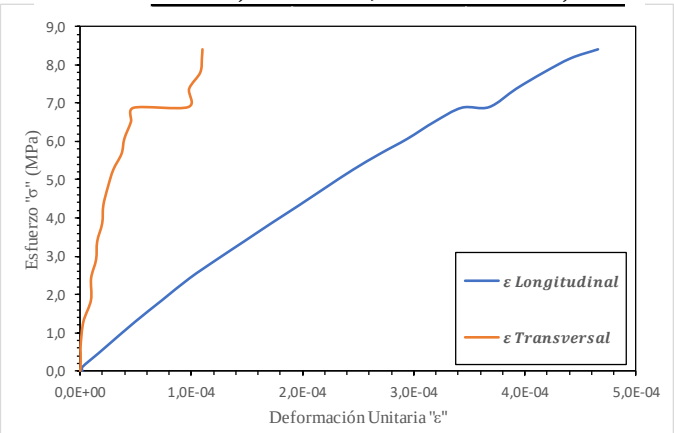
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 85% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	8-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	1
Resistencia	350 fc'
Tipo	85%
F. fundición	11-may
F. ensayo	8-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 7
$\phi_1(mm)$	148,9
$\phi_2(mm)$	148,7
$\phi_3(mm)$	149,1
$\phi_{prom}(mm)$	148,90
$Área(mm^2)$	17413,23
$e_g(mm)$	127,00
$e_r(mm)$	126,00
$e_g + e_r(mm)$	253
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,498
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	253
Carga Ult (N)	146383
40% $C.Últ\ (N)$	58553,2
Masa (Kg)	9,69
PU (Kg/m^3)	1824,50
S Últ (Mpa)	8,41

Probeta No 1

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
1752	0,1	0,00100	0,00025	0,00050	0,00013	0,000002	0,000000
8081	0,5	0,01000	0,00028	0,00498	0,00014	0,000016	0,000001
11651	0,7	0,01500	0,00028	0,00747	0,00014	0,000024	0,000001
22301	1,3	0,03000	0,00152	0,01494	0,00076	0,000049	0,000003
32228	1,9	0,04500	0,00503	0,02241	0,00250	0,000073	0,000010
42127	2,4	0,06000	0,00508	0,02988	0,00253	0,000098	0,000010
50660	2,9	0,07500	0,00737	0,03735	0,00367	0,000122	0,000014
58881	3,4	0,09000	0,00787	0,04482	0,00392	0,000147	0,000015
67148	3,9	0,10500	0,01016	0,05229	0,00506	0,000171	0,000020
75179	4,3	0,12000	0,01067	0,05976	0,00531	0,000196	0,000021
83425	4,8	0,13500	0,01270	0,06723	0,00632	0,000220	0,000025
91539	5,3	0,15000	0,01524	0,07470	0,00759	0,000245	0,000030
98856	5,7	0,16500	0,01905	0,08217	0,00949	0,000269	0,000037
105643	6,1	0,18000	0,02032	0,08964	0,01012	0,000294	0,000040
113428	6,5	0,19500	0,02337	0,09711	0,01164	0,000318	0,000046
119793	6,9	0,21000	0,02464	0,10458	0,01227	0,000343	0,000048
120069	6,9	0,22500	0,04953	0,11206	0,02467	0,000367	0,000097
128447	7,4	0,24000	0,05004	0,11953	0,02492	0,000392	0,000098
135800	7,8	0,25500	0,05512	0,12700	0,02745	0,000416	0,000108
142307	8,2	0,27000	0,05588	0,13447	0,02783	0,000441	0,000110
146383	8,4	0,28500	0,05613	0,14194	0,02796	0,000465	0,000110

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidé
E (MPa)	ν	G (MPa)
21444,6	0,13	9515,4



OBSERVACIÓN:

xxiv. 350fc’ 85% pómez, Probeta No 2.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

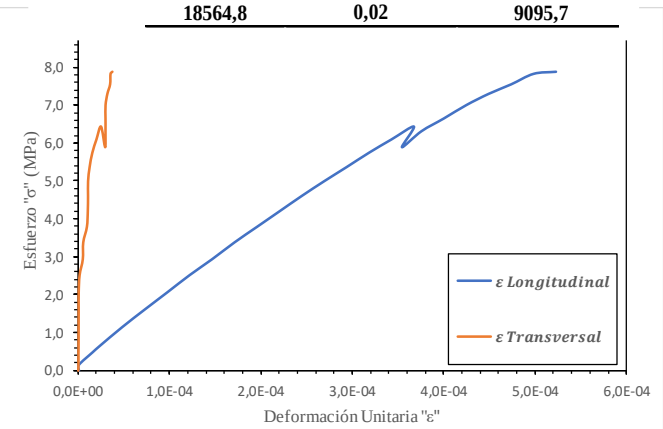
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 85% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	8-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	2
Resistencia	350 fc'
Tipo	85%
F. fundición	11-may
F. ensayo	8-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	149,8
$\Phi_2(mm)$	150,2
$\Phi_3(mm)$	150,3
$\Phi_{prom}(mm)$	150,10
$Área(mm^2)$	17695,03
$e_g(mm)$	127,00
$e_r(mm)$	126,00
$e_g + e_r(mm)$	253
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,498
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\phi L_{efe\ tran}(mm)$	253
Carga Ult (N)	113954
40% $C.Últ\ (N)$	45581,6
Masa (Kg)	10,17
PU (Kg/m^3)	1884,39
S Últ (Mpa)	6,44

Probeta No 2

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
2769	0,2	0,00100	0,00011	0,00050	0,00006	0,000002	0,000000
8526	0,5	0,01000	0,00013	0,00498	0,00006	0,000016	0,000000
11628	0,7	0,01500	0,00018	0,00747	0,00009	0,000024	0,000000
20392	1,2	0,03000	0,00020	0,01494	0,00010	0,000049	0,000000
28573	1,6	0,04500	0,00023	0,02241	0,00011	0,000073	0,000000
36551	2,1	0,06000	0,00025	0,02988	0,00013	0,000098	0,000000
44619	2,5	0,07500	0,00076	0,03735	0,00038	0,000122	0,000001
52025	2,9	0,09000	0,00254	0,04482	0,00126	0,000147	0,000005
59891	3,4	0,10500	0,00279	0,05229	0,00139	0,000171	0,000005
67129	3,8	0,12000	0,00483	0,05976	0,00240	0,000196	0,000009
74358	4,2	0,13500	0,00533	0,06723	0,00266	0,000220	0,000010
81582	4,6	0,15000	0,00546	0,07470	0,00272	0,000245	0,000011
88462	5,0	0,16500	0,00549	0,08217	0,00273	0,000269	0,000011
95051	5,4	0,18000	0,00635	0,08964	0,00316	0,000294	0,000012
101762	5,8	0,19500	0,00787	0,09711	0,00392	0,000318	0,000015
107956	6,1	0,21000	0,01016	0,10458	0,00506	0,000343	0,000020
113954	6,4	0,22500	0,01270	0,11206	0,00632	0,000367	0,000025
104329	5,9	0,21700	0,01499	0,10807	0,00746	0,000354	0,000029
111767	6,3	0,23000	0,01521	0,11455	0,00758	0,000376	0,000030
117738	6,7	0,24500	0,01521	0,12202	0,00758	0,000400	0,000030
123966	7,0	0,26000	0,01524	0,12949	0,00759	0,000425	0,000030

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	ν	G (MPa)
18564,8	0,02	9095,7



OBSERVACIÓN:

xxv. 350fc’ 85% pómez, Probeta No 3.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

ESPECIFICACIÓN: ASTM C469-14

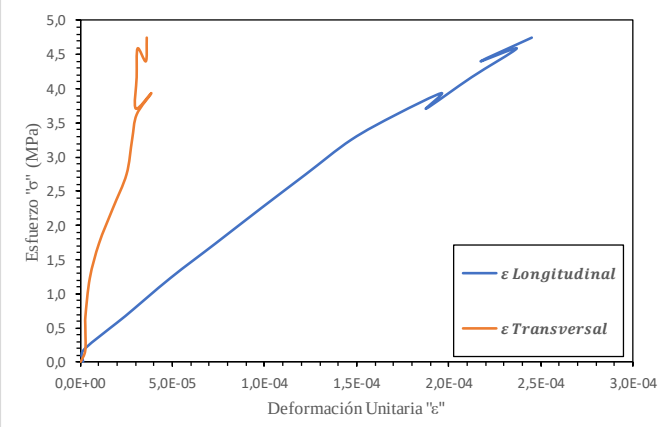
OBRA:	TESIS DE GRADO.	**ENSAYO:**	350 f'c 85% Pómez.
REALIZADO POR:	MICHELLE IVANOVA CHACÓN M.	**FECHA:**	8-jun-22
LABORATORIO:	PUCE	**PROCEDENCIA:**	STO DGO. COTOPAXI

Datos	
Probeta No	3
Resistencia	350 fc'
Tipo	85%
F. fundición	11-may
F. ensayo	8-jun
Edad espécimen	28 días
Tipo de Falla	No 5
$\Phi_1(mm)$	151,98
$\Phi_2(mm)$	150
$\Phi_3(mm)$	151
$\Phi_{prom}(mm)$	150,99
$Área(mm^2)$	17906,28
$e_g(mm)$	127,00
$e_r(mm)$	126,00
$e_g + e_r(mm)$	253
$\frac{e_r}{e_r + e_g}$	0,498
$long_T(mm)$	305
$l_{efec\ long}(mm)$	305
$\Phi L_{efe\ tran}(mm)$	253
Carga Ult (N)	113910
40% *C. Últ* (N)	45564
Masa (Kg)	10,66
PU (Kg/m^3)	1951,87
S Últ (Mpa)	6,36

Probeta No 3

P	S	g_{longit}	g'_{transv}	d	d'	ε_{long}	ε_{tran}
(N)	(MPa)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
0	0,0	0,00100	0,00000	0,00050	0,00000	0,000002	0,000000
2916	0,2	0,00100	0,00127	0,00050	0,00063	0,000002	0,000002
8838	0,5	0,01000	0,00130	0,00498	0,00065	0,000016	0,000003
11941	0,7	0,01500	0,00132	0,00747	0,00066	0,000024	0,000003
21924	1,2	0,03000	0,00254	0,01494	0,00126	0,000049	0,000005
30988	1,7	0,04500	0,00508	0,02241	0,00253	0,000073	0,000010
40141	2,2	0,06000	0,00889	0,02988	0,00443	0,000098	0,000017
49121	2,7	0,07500	0,01270	0,03735	0,00632	0,000122	0,000025
58110	3,2	0,09000	0,01422	0,04482	0,00708	0,000147	0,000028
64737	3,6	0,10500	0,01549	0,05229	0,00772	0,000171	0,000030
70340	3,9	0,12000	0,01956	0,05976	0,00974	0,000196	0,000038
66309	3,7	0,11500	0,01524	0,05727	0,00759	0,000188	0,000030
74503	4,2	0,13000	0,01549	0,06474	0,00772	0,000212	0,000030
82043	4,6	0,14500	0,01575	0,07221	0,00784	0,000237	0,000031
78684	4,4	0,13300	0,01803	0,06624	0,00898	0,000217	0,000035
84876	4,7	0,15000	0,01829	0,07470	0,00911	0,000245	0,000036

M. de Elaticidad	Relacion de Poisson	Módulo de Rigidéz
E (MPa)	ν	G (MPa)
20700,8	0,27	8162,6

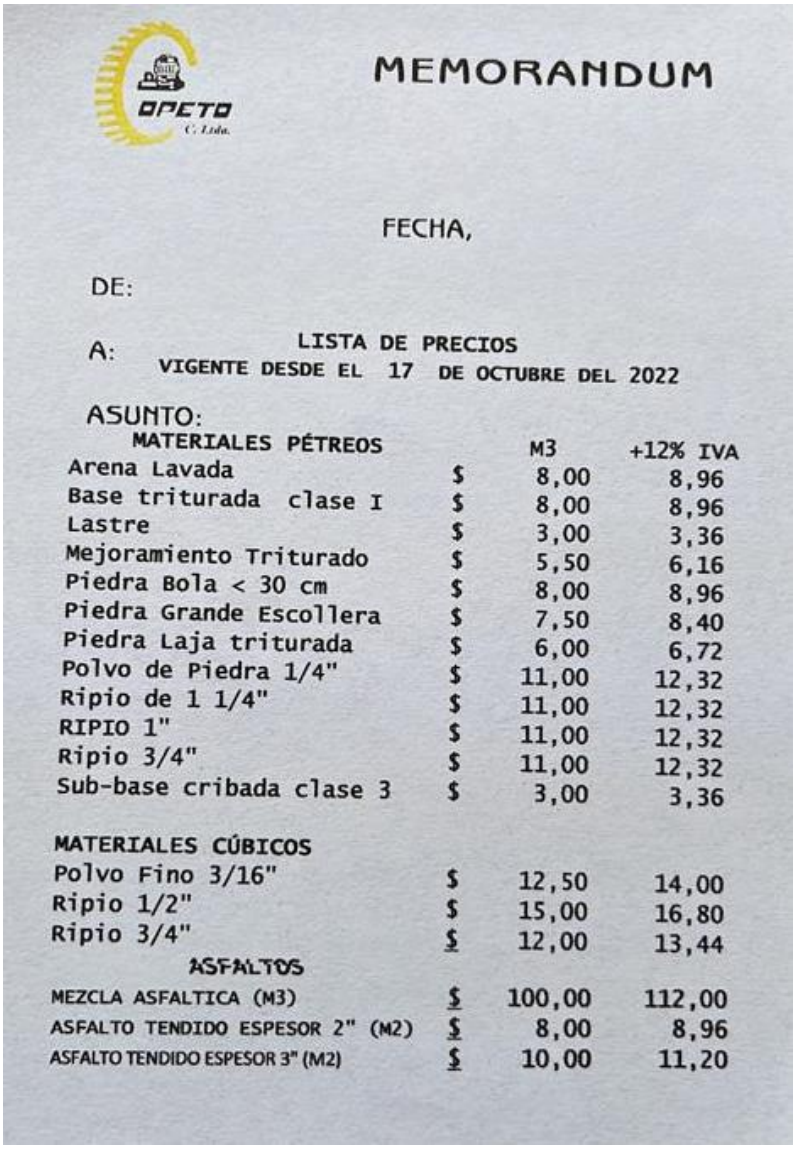


OBSERVACIÓN:

ANEXO D

Costos de materiales.

i. Tabla de costos 2023 Mina COPETO.



MEMORANDUM

FECHA,

DE:

A:

LISTA DE PRECIOS
VIGENTE DESDE EL 17 DE OCTUBRE DEL 2022

ASUNTO:

MATERIALES PÉTREOS		M3	+12% IVA
Arena Lavada	$	8,00	8,96
Base triturada clase I	$	8,00	8,96
Lastre	$	3,00	3,36
Mejoramiento Triturado	$	5,50	6,16
Piedra Bola < 30 cm	$	8,00	8,96
Piedra Grande Escollera	$	7,50	8,40
Piedra Laja triturada	$	6,00	6,72
Polvo de Piedra 1/4"	$	11,00	12,32
Ripio de 1 1/4"	$	11,00	12,32
RIPIO 1"	$	11,00	12,32
Ripio 3/4"	$	11,00	12,32
Sub-base cribada clase 3	$	3,00	3,36
MATERIALES CÚBICOS			
Polvo Fino 3/16"	$	12,50	14,00
Ripio 1/2"	$	15,00	16,80
Ripio 3/4"	$	12,00	13,44
ASFALTOS			
MEZCLA ASFALTICA (M3)	$	100,00	112,00
ASFALTO TENDIDO ESPESOR 2" (M2)	$	8,00	8,96
ASFALTO TENDIDO ESPESOR 3" (M2)	$	10,00	11,20

ii. Costos de la Arena lavada y Ripio de 1 pulg, Mina COPETO, y ensayos realizados por la empresa.

