



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN
ADOQUINES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y HORMIGÓN
PERMEABLE REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO”**

AUTORA: Carla Alexandra Reinoso Bonilla

TUTOR: Ing. Msc. Favio Paul Portilla Yandún

AMBATO - ECUADOR

Febrero - 2023

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y HORMIGÓN PERMEABLE REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO.”** elaborado por la Srta. **Carla Alexandra Reinoso Bonilla**, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 050317405-4, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2023



.....
Ing. Msc. Favio Paúl Portilla Yandún
TUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2023



.....
Carla Alexandra Reinoso Bonilla
C.I: 050317405-4
AUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Carla Alexandra Reinoso Bonilla** con C.I. 050317405-4, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y HORMIGÓN PERMEABLE REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2023



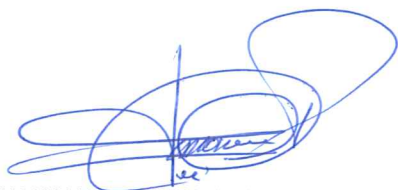
.....
Carla Alexandra Reinoso Bonilla
C.I. 050317405-4
AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de grado aprueban el Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Carla Alexandra Reinoso Bonilla, de la Carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN ADOQUINES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y HORMIGÓN PERMEABLE REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO.”**

Ambato, Febrero del 2023

Para constancia firman:



.....
Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera
Miembro calificador



.....
Ing. Mg. Byron Genaro Cañizares Proaño
Miembro calificador

DEDICATORIA

A mis padres Mesias y Patricia, por todo el amor incondicional brindado en cada instante, por haberme apoyado siempre, por ser absolutos y un ejemplo a seguir en cada instante, formándome como una persona con valores y principios.

A mis hermanos, Ana y Kevin por la compañía y el apoyo en cada momento de mi vida, ser mis cómplices y brindarme la oportunidad de guiarles en este camino como un ejemplo a seguir.

A mi tío y abuelo, Danny y Enrique por haber fundamentado esta vocación por el mundo de la construcción que, aunque hoy en día no nos acompañen siempre serán recordados con todo el amor del mundo por sus familiares y amigos.

Carla Reinoso

AGRADECIMIENTO

Me gustaría agradecer en esta ocasión a Dios, por darme la vida y la vocación por esta hermosa carrera, por permitirme llegar a este punto y le pido me bendiga en mi vida profesional, para ayudar a la mayor cantidad de personas posibles.

A toda mi familia, por acompañarme en cada triunfo y desacierto, y guiarme siempre por un camino lleno de valores.

A mis amigos, por acompañarme en este proceso tan importante en los buenos y malos momentos, al apoyarnos siempre y sobresalir como los mejores.

A mi tutor, Ing. Favio Portilla un excelente profesional que ha sabido brindarme su conocimiento y guía de manera incondicional en cada clase, así como para la elaboración de este trabajo de titulación.

A todos los integrantes de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por brindarme ayuda técnica y anímica durante el trabajo en laboratorio.

De todo corazón, quiero agradecerles por cada instante en este arduo camino, que me ha servido en más de una forma para crecer como futuro profesional y ser humano.

Gracias.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix

B. CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1 Antecedentes.....	1
1.1.2 Justificación	3
1.1.3 Fundamentación Científico - Teórica	5
1.1.4 Hormigón estructural	5
1.1.5 Hormigón permeable	6
1.1.5.1 Componentes del hormigón permeable y convencional	7
1.1.5.2 Cemento Portland	7
1.1.5.2.1 Composición química.....	8
1.1.5.2.2 Tipología.....	8

1.1.5.2.3	Agregados gruesos.....	9
1.1.5.2.4	Agregados finos.....	9
1.1.5.2.5	Agua	10
1.1.5.2.6	Aditivos	10
1.1.5.3	Propiedades Físicas y mecánicas del hormigón.....	11
1.1.5.3.1	Propiedades en estado fresco.....	11
1.1.5.3.2	Propiedades en estado endurecido.....	12
1.1.5.3.2.1	Resistencia a la compresión.....	12
1.1.5.3.2.2	Permeabilidad.....	15
1.1.5.3.2.1	Volumen de vacíos	16
1.1.5.1	Aplicaciones del hormigón permeable	17
1.1.5.2	Ventajas y desventajas del hormigón permeable.....	17
1.1.5.3	Fibras de polipropileno	18
1.1.5.4	Ensayos para la recolección de datos de los materiales.....	19
1.1.5.4.1	Ensayos de granulometría para agregados finos y gruesos	19
1.1.5.4.1.1	Módulo de finura de los agregados finos	20
1.1.5.4.1.2	Tamaño nominal máximo de los agregados gruesos	21
1.1.5.4.2	Densidad real de la arena.....	22
1.1.5.4.3	Densidad real del ripio.....	23
1.1.5.4.4	Ensayo de capacidad de absorción del agregado fino	24
1.1.5.4.5	Ensayo de capacidad de absorción del agregado grueso	24
1.1.5.4.5.1	Ensayo de densidad suelta de los agregados finos y gruesos	25
1.1.5.4.6	Ensayo de densidad aparente compactada de agregados finos y gruesos	26
1.1.5.4.7	Ensayo de contenido de humedad de los agregados finos y gruesos	26
1.1.5.4.8	Densidad real del cemento.....	27
1.1.5.4.9	Cono de Abrams	28

1.1.5.4.10	Ensayo de permeabilidad simple	29
1.1.5.5	Diseño de mezclas de hormigón convencional y permeable	30
1.1.5.5.1	Hormigón convencional: método ACI	30
1.1.5.5.2	Hormigón Permeable: ACI 522R	35
1.1.5.5.3	Cálculo de porcentaje de vacíos	40
1.1.5.1	Adoquines	40
1.1.5.1.1	Definición y requisitos	40
1.1.5.1.2	Clasificación de los adoquines:	41
1.1.5.2	Hipótesis	42
1.2	Objetivos.....	42
1.2.1	Objetivo General.....	42
1.2.2	Objetivos Específicos	43
CAPÍTULO II		44
METODOLOGÍA		44
2.1	Materiales	44
2.1.1	Cemento tipo GU	44
2.1.2	Agregado grueso y fino.....	44
2.1.3	Agua.....	45
2.1.4	Gasolina	45
2.1.5	EQUIPOS.....	46
2.1.6	Frasco de Le Châtelier	46
2.1.7	Picnómetro.....	47
2.1.8	Cámara de curado	47
2.1.9	Máquina de compresión.....	48
2.1.10	Tamizadora Mecánica.....	49
2.1.11	Equipos adicionales	49
2.2	Métodos	50

2.2.1	Investigación bibliográfica	50
2.2.2	Investigación de campo	51
2.2.3	Investigación de laboratorio.....	51
2.2.4	Cuadro metodológico.....	52
2.2.5	Porcentajes de adición de las fibras de polipropileno.....	58
2.2.6	Dimensionamiento de los especímenes	59
2.2.7	Identificación de especímenes	59
CAPÍTULO III.....		61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		61
3.1	Análisis y discusión de resultados.....	61
3.1.1	TABULACIÓN DE RESULTADOS	62
3.1.1.1	Análisis granulométrico de agregados finos	62
3.1.1.2	Análisis granulométrico de agregados gruesos	64
3.1.1.3	Densidad real del cemento	66
3.1.1.4	Densidad real del agregado fino.....	67
3.1.1.5	Densidad real del agregado grueso.	68
3.1.1.6	Densidad real del agregado grueso tamizado.....	69
3.1.1.7	Densidad aparente suelta y compactada de los agregado finos y gruesos. 70	
3.1.1.8	Contenido de humedad natural de la muestra	72
3.1.1.9	Densidad aparente combinada de agregados.....	73
3.1.2	Dosificaciones.....	74
3.1.3	Componentes porcentuales de cada dosificación.....	80
3.1.4	Resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de edad.....	83
3.1.5	Análisis Técnico - Económico del hormigón permeable.....	98
3.1.5.1	Transporte de materia prima	98
3.1.5.2	Análisis de precios unitarios	101

3.1.5.3	Cálculo de volumen de vacíos de las muestras vs. Permeabilidad. ...	117
3.2	Verificación de Hipótesis	123
CAPÍTULO IV		125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		125
4.	Referencias Bibliográficas	130
3.	ANEXOS.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del clinker (%en masa)	8
Tabla 2. Clasificación de aditivos	11
Tabla 3 Principales propiedades del hormigón permeable	15
Tabla 4. Límites inferiores y superiores para la granulometría de áridos finos	20
Tabla 5. Asentamiento según el tipo de estructura	31
Tabla 6. Obtención de la cantidad aproximada de agua.....	32
Tabla 7 Relación a/c Vs Resistencia a la compresión	32
Tabla 8 Volumen de agregado grueso estimado	33
Tabla 9 Identificación de especímenes	60
Tabla 10 granulometría de áridos finos.....	62
Tabla 11. Tabla de límites para granulometría de finos.....	63
Tabla 12. granulometría de áridos gruesos.	64
Tabla 13. Densidad real del cemento	66
Tabla 14. Densidad real del agregado fino y capacidad de absorción	67
Tabla 15. Densidad real del agregado grueso y Capacidad de absorción	68
Tabla 16 Obtención de muestra según su TNM.....	69
Tabla 17. Capacidad de absorción del agregado tamizado	69
Tabla 18. Densidad aparente suelta y compactada de los agregado finos y gruesos .	70
Tabla 19. Densidad aparente combinada	73
Tabla 20 Dosificaciones del hormigón permeable para agregados con TNM de 3/4"	76
Tabla 21 Dosificación para agregados con TNM de 1/2"	78
Tabla 22 Resumen de dosificaciones del hormigón permeable y hormigón convencional.	79
Tabla 23 Resistencia a compresión del hormigón a los 7 días de edad	84
Tabla 24 Resistencia a compresión a los 14 días de edad.....	85
Tabla 25 Resistencia a compresión del hormigón a los 21 días.....	86
Tabla 26. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad.....	87
Tabla 27. Resumen de resistencias a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de edad..	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Catedral de Santa María de la Asunción San Francisco, EE.UU.	6
Fig. 2 Textura del hormigón permeable	6
Fig. 3 Consistencia aceptable del hormigón permeable.....	12
Fig. 4 Gráfica de tensión-deformación del hormigón bajo cargas a compresión.....	13
Fig. 5 Resistencia a la compresión del cilindro vs. contenido aéreo.....	14
Fig. 6 Máquina de compresión.....	14
Fig. 7 Percolación de agua vs. contenido de aire.	16
Fig. 8 Relación entre el contenido de aire y energía de compactación para el concreto permeable.....	17
Fig. 9 Tamices para el ensayo de granulometría de agregados finos.....	21
Fig. 10 Tamices para el ensayo de granulometría de agregados gruesos.....	21
Fig. 11 Curva Granulométrica Fuente: Mastropietro [13]	22
Fig. 12 Ensayo de Densidad real de la arena	23
Fig. 13 Ensayo de densidad real del agregado grueso	23
Fig. 14 Lectura de la muestra seca para la capacidad de absorcion del agregado fino	24
Fig. 15 Agregado grueso en estado saturado para la obtención de la capacidad de absorción	25
Fig. 16 Ensayo de densidad aparente suelta real del ripio	25
Fig. 17 Densidad aparente compactada del ripio	26
Fig. 18 Peso de la muestra de agregado grueso seco para el ensayo de contenido de humedad.....	27
Fig. 19 Ensayo de densidad real del cemento	27
Fig. 20 Ensayo del cono de Abrams.....	28
Fig. 21 Clasificación del hormigón segun su asentamiento.....	29
Fig. 22 Elaboración del ensayo del cono de Abrams	29
Fig. 23 Rangos típicos de proporciones de materiales.....	36
Fig. 24 Clasificación de los adoquines según su forma	41
Fig. 25 Adoquines diseñados, colocados en esterilla.....	41
Fig. 26 Adoquines de tipología B: dentados	42
Fig. 27 Adoquines rectangulares, colocados en esterilla	42

Fig. 28 Ubicación de la Mina "El río"	45
Fig. 29 Gasolina	46
Fig. 30 Molde para adoquines	46
Fig. 31 Picnómetro	47
Fig. 32 cámara de curado	48
Fig. 33 Máquina de compresión.....	49
Fig. 34 Tamizadora mecánica	49
Fig. 35 Porcentajes de retención de los tamices.....	65
Fig. 36 Contenido de humedad de áridos finos y gruesos.....	72
Fig. 37 Cálculo de dosificaciones por el método ACI 522R-10	75
Fig. 38 Cálculo de dosificaciones con agregado grueso retenido en el tamiz 1/2"	77
Fig. 39 Diseño de hormigón convencional por el método ACI 318	79
Fig. 40 Dosificación porcentual hormigón con áridos gruesos de TNM 3/4"	80
Fig. 41 Dosificación porcentual hormigón con áridos gruesos de TNM 1/2"	81
Fig. 42 Dosificación porcentual hormigón estructural.....	81
Fig. 43 Colocación de los adoquines en la máquina de compresión.....	83
Fig. 44 Resistencia a compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.00%.....	89
Fig. 45 Resistencia a compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.025%.....	90
Fig. 46 Resistencia a la compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.050%	91
Fig. 47 Resistencia a la compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.075%	92
Fig. 48 Resistencia a la compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.10%	93
Fig. 49 Resistencia a la compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.15%	94
Fig. 50 Resistencia a la compresión de hormigones permeables a los 28 días	95
Fig. 51 Resistencia a la compresión a los 28 días de edad.....	96
Fig. 52 Línea de tendencia de la dosificación D-05.....	96
Fig. 53 Línea de tendencia de la dosificación D-10.....	97
Fig. 54 Incremento en la resistencia del hormigón segun la edad.	98

Fig. 55. Ruta de transporte del material desde la cantera al lugar de fabricación.....	99
Fig. 56 Ruta de transporte cemento.....	100
Fig. 57 Transporte de las fibras de polipropileno	101
Fig. 58 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-01	102
Fig. 59 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-02.....	103
Fig. 60 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-03.....	104
Fig. 61 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-04.....	105
Fig. 62 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-05.....	106
Fig. 63 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-06.....	107
Fig. 64 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-07.....	108
Fig. 65 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-08.....	109
Fig. 66 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-09.....	110
Fig. 67 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-10.....	111
Fig. 68 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-11	112
Fig. 69 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-12.....	113
Fig. 70 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-13.....	114
Fig. 71 Diagrama de costos.....	115
Fig. 72 Molde de Vidrio con una muestra de hormigón permeable.....	120
Fig. 73 Molde de vidrio con una muestra de hormigón convencional.....	121
Fig. 74 Recipiente con volumen conocido.....	121
Fig. 75 Aplicación de agua a la muestra de hormigón convencional.....	122
Fig. 76 Aplicación constante de agua en un adoquín permeable	122
Fig. 77 Adoquín con agregados de 3/4" y sin reforzamiento.....	135
Fig. 78 Adoquín permeable en la máquina de compresión.....	135
Fig. 79 Cámara de curado con temperatura adaptable	135
Fig. 80 Árido fino tamizado.....	135
Fig. 81 Tamices cuadrados.....	135
Fig. 82 Mesa Vibratoria	135
Fig. 83 Construcción de Adoquines	135
Fig. 84 Granulometría de finos	135
Fig. 85 Instrumentos para el ensayo de densidad de la arena	136
Fig. 86 Granulometría de agregados gruesos.....	136
Fig. 87 Cantera "El Río" - Cantón Salcedo.....	136

Fig. 88 Ensayo de densidad aparente de agregados gruesos	136
Fig. 89 Ensayo de densidad real del cemento	136
Fig. 90 Ensayo de densidad aparente de agregados finos	136
Fig. 91 Ensayo de densidad aparente del agregado fino	137
Fig. 92 Consistencia del hormigón permeable	137
Fig. 93 Fibra de polipropileno.....	137
Fig. 94 Ensayo de densidad real de áridos gruesos.....	137
Fig. 95 Probeta de hormigón convencional ensayado a compresión	137
Fig. 96 Agregados gruesos sumergidos	137
Fig. 97. Tabla de datos brutos - Resistencia a compresión a los 7 días	138
Fig. 98 Tabla de datos brutos - Resistencia a compresión a los 14 días	139
Fig. 99 Tabla de datos brutos - Resistencia a compresión a los 21 días	140

RESUMEN

Actualmente, debido al creciente desarrollo del sector constructivo en la sociedad y las consecuencias que esta demanda en sector ambiental es necesario acudir a nuevos sistemas constructivos en los que se resguarde la naturaleza y a la vez se cumpla con las demandas poblacionales sin incrementar costos adicionales.

Se conoce que el hormigón permeable tiene baja resistencia debido al volumen de vacíos que contiene, como consecuencia se propuso reforzar el hormigón permeable con fibras de polipropileno para incrementar la resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de aplicación, y posteriormente encontrar la dosificación afín a los requerimientos de un hormigón aplicado a pases peatonales.

Como resultado final, las dosificaciones producto de los métodos implementados obtuvieron 156 ejemplares, ensayados a los 7, 14, 21 y 28 días de edad, los cuales consiguieron un resultado máximo frente al ensayo de compresión de 152.34 kg/cm² la cual contiene un refuerzo de fibra de polipropileno de 0.075 por ciento, cabe recalcar que la resistencia mínima requerida fue 180 kg/cm², categorizando al hormigón permeable como deficiente frente al hormigón convencional.

Palabras clave: Hormigón permeable, Dosificación del hormigón, ACI 318-11, ACI 522 - R10, Resistencia a Compresión, Dosificaciones, Comparación, Ensayos, Adoquín.

ABSTRACT

Currently, due to the growing development of the construction sector in society and the consequences of this demand in the environmental sector, it is necessary to resort to new construction systems in which nature is protected and, at the same time, population demands are met without increasing additional costs.

It is known that pervious concrete has low resistance due to the volume of voids it contains, consequently it was proposed to reinforce the pervious concrete with polypropylene fibers to increase the resistance to compression with different percentages of application, and later find the dosage related to the requirements of a concrete applied to pedestrian crossings.

As a result, the product dosages of the implemented methods obtained 156 specimens, tested at 7, 14, 21 and 28 days of age, which achieved a maximum result against the compression test of 152.34 kg/cm² which contains a reinforcement of 0.075 percent polypropylene fiber, it should be noted that the minimum resistance required was 180 kg/cm², categorizing pervious concrete as deficient compared to conventional concrete.

Keywords: Pervious concrete, Concrete proportioning, ACI 318-11, ACI 522 - R10, Compressive Strength, Dosages, Comparison, Tests, Paving stone

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Antecedentes

La investigación que a continuación se presenta tiene como finalidad realizar un análisis comparativo de la resistencia a compresión en adoquines de hormigón estructural y hormigón permeable reforzado con fibras de polietileno, para lograr esto se pretende realizar adoquines de hormigón permeable, ensayarlas y obtener una resistencia promedio de las muestras, de esta forma obtener los resultados más próximos a la realidad basados en los siguientes antecedentes investigativos:

El hormigón permeable nace como una respuesta a la necesidad de recursos para reconstruir una Europa que se recuperaba de la segunda guerra mundial (1945), debido a la escasez de materiales se decide disminuir la cantidad de agregados finos, lo que implica un ahorro de materiales y al mismo tiempo utilizar en su composición escombros producto de la guerra. Años más tarde se utilizó como solución a una problemática fruto de inundaciones derivadas de una escorrentía de gran magnitud en EE. UU., este fue el punto de partida para que se desarrolle este concepto, siendo implementado en países como España y Japón, hasta ser reconocido como Mejor Práctica de manejo por la EPA (Agencia Americana de Protección al Medio Ambiente) por su manejo de aguas pluviales y reducir el impacto que produce el sector de la construcción.[1]

Si bien es cierto los componentes del hormigón permeable y convencional son los mismos pero las proporciones para obtener una resistencia máxima para cada mezcla no se rige por los mismos principios es en los dos casos, principalmente la relación a/c ya que si no se tiene precaución con este parámetro puede deslindarse en dos casos principales: baja o alta relación a/c, en el primer caso se obtiene una pasta cementante muy líquida que disminuirá el porcentaje de vacíos afectando directamente a la

permeabilidad del testigo, por otro lado una baja relación a/c disminuye la cohesión y por tanto desemboca en falta de resistencia a compresión debido a que los agregados no se verán envueltos en una cantidad óptima de pasta, por consiguiente lo óptimo es mantener este parámetro entre 0.26 y 0.45, para obtener una buena cobertura de los agregados. Tal cual establecen A. Spalvier, A. Díaz, I. Marrero, T. Baliosian, R. Pielarisi, y L. Segura en su investigación.[2]

En el año 2006 el instituto ACI (American Concrete Institute) publica su reporte de investigaciones del hormigón permeable, en el mismo se establecen las bases para su fabricación y control, lo que arma un precedente para futuras investigaciones experimentales para mejorar sus propiedades.[3]

Debido a que el concreto permeable proporciona una resistencia menor a compresión respecto a la del hormigón convencional se realizan trabajos investigativos y experimentales para incrementar su resistencia, es por esta razón que se conoce que la fibra de polipropileno mejora las propiedades del concreto permeable, tal es el caso del estudio realizado por Mendoza, Aire y Dávila, en su investigación elaborada en el año 2011, cuyos resultados reflejaron que las fibras de polipropileno incrementa la resistencia a compresión, así como la resistencia al impacto inclusive mejorando más aspectos del concreto como la tenacidad y controlando la contracción por secado, por lo que se puede asegurar que las fibras reducen el agrietamiento de la mezcla siempre y cuando se coloquen en una cantidad igual o mayor a 3kg/m^3 . [4]

Por otro lado, Soncco y Ticono en su trabajo investigativo desarrollado en el 2017 estudian el comportamiento del hormigón tras adicionarse fibras de polipropileno a mezclas con agregados gruesos de origen artificial y natural, en la misma se comprobó que las fibras de polipropileno incrementan la resistencia a compresión, desgaste por abrasión, así como la resistencia a impacto, y al mismo tiempo concluyen que la relación de vacíos, y por consiguiente la permeabilidad disminuyen. [5]

Los adoquines reforzados con fibras de polipropileno son capaces de aumentar su resistencia independientemente del tamaño de los agregados, por supuesto hablando

de aquellos con un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ ”, esto se comprueba en la investigación realizada por Salguero, el cual comprueba que se alcanza una resistencia de 420 kg/cm^2 con una adición de 0.7 gr/m^3 , el mismo autor también se destaca que independientemente del tamaño del agregado las fibras aportan un incremento en la resistencia de los adoquines.[6]

1.1.2 Justificación

En los últimos años el mundo de la construcción ha optado por potenciar la conciencia de protección y preservación medioambiental, de aquí que la investigación de nuevos materiales da lugar al hormigón permeable catalogado como especial, que si bien es cierto incorpora los mismos componentes que el concreto de tipo estructural, con la diferencia de que el hormigón permeable cuenta con un grado de porosidad relativamente alto de entre el 25 a 30% aproximadamente, por consecuencia se permite el paso de agua a través de su estructura.

El uso de este material principalmente se desarrolla en el campo vial, elementos infraestructurales como pavimento y adoquines en concreto permeable utilizados principalmente parqueaderos y zonas verdes, aunque este sistema también fue utilizado en la construcción de viviendas conocidas como “Wimpey Houses” o su traducción “Casas débiles” cuyo principal aporte fue la eficiencia constructiva y excelente aislamiento sonoro.

La gran extensión de superficie terrestre con construcciones civiles ha incrementado la impermeabilidad del terreno que ocupan, redireccionando el flujo normal del agua pluvial y obligando al estado a destinar recursos en sistemas de drenaje pluvial, y al mismo tiempo creando la necesidad de buscar sistemas de drenaje sostenible que alivie las demandas de conducción de agua superficial. Si bien es cierto en nuestro país no se ha aplicado en grandes cantidades este tipo de hormigón como solución a la problemática, sin embargo, en otros países como México, Chile y Colombia se han incluido a la educación de pre y postgrado, aliviando sus condiciones de escurrimiento, puesto que sus profesionales manejan este material.

Este proyecto beneficiará a la naturaleza directamente, ya que el hormigón permeable permite que el agua se filtre a través de su estructura, llegue a la subbase, se transporte por el suelo y finalmente continúe con el curso natural del agua. Por otro lado, mejoras en el sector económico, permitiendo la optimización de recursos en gestión de riesgos y aumentando la sostenibilidad, pues reducirá la demanda de alcantarillado pluvial y el riesgo de inundaciones en el sector que se aplique este método de construcción. Tal cual establece Navarro en su investigación “Elaboración del concreto poroso con fibra de polipropileno como alternativa para reducir la contaminación sonora causada por la interacción del neumático y la calzada aplicado en la avenida San Luis, distrito de San Borja”, la cual establece los beneficios más notables para el cuidado del medio ambiente.[7]

Por tal motivo la presente investigación busca mejorar las propiedades del hormigón permeable, específicamente en la resistencia a la compresión con adición de fibras de polipropileno en su composición sin perder su característica principal: la permeabilidad. La investigación se basa en normativa internacional, específicamente ACI 211.3R que regula la selección de proporciones para concretos, y el código ACI 522R-10, que es un reporte de ensayos y dosificaciones de hormigón permeable.[8]

Por otro lado, también se propone la construcción de adoquines de hormigón permeable, los mismos que deben tener una resistencia mínima de 180kg/cm², el reto es llegar a construir adoquines que cumplan con este requisito, y sean ajustables a nuestro medio tomando en cuenta que su estudio será vinculado a un entorno de tráfico ligero. En base a la investigación del Ing. Víctor Salguero del año 2013 bajo el título “Adoquines modificados con fibra de polipropileno para el uso en vías de la ciudad de Quito” se puede decir que el objetivo es asequible, puesto que obtuvo adoquines con una resistencia de 425kg/cm² a los 28 días de curado, con una adición de fibras de polipropileno de 0.7gr/m³. [6]

Bajo estos antecedentes se plantean dimensiones para los adoquines rectangulares de 200 mm de largo y 100 mm de ancho, con un espesor de 80 mm, cumpliendo así con los requisitos de la normativa. INEN 1488:1986-10.[9] El desarrollo de esta

investigación dejará precedentes para futuras pesquisas relacionadas con el hormigón permeable y sus características principales como la resistencia a compresión, tracción indirecta, permeabilidad, etc.

En la ciudad de Ambato no se ha implementado este material, lo cual representa una excelente oportunidad de desarrollo sustentable y económico a nivel no solo del sector, si no proyectarse a un nivel nacional.

1.1.3 Fundamentación Científico - Teórica

1.1.4 Hormigón estructural

El hormigón se define como una piedra artificial que se puede moldear en estado fresco, este material contiene cuatro componentes esenciales que lo conforman: agregados gruesos y finos, agua y cemento, adicionalmente se pueden implementar ciertos aditivos que pueden mejorar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón en estado fresco y endurecido. El cemento reacciona con el agua y se genera una reacción que endurece la pasta cementante cuando esta se expone al aire o inclusive bajo el agua según la tipología del cemento implementado. [10]

Debido a que este material puede adaptarse a una gran cantidad de moldes lo vuelve indispensable al momento de generar infraestructura para el desarrollo de la sociedad, otro beneficio es su gran resistencia a la compresión, pero su baja resistencia a la tracción, por tanto, es sumamente necesario reforzarlo con acero para mejorar su comportamiento frente a las solicitaciones de carga.[10]



Fig. 1 Catedral de Santa María de la Asunción San Francisco, EE.UU.
Fuente: Geoplast [11]

1.1.5 Hormigón permeable

El hormigón permeable o también llamado poroso e inclusive hidráulico, cuya característica principal es un gran contenido de vacíos que lo diferencia del hormigón convencional debido a sus nuevas características físicas tanto en estado fresco como en estado endurecido, además forma su resistencia en los puntos de contacto entre los agregados envueltos en pasta cementante, lo que permite que el agua e incluso aire fluya por su estructura. Dentro de sus componentes tenemos cemento, agregados gruesos, agregados finos en pequeñas cantidades o inclusive ausente en la mezcla, agua y en ocasiones se puede incluir aditivos e incluso permite el uso de fibras naturales y artificiales, estos dos últimos se utilizan para mejorar las propiedades de la mezcla tanto en estado fresco como en estado endurecido.



Fig. 2 Textura del hormigón permeable
Fuente: New Dawn Permeable Paving [12]

1.1.5.1 Componentes del hormigón permeable y convencional

Como se mencionó anteriormente los componentes para el Hormigón tanto permeable como convencional son similares y a continuación se detalla cada uno de ellos:

1.1.5.2 Cemento Portland

Es un polvo de aspecto grisáceo fino compuesto por silicatos de calcio y aluminio, cumple las funciones de elemento ligante entre los agregados debido a los procesos fisicoquímicos al generar la reacción de hidratación que se logran al activarlo con agua lo que lo hace el material más importante en la elaboración de concreto, en esta investigación se implementa hormigón portland por ser de uso convencional en las obras civiles. [13] El cemento reacciona con el agua, fragua y se endurece en un tiempo determinado, paralelamente debe cumplir con propiedades de adhesión y cohesión para que cumpla exitosamente con su función, esto quiere decir que debe satisfacer las demandas de la norma ecuatoriana NTE INEN 152, 490 y 2380 así como la normativa ASTM C150, C595 o C1157 establecido por la organización denominada AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.[14]

El cemento tipo portland aparece por primera vez en el año 1824 de la mano de Joseph Aspdin, y su nombre proviene del color de las rocas que ocupan un lugar en la isla del mismo nombre. Para su obtención se implementan distintos procedimientos detallados a continuación:

1. Obtención, almacenamiento y preparación molidas conjuntamente para obtener el crudo.
2. Almacenamiento y preparación de combustibles.
3. Cocción del horno rotatorio alrededor de 1450 °C para la obtención del clinker de cemento.
4. Molienda de clinker con componentes adicionales como el yeso que dan origen a los tipos del cemento.

5. Transporte y almacenamiento del cemento.[15]

1.1.5.2.1 Composición química

La composición química del cemento Portland puede obtenerse esencialmente en cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro, pero es difícil encontrar estos componentes en las porciones deseadas, puesto que se quiere componentes calcáreos y componentes arcillosos, en la mayoría de los casos se realizan mezclas de caliza y arcilla o margas y caliza, materiales que se encuentran en diferentes estratigrafías.[16]

El clinker del cemento portland se puede encontrar en las siguientes proporciones:

Fase	Fórmula	Abreviatura	Rango	Valor medio
Silicato tricálcico	3CaO SiO_2	C_3S	46-79	61
Silicato bicálcico	2CaO SiO_2	C_2S	5-30	15
Ferritouluminato tetracálcico	$4\text{CaO (Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3)$	$\text{C}_4(\text{A,F})$	4-16	8
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	C_3A	6-18	12
Cal libre	CaO	C	0,1-4	1
Óxido de magnesio libre	MgO	M	0,7-1,5	1,5

Tabla 1. Composición química del clinker (%en masa)

Fuente: Sanjuán y Chinchón [17]

Recordemos que el Clinker es la base de la producción del cemento (cerca del 3.5%), posterior a este proceso se agrega yeso para retardar su proceso de endurecimiento.

1.1.5.2.2 Tipología

La normativa Ecuatoriana NTE INEN 152 establece 5 diferentes grupos enumerados a continuación:

Tipo I: Para la fabricación de hormigones para obras civiles en general.

Tipo IA: Contiene Incorporador de aire.

Tipo II: Moderada resistencia a sulfatos y moderado calor de hidratación.

Tipo IIA: Tipo II con incorporador de aire incluido.

Tipo III: Alta resistencia inicial y fraguado temprano.

Tipo IIIA: Tipo III con incorporador de aire incluido.

TIPO IV: Bajo calor de hidratación y fraguado lento.

TIPO V: Alta resistencia a sulfatos.[18]

1.1.5.2.3 Agregados gruesos

Son materiales minerales y sólidos, obtenidos a partir de la desintegración por procesos naturales o trituración mecánica lo que los vuelve irregulares y sin volumen definido, estos se pueden subdividir de acuerdo con sus dimensiones, puesto que si es mayor a 4.75 mm se identifica como agregado grueso, caso contrario estos serán agregados finos. La normativa ACI 522R (2010) [3] menciona que el hormigón permeable debe realizarse con agregados grueso de entre 3/4” y 3/8” de pulgada, o de entre 19 a 9.5 mm mientras que para el hormigón convencional se implementan agregados gruesos de cualquier tamaño nominal, y si este está bien graduado tiene mayor acogida.

Los agregados que se utilizan en la composición del Hormigón permeable y convencional deben cumplir con la normativa ecuatoriana vigente, en este caso INEN NTE 872 [19] en la cual se establecen los requisitos para la selección de los áridos. Dentro de los beneficios de su implementación está la economía, pues disminuye la cantidad de cemento a implementar, al mismo tiempo que disminuye la contracción por secado y mayor resistencia a la abrasión, cabe recalcar que la superficie de los agregados debe ser de preferencia rugosa, puesto que incrementa la adhesión del cemento.

1.1.5.2.4 Agregados finos

Los agregados finos tienen dimensiones de hasta 4.75 mm de diámetro, no son esenciales en los Hormigones permeables, ya que tienden a comprometer la

interconectividad de los poros de la muestra, aunque en ciertos casos se puede utilizar en pequeñas cantidades para incrementar la resistencia a compresión.

Por otro lado, el hormigón convencional incluye mayor cantidad de agregados finos, que influyen en la mezcla y la vuelve más compacta.

1.1.5.2.5 Agua

Es uno de los componentes más importantes, ya que contribuye con la reacción de la hidratación del cemento, activando sus propiedades ligantes. Pero debe ser bien escogida, ya que puede influir en la resistencia de las muestras en estado endurecido, en la mayoría de los casos las características del agua que se puede utilizar para la mezcla son las mismas para el hormigón convencional. [13]

Para la fabricación de hormigón utilizamos agua con diferentes fines: amasado y curado:

- **Agua para amasado:** Debe cumplir con la normativa NTE INEN 2617[20], la misma que establece que si es inolora, sin sabor, incolora no requiere análisis previos, pero aquella que no sea potabilizada si deberá cumplir con los requerimientos de la normativa.
- **Agua de curado:** En la etapa de curado de las muestras, es necesario utilizar agua para brindar humedad, equilibrando la pérdida de agua durante el amasado y aportando al incremento de la resistencia ante efectos de capacidad de resistencia durante la etapa de endurecimiento.[21]

1.1.5.2.6 Aditivos

Son materiales inorgánicos que mejoran las propiedades físicas y químicas de la muestra, mejorando su trabajabilidad, y estos se subdividen de acuerdo con la necesidad del constructor. Tomando en cuenta que, por ningún motivo, los aditivos pueden sustituir las buenas prácticas para obtener la mezcla adecuada.

Aditivos	Clasificación
Reductor de agua	A
Retardante de fraguado	B
Acelerante de fraguado	C
Reductor de agua y retardador	D
Reductor de agua y acelerante	E
Reductor de agua de alto rango	F
Reductor de agua de alto rango y retardante	G

Tabla 2. Clasificación de aditivos
Fuente: (Sonocco I, Ticona E.)[5]

1.1.5.3 Propiedades Físicas y mecánicas del hormigón

El hormigón permeable se puede analizar tanto en su estado fresco como endurecido, cuando hablamos de un estado fresco analizamos apariencia, manejabilidad, trabajabilidad, etc. Mientras que si se analiza en estado endurecido este se basará principalmente en su resistencia, ya sea a compresión, tracción indirecta, entre otros. En el caso de la presente será la resistencia a compresión.

1.1.5.3.1 Propiedades en estado fresco

- **Hormigón convencional**
 - **Trabajabilidad:** Evaluado con el cono de Abrams, se define como la propiedad del material que evalúa la facilidad con la que este se puede adaptar a los moldes y su segregación.
 - **Homogeneidad:** Se refiere a la integración de todos los componentes del hormigón, formando una masa uniforme.

- **Hormigón permeable**

Debido a que el hormigón permeable es más susceptible a cambios de temperatura debido al contacto con el aire dentro de su estructura, suele tener un curado mucho más rápido y un periodo de secado corto a diferencia del hormigón convencional,

sin embargo si debe cumplir con características similares a este, en especial que la masa sea totalmente homogénea, puesto que así se garantizará que los agregados estén totalmente cubiertos de pasta cementante, por otro lado se sabe que este material no es bueno en cuanto a trabajabilidad, por lo que no es necesario realizar el ensayo del cono de Abrams, ya que por la ausencia de agregados finos la segregación es irremediable.

Sin embargo, hay un control específico que se debe realizar en el hormigón para saber si la relación a/c que se está implementando es la correcta, este control consiste en conformar una esfera de hormigón permeable en estado fresco, si esta esfera no se desarma se encontrará en la mejor condición de colocación in situ.



Fig. 3 Consistencia aceptable del hormigón permeable.
Fuente: Recomendaciones sobre Pavimentos de hormigón permeable [2]

1.1.5.3.2 Propiedades en estado endurecido

1.1.5.3.2.1 Resistencia a la compresión

Se define como la oposición del objeto a ser aplastado, y su nomenclatura es “ f_c ”, y para garantizar una resistencia característica, que es un valor promedio que debe ser superado o igualado por al menos el 90% de las muestras. [13]

Tanto el hormigón permeable como el hormigón convencional deben cumplir con este requisito primordial y dependiendo de la resistencia del hormigón, el grafico tensión deformación cambiará, tal cual se muestra en la imagen presentada a continuación:

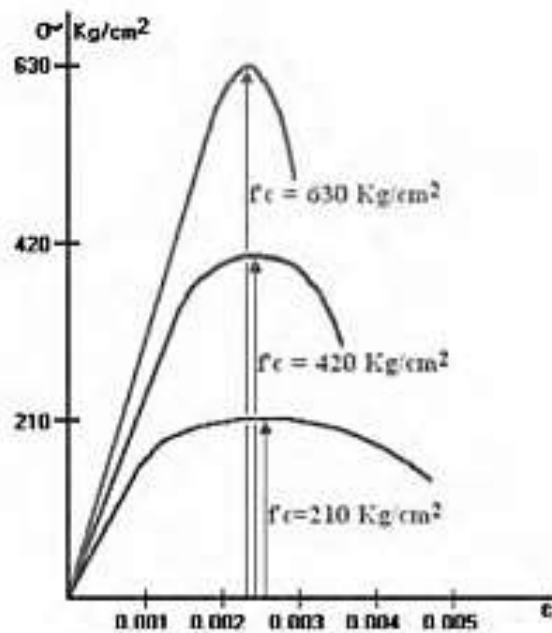


Fig. 4 Gráfica de tensión-deformación del hormigón bajo cargas a compresión
Fuente: (Sonocco I, Ticona E.)[5]

Para la ciudad de Ambato, en base a investigaciones anteriores se llegó a la conclusión de que el módulo elástico para agregados gruesos es de 13100.[22]

La resistencia a la compresión se formula en relación con la carga por unidad de área, y se expresa en unidades de esfuerzo y la unidad de medida más utilizada es kg/cm^2 . el hormigón permeable obtiene una resistencia a la compresión comprometida por la matriz y el grado de compactación que se aplique durante su fabricación, la misma puede variar entre 2.8 a 28 MPa, aunque con el uso de aditivos y fibras podrían incrementar la resistencia.[5]

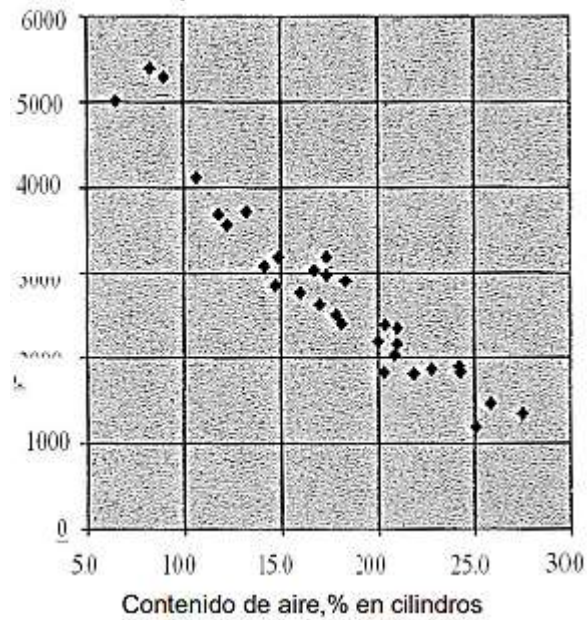


Fig. 5 Resistencia a la compresión del cilindro vs. contenido aéreo
Fuente: ACI 522R 2010

En este caso, el ensayo de compresión se realizará en la máquina que se encuentra en las instalaciones de la facultad, presentada a continuación:



Fig. 6 Máquina de compresión
Fuente: Carla Reinoso

Dentro de las propiedades principales del hormigón permeable en estado endurecido podemos encontrar las siguientes características:

Vacíos (%)	Peso unitario (kg/m ³)	Permeabilidad (mm/min)	Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)	Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	Referencia
15 a 25	1600 a 2000	122 a 320	56 a 210	10 a 39	Tennis et al. 2004
15 a 35	NA	NA	NA	25 a 40	Olek & Weiss 2003
19	NA	NA	3771	45	Beeldens et al. 2003
20 a 30	1890 a 2080	NA	180 a 327	39 a 58	Beeldens 2001
11 a 15	NA	15 a 107	NA	42 a 76	Kajio et al. 2003
NA	NA	NA	194	NA	Tamai and Yoshida 2003
18 a 31	NA	NA	112 a 255	NA	Park & Tia 2004
NA	1167 a 2089	762 a 1062	34 a 182	NA	Roberto Fernández Arrieta 2008
19 a 30	1866 a 2034	96 a 162	131 a 276	29 a 56	Ming-Gin et al. 2011

Tabla 3 Principales propiedades del hormigón permeable
Fuente: José Mauricio Porras[23]

1.1.5.3.2 Permeabilidad

Esta propiedad es aplicable solo al hormigón permeable, puesto que el hormigón convencional es totalmente impermeable. La permeabilidad se define como la cantidad de flujo de agua que pasa por la muestra debido a sus agujeros interconectados todo esto en un tiempo determinado, es decir mientras un mayor volumen de vacíos posea, más permeable será y su unidad de medida es cm/s. Debe cumplir con una permeabilidad de entre 0.14 a 1.22 cm/s.

La tasa de percolación del hormigón permeable se relaciona directamente con el porcentaje de vacíos de del testigo, como se mencionó anteriormente el hormigón permeable debe tener un porcentaje mínimo del 15%. Representando su relación en la siguiente gráfica:

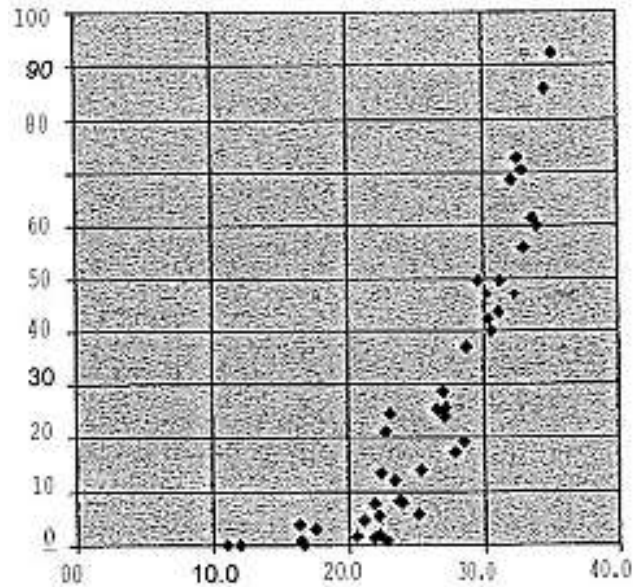


Fig. 7 Percolación de agua vs. contenido de aire.

Fuente: ACI 522R -2010

Cabe recalcar que mientras menor sea el porcentaje de vacíos mayor será la resistencia a compresión, puesto que la superficie de contacto cubierto por material cementante será mayor.

1.1.5.3.2.1 Volumen de vacíos

El Hormigón permeable está compuesto por huecos interconectados entre si con dimensiones entre 2 a 8 mm aproximadamente, lo que indicará un porcentaje de vacíos entre el 15 a 25%, mientras que el hormigón convencional deberá tener la menor cantidad de volumen de vacíos posible. [5]

El contenido de vacíos se puede ver afectado por la compactación que se aplique al momento de su elaboración, así lo muestra Meininger en su estudio realizado en el año 1988, presentando sus resultados en el siguiente cuadro resumen:

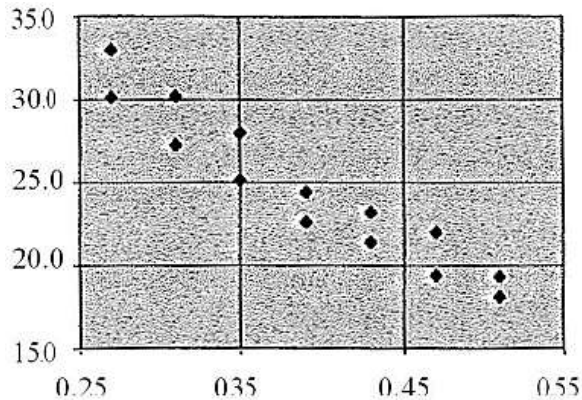


Fig. 8 Relación entre el contenido de aire y energía de compactación para el concreto permeable.

Fuente: Meininger 1988

1.1.5.1 Aplicaciones del hormigón permeable

Este tipo de hormigón se utiliza especialmente en lugares de tránsito ligero o peatonal, como parques, patios y jardines, terraplenes de puentes, paredes donde se requiera un manejo de ruido, estacionamientos, pasos peatonales, etc. Debido a que la resistencia a compresión del hormigón suele ser menor que del hormigón convencional se limita su uso, pero esto basta para reducir considerablemente la escorrentía superficial debido a la lluvia.

1.1.5.2 Ventajas y desventajas del hormigón permeable

En base a la normativa ACI 522R-10 el hormigón permeable genera ventajas a nivel estructural, económico y ecológico resaltadas a continuación:

Ventajas:

- Permite que el ciclo hidrológico se mantenga con normalidad, al permitir la infiltración de agua por su estructura.
- Disminuye la demanda de alcantarillado, puesto que elimina la necesidad de alcantarillado pluvial.
- Reduce el calor en su superficie, debido a su cantidad de vacíos.
- Evita el embalse en zonas públicas y viales posterior a precipitaciones debido a que su índice de percolación es considerable.

- Mejora la calidad de vida de las plantas, debido a que reduce la necesidad de riego artificial y mantiene por mayor tiempo el contenido de humedad del suelo.
- Reduce el índice de fisuras que se generan en el proceso de secado del hormigón.
- Reduce la contaminación sonora, puesto que sus poros le permiten absorber el sonido reduciendo los decibeles producidos por los vehículos.

Desventajas:

- No es aplicable para tráfico pesado, debido a que su resistencia a la compresión es menor y requiere una superficie totalmente compacta.
- Los poros pueden sedimentarse y reducir la efectividad de infiltración, debido a este parámetro es importante realizar un mantenimiento frecuente sobre esta estructura.
- Es muy sensible a la aplicación de agua, por lo cual este factor debe ser controlado exhaustivamente.

1.1.5.3 Fibras de polipropileno

Las fibras de Polipropileno se caracterizan por ser fruto de productos plásticos inorgánicos que son añadidos al hormigón para mejorar sus propiedades mecánicas y físicas tanto en estado fresco como endurecido, entre los beneficios encontramos disminución del agrietamiento del hormigón, mayor tenacidad, mayor resistencia en propiedades mecánicas, etc. [5]

Las fibras de polipropileno es una de las más utilizadas en el medio de la construcción, con una incorporación de cerca de 40 millones de ton., siendo principalmente utilizadas para la construcción de: Losas, morteros, elementos prefabricados, revestimientos, etc. [5] La densidad de este producto es de 0.91.[24]

- **Porcentajes de adición de fibras de polipropileno**

La fábrica de aditivos Sika, establece su línea de fibras sintéticas en macrofibras y microfibras. En esta investigación se utilizarán microfibras cuyo material principal como ya se mencionó anteriormente es el polipropileno, en la ficha técnica de este producto se establece un rango de valores para la dosificación de este producto, el rango va desde el 0.03 al 0.15% del volumen del hormigón, lo que quiere decir que será alrededor de 0.3 a 1.2 kg/m³ de hormigón.

1.1.5.4 Ensayos para la recolección de datos de los materiales

1.1.5.4.1 Ensayos de granulometría para agregados finos y gruesos

Este ensayo estudia la distribución del tamaño de las muestras del agregado en la muestra seleccionada, este aspecto influye en las propiedades del hormigón fresco y en estado de endurecimiento, como la trabajabilidad, porosidad, contracción del hormigón e inclusive en su economía al reducir la cantidad de masa cementante.

Podemos diferenciar 3 casos de resultados en la granulometría:

- **Bien graduada:** Contiene valores distribuidos en todos los tamices implementados, y obtenemos líneas continuas en la curva granulométrica
- **Mal graduada:** Existe discontinuidad en el material distribuido en los tamices, es decir los porcentajes producto de esta variación suelen ser excesivamente cambiantes y la curva granulométrica se presenta irregular
- **Uniforme:** Se presenta cuando los agregados se retienen en un solo tamiz, es decir todas las partículas son similares en tamaño
- **Abierta o discontinua:** Este caso se presentan tamices que no retienen material, por lo cual al representar la curva granulométrica esta se va a observar seccionada.[25]

A partir de este parámetro encontraremos 2 magnitudes que categorizarán como aptos o no aptos a los agregados utilizados para la dosificación.

1.1.5.4.1.1 Módulo de finura de los agregados finos

Basado en la normativa INEN NTE 696[26], ASTM C136 Y ASTM C33 el ensayo consiste en pesar la muestra y tamizarla entre los tamices No. 200 hasta el No. 4. Los valores típicos de las muestras varían entre 2.3 a 3.1, tal cual se destaca en la normativa NTE INEN 872[19]. Por ningún motivo se debe tomar los extremos de estos valores, puesto que de ser tomado el valor de 2.3 o menor la arena será muy fina, lo que agrega mayor plasticidad y consumo de cemento, por tanto, los agrietamientos por contracción ante el secado serán mayores. Caso contrario, al implementarse un valor de 3.1 o mayor la arena será muy gruesa, lo que significa mezclas poco trabajables y falta de cohesión[27].

La normativa NTE INEN 872 establece los límites que debe cumplir la graduación de la muestra:

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	5 a 30
150 µm	0 a 10

Tabla 4. Límites inferiores y superiores para la granulometría de áridos finos
Fuente: NTE INEN 872 [19]



Fig. 9 Tamices para el ensayo de granulometría de agregados finos
Fuente: Carla Reinoso.

1.1.5.4.1.2 Tamaño nominal máximo de los agregados gruesos

Al igual que los agregados finos, debemos tamizar las muestras desde el tamiz 3'' hasta el tamiz # 4, el hormigón permeable exige un tamaño nominal máximo de $\frac{3}{4}$ '' o 19 mm con poca variación, es decir mal graduado, por lo que en esta investigación se establecen dosificaciones con agregados gruesos mal graduados.



Fig. 10 Tamices para el ensayo de granulometría de agregados gruesos
Fuente: Carla Reinoso

En el grafico presentado a continuación podemos resaltar la implementación de la normativa ASTM C33 para los límites de las curvas, los mismos que representan que si la curva generada por el tamizado se encuentra dentro de estos límites se definirá como bien graduada, caso contrario se demarcará como mal graduada. En dependencia

de la cantidad de material en exceso que contenga de acuerdo con su graduación por efecto del tamizado.

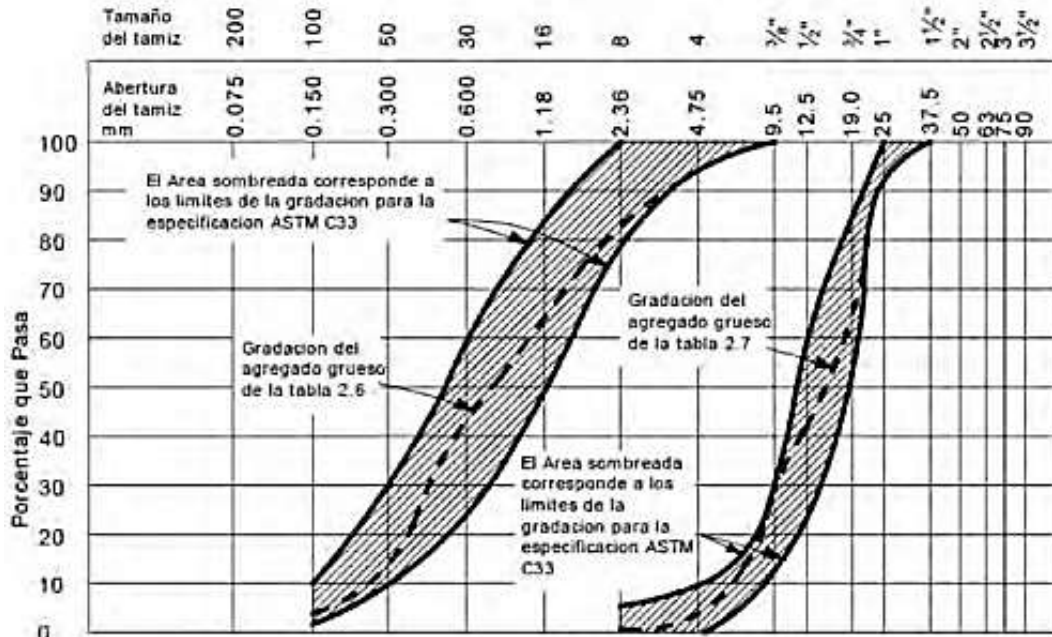


Fig. 11 Curva Granulométrica
Fuente: Mastropietro [13]

1.1.5.4.2 Densidad real de la arena

El método se basa en obtener la densidad en base a la masa de la muestra, la misma que se debe saturar durante 24h, llevando el proceso desde el estado saturado hasta la condición seca, en primera instancia la muestra debe estar saturada con volumen constante, posteriormente se retira y se seca la superficie, se determina la masa a continuación, se coloca la muestra en un picnómetro y se calcula el volumen de la muestra, luego se seca en el horno y se toma el peso en estado completamente seco, finalmente aplicamos las fórmulas para obtener la densidad real. En promedio, los valores referenciales de este ensayo son 2.65 g/cm². Se debe tomar en cuenta que este método no incluye el porcentaje de vacíos presente entre las partículas de arena.[28]



Fig. 12 Ensayo de Densidad real de la arena
Fuente: Carla Reinoso

1.1.5.4.3 Densidad real del ripio

El método resulta similar al ensayo de densidad real de la arena, aunque este se caracteriza por el método de desplazamiento del agua. Los valores promedio se encuentran entre los 2.4 a 2.9 g/cm³, cuando la densidad bordea los 2400 a 2900 kg/m³. [29]



Fig. 13 Ensayo de densidad real del agregado grueso
Fuente: Carla Reinoso.

1.1.5.4.4 Ensayo de capacidad de absorción del agregado fino

Este parámetro es uno de los más importantes al momento de dosificar el hormigón convencional, puesto que al ponerse en contacto con el resto de los materiales absorben agua, por lo cual este parámetro también debe ser tomado en cuenta para la cantidad de agua a emplearse en la mezcla, este parámetro es conocido como factor de corrección de humedad de los materiales. Para obtener la capacidad de absorción de la arena nos basamos en la normativa NTE INEN 856.[28] Dentro de los valores referenciales podemos encontrar valores menores al 5%, pero depende de la regularidad de las partículas, porosidad de la roca, entre otros.



Fig. 14 Lectura de la muestra seca para la capacidad de absorción del agregado fino
Fuente: Carla Reinoso

1.1.5.4.5 Ensayo de capacidad de absorción del agregado grueso

Al igual que los agregados finos, es necesario conocer que cantidad de agua es capaz de absorber el agregado para tomarse en cuenta en la cantidad de agua al momento de la dosificación, para esto se tiene en cuenta la normativa NTE INEN 857. Mientras que un valor referencial para la muestra es menor al 3%, recordemos que el material debe estar completamente saturado, para pasarlo a una condición SSS (superficie saturada seca) y considerar su masa.



Fig. 15 Agregado grueso en estado saturado para la obtención de la capacidad de absorción
Fuente: Carla Reinoso.

1.1.5.4.5.1 Ensayo de densidad suelta de los agregados finos y gruesos

Basado en la normativa NTE INEN 858, es definido como la masa por unidad de volumen, sirve para encontrar la cantidad de ripio que se debe agregar a la mezcla. Se llena el recipiente, se procede a enrazar y finalmente se pesa, se debe tomar al menor 3 mediciones para obtener un valor referencial.



Fig. 16 Ensayo de densidad aparente suelta real del ripio
Fuente: Autora, Carla Reinoso

1.1.5.4.6 Ensayo de densidad aparente compactada de agregados finos y gruesos

Principalmente este ensayo se utiliza para obtener la cantidad de este material para la mezcla. Se basa en la normativa NTE INEN 858. Este caso se utilizará el procedimiento por varillado, por tanto, se trata de llenar un recipiente con tres capas de material, compactarlo con 25 golpes implementando la varilla de compactación, enrazar y pesar. Los valores bordean los 1400 a 1700 kg/m³. [30]



Fig. 17 Densidad aparente compactada del ripio
Fuente: Carla Reinoso

1.1.5.4.7 Ensayo de contenido de humedad de los agregados finos y gruesos

Este parámetro se obtiene mediante el procedimiento establecido en la normativa NTE INEN 690 [31], bajo esta cuantificación se establece la cantidad de agua presente en el material sólido, por tanto, es necesario para realizar los ajustes por humedad. [32]



Fig. 18 Peso de la muestra de agregado grueso seco para el ensayo de contenido de humedad
Fuente: Carla Reinoso

1.1.5.4.8 Densidad real del cemento

Basado en la normativa NTE INEN 156, el cemento Portland tiene una densidad real de entre el 3.10 a 3.15 g/cm², el mismo que se puede obtener por del frasco de Le Chatelier remarcado el procedimiento de obtención en la sección 4.[33] Por otro lado, también se sabe que se debe utilizar gasolina o querosén libre de agua o nafta con densidades mayores a 0.73g/cm³ a temperaturas de 23°C ± 2°C.



Fig. 19 Ensayo de densidad real del cemento
Fuente: Carla Reinoso

1.1.5.4.9 Cono de Abrams

El asentamiento es un indicador de trabajabilidad del hormigón, puesto que indica el grado de fluidez de la mezcla, dividiéndola en 3 principales grupos:

- Consistencia seca: Bajo contenido de humedad en la mezcla.
- Consistencia dura: Cantidad de agua media.
- Consistencia húmeda: gran contenido de humedad, lo que hace fluido al hormigón.

Para obtener este dato se implementa la normativa ASTM C143. La cual determina un procedimiento específico para obtener el asentamiento de la mezcla. El instrumento implementado en este parámetro es el Cono de Abraham, el mismo que cumple con dimensiones como:

- 30 cm de altura
- 10 cm en el diámetro superior
- 20 cm en el diámetro inferior

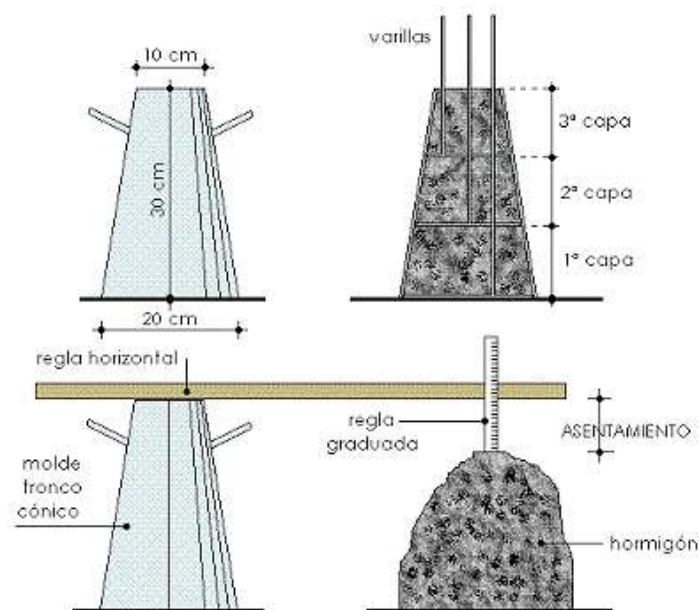


Fig. 20 Ensayo del cono de Abrams
Fuente: Ingeniería y más [34]

En este ensayo se debe colocar el hormigón en 3 capas, con 25 golpes en espiral en cada capa, posteriormente retirar el molde y medir el asentamiento relativo al molde. Dependiendo del resultado que se obtenga en el ensayo, se puede categorizar en los grupos presentados a continuación.

Consistencia del Hormigón	Aspecto	Asentamiento [cm]	Método de Compactación
A-1 Seca	Suelto y sin cohesión	1,0 a 4,5	Vibración potente, apisonado enérgico en capas delgadas
A-2 Plástica	Levemente cohesivo	5,0 a 9,5	Vibración normal, varillado y apisonado.
A-3 Blando	Levemente fluido	10,0 a 15,0	Vibración leve, varillado.
A-4 Superfluidificado	Fluido	15,5 a 22,0	Muy leve y cuidadosa vibración, varillado

Fig. 21 Clasificación del hormigón según su asentamiento
Fuente: Ingeniería y más [34]



Fig. 22 Elaboración del ensayo del cono de Abrams
Fuente: Carla Reinoso

1.1.5.4.10 Ensayo de permeabilidad simple

Para comprobar la permeabilidad de los adoquines de hormigón que se ensayarán en esta investigación es necesario conocer que cantidad de agua es capaz de conducir el

concreto, para este fin se realizará un ensayo de permeabilidad simple, y así conocer la cantidad de agua que pasará por la muestra en una determinada cantidad de tiempo.

Como se mencionó anteriormente, el rango de permeabilidad del hormigón permeable está entre 0.14 a 1.22 cm/s.

1.1.5.5 Diseño de mezclas de hormigón convencional y permeable

El diseño de dosificaciones del hormigón ayuda a encontrar las cantidades necesarias para obtener las características deseadas en la muestra endurecida, tales como la resistencia a la compresión, tracción, cizallamiento, etc.

1.1.5.5.1 Hormigón convencional: método ACI

Existe un sin número de métodos de dosificación del cual podemos destacar 3 principales, claro que dependiendo del que diseñador elija se deberán realizar las correcciones del método necesario.

- **Dosificación al volumen:** Se guía en una tabla de relaciones y proporciones para su producción.
- **Dosificación al peso:** tomando en cuenta la cantidad específica de cemento por m³, tal es el caso de métodos como el de Fuller, Bolomey y Faury.
- **Dosificación de acuerdo con una resistencia conocida:** El más conocido y altamente implementado métodos ACI.

La presente investigación se basa en la aplicación de la dosificación por el método ACI, la misma que se basa en 3 principios fundamentales:

1. El contenido de agua y el tamaño nominal máximo de los agregados cumplen un papel fundamental en la trabajabilidad del hormigón

2. La relación a/c es uno de los factores más importantes al momento de diseñar una mezcla, siendo esa inversamente proporcional a la resistencia a cargas externas una vez este se encuentre en estado endurecido.
3. El tamaño nominal máximo del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino definen el volumen del agregado grueso en el diseño de la mezcla.[35]

Dosificación de hormigones por el método ACI 211.1

a. Seleccionar la resistencia del hormigón a los 28 días

El hormigón puede obtener una resistencia con fines estructurales a partir de los 180 kg/cm² en adelante, los más utilizados son: 180, 240, 280, 300, 350 kg/cm²

b. Asumir el asentamiento

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO	ESTRUCTURA
Muy seca		Prefabricados de alta resistencia – cimentaciones
Seca	20 – 35	Pavimentos
Semi – seca	35 – 50	Pavimentos, fundaciones en hormigón.
Media	50 – 100	Pavimentos, losas, muros, vigas y secciones medianamente reforzadas.
Húmeda	100 – 150	Elementos estructurales esbeltos y secciones bastante reforzadas.
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos y pilotes fundidos in situ.

Tabla 5. Asentamiento según el tipo de estructura

Fuente: Normativa ACI 211[36]

c. Elección del tamaño máximo del agregado

Es la abertura del tamiz que retiene un valor igual o mayor al 15% del total de la masa.

d. Cantidad de agua y contenido de aire

Los datos de entrada implementados en la siguiente tabla son el asentamiento y si la mezcla cuenta con aire incorporado. Se debe tomar en cuenta que estos valores son dosificados para un metro cúbico de material, por tanto, para dosificaciones menores se debe aplicar una regla de tres.

Cantidad de agua requerida para la mezcla en dependencia de la cantidad de contenido de aire y tamaños máximos del árido grueso								
Asentamiento (cm)	Agua (kg/m³) Para los tamaños escogidos							
	9.5 mm	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	37.5 mm	50.0 mm	75.0 mm	150 mm
Sin inclusión de aire a la mezcla								
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	-
% Aire atrapado en el hormigón	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Con inclusión de aire a la mezcla								
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	184	174	166	154	-
% Aire atrapado en el hormigón								
Exposición leve	4.5	4	3.5	3	3	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición extrema	7.5	7	6.5	6	6	5	4.5	4

Tabla 6. Obtención de la cantidad aproximada de agua
Fuente: Normativa ACI 211

e. Selección de la relación a/c

CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACION AGUA - CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN		
Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm²	Relación agua cemento por peso	
	Hormigón sin aire incluido	Hormigón con aire incluido
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

Tabla 7 Relación a/c Vs Resistencia a la compresión
Fuente: Normativa ACI 211 [37]

f. Obtención de la cantidad de cemento

Se obtiene el cemento en base a la siguiente ecuación:

$$C = W/(W/c)$$

C= Masa de cemento dosificado para 1 m³ (kg)

W= Masa de agua dosificada para 1 m³ (kg)

W/C= relación agua – cemento

g. Estimación de la masa de agregado grueso

Tamaño máximo nominal del agregado [pulg]	Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.8	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 8 Volumen de agregado grueso estimado
Fuente: Normativa ACI 211 [37]

Posteriormente aplicamos la formula establecida a continuación:

$$R = VAR * DARc$$

R= Masa de ripio por cada m³ (kg)

VAR= Volumen aparente de ripio (m³)

DARc= Densidad aparente compactada del ripio (kg/m³)

h. Masa de agregado fino

Se aplica la siguiente ecuación:

$$Va = 1 - (V_w + V_c + V_R + V_{aire})$$

Va= Volumen de arena (m³)

VW= Volumen de agua (m³)

VR= Volumen de ripio

Vaire= Volumen de aire

Y posteriormente se sabe que:

$$A = V_a + D_{RA}$$

A= Masa de arena (kg)

DRA= Densidad real de la arena (kg/m³)

i. Ajuste por humedad

○ Agregado grueso en estado natural

$$M_{GEN} = M_R * (1 + W_R)$$

M_{GEN} = Masa del ripio en estado natural (Kg)

M_R = Masa de ripio seco (kg)

W_R = Contenido de humedad del ripio (%)

○ Agregado fino en estado natural

$$M_{FEN} = M_A * (1 + W_A)$$

M_{FEN} = Masa del agregado fino en estado natural (Kg)

M_A = Masa del agregado fino seca (kg)

W_A = Contenido de humedad del agregado fino (%)

○ Masa de agua para la mezcla

$$am = W - a_R - a_A$$

am = agua de amasado

W = Masa de agua aproximada (kg)

a_R = Masa de agua que el árido grueso aporta o elimina

a_A = Masa de agua que el árido fino aporta o elimina

$$a_R = M_{GEN}(W_R - Abs_R)$$

Abs_R = Capacidad de absorción del árido grueso (%)

$$a_A = M_{GEN}(W_R - Abs_R)$$

Abs_A = Capacidad de absorción del árido fino. (%)

j. Cantidad de cemento

A partir de la relación agua – cemento se despeja la masa de cemento y obtenemos:

$$\frac{am}{cem} = \frac{a}{c} \rightarrow cem = \frac{am}{a/c}$$

cem = Masa de cemento (Kg)

En esta investigación se implementará el software establecido por William Rodríguez, Ingeniero Civil titulado en la Universidad técnica de Ambato, en su investigación bajo el tema “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI” [38]

1.1.5.5.2 Hormigón Permeable: ACI 522R

Existen diferentes formas de dosificar el hormigón permeable, sin embargo, al implementar en la dosificación de hormigón convencional la normativa ACI 318-11, es pertinente utilizar la normativa ACI 522R-10 para la dosificación del hormigón permeable, cabe recalcar que esta dosificación no se puede realizar por una resistencia inicial, más bien está se observará al momento de ensayar los adoquines producto de este proceso.

Esta dosificación busca establecer el volumen mínimo de pasta cementante necesario para que las partículas de los agregados se adhieran y confieran una resistencia aceptable según su uso cuando este se encuentre en estado endurecido, y simultáneamente mantengan su estructura y permeabilidad.

- **Parámetros de diseño de la mezcla del hormigón permeable**

La normativa ACI 522 establece que las muestras dependen de los agregados gruesos y sus propiedades físicas y mecánicas, además de rangos apropiados para obtener las mejores características de los testigos en base a la relación agregado vs. Cemento y agua vs. Cemento y las proporciones estándar para su fabricación. [5]

Parámetros	Rangos	Unidad
Materiales cementantes	270 a 415	kg/m ³
Agregados	1190 a 1480	kg/m ³
Relación agua – cemento	0.27 a 0.34	en peso
Relación agregado – cemento	4 a 4.5: 1	en peso
Relación agregado fino – agregado grueso	0 a 1:1	en peso

Fig. 23 Rangos típicos de proporciones de materiales
Fuente: “Reporto en precios concrete” ACI 522R

- **Relación agua/cemento**

La relación agua – cemento es uno de los parámetros que más destacan dentro de la mezcla, puesto que puede controlar la resistencia mecánica, en el caso de que este parámetro sea bajo su resistencia tanto en compresión como tracción e impacto se verá afectada, así como su durabilidad, caso contrario al saturar la mezcla se corre el riesgo de que los orificios interconectados de la probeta se taponen y pierda permeabilidad.

Un coeficiente óptimo para la muestra debe permitir que al apretar un puñado de material este no se desmorone, ni exista segregación, así aseguramos un buen recubrimiento y material cementante suficiente, la inspección de estos criterios se realizarán mediante la revisión ocular. La normativa ACI 522R (2010) establece un rango permitido de entre 0.26 a 0.45.

Sonco y Ticona en su investigación destacan que una relación a/c propicia se demarca por 0.3, puesto que si esta relación resulta ser menor la mezcla no lograría una reacción de hidratación propicia.

- **Porcentaje de vacíos**

Como podemos observar en puntos anteriores, la resistencia del hormigón y la permeabilidad se encuentran íntimamente relacionadas puesto que, si el porcentaje de vacíos aumenta la permeabilidad se incrementa, pero la resistencia a la compresión se ve afectada y disminuye considerablemente. es recomendable que el porcentaje de vacíos se encuentre disponible entre el 15 a 30%.

- **Pasta cementante**

Se le conoce como pasta cementante a la unión de agua con cemento, es un parámetro clave en la permeabilidad, debido a que si este valor es muy alto el porcentaje de vacíos se verá afectado y con él la permeabilidad, por esta razón se debe mantener un equilibrio entre estos parámetros. En la normativa ACI 522R-10 se establecen valores referenciales de entre 10 al 30%.

-**Relación F/G**

Si bien es cierto, se sabe que el hormigón permeable se distingue por la ausencia de agregados finos en su composición sin embargo con fines de incrementar la resistencia, creando enlaces más fuertes sin comprometer la permeabilidad, se puede aplicar cierto porcentaje de agregados finos a la mezcla. Los valores que por indagaciones de Amaguaya y Vallejo podemos destacar de esta relación para esta investigación están entre 0.05 a 0.3.[39]

- **Dosificación para hormigones permeables según ACI-522R**

- a. Encontrar la masa en estado seco total a implementar de los agregados, utilizando como herramienta la masa unitaria del agregado grueso, mediante la siguiente fórmula:

$$W_{ts} = Pu_G * V_T$$

W_{ts} = Masa de los agregados secos par el volumen requerido (Kg)

Pu_G = Masa unitaria del agregado grueso en (Kg/m³)
 V_T = Volumen requerido (m³)

- b. Calcular la masa de los agregados en SSS (saturados con superficie seca)

$$W_{T_{SSS}} = W_{T_s} * \left(1 + \frac{Abs_G}{100} \right)$$

$W_{T_{SSS}}$ = Masa de los agregados en SSS (Kg)
 Abs_G = Capacidad de absorción de la muestra (%)

- c. Determinar el porcentaje de agregados finos a utilizar en la mezcla.

$$W_{F_{SSS}} = W_{T_{SSS}} * \frac{\%F}{100}$$

$W_{F_{SSS}}$ = Masa del agregado fino en estado SSS (Kg)
 $\%F$ = Porcentaje que se implementará en la mezcla de agregados finos (%)

- d. Obtener la masa seca del agregado fino

$$W_{F_s} = \frac{W_{F_{SSS}}}{\left(\frac{1 + Abs_F}{100} \right)}$$

W_{F_s} = Masa seca del agregado fino (Kg)
 Abs_F = Porcentaje de absorción del agregado fino (%)

- e. Masa del agregado fino en estado natural

$$W_{FEN} = W_{F_s} * \left(1 + \frac{HN_F}{100} \right)$$

W_{FEN} = Masa en estado natural del agregado fino (Kg)
 HN_F = Contenido de humedad del agregado fino (%)

- f. Calcular la cantidad de agregado grueso en estado SSS necesario para la mezcla

$$W_{GSSS} = W_{TSSS} - W_{FSSS}$$

W_{GSSS} = Masa del agregado grueso en estado SSS (Kg)

g. Cálculo del agregado grueso seco

$$W_{Gs} = \frac{W_{GSSS}}{1 + \frac{Abs_G}{100}}$$

h. Cálculo del agregado grueso en estado natural

$$W_{GEN} = W_{GS} * \left(1 + \frac{H_{GN}}{100}\right)$$

W_{GEN} = Masa del árido grueso en estado natural (Kg)

H_{GN} = Contenido de humedad del árido grueso (%)

i. Calcular el volumen de pasta cementante a utilizar en la mezcla.

$$V_p = V_T * \frac{\%Vp - \%}{100}$$

V_p = Volumen requerido para la pasta cementante (m³)

$\%Vp$ = Pasta cementante implementada (%)

$\%$ = Porcentaje de disminución en dependencia del agregado fino (%)

Nota: es importante conocer que para el porcentaje de disminución se debe tomar en cuenta que se reduce un 2% por cada 10% de agregado fino que se agregue a la mezcla.

j. Obtener la masa de cemento de la mezcla.

$$c = \left(\frac{V_p}{\frac{1}{G_{ec}} + \frac{a}{c}} \right) * Pu_a$$

c = Masa del cemento (kg)

G_{ec} = Gravedad específica del cemento (adimensional)

a/c = Relación agua – cemento (adimensional)

Pu_a = Peso específico del agua (kg/m³)

k. Finalmente obtenemos la cantidad de agua de amasado requerida.

$$a_{am} = c * \frac{a}{c} + W_{gs} * \left(\frac{abs_G - HNG}{100} \right) + W_{Fs} * \left(\frac{Abs_F - HNF}{100} \right)$$

a_{am} = Cantidad de agua de amasado (kg)

1.1.5.5.3 Cálculo de porcentaje de vacíos

Este parámetro se calcula según las siguientes ecuaciones:

$$V_G = \frac{W_{GS}}{Ge_{GS} * PU_a}$$

$$V_F = \frac{W_{FS}}{Ge_{FS} * PU_a}$$

$$V_C = \frac{C}{Ge_C * PU_a}$$

$$V_a = \frac{am}{PU_a}$$

V_G = Volumen de agregado grueso (m³)

V_F = Volumen del agregado fino (m³)

V_C = Volumen de cemento (m³)

V_A = Volumen de agua (m³)

Posteriormente se obtiene el volumen de la mezcla y por consiguiente el contenido de vacíos:

$$V_M = V_G + V_F + V_C + V_A$$

$$\%VACIOS = (V_T - V_M) * \frac{100}{V_T}$$

V_T = Volumen total de hormigón (m³)

V_M = Volumen total de los materiales (m³)

1.1.5.1 Adoquines

1.1.5.1.1 Definición y requisitos

Los adoquines se definen como un bloque macizo de carácter prefabricado cuyos componentes principales con los agregados gruesos, finos, agua y cemento. Estos elementos son utilizados para recubrir superficies peatonales o vehiculares, estos deben cumplir con una resistencia especificada según el uso que estos brinden, tal cual se presenta a continuación:

Tipo de uso	No. de vehículos por día mayores de 3t brutas	Equivalente total de repeticiones de eje estándar después de 20 años de servicio	Forma recomendada de adoquín	Resistencia característica (MPa) compresión a los 28 días
Peatonal	0	0	A,B,C	(20)
Estacionamiento y calles residenciales	0-150	$0-4,5 \times 10^5$	A,B,C	(30)
Caminos secundarios y calles y principales	150-1500	$4,5 \times 10^5 - 4,5 \times 10^6$	A	(40)

Fig. 24 Clasificación de los adoquines según su forma
Fuente: Normativa INEN 1483 [40]

1.1.5.1.2 Clasificación de los adoquines:

Los adoquines se clasifican según 3 formas específicas detalladas a continuación:

Forma A: Adoquines dentados que se unen entre sí por los 4 lados en forma de esterilla o también llamado espina de pescado, resisten al desplazamiento relativo, tanto longitudinal como transversal.

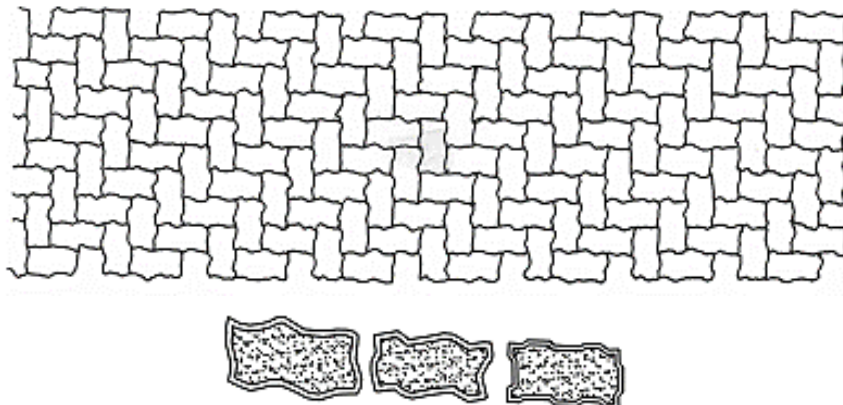


Fig. 25 Adoquines diseñados, colocados en esterilla
Fuente: GPE INEN 044:1996[41]

Forma B: Adoquines dentados que se unen en dos de sus lados, resisten los desplazamientos de forma longitudinal y dependen de su precisión dimensional para su colocación.



Fig. 26 Adoquines de tipología B: dentados
Fuente: GPE INEN 044:1996[41]

Forma C: Adoquines geométricos de perfil sencillo, al igual que el anterior dependen de la precisión dimensional para formar la traba para evitar el desplazamiento tanto longitudinal como transversal.

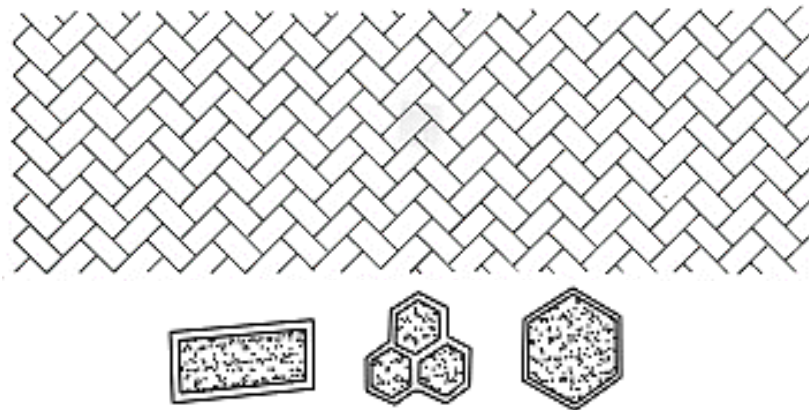


Fig. 27 Adoquines rectangulares, colocados en esterilla
Fuente: GPE INEN 044:1996[41]

1.1.5.2 Hipótesis

- El hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno tiene suficiente resistencia a compresión mínima del hormigón estructural.
- El hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno tiene mayor resistencia que el hormigón estructural.
- El hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno tiene mayor permeabilidad y e igual o mayor resistencia que el hormigón estructural.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo de la resistencia a compresión en adoquines entre hormigón estructural y hormigón permeable reforzado con fibras de polietileno.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y cemento Portland tipo GU, para la posterior dosificación de la mezcla.
- Realizar la dosificación del hormigón estructural y el hormigón permeable reforzado con fibras de polietileno para la fabricación de adoquines.
- Determinar la resistencia a compresión de adoquines elaborados con hormigón estructural y con hormigón permeable reforzado con fibras de polietileno, a los 7, 14, 21 y 28 días de edad.
- Desarrollar un análisis técnico/económico comparativo de los adoquines constituidos por hormigón estructural y hormigón permeable reforzado con fibras de polietileno.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Para la elaboración del siguiente trabajo experimental se implementaron los siguientes materiales:

2.1.1 Cemento tipo GU

Este material es implementado como aglutinante por ser uno de los materiales más comercializados en el medio de la construcción, que cumple con los requisitos de la normativa NTE INEN 2380 vigente en el territorio ecuatoriano.

2.1.2 Agregado grueso y fino

El agregado grueso y fino es extraído de la cantera denominado “El río” ubicada en el sector la Argentina perteneciente al cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi. Estos materiales cumplen con la normativa NTE INEN 872.

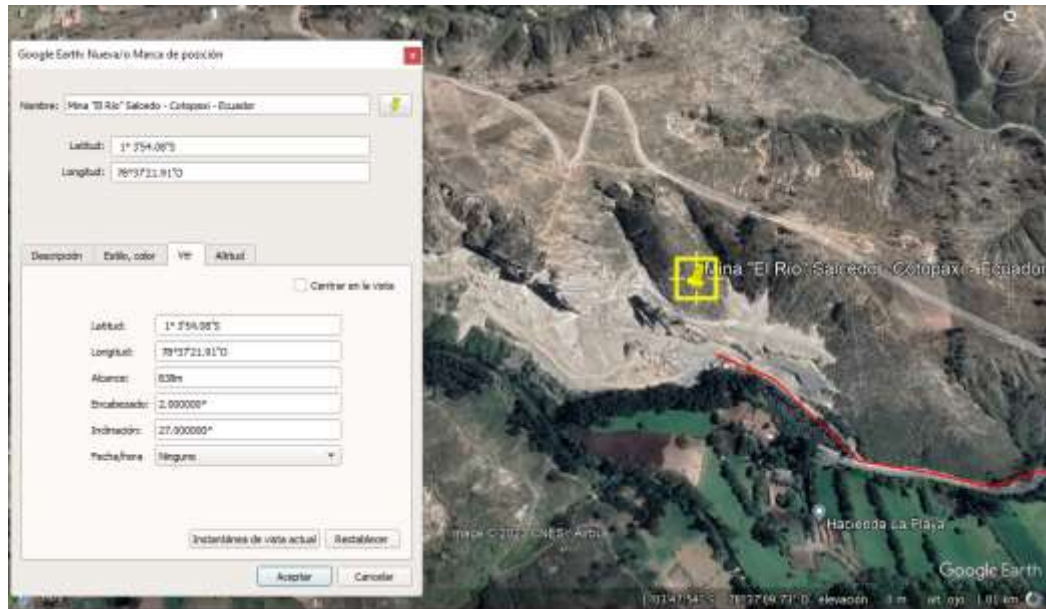


Fig. 28 Ubicación de la Mina "El río"
Fuente: Google Earth

2.1.3 Agua

Los requisitos que debe cumplir este material se especifican en la normativa NTE INEN 1108, la misma que en esencia debe ser incolora, inolora, libre de grasas y aceites y residuos orgánicos.

2.1.4 Gasolina

Ese derivado del petróleo cumple con el mismo fin que el querosén al momento de obtener la densidad del cemento, es decir no reacciona ni forma grumos al entrar en contacto cabe recalcar que la gasolina cuenta con una densidad menor a la del cemento, lo que permite realizar el ensayo de densidad del cemento.



Fig. 29 Gasolina
Fuente: Carla Reinoso

- **Moldes para adoquines**

El molde para adoquín implementado en esta sección cumple con las dimensiones propuestas para el adoquín, el material base es el acero y se equipa por 6 cavidades que permiten agilizar el proceso de fabricación.



Fig. 30 Molde para adoquines
Fuente: Carla Reinoso

2.1.5 EQUIPOS

2.1.6 Frasco de Le Châtelier

Se utiliza principalmente para obtener la densidad del cemento hidráulico, contiene una capacidad máxima de 250 ml y tiene graduaciones de entre 0 y 1 en el cuello y en la parte superior de entre 18 a 24 ml.

2.1.7 Picnómetro

Este instrumento permite que se conozca la densidad de los fluidos bajo el principio de gravimetría ya sea sólido o líquido.



Fig. 31 Picnómetro
Fuente: Carla Reinoso

2.1.8 Cámara de curado

El laboratorio está equipado con un espacio bajo condiciones específicas en cuanto a humedad y temperatura (21 a 25°C), destinado al reposo de las probetas durante la etapa de endurecimiento, con el fin de incrementar la resistencia frente a esfuerzos de compresión.



Fig. 32 cámara de curado
Autora: Carla Reinoso

2.1.9 Máquina de compresión

La máquina de compresión encontrada en el laboratorio es de marca SHIMADZU CONCRETO 2000X, la misma que puede llegar a aplicar una carga constante de entre 40 a 2000 kN, cuenta con varios instrumentos que aplican carga no solo de manera diametral, si no placas que distribuyen la carga para testigos de forma rectangular, requerimiento necesario para ensayar los adoquines planteados.

Cabe recalcar que la máquina no requiere una cámara especial para evitar accidentes cuando los testigos han alcanzado una falla determinada, puesto que es desarrollada de manera tal que se evita la fractura explosiva de la muestra.



Fig. 33 Máquina de compresión
Autora: Carla Reinoso

2.1.10 Tamizadora Mecánica

La tamizadora eléctrica permite clasificar las partículas según su tamaño, revolviendo las muestras durante un lapso no mayor a los 10 min. Puesto que un tiempo excesivo podría degradar la muestra.



Fig. 34 Tamizadora mecánica
Autora: Carla Reinoso

2.1.11 Equipos adicionales

- Tamices cuadrados
- Tamices redondos
- Cono de Abrams
- Varilla de compactación
- Moldes rectangulares de 10 cm x 20 cm x 8 cm
- Recipientes metálicos y de plástico
- Canastilla metálica
- Caretila
- Palas
- Balanzas
- Embudos
- Flexómetros
- Martillo de goma

2.2 Métodos

Con el objetivo de obtener la mejor calidad en los resultados de esta investigación se establecen los siguientes niveles de investigación:

2.2.1 Investigación bibliográfica

Este tipo de investigación se aplica en el presente proyecto en la sección de marco teórico, para sustentar con una base teórica los conceptos previos a la aplicación de los materiales y equipos.

La investigación bibliográfica ya sea física o digital basa su contenido en la revisión de artículos, libros, investigaciones, etc. Que hayan sido publicadas, las mismas que cuentan con un sustento científico, estas aportan con posibles soluciones al problema determinado que se plantea, adicionalmente el marco teórico puede adicionar nuevas alternativas de solución al problema y convergencia con nuevas investigaciones.

Una vez establecido el problema, objetivos y factibilidad se procede a sustentar teóricamente las bases del estudio el mismo que se trata de obtener un producto mediante un desarrollo, este último comprende en una inmersión en investigaciones existentes que se vinculan directamente con el problema, el mismo que desemboca en un marco teórico que pone en contexto al lector mediante un reporte de investigación. [42]

2.2.2 Investigación de campo



En la investigación resaltamos su aplicación en la que el investigador se desplaza al lugar de origen de los datos, donde capta la realidad del origen de los datos puesto que se ve envuelta por varias variables. Por lo que su aplicación en este proyecto fue directa al ser partícipe de la recolección del material obtenido de la cantera, es decir una observación directa del material en su lugar de procedencia, pero esta es simplemente una etapa que se consolida con la investigación de laboratorio.[42]



2.2.3 Investigación de laboratorio



La investigación de laboratorio se lleva a cabo en un ambiente controlado donde todos los factores externos o variables independiente que puedan influir en la muestra son anulados en su totalidad, en este caso se cuantifica mediante los resultados obtenidos en base ensayos de los materiales como:



- Densidad real de los agregados gruesos y finos
- Densidad real del cemento
- Densidad aparente suelta y compactada de agregados grueso y finos
- Granulometría de gruesos y finos
- Contenido de humedad de las muestras
- Capacidad de absorción de los agregados


2.2.4 Cuadro metodológico

Actividad	Materiales y Métodos	Detalle del ensayo	Fórmulas	Imagen del ensayo	Objetivos específicos
Adquisición de componentes de la mezcla de hormigón	<p>Materiales: Arena, Ripio, Cemento, Fibras de Polipropileno</p> <p>Métodos: Trabajo en campo. NTE INEN 872:2011 Áridos para hormigón. Requisitos.</p>	Observación	Observación		
Ensayos de granulometría para agregados finos	<p>Materiales: Árido fino</p> <p>Métodos: Experimentación NTE INEN 696:2011. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso</p> <p>Resultado: Obtención del módulo de finura</p>	<p>Agregados finos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ordenar los tamices de forma descendente con la fuente al fondo. - Colocar la muestra en el tamiz superior. - Posicionar el conjunto de tamices en la mesa vibradora - Pesarse la cantidad de agregado retenido en cada tamiz. 	$MF = \frac{\%Retenido\ acumulado}{100}$		<p>Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y cemento Portland tipo GU, para la posterior dosificación de la mezcla.</p>

Actividad	Materiales y Métodos	Detalle del ensayo	Fórmulas	Ensayo	Objetivos específicos
Ensayos de granulometría para agregados finos y gruesos	<p>Materiales: Arena, Árido grueso.</p> <p>Métodos: Experimentación NTE INEN 696:2011. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso</p> <p>Resultado: Obtención del tamaño nominal máximo</p>	<p>Agregados gruesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ordenar los tamices en forma descendente con la fuente al final. - Colocar la muestra en el tamiz superior. - Tamizar la muestra revisando que los agregados sean uniformes - Pesarse la cantidad de agregado retenido en cada tamiz. 	$TMN: \% \text{ acumulado mayor al } 15\%$		<p>Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y cemento Portland tipo GU, para la posterior dosificación de la mezcla.</p>
Ensayo de densidad real del cemento	<p>Materiales: Cemento Gasolina</p> <p>Métodos: Experimentación.</p> <p>NTE INEN 156:2009 Cemento hidráulico. Determinación de la densidad</p>	<p>Frasco de Le Chatelier:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar la gasolina entre las marcas 0 y 1 de la copa de Le Chatelier - Pesarse 64g. de cemento - Colocar el cemento dentro del frasco - Tomar la lectura final del frasco. 	$\rho_{cem} = \frac{\text{cemento}}{\text{lectura final} - \text{Lectura inicial}}$		<p>Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y cemento Portland tipo GU, para la posterior dosificación de la mezcla.</p>

Actividad	Materiales y Métodos	Detalle del ensayo	Fórmulas	Ensayo	Objetivos específicos
Ensayo de densidad real de los agregados.	<p>Materiales: Arena</p> <p>Métodos: Experimentación NTE INEN 856:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de árido fino.</p> <p>Resultado: Densidad real de los agregados</p>	<p>Densidad real de los agregados finos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar la muestra sumergidas durante 24 ± 4h. - Secar superficialmente la muestra - Obtener la masa del picnómetro (M1) - Ubicar 500gr de la muestra en un picnómetro (M2) - Colocar agua hasta la muesca del picnómetro (M3) - Tomar la lectura del picnómetro + agua (M5) 	$M_4 = M_3 - M_2$ $M_6 = M_5 - M_1$ $D_A = \frac{M_6}{500}$ $M_7 = M_6 - M_4$ $M_{SSS} = M_2 - M_1$ $V_{SSS} = \frac{M_7}{D_A}$ $DRA = \frac{M_{SSS}}{V_{SSS}}$		<p>Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y cemento Portland tipo GU, para la posterior dosificación de la mezcla.</p>
Ensayo de densidad real de los agregados.	<p>Materiales: Arena, Ripio</p> <p>Métodos: Experimentación NTE INEN 856:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción de árido fino.</p> <p>Resultado: Densidad real de los agregados</p>	<p>Densidad real de los agregados gruesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar la muestra sumergidas durante 24 ± 4h. - Secar la muestra superficialmente - Utilizar la canasta metálica para obtener: <ol style="list-style-type: none"> 1. Peso de la canasta en el aire (M1) y agua (M2) 2. Peso de la muestra + agregado en el agua (M4) y aire (M3) 3. Peso de la canasta + muestra en el agua 	$M_5 = M_3 - M_1$ $M_6 = M_4 - M_2$ $VR = \frac{M_5 - M_6}{DA}$ $DR = \frac{M_5}{VR}$		<p>Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y cemento Portland tipo GU, para la posterior dosificación de la mezcla.</p>

Actividad	Materiales y Métodos	Detalle del ensayo	Fórmulas	Ensayo	Objetivos específicos
Ensayo de capacidad de absorción de los agregados	<p>Materiales: Arena, Ripio</p> <p>Métodos: Experimentación</p> <p>NTE INEN 857:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y absorción del árido grueso.</p> <p>Resultado: Capacidad de absorción de los agregados</p>	<p>Capacidad de absorción de los agregados finos y gruesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Obtener el peso del recipiente (M7) - Pesarse el recipiente + muestra en estado sss (M8) - Colocar en el horno a 110 °C ± 5°C - Obtener el peso del recipiente + muestra seca (M10) 	$M_9 = M_8 - M_7$ $M_{11} = M_{10} - M_7$ $CA = \left(\frac{M_9 - M_{11}}{M_{11}} \right) * 100$		<p>Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y cemento Portland tipo GU, para la posterior dosificación de la mezcla.</p>
Ensayo de contenido de humedad de los agregados	<p>Materiales: Arena, Ripio</p> <p>Métodos: Experimentación.</p> <p>NTE INEN 862:2011 Áridos para hormigón. Determinación del contenido de humedad de los agregados.</p>	<p>Contenido de humedad de los agregados finos y gruesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Obtener el peso del recipiente (M7) - Pesarse el recipiente + muestra (M8) - Colocar en el horno a 110 °C ± 5°C - Obtener el peso del recipiente + muestra seca (M10) 	$M_9 = M_8 - M_7$ $M_{11} = M_{10} - M_7$ $CA = \left(\frac{M_9 - M_{11}}{M_{11}} \right) * 100$		

Actividad	Materiales y Métodos	Detalle	Método / Normativa	Resultado	Objetivos específicos
<p>Ensayo de densidad aparente suelta y compacta de los agregados</p>	<p>Materiales: Arena, Ripio</p> <p>Métodos: Experimentación.</p> <p>NTE INEN 858:2010. Áridos Determinación de la masa unitaria y porcentaje de vacíos</p>	<p>Densidad aparente suelta de agregados finos y gruesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar la muestra en el recipiente + muestra (M1) y tomar la lectura del peso en 2 ocasiones - Tomar el peso del recipiente vacío (M2) - Volumen del recipiente (M3) - Obtener la masa del agregado (M4) <p>Densidad aparente compactada de agregados finos y gruesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar la muestra en el recipiente y tomar la lectura del peso en 3 ocasiones compactando en 3 capas iguales con 25 golpes. <p>Densidad aparente suelta de agregados finos y gruesos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar la muestra en el recipiente y tomar la lectura del peso en 3 ocasiones compactando en 3 capas iguales con 25 golpes con las proporciones indicadas en el capítulo IV - Obtener el valor óptimo, el valor máximo en la curva 	$M_4 = M_1 - M_2$ $\rho_{apar} = \frac{M_3}{M_4}$		<p>Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos y cemento Portland tipo GU, para la posterior dosificación de la mezcla.</p>

Actividad	Materiales y Métodos	Detalle	Método / Normativa	Resultado	Objetivos específicos
Dosificación de la mezcla de hormigón	Materiales: Fuentes bibliográficas, Excel Métodos: Experimentación	Cálculo manual / Cálculo con la implementación de hojas de cálculo (Microsoft Excel) / Uso de Python.	Método de Densidad óptima de la Universidad Central del Ecuador Método de dosificación de la normativa ACI 522 R-10.	Obtención de la dosificación al volumen y al peso para los especímenes de prueba.	Realizar la dosificación del hormigón estructural y el hormigón permeable reforzado con fibras de polietileno para la fabricación de adoquines.
Elaboración de especímenes.	Materiales: Arena, Ripio, Cemento, Agua, Fibras de Polipropileno, moldes. Equipos de laboratorio Métodos: Experimentación.	Elaboración de los adoquines bajo condiciones controladas en laboratorio, a 25 golpes dividido en 3 capas iguales.	Dimensiones de acuerdo con la normativa NTE INEN 1488:1986 Adoquines. Requisitos.	Construcción de los especímenes para curado	
Ensayos de compresión de adoquines de hormigón estructural y hormigón permeable con fibras de polipropileno	Materiales: Adoquines de hormigón. Libreta de apuntes. Equipos de laboratorio. Métodos: Observación	Implementación de la máquina de compresión aplicando carga constante al testigo hasta llegar a una falla.	NTE INEN 1573:2011. Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo. NTE INEN 1485:1986. Adoquines. Determinación de la resistencia a la compresión.	Resistencia a la compresión de los especímenes.	Determinar la resistencia a compresión de adoquines elaborados con hormigón estructural y con hormigón permeable reforzado con fibras de polietileno, a los 7, 14, 21 y 28 días de edad.
Análisis técnico/económico	Materiales: Especímenes. Libreta de apuntes. Hojas de cálculo (Microsoft Excel) Métodos: Observación.	Análisis bajo la implementación de software y precios unitarios para obtener el costo por unidad	NTE INEN 1485:1986. Adoquines. Determinación de la resistencia a la compresión NTE INEN 1488:1986-10 Adoquines. Requisitos.	Análisis de los resultados de las resistencias a compresión obtenidos a partir de los ensayos, de acuerdo con las variables identificadas. Análisis de los costos de los adoquines de hormigón estructural y hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno.	Desarrollar un análisis técnico/económico comparativo de los adoquines constituidos por hormigón estructural y hormigón permeable reforzado con fibras de polietileno.

2.2.5 Porcentajes de adición de las fibras de polipropileno

Como ya se mencionó anteriormente, el porcentaje de adición de fibras de polipropileno según la fábrica Sika, se recomienda un rango del 0.03 a 0.15% o de 0.3 a 1.2 kg/m³, por tanto, se propone los siguientes porcentajes para las dosificaciones tanto para ½” como para ¾”

- a. 0.000%
- b. 0.025%
- c. 0.050%
- d. 0.075%
- e. 0.100%
- f. 0.150%

2.2.6 Dimensionamiento de los especímenes

Las dimensiones de los adoquines se establecieron en base a la normativa INEN 1448, titulada “Adoquines: requisitos” la misma que se implementa tanto para recubrimiento de áreas de uso vehicular como para uso peatonal, tomando en cuenta que las solicitaciones que se plantean en el presente trabajo investigativo es peatonal y las dimensiones que se proponen son 200 mm (largo) x 100 mm (ancho) x 80 mm (espesor), se deberá cumplir con los siguientes requisitos principales:

1. La relación longitud/ancho no será mayor a 2.0

$$\frac{\textit{longitud}}{\textit{ancho}} = \frac{200}{100} = 2.00$$

2. Espesor no menor a 60 mm ni mayor a 100 mm
- 3.

$$\textit{Espesor seleccionado} = 80 \textit{ mm}$$

4. Cumplir con las formas determinadas: A, B O C. El adoquín cumple con la categoría C, mencionada en el capítulo I, puesto que es un adoquín rectangular.

Al cumplir con los requisitos propuestos en la normativa es aceptable para su elaboración.

2.2.7 Identificación de especímenes

Se realizarán 156 adoquines, cuyo código será según el orden de su elaboración, es decir estarán enumerados del 1 a 156, de acuerdo con el tamaño máximo de agregado, porcentaje de fibras y edad de cada espécimen, 7, 14, 21 y 28 días, representados según la siguiente nomenclatura:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYADO POR: Carla Alexandra Reinoso Bonilla
NORMA APLICADA: NTE INEN 1485
FECHA DEL ENSAYO: 5/1/2023

GRUPO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE DE FIBRAS	7 DÍAS	14 DÍAS	21 DÍAS	28 DÍAS
D-01	3/4"	0.00%	1-mar	4-jun	7-sep	10-dic
D-02	3/4"	0.03%	13-15	16-18	19-21	22-24
D-03	3/4"	0.05%	25-27	28-30	31-33	34-36
D-04	3/4"	0.08%	37-39	40-42	43-45	46-48
D-05	3/4"	0.10%	49-51	52-54	55-57	58-60
D-06	3/4"	0.15%	61-63	64-66	67-69	70-72
D-07	1/2"	0.00%	73-75	76-78	79-81	82-84
D-08	1/2"	0.03%	85-87	88-90	91-93	94-96
D-09	1/2"	0.05%	97-99	100-102	103-105	106-108
D-10	1/2"	0.08%	109-111	112-114	115-117	118-120
D-11	1/2"	0.10%	121-123	124-126	127-129	130-132
D-12	1/2"	0.15%	133-135	136-138	139-141	142-144

Tabla 9 Identificación de especímenes
Elaborado por: Carla Reinoso

D-13: Adoquín con agregado grueso bien graduado y 0.0% de adición de fibra de Polipropileno. (145-156)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

En este capítulo se remarcan los resultados obtenidos durante los ensayos practicados a los agregados gruesos, finos, cemento y ensayos a compresión de los especímenes establecidos con anterioridad, obteniendo como resultado granulometrías, densidades reales y aparentes, así como la resistencia del producto final.

En resumen, el árido fino obtiene una buena granulometría lo que sugiere que este árido está bien graduado, respecto al módulo de finura se obtuvo un valor de 3.00%, con una densidad de 2.667 gr/cm³ y una capacidad de absorción del 0.65%. La densidad aparente suelta obtuvo un valor de 1.537 kg/dm³ mientras que la densidad aparente compactada 1.695 kg/dm³, finalmente en el contenido de humedad se obtuvo un valor de 1.1%.

Para el agregado grueso, tal cual el caso anterior se obtuvo una granulometría satisfactoria de acuerdo con sus límites, con un tamaño máximo nominal de ¾” ya que este presentaba una retención mayor al 15% y favoreciendo a un uso 56, puesto que la grava presentaba retención desde el tamiz cuadrado de 1” hasta llegar al tamiz #4. Dentro de las densidades, se obtuvo un valor promedio de 2.448 gr/cm³ y una capacidad de absorción del 1.34%, la densidad aparente suelta obtuvo un valor de 1.327 kg/dm³ mientras que la densidad aparente compactada 1.465 kg/dm³, mientras que en el contenido de humedad se obtuvo un valor de 0.68%.

La densidad aparente combinada de los áridos entregó como resultado densidades entre 1.50 y 1.93 kg/dm³ entregando un peso unitario óptimo de 1.945 kg/dm³, con un porcentaje óptimo de agregado fino del 46%, mientras que para el agregado grueso este valor fue del 54%.

Finalmente, el ensayo aplicado al cemento para obtener la densidad real produjo un valor promedio de 3.04 gr/cm³.

3.1.1 TABULACIÓN DE RESULTADOS

3.1.1.1 Análisis granulométrico de agregados finos

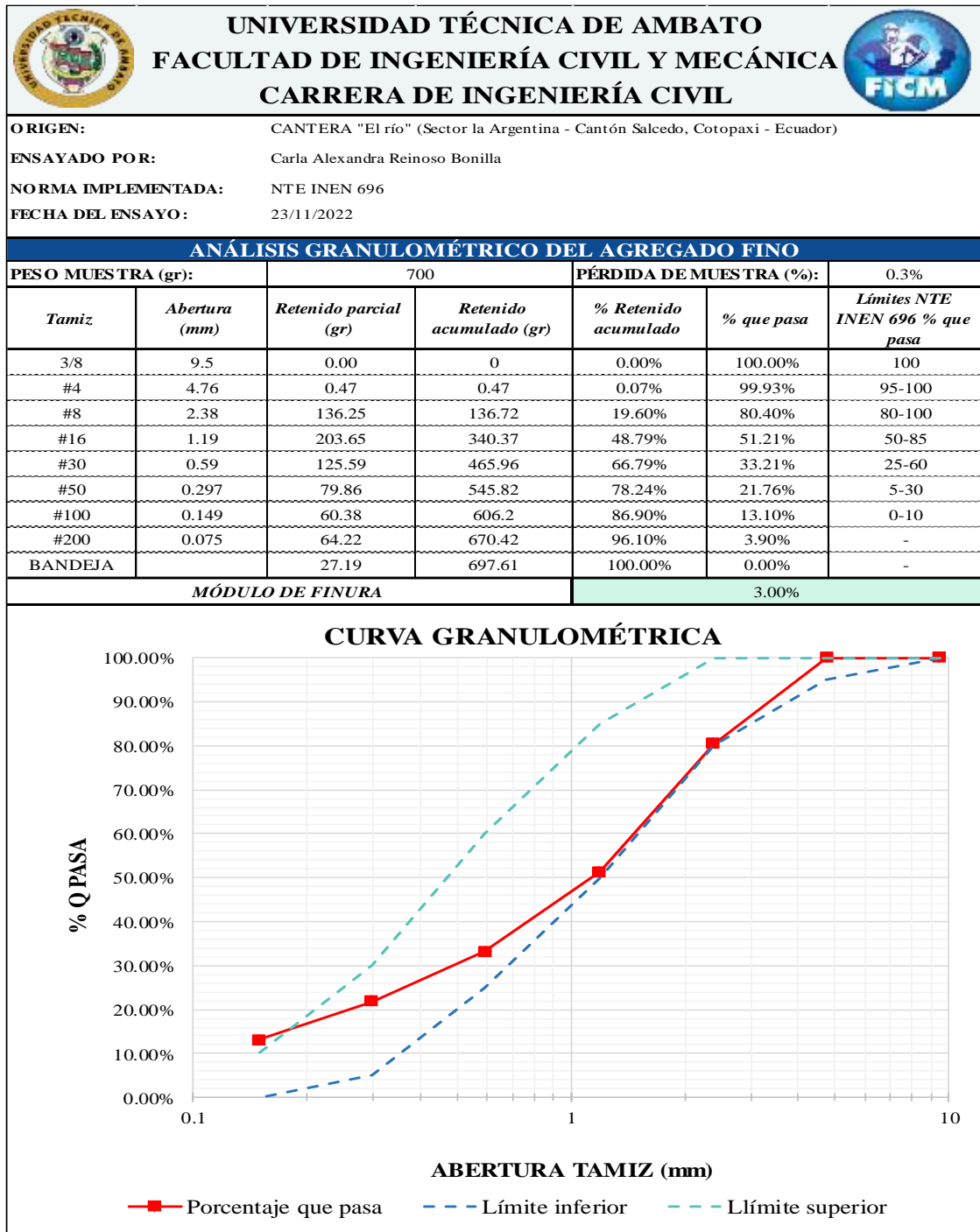


Tabla 10 granulometría de áridos finos
Elaborado por: Carla Reinoso

En la tabla y gráfico anterior podemos observar cómo se distribuye el porcentaje de partículas que pasan por los tamices señalados, el módulo de finura tiene un valor de 3.00%, la normativa NTE INEN 872 establece que este valor no debe ser menor a 2.3 ni mayor a 3.1, por lo que este valor se encuentra dentro del rango establecido. Los límites tanto inferior como superior se establecen a continuación:

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 µm	25 a 60
300 µm	5 a 30
150 µm	0 a 10

Tabla 11. Tabla de límites para granulometría de finos
Fuente: NTE INEN 872 [19]

3.1.1.2 Análisis granulométrico de agregados gruesos

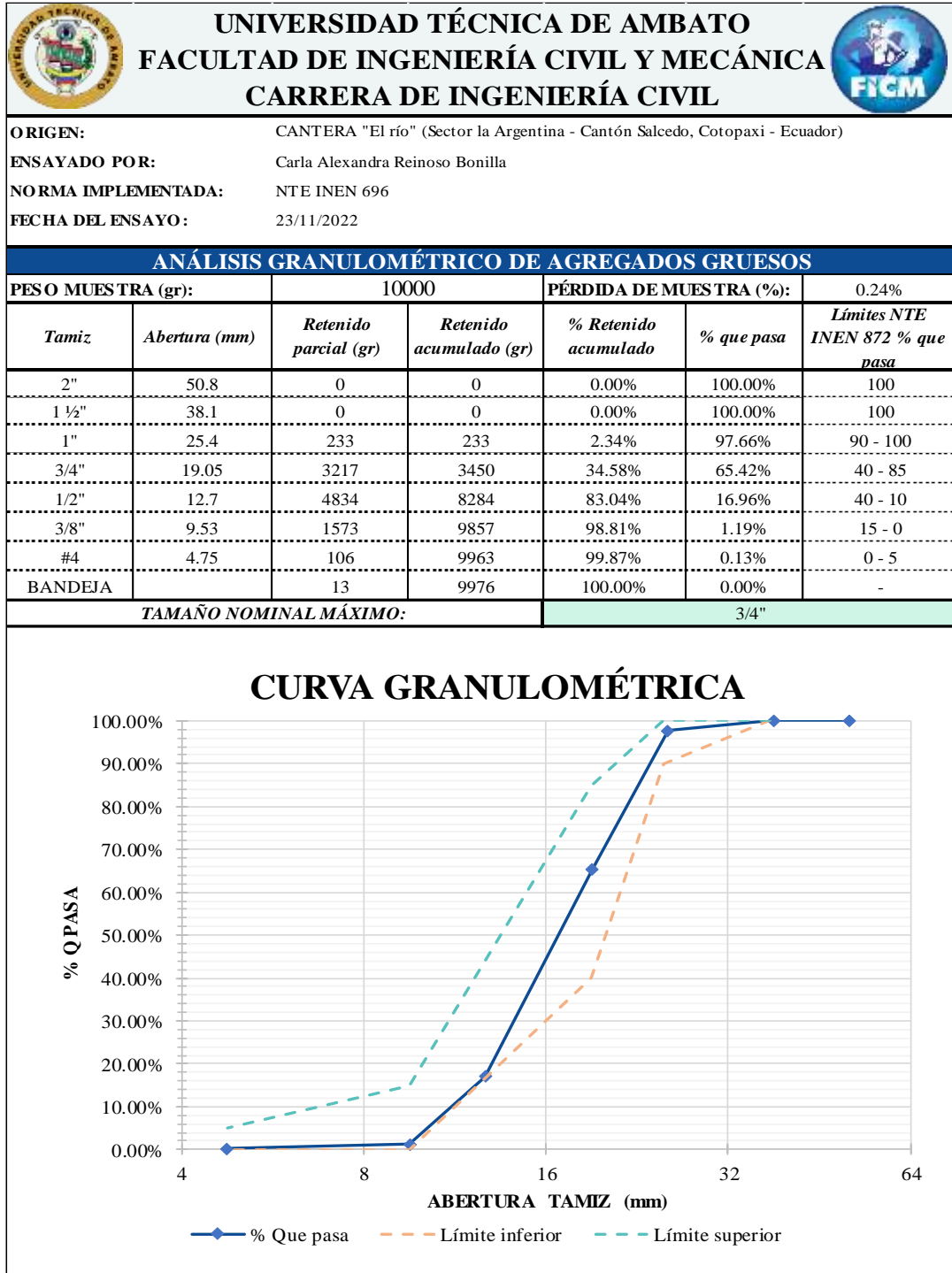


Tabla 12. granulometría de áridos gruesos.

Elaborado por: Carla Reinoso.

Las curvas granulométricas obtenidas se encuentran dentro de los rangos especificados requeridos. El tamaño nominal máximo que en este caso rebasa el 15% es inmediatamente aquel material retenido en el tamiz ¾", puesto que está dentro de los límites marcados en la normativa NTE INEN 872. La muestra tiene un uso 56, ya que ingresa en los rangos de 25.0 a 9.5 mm como se muestra en la selección de la tabla a continuación:

Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0, a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

^A Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.



Fig. 35 Porcentajes de retención de los tamices
Fuente: NTE INEN 872 [19]

3.1.1.3 Densidad real del cemento

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
ORIGEN:	Cemento HOLCIM			
ENSAYADO POR:	Carla Alexandra Reinoso Bonilla			
NORMA IMPLEMENTADA:	NTE INEN 156			
FECHA DEL ENSAYO:	24/11/2022			
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	UNIDAD
Volumen inicial	Vo	0.60	0.50	cc
Volumen final	Vf	21.20	22.00	cc
Masa del cemento	Mc	64.00	64.00	gr
Temperatura	T	22.00	24.00	°C
Densidad real del cemento	DR	3.11	2.98	gr/cm ³
Densidad real del cemento promedio	DR. Prom	3.04		gr/cm ³

Tabla 13. Densidad real del cemento
Elaborado por: Carla Reinoso

El ensayo basado en la normativa NTE INEN 156:2009[33], obtuvo un valor promedio de 3.04 gr/cm³, el cual resulta dentro del rango de valores típicos para la densidad real del cemento, puesto que el cemento Portland tiene una densidad de entre 2.90 a 3.15 gr/cm³. [43]

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
ORIGEN:	Cemento HOLCIM			
ENSAYADO POR:	Carla Alexandra Reinoso Bonilla			
NORMA IMPLEMENTADA:	NTE INEN 156			
FECHA DEL ENSAYO:	24/11/2022			
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	UNIDAD
Volumen inicial	Vo	0.60	0.50	cc
Volumen final	Vf	21.20	22.00	cc
Masa del cemento	Mc	64.00	64.00	gr
Temperatura	T	22.00	24.00	°C
Densidad real del cemento	DR	3.11	2.98	gr/cm ³
Densidad real del cemento promedio	DR. Prom	3.04		gr/cm ³

3.1.1.4 Densidad real del agregado fino.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ORIGEN:	CANTERA "El río" (Sector la Argentina - Cantón Salcedo, Cotopaxi - Ecuador)				
ENSAYADO POR:	Carla Alexandra Reinoso Bonilla				
NORMA IMPLEMENTADA:	NTE INEN 858				
FECHA DEL ENSAYO:	25/11/2022				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS					
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL					
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	UNIDAD
Masa del picnómetro	M1	152.06	163.33	172.55	gr
Masa del picnómetro + muestra SSS	M2	652.80	218.13	227.47	gr
Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	M3	963.36	695.25	705.05	gr
Masa agua añadida	M4=M3-M2	310.56	477.12	477.58	gr
Masa picnómetro + 500cc de agua	M5	650.40	660.82	670.64	gr
Masa de 500cc de agua	M6=M5-M1	498.34	497.49	498.09	gr
Densidad del agua	DA=M6/500cm ³	1.00	0.99	1.00	gr/cm ³
Masa del agua desalojada por la muestra	M7=M6-M4	187.78	20.37	20.51	gr
Masa del agregado	M _{sss} =M2-M1	500.74	54.80	54.92	gr
Volumen del agua desalojada	V _{sss} =M7/DA	188.41	20.48	20.59	cm ³
Densidad real de la arena	DRA=M _{sss} /V _{sss}	2.658	2.676	2.667	gr/cm ³
Densidad real de la arena promedio	DRA PROMEDIO	2.667			gr/cm³
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN					
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	UNIDAD
Masa del recipiente	M7	129.42	171.18	158.94	gr
Masa del recipiente + muestra SSS	M8	419.40	310.21	385.20	gr
Masa de la muestra SSS	M9=M8-M7	289.98	139.03	226.26	gr
Masa del recipiente + muestra seca	M10	417.94	309.12	383.70	gr
Masa de la muestra seca	M11=M10-M7	288.52	137.94	224.76	gr
Capacidad de absorción	CA=((M9-M11)/M11)*100	0.51	0.79	0.67	%
Capacidad de absorción promedio	P2=(CA1+CA2)/2	0.65			%

Tabla 14. Densidad real del agregado fino y capacidad de absorción
Elaborado por: Carla Reinoso

El valor obtenido de la densidad real de la arena es 2.667 gr/cm³ el mismo se consiguió gracias a los ensayos especificados en la normativa NTE INEN 856:2010[28]. Al mismo tiempo, se obtuvo una capacidad de absorción de 0.65%.

3.1.1.5 Densidad real del agregado grueso.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ORIGEN:	CANTERA "El río" (Sector la Argentina - Cantón Salcedo, Cotopaxi - Ecuador)				
ENSAYADO POR:	Carla Alexandra Reinoso Bonilla				
NORMA IMPLEMENTADA:	NTE INEN 857				
FECHA DEL ENSAYO:	25/1/2022				
DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO					
CÁLCULO DE LA DENSIDAD REAL					
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	UNIDAD
Masa de la canastilla en el aire	M1	1502.00	1502.00	1502.00	gr
Masa de la canastilla en el agua	M2	1285.00	1285.00	1285.00	gr
Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	M3	7002.00	7919.00	8002.00	gr
Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	M4	4539.00	5080.00	5128.00	gr
Densidad real del agua	DA	1.00	1.00	1.00	gr/cm ³
Masa de la muestra SSS en el aire	M5 = M3-M1	5500.00	6417.00	6500.00	gr
Masa de la muestra SSS en el agua	M6 = M4-M2	3254.00	3795.00	3843.00	gr
Volumen real de la muestra	VR=(M5-M6)/DA	2246.00	2622.00	2657.00	cm ³
Densidad real	DR=M5/VR	2.449	2.447	2.446	gr/cm ³
Densidad real	DR=M5/VR	2.448			gr/cm ³
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN					
DESIGNACIÓN	DATOS	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	UNIDAD
Masa del recipiente	M7	65.00	74.00	32.83	gr
Masa del recipiente + muestra SSS	M8	477.00	542.00	500.83	gr
Masa de la muestra SSS	M9=M8-M7	412.00	468.00	468.00	gr
Masa del recipiente + muestra seca	M10	471.55	535.77	494.71	gr
Masa de la muestra seca	M11=M10-M7	406.55	461.77	461.88	gr
Capacidad de absorción	CA=((M9-M11)/M11)*100	1.34	1.35	1.33	%
Capacidad de absorción promedio	P2=(CA1+CA2)/2	1.34			%

Tabla 15. Densidad real del agregado grueso y Capacidad de absorción
Elaborado por: Carla Reinoso

Para obtener la densidad real del agregado grueso se tomó en base la normativa NTE INEN 857, la misma que establece la cantidad de material necesario para este ensayo, que en este caso fue:

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
12,5 o menor	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Tabla 16 Obtención de muestra según su TNM
Fuente: NTE INEN 857[29]

A partir de esta muestra se obtuvieron valores de densidad real muy parecidos, en este caso 2.449, 2.447, y 2.446 cuyo promedio fue de 2.488 gr/cm³ y finalmente tras en ensayo de capacidad de absorción se obtuvo un valor promedio de 1.34%.

3.1.1.6 Densidad real del agregado grueso tamizado.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 									
ORIGEN:	CANTERA "El río" (Sector la Argentina - Cantón Salcedo, Cotopaxi - Ecuador)								
ENSAYADO POR:	Carla Alexandra Reinoso Bonilla								
NORMA IMPLEMENTADA:	NTE INEN 857								
FECHA DEL ENSAYO:	44586								
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO TAMIZADO									
CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO TAMIZADO									
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	3/4'			UNIDAD	1/2'			UNIDAD
Masa del recipiente	M7	30.10	30.80	31.32	gr	30.86	30.65	30.90	gr
Masa del recipiente + muestra SSS	M8	158.94	143.84	147.12	gr	170.10	150.89	159.70	gr
Masa de la muestra SSS	M9=M8-M7	128.84	113.04	115.80	gr	139.24	120.24	128.80	gr
Masa del recipiente + muestra seca	M10	157.45	142.15	145.31	gr	167.82	149.04	157.72	gr
Masa de la muestra seca	M11=M10-M7	127.35	111.35	113.99	gr	136.96	118.39	126.82	gr
Capacidad de absorción	$CA = ((M9 - M11) / M11) * 100$	1.17	1.52	1.59	%	1.66	1.56	1.56	%
Capacidad de absorción prom.	$P2 = (CA1 + CA2) / 2$	1.43			%	1.60			%

Tabla 17. Capacidad de absorción del agregado tamizado
Elaborado por: Carla Reinoso

Al igual que el punto anterior se implementó la normativa NTE INEN 857, esta vez con los agregados tamizados retenido por un lado en el tamiz $\frac{3}{4}$ y por otro lado en el tamiz $\frac{1}{2}$, respecto a los resultados en el primer caso se obtuvo un contenido de humedad de 1.43% mientras que en el segundo caso este valor incrementa, puesto que se obtuvo 1.60%, estos valores procedentes de 3 ensayos.

3.1.1.7 Densidad aparente suelta y compactada de los agregado finos y gruesos.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
ORIGEN:	CANTERA "El río" (Sector la Argentina - Cantón Salcedo, Cotopaxi - Ecuador)			
ENSAYADO POR:	Carla Alexandra Reinoso Bonilla			
NORMA IMPLEMENTADA:	NTE INEN 858:2010			
FECHA DEL ENSAYO:	24/11/2022			
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9.975			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20.22			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm³)</i>
FINO	41.10	31.13	1.54	1.537
	41.00	31.03	1.53	
GRUESO	36.70	26.73	1.32	1.327
	36.90	26.93	1.33	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO FINO Y GRUESO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9.975			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20.22			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
<i>Agregado</i>	<i>Agregado + Recipiente (kg)</i>	<i>Agregado (kg)</i>	<i>Peso Unitario (kg/dm³)</i>	<i>Peso Unitario Promedio (kg/dm³)</i>
FINO	44.10	34.13	1.69	1.695
	44.40	34.43	1.70	
GRUESO	39.10	29.13	1.44	1.465
	40.10	30.13	1.49	
DENSIDAD APARENTE SUELTA DEL AGREGADO GRUESO TAMIZADO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9.975			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20.22			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
3/4	36.70	26.73	1.32	1.328
	36.94	26.97	1.33	
1/2	37.20	27.23	1.35	1.349
	37.32	27.35	1.35	
DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DEL AGREGADO GRUESO TAMIZADO				
MASA RECIPIENTE (Kg):	9.975			
VOLUMEN RECIPIENTE (dm³):	20.22			
NORMA:	NTE INEN 858:2010			
3/4	39.80	29.83	1.48	1.472
	39.70	29.73	1.47	
	39.70	29.73	1.47	
1/2	40.50	30.53	1.51	1.513
	40.50	30.53	1.51	
	40.70	30.73	1.52	

Tabla 18. Densidad aparente suelta y compactada de los agregado finos y gruesos
Elaborado por: Carla Reinoso

A partir del ensayo se obtuvieron valores para la densidad aparente suelta del agregado fino de 1.537 kg/dm^3 , mientras que el agregado grueso es 1.327 kg/dm^3 lo que indica que la arena es más densa que el agregado grueso, mientras que para la densidad aparente compactada en el agregado fino es 1.695 kg/dm^3 y para el agregado grueso es 1.465 kg/dm^3 por lo que en esta densidad también se concluye que la densidad del agregado fino es mayor a la del agregado grueso independientemente de si es compactada o no.

Por otro lado, se obtuvo la densidad aparente de los agregados de $3/4''$ y $1/2''$ obteniéndose en el primer caso en estado suelto un valor de 1.328 kg/dm^3 , mientras que en estado compactado un valor de 1.472 kg/dm^3 , mientras que en el caso del agregado de $1/2''$, cuando se encuentra en estado suelto es de 1.349 kg/dm^3 y si hablamos de un estado compactado el resultado obtenido fue de 1.513 kg/dm^3 .

3.1.1.8 Contenido de humedad natural de la muestra



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 								
ORIGEN:	CANTERA "El río" (Sector la Argentina - Cantón Salcedo, Cotopaxi - Ecuador)							
ENSAYADO POR:	Carla Alexandra Reinoso Bonilla							
NORMA IMPLEMENTADA:	NTE INEN 862							
FECHA DEL ENSAYO:	23/11/2022							
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO COMBINADO								
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	UNIDAD			
Masa del recipiente	M1	127.93	32.83	127.63	gr			
M. recipiente + agregado	M2	292.6	192.66	334.62	gr			
M recipiente + agregado seco	M3	290.84	190.88	331.98	gr			
masa del agregado	Ma=M2-M1	164.67	159.83	206.99	gr			
masa del agregado grueso	Mas=M3-M1	162.91	158.05	204.35	gr			
Contenido de humedad	C.H.	1.08	1.13	1.29	%			
Contenido de humedad promedio	C.H. prom	1.1			%			
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO								
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	UNIDAD			
Masa del recipiente	M1	129.18	129.42	171.18	gr			
M. recipiente + agregado	M2	350.08	349.97	576.52	gr			
M recipiente + agregado seco	M3	348.64	348.43	573.80	gr			
masa del agregado	Ma=M2-M1	220.90	220.55	405.34	gr			
masa del agregado grueso	Mas=M3-M1	219.46	219.01	402.62	gr			
Contenido de humedad	C.H.	0.66	0.70	0.68	%			
Contenido de humedad promedio	C.H. prom	0.68			%			
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO TAMIZADO								
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	3/4			1/2			UNIDAD
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
Peso muestra húmeda + recipiente	M1	166.25	165.20	197.32	159.70	196.80	160.44	gr
Peso muestra seca + recipiente	M2	165.62	164.44	196.52	159.22	195.87	159.97	gr
Peso del recipiente	M3	30.10	30.80	31.32	30.90	30.86	30.65	gr
Peso del agua	Ma=M2-M1	0.63	0.76	0.80	0.48	0.93	0.47	gr
Peso muestra seca	Mas=M3-M1	135.52	133.64	165.20	128.32	165.01	129.32	gr
Contenido de humedad	C.H.	0.46	0.57	0.48	0.37	0.56	0.36	%
Contenido de humedad promedio	C.H. prom	0.51			0.43			%

Fig. 36 Contenido de humedad de áridos finos y gruesos.

Elaborado por: Carla Reinoso

En este apartado podemos encontrar el contenido de humedad en estado natural del agregado tanto grueso como fino en estados combinados y tamizados, obtenidos mediante la normativa NTE INEN 862.

Los resultados obtenidos para este parámetro fueron, en el caso del agregado grueso bien graduado se obtiene un valor de 1.1%, mientras que en el agregado fino se obtiene un valor de 0.68%, mientras que en el caso de los agregados tamizados de 3/4" se obtiene un valor de 0.51% y para los agregados de 1/2" se habla de 0.43%.

3.1.1.9 Densidad aparente combinada de agregados.

GRUESO		FINO		GRUESO		FINO		FINO		AGREGADO FINO + GRUESO			
% Mezcla		Cantidad (kg)		Fino añadido (kg)		Agregado + Recipiente (kg)		Agregado (kg)		Peso unitario mezcla (kg/dm ³)		Peso unitario promedio	
100.00%	0.00%	40.00	0.00	0.00	40.40	30.43	1.505					1.504	
					40.38	30.41	1.504						
90.00%	10.00%	40.00	4.44	4.44	43.79	33.82	1.672					1.673	
					43.81	33.84	1.673						
80.00%	20.00%	40.00	10.00	5.56	46.00	36.03	1.782					1.787	
					46.20	36.23	1.792						
70.00%	30.00%	40.00	17.14	7.14	47.60	37.63	1.861					1.878	
					48.30	38.33	1.895						
60.00%	40.00%	40.00	26.67	9.53	49.10	39.13	1.935					1.932	
					49.00	39.03	1.930						
50.00%	50.00%	40.00	40.00	13.33	49.50	39.53	1.955					1.955	
					49.50	39.53	1.955						
40.00%	60.00%	40.00	60.00	20.00	49.10	39.13	1.935					1.925	
					48.70	38.73	1.915						

Gráfico porcentaje óptimo vs. Densidad aparente

Porcentaje óptimo de la mezcla (%)	Densidad aparente promedio (kg/cm³)
0.00%	1.504
10.00%	1.673
20.00%	1.787
30.00%	1.878
40.00%	1.932
46.00%	1.955
50.00%	1.935
60.00%	1.925

Porcentaje máximo de agregado fino (%)	50.00%
Porcentaje máximo de agregado grueso (%)	50.00%
Porcentaje óptimo de agregado fino (%)	46.00%
Porcentaje óptimo de agregado grueso (%)	54.00%
Peso unitario máximo (gr/cm³)	1.950
Peso unitario óptimo (gr/cm³)	1.945

Tabla 19. Densidad aparente combinada
Elaborado por: Carla Reinoso

Dentro de la densidad aparente combinada de agregados gruesos y finos, se obtuvo un valor de entre 1.504 hasta 1.925 kg/dm³ dentro de cada una de las proporciones aplicadas al ensayo, dando como producto un porcentaje óptimo del agregado fino del 46% y del agregado grueso del 54%, al mismo tiempo, un peso unitario óptimo de 1.945 gr/cm³

3.1.2 Dosificaciones

Como se mencionó en el capítulo II se fabricarán 156 adoquines distribuidos en 13 dosificaciones, de esta forma obtenemos los siguientes parámetros de diseño basado en la normativa ACI 522R:

- **Volumen de pasta cementante (del 15 al 30%): 20%**
- **Relación agua/cemento (0.26 – 0.45): 0.26**
- **Volumen de finos (5 – 30%): 15%**

Es importante mencionar que las dosificaciones principales para agregados de 3/4" y 1/2" se mantienen constantes y se cambia el porcentaje de adición de fibras de polipropileno de tal forma obtenemos:

DOSIFICACIÓN PAR AGREGADOS RETENIDOS EN EL TAMIZ 3/ 4"

Datos:

HNg=	0.51	%	%Vp=	20.00	%
HNf=	0.68	%	a/ c=	0.25	Según ACI 0.26-0.45
Dimensiones del cilindro			Grav esp. Cem.=	3.04	gr/ cm3
H=	0.08	m	Pua=	1,000.00	kg/ m3
Ancho=	0.10	m	Absf=	0.65	
Largo=	0.2	m	Absg=	1.43	
Pug=	1,472.00	kg/ m3	%F=	15.00	%
Porcentaje a disminuir por agregado fino=				3.00	%

Volumende los agregados secos

$$W_{t_s} = P u_g * V_T$$

$$V_{t_s} = 0.0016 \text{ m}^3$$

$$W_{t_s} = 2.360 \text{ kg}$$

Porcentaje de agregados finos humedos

$$W_{F_{HSS}} = W_{T_{SS}} * \frac{\%F}{100}$$

$$W_{F_{HSS}} = 0.36 \text{ kg}$$

Masa del agregado fino en estado natural

$$W_{F_{EN}} = W_{F_{HSS}} * \left(1 + \frac{H_{NF}}{100}\right)$$

$$W_{F_{EN}} = 0.36 \text{ kg}$$

Masa del agregado grueso seco

$$W_{G_s} = \frac{W_{G_{SS}}}{1 + \frac{Abs_g}{100}}$$

$$W_{G_s} = 2.0060 \text{ Kg}$$

Volumen de pasta

$$V_p = V_T * \frac{\%Vp - \%}{100}$$

$$V_p = 0.000272 \text{ m}^3$$

Masa del agregado en estado natural

$$W_{T_{SS}} = W_{T_s} * \left(1 + \frac{Abs_g}{100}\right)$$

$$W_{T_{SS}} = 2.394 \text{ kg}$$

Masa seca del agregado fino

$$W_{F_s} = \frac{W_{F_{HSS}}}{\left(1 + \frac{Abs_f}{100}\right)}$$

$$W_{F_s} = 0.36 \text{ Kg}$$

Masa del agregado grueso saturado co

$$W_{G_{SS}} = W_{T_{SS}} - W_{F_{HSS}}$$

$$W_{G_{SS}} = 2.03 \text{ Kg}$$

Masa del agregado grueso en estado na

$$W_{G_{KN}} = W_{G_{SS}} * \left(1 + \frac{H_{GN}}{100}\right)$$

$$W_{G_{KN}} = 2.02 \text{ kg}$$

Contenido de cemento

$$c = \left(\frac{V_p}{\frac{1}{G_{gr}} + \frac{\alpha}{c}}\right) * P u_g$$

$$c = 0.47 \text{ kg}$$

cantidad de cemento

$$a_{om} = c * \frac{\alpha}{c} + W_{gr} * \left(\frac{abs_g - HNg}{100}\right) + W_{F_s} * \left(\frac{Abs_f - HNF}{100}\right)$$

$$a_{om} = 0.14 \text{ kg}$$

Fig. 37 Cálculo de dosificaciones por el método ACI 522R-10

Elaborado por: Carla Reinoso

Al calcular las dosificaciones por cada porcentaje de adición de fibra de polipropileno arroja los siguientes resultados:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Tabla de dosificaciones de los especímenes retenidos en el tamiz 3/4"

MUESTRAS CON AGREGADO FINO MUESTRAS TAMIZADAS

DOSIFICACIÓN	GRANULOMETRÍA	N ADOQUINES	% FIBRAS	FIBRAS	T. A. GRUESO	T. A. FINO	T. AGUA	T. CEMENTO
				GR	Gr	Gr	Gr	Gr
D-01	3/ 4"	12.00	0.000%	4.37	24194.77	4310.03	1629.63	5637.82
D-02		12.00	0.025%	8.74	24194.77	4310.03	1629.63	5637.82
D-03		12.00	0.050%	13.10	24194.77	4310.03	1629.63	5637.82
D-04		12.00	0.075%	17.47	24194.77	4310.03	1629.63	5637.82
D-05		12.00	0.100%	26.21	24194.77	4310.03	1629.63	5637.82
D-06		12.00	0.150%	69.89	24194.77	4310.03	1629.63	5637.82

Tabla 20 Dosificaciones del hormigón permeable para agregados con TNM de 3/4"

Elaborado por: Carla Reinoso

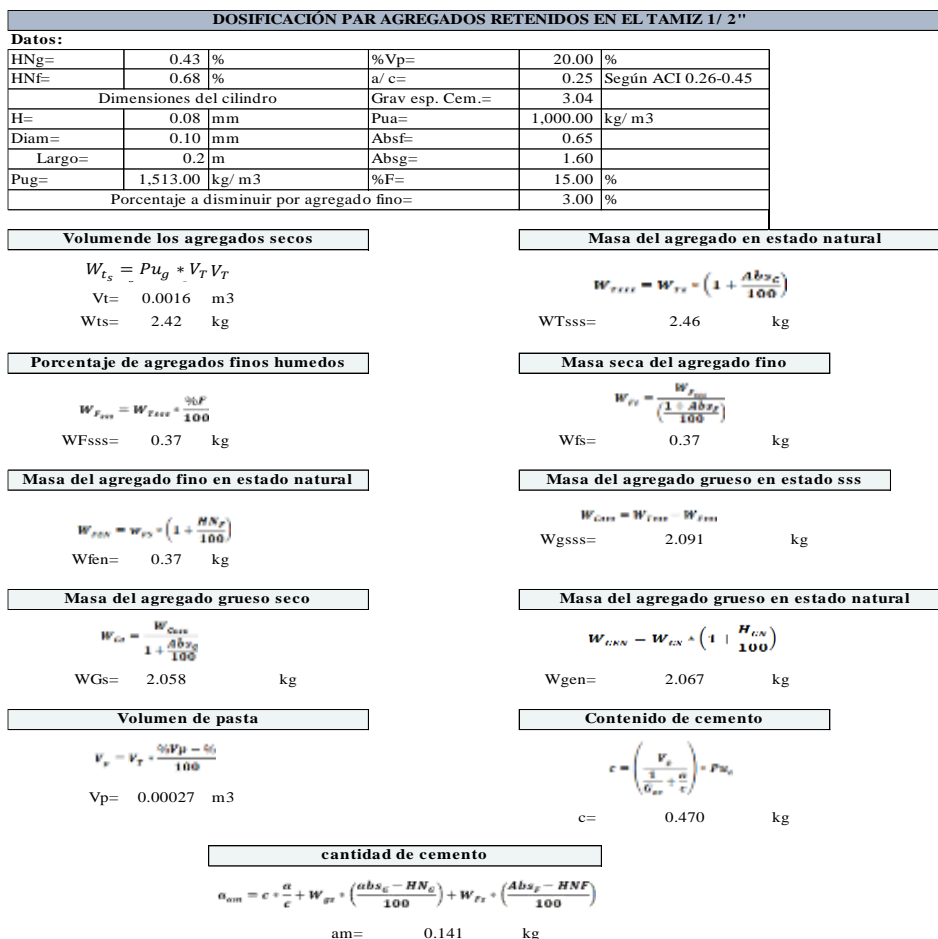


Fig. 38 Cálculo de dosificaciones con agregado grueso retenido en el tamiz 1/2"
Elaborado por: Carla Reinoso

Al calcular las dosificaciones por cada porcentaje de adición de fibra de polipropileno obtenemos:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Tabla de dosificaciones de los especímenes retenidos en el tamiz 1/2"

MUESTRAS CON AGREGADO FINO MUESTRAS TAMIZADAS								
DOSIFICACIÓN	GRANULOMETRÍA	N ADOQUINES	% FIBRAS	FIBRAS	T. A. GRUESO	T. A. FINO	T. AGUA	T. CEMENTO
				GR	Gr	Gr	Gr	Gr
D-07	1/ 2"	12.00	0.000%	4.37	24798.34	4428.48	1697.03	5637.82
D-08		12.00	0.025%	8.74	24798.34	4428.48	1697.03	5637.82
D-09		12.00	0.050%	13.10	24798.34	4428.48	1697.03	5637.82
D-10		12.00	0.075%	17.47	24798.34	4428.48	1697.03	5637.82
D-11		12.00	0.100%	26.21	24798.34	4428.48	1697.03	5637.82
D-12		12.00	0.150%	69.89	24798.34	4428.48	1697.03	5637.82

Tabla 21 Dosificación para agregados con TNM de 1/2"

Elaborado por: Carla Reinoso

Para la treceava dosificación, utilizamos el método ACI con los siguientes parámetros de diseño:

- **Asentamiento: 7.5 cm**

Puesto que se asume los adoquines como parte del conjunto de pavimentos, se optó por este valor debido a su trabajabilidad.

- **Agua de mezclado y contenido de aire**

Utilizaremos agua potable y no se incorporará aire a la mezcla.

- **Relación agua – cemento (a/c)**

El programa implementado en esta investigación arroja un valor de 0.62

En conjunto con las propiedades físicas de los componentes del hormigón tabuladas con anterioridad se obtienen los siguientes resultados:

CONCRETE V1.0 (2022)

GENERALIDADES DEL DISEÑO	DATOS DEL AGREGADO FINO	DATOS DEL AGREGADO GRUESO
Hormigón: <input type="text" value="Sin aire incluido"/>	Gravedad específica (kg/dm³): <input type="text" value="2.657"/>	Tamaño máximo del agregado (mm): <input type="text" value="19.0"/>
Ingreso Fc requerido (kg/cm²): <input type="text" value="180"/>	Densidad aparente suelta (kg/dm³): <input type="text" value="1.537"/>	Densidad aparente compactada (kg/dm³): <input type="text" value="1.465"/>
Achantamiento (cm): <input type="text" value="7.5"/>	Módulo de finura: <input type="text" value="3"/>	Densidad aparente suelta (kg/dm³): <input type="text" value="1.327"/>
Densidad del cemento (kg/dm³): <input type="text" value="3.04"/>	Capacidad de absorción (%): <input type="text" value="0.65"/>	Gravedad específica (kg/dm³): <input type="text" value="2.448"/>
Peso del saco de cemento (kg): <input type="text" value="50"/>	Contenido de Humedad (%): <input type="text" value="0.68"/>	Capacidad de absorción (%): <input type="text" value="1.34"/>
	<input type="button" value="NOTA"/>	<input type="button" value="NOTA"/>

DOSIFICACIÓN REQUERIDA DEL HORMIGÓN

Volumen para prueba (m³): Número de probetas: Volumen de la probeta (dm³):

	Cantidades Corregidas (m³)	Dosificación al peso	Cantidades para 1 saco (kg)	Doef. en volumen en obra	Cantidades para pruebas (kg)
Agua	206.89	0.62	30.78	litros	3.97
Cemento	336.07	1.0	50.0	saco	6.45
Arena	820.0	2.44	122.0	parihuelas	15.74
Ripio	888.67	2.64	132.22	parihuelas	17.06




Fig. 39 Diseño de hormigón convencional por el método ACI 318
Fuente: CONCRETE V1.0 (2022)

CÓDIGO		% DE FIBRA AÑADIDA	GRANULOMETRÍA	AGREGADO GRUESO (kg)	AGREGADO FINO	AGUA	CEMENTO	FIBRA DE POLIPROPILENO	CANTIDAD DE ESPECÍMENES A ELABORAR
D-01 a D-06	3/4"	0.000%	2016.23	359.17	135.80	469.82	0.00	12.00	
		0.025%					4.37	12.00	
		0.050%					8.74	12.00	
		0.075%					13.10	12.00	
		0.100%					17.47	12.00	
D-07 a D-12	1/2"	0.000%	2066.53	369.04	141.42	469.82	0.00	12.00	
		0.025%					4.37	12.00	
		0.050%					8.74	12.00	
		0.075%					13.10	12.00	
		0.100%					17.47	12.00	
D-13	Bien graduado	0.00%	1421.67	922.63	252.22	1624.69	0.00	12.00	
								12.00	
								12.00	
								12.00	
								12.00	

Tabla 22 Resumen de dosificaciones del hormigón permeable y hormigón convencional.
Elaborado por: Carla Reinoso

3.1.3 Componentes porcentuales de cada dosificación

- **Componentes porcentuales del hormigón permeable con áridos gruesos de TNM 3/4"**

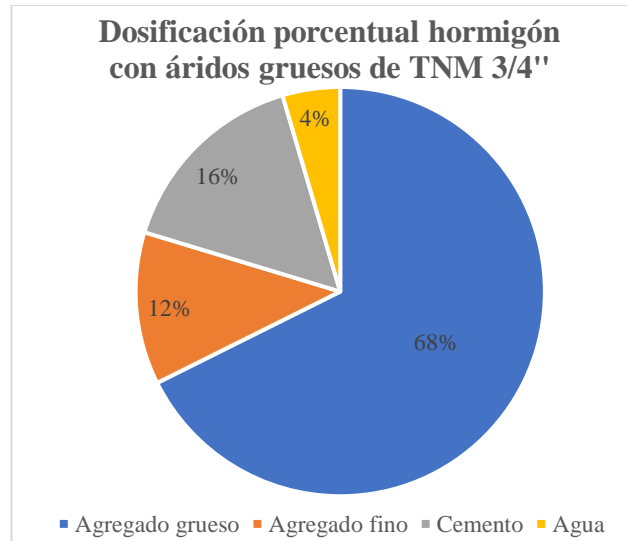


Fig. 40 Dosificación porcentual hormigón con áridos gruesos de TNM 3/4"
Elaborado por: Carla Reinoso

Esta dosificación demarca un porcentaje de 68% de áridos gruesos, seguido por un 16% de cemento, el 12% de áridos finos y un 4% de agua, mostrando una gran predominancia de áridos gruesos en la composición de los hormigones permeables de TNM 3/4".

- **Componentes porcentuales del hormigón permeable con áridos gruesos de TNM 1/2"**

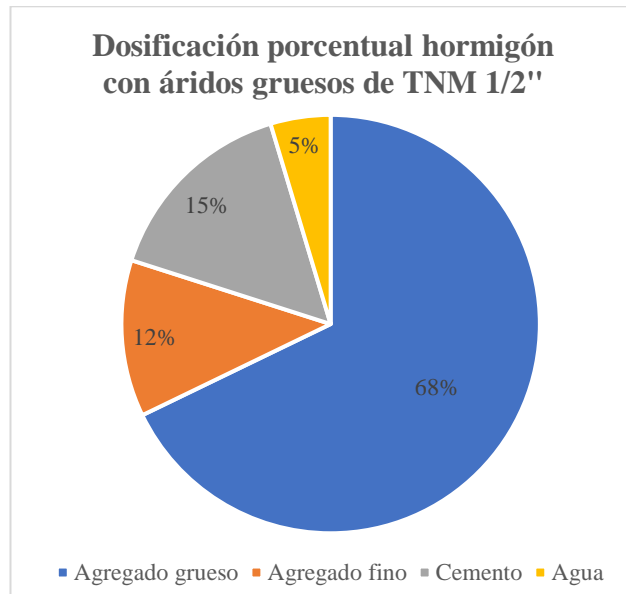


Fig. 41 Dosificación porcentual hormigón con áridos gruesos de TNM 1/2"
Elaborado por: Carla Reinoso

Este caso es muy similar al anterior, puesto que contamos con el 68% de agregados gruesos, 15% de cemento, seguido por el 12% de agregados finos y finalizando con un 5% de agua. En consecuencia, el elemento predominante en esta dosificación nuevamente es el agregado grueso, con más del 50% de participación.

- **Componentes porcentuales del hormigón convencional**

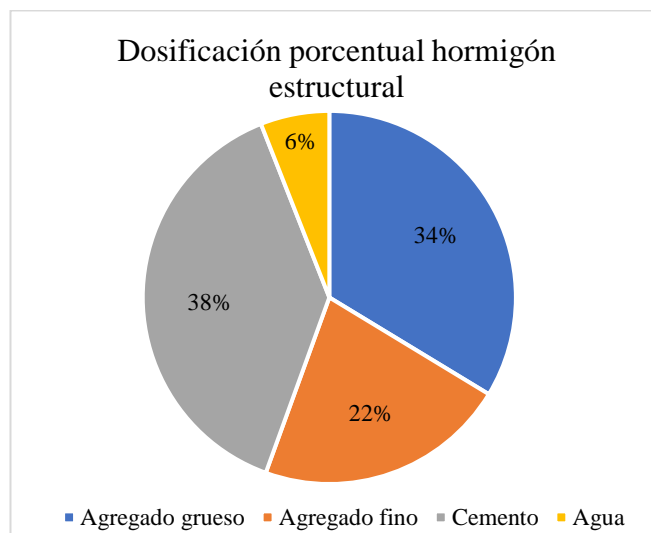


Fig. 42 Dosificación porcentual hormigón estructural
Elaborado por: Carla Reinoso

Respecto al hormigón convencional, encontramos una participación del 38% de cemento, 34% de agregado grueso, seguido por un 22% de agregados finos y finalmente agua con un valor porcentual del 6%. Como se puede observar los valores son diferentes a los del hormigón convencional.

3.1.4 Resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de edad

Una vez que las muestras cumplían con una edad determinada, se sometían a una carga de compresión constante, es importante resaltar que el ensayo se puede realizar en cualquier máquina a compresión, siempre y cuando la carga que se aplique sea constante y sin saltos tal cual se establece en la normativa INEN 1485 [44]. El espécimen se debe colocar con la superficie de desgaste en la parte superior de la placa y de forma alineada, como se muestra a continuación:



Fig. 43 Colocación de los adoquines en la máquina de compresión
Fuente: Carla Reinoso

Los valores atípicos fueron eliminados por desviación estándar, obteniendo la menor posible con al menos 2 valores que serán promediados de los datos recolectados, así obtenemos:



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYADO POR: Carla Alexandra Reinoso Bonilla
NORMA APLICADA: INEN 1485: Requisitos para adoquines
FECHA DEL ENSAYO: 5/1/2023

Código	ID	Dimensiones		Parámetros			
Dosificaciones	Parámetro	Área	Espesor	Carga máxima	Resistencia a compresión	Resistencia promedio	Desviación estándar
	Unidad	mm ²	mm	kN	MPa	Mpa	Mpa
D-01	2	200.00	80.00	111.50	5.57	5.50	0.10
	3	200.00	80.00	108.68	5.43		
D-02	14	200.00	80.00	71.22	3.56	3.57	0.02
	15	200.00	80.00	71.77	3.59		
D-03	25	200.00	80.00	86.98	4.35	4.26	0.12
	27	200.00	80.00	83.46	4.17		
D-04	38	200.00	80.00	75.84	3.79	3.77	0.04
	39	200.00	80.00	74.79	3.74		
D-05	49	200.00	80.00	164.39	8.22	8.16	0.08
	50	200.00	80.00	162.17	8.11		
D-06	61	200.00	80.00	118.00	5.90	5.91	0.01
	63	200.00	80.00	118.38	5.92		
D-07	73	200.00	80.00	91.75	4.59	4.32	0.38
	74	200.00	80.00	80.96	4.05		
D-08	85	200.00	80.00	171.03	8.55	8.40	0.21
	86	200.00	80.00	165.05	8.25		
D-09	98	200.00	80.00	68.03	3.40	3.56	0.22
	99	200.00	80.00	74.38	3.72		
D-10	109	200.00	80.00	209.06	10.45	10.37	0.12
	111	200.00	80.00	205.55	10.28		
D-11	121	200.00	80.00	99.72	4.99	4.94	0.07
	123	200.00	80.00	97.71	4.89		
D-12	133	200.00	80.00	175.41	8.77	8.59	0.26
	135	200.00	80.00	168.08	8.40		
D-13	145	200.00	80.00	514.33	25.72	28.33	3.69
	146	200.00	80.00	618.77	30.94		

Tabla 23 Resistencia a compresión del hormigón a los 7 días de edad
 Elaborado por: Carla Reinoso



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYADO POR: Carla Alexandra Reinoso Bonilla

NORMA APLICADA: NTE INEN 1485

FECHA DEL ENSAYO: 12/1/2023

Código	ID	Dimensiones		Parámetros			
		Parámetro	Área	Espesor	Carga máxima	Resistencia a compresión	Resistencia promedio
	Unidad	cm ²	cm	kN	MPa	Mpa	Mpa
D-01	5	200.00	8.00	139.13	6.96	6.92	0.05
	6	200.00	8.00	137.79	6.89		
D-02	16	200.00	8.00	120.53	6.03	6.04	0.02
	17	200.00	8.00	120.97	6.05		
D-03	30	200.00	8.00	144.70	7.23	7.29	0.08
	31	200.00	8.00	147.01	7.35		
D-04	40	200.00	8.00	121.25	6.06	6.05	0.01
	41	200.00	8.00	120.94	6.05		
D-05	52	200.00	8.00	193.90	9.69	9.66	0.05
	54	200.00	8.00	192.52	9.63		
D-06	65	200.00	8.00	125.08	6.25	6.46	0.29
	66	200.00	8.00	133.31	6.67		
D-07	76	200.00	8.00	125.28	5.26	5.59	0.46
	77	200.00	8.00	138.29	5.91		
D-08	89	200.00	8.00	104.94	9.25	9.23	0.02
	90	200.00	8.00	104.30	9.22		
D-09	100	200.00	8.00	132.52	4.63	4.76	0.19
	101	200.00	8.00	137.91	4.90		
D-10	112	200.00	8.00	156.25	11.81	11.54	0.39
	113	200.00	8.00	145.31	11.27		
D-11	124	200.00	8.00	100.39	5.02	5.14	0.17
	125	200.00	8.00	105.28	5.26		
D-12	137	200.00	8.00	147.31	9.37	9.22	0.21
	139	200.00	8.00	141.50	9.07		
D-13	148	200.00	8.00	424.31	21.22	25.08	5.46
	150	200.00	8.00	578.81	28.94		

Tabla 24 Resistencia a compresión a los 14 días de edad
 Elaborado por: Carla Reinoso



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYADO POR: Carla Alexandra Reinoso Bonilla

NORMA APLICADA: NTE INEN 1485

FECHA DEL ENSAYO: 12/1/2023

Código	ID	Dimensiones		Parámetros			
Dosificaciones	Parámetro	Área	Espesor	Carga máxima	Resistencia a compresión	Resistencia promedio	Desviación estándar
	Unidad	cm ²	cm	kN	MPa	Mpa	Mpa
D-01	8	200.00	8.00	138.33	6.92	6.49	0.60
	9	200.00	8.00	121.28	6.06		
D-02	20	200.00	8.00	144.72	5.24	6.09	1.21
	21	200.00	8.00	139.06	6.95		
D-03	31	200.00	8.00	173.65	6.68	6.92	0.33
	33	200.00	8.00	155.05	7.15		
D-04	43	200.00	8.00	134.51	4.73	4.51	0.30
	44	200.00	8.00	126.05	4.30		
D-05	56	200.00	8.00	226.87	8.34	8.65	0.43
	57	200.00	8.00	239.06	8.95		
D-06	68	200.00	8.00	106.49	6.32	6.27	0.08
	69	200.00	8.00	104.30	6.21		
D-07	80	200.00	8.00	255.70	7.79	7.58	0.29
	81	200.00	8.00	247.39	7.37		
D-08	92	200.00	8.00	126.50	8.72	8.84	0.17
	93	200.00	8.00	119.25	8.96		
D-09	103	200.00	8.00	125.07	6.25	6.25	0.01
	105	200.00	8.00	124.92	6.25		
D-10	116	200.00	8.00	77.27	10.86	10.96	0.13
	117	200.00	8.00	65.07	11.05		
D-11	127	200.00	8.00	140.24	7.01	7.26	0.35
	128	200.00	8.00	150.10	7.50		
D-12	139	200.00	8.00	210.47	9.52	9.30	0.32
	140	200.00	8.00	201.50	9.08		
D-13	151	200.00	8.00	516.01	25.80	26.87	1.51
	152	200.00	8.00	558.60	27.93		

Tabla 25 Resistencia a compresión del hormigón a los 21 días

Elaborado por: Carla Reinoso



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYADO POR: Carla Alexandra Reinoso Bonilla
NORMA APLICADA: NTE INEN 1485
FECHA DEL ENSAYO: 12/1/2023

Código	ID	Dimensiones		Parámetros			
		Área	Espesor	Carga máxima	Resistencia a compresión	Resistencia promedio	Desviación estándar
D-01	11	200.00	8.00	179.07	8.95	8.66	0.42
	12	200.00	8.00	167.17	8.36		
D-02	23	200.00	8.00	106.51	5.33	5.17	0.21
	24	200.00	8.00	100.47	5.02		
D-03	35	200.00	8.00	121.25	6.06	6.29	0.33
	36	200.00	8.00	130.53	6.53		
D-04	47	200.00	8.00	145.27	7.26	7.61	0.49
	48	200.00	8.00	159.08	7.95		
D-05	59	200.00	8.00	253.92	12.70	12.81	0.16
	60	200.00	8.00	258.52	12.93		
D-06	71	200.00	8.00	184.64	9.23	9.43	0.28
	72	200.00	8.00	192.51	9.63		
D-07	83	200.00	8.00	193.00	9.65	9.77	0.17
	84	200.00	8.00	197.80	9.89		
D-08	95	200.00	8.00	261.11	13.06	13.01	0.06
	96	200.00	8.00	259.27	12.96		
D-09	107	200.00	8.00	245.28	12.26	12.24	0.04
	108	200.00	8.00	244.17	12.21		
D-10	119	200.00	8.00	305.27	15.26	15.23	0.04
	120	200.00	8.00	304.09	15.20		
D-11	131	200.00	8.00	180.65	9.03	9.15	0.16
	132	200.00	8.00	185.27	9.26		
D-12	143	200.00	8.00	265.30	13.26	13.26	0.01
	144	200.00	8.00	265.13	13.26		
D-13	155	200.00	8.00	827.04	41.35	36.73	6.54
	156	200.00	8.00	642.19	32.11		

Tabla 26. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad
 Elaborado por: Carla Reinoso

Una vez obtenidas las resistencias producto de los ensayos a compresión se puede identificar que para el hormigón permeable fabricado con agregados gruesos cuyo TNM es 3/4", en los primero 2 días de edad obtuvo resistencias que van desde 32.75 kg/cm² hasta llegar a los 59.09 kg/cm², destacando en esta sección a la dosificación

D-06, cuyo valor de adición de fibra de polipropileno fue 0.15%, en el día 14 las resistencias van desde los 42.61 kg/cm² hasta los 96.60 kg/cm², destacando el desempeño de la dosificación D-05, cuyo porcentaje de adición de fibra es de 0.1%. El día 21 obtuvo resistencias que van desde 45.14 kg/cm² hasta los 86.48 kg/cm² obteniendo un valor menor al día 14 Sin embargo, la dosificación con mayor resistencia se sigue presentando en el apartado D-05. Finalmente, en el día 28 se obtienen valores que van desde los 51.75 kg/cm² hasta llegar a los 128 kg/cm². Destacando la dosificación D-05, que obtiene el mayor valor respecto a estas propiedades.

Para el conjunto de dosificaciones cuyo material base fue aquel retenido en el tamiz 1/2" refleja los siguientes resultados:

En el día 7, las resistencias parten desde los 35.60 kg/cm² hasta llegar a un máximo de 103.65 obtenido por la dosificación D-10, 7 días después los resultados de los ensayos a compresión van desde los 47.61 kg/cm² hasta llegar a los 115.39 kg/cm², nuevamente obtenido por la dosificación D-10 cuyo porcentaje de adición de fibras de polipropileno es 0.075%. En el día 21 los valores obtenidos entran en el rango de 62.50 kg/cm² hasta llegar a los 109.58 kg/cm², en donde nuevamente se puede observar un decremento en la resistencia de alrededor del 5%. Finalmente, la resistencia se incrementa en el día 28, donde el menor valor es 91.48 kg/cm² y el valor pico de este grupo es 152.34 kg/cm², convirtiéndose en el valor más alto de resistencia a la compresión del hormigón permeable.

Respecto al hormigón estructural se obtuvo valores promedio para los 7 días de 283.27 kg/cm², a los 14 días un valor final de 250 kg/cm², en el tercer ensayo realizado a los 21 días la resistencia es de 268 kg/cm² y finalmente a los 28 días fue de 367.31 kg/cm².

Por tanto, como resultado se obtiene que la dosificación de hormigón permeable con mejor comportamiento mecánico es aquella reforzada con el 0.075% de fibra de polipropileno, y árido grueso cuyo tamaño nominal máximo es 1/2", cumpliendo son el rango en de resistencias que puede desarrollar un hormigón permeable, cuyos valores oscilan entre los 2.8 a 28 MPa o 28 a 280 kg/cm².

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 					
ENSAYADO POR:		Carla Alexandra Reinoso Bonilla			
NORMA APLICADA:		NTE INEN 1485			
FECHA DEL ENSAYO:		12/1/2023			
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)					
Edad	% Fibras	7	14	21	28
D-01	0.000%	55.05	69.23	64.90	86.56
D-02	0.025%	35.75	60.38	60.94	51.75
D-03	0.050%	42.61	72.93	69.18	62.94
D-04	0.075%	37.66	60.55	45.14	76.09
D-05	0.100%	81.64	96.60	86.48	128.11
D-06	0.150%	59.09	64.60	62.70	94.29
D-07	0.000%	43.18	55.89	75.77	97.70
D-08	0.025%	84.02	92.31	88.44	130.09
D-09	0.050%	35.60	47.61	62.50	122.36
D-10	0.075%	103.65	115.39	109.58	152.34
D-11	0.100%	49.36	51.42	72.58	91.48
D-12	0.150%	85.87	92.20	92.99	132.61
D-13	0.000%	283.27	250.78	268.65	367.31

Tabla 27. Resumen de resistencias a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días de edad
Elaborado por: Carla Reinoso

Diagramas comparativos de las resistencias a compresión.

- **Hormigón permeable con 0.00% de adición de fibras de polipropileno.**

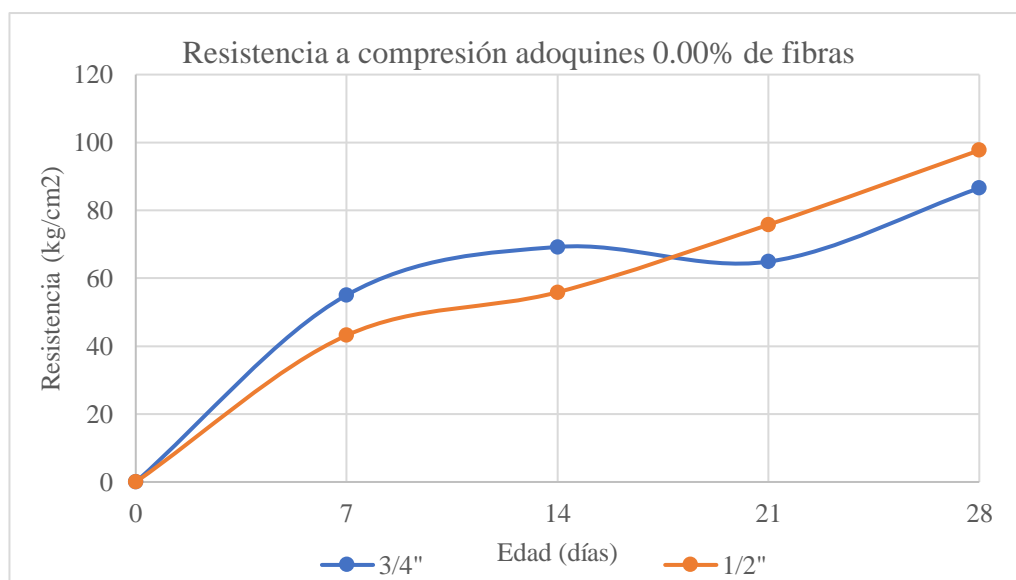


Fig. 44 Resistencia a compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.00%

Elaborado por: Carla Reinoso

Las dosificaciones producto de una adición de 0.00% de fibra de polipropileno, dieron como resultado una resistencia a la compresión de 86.56 kg/cm² para agregados de ¾', frente al hormigón permeable con agregados de ½' cuyo resultado fue 97.70 kg/cm². Finalmente se conoce que los adoquines cuyo material constructivo principal es el agregado de ½' resulta más resistente frente a cargas de compresión.

- **Hormigón permeable con 0.025% de adición de fibras de polipropileno.**

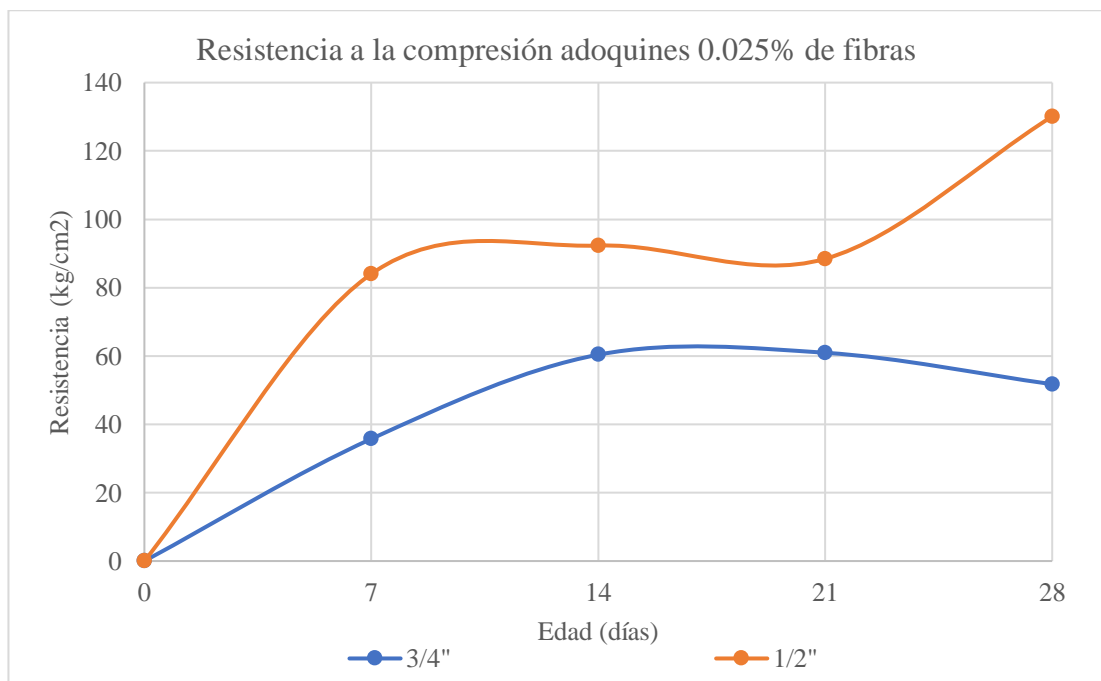


Fig. 45 Resistencia a compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.025%

Elaborado por: Carla Reinoso

Respecto a una adición de fibras de polipropileno de 0.025%, la resistencia cuando se utilizan agregados gruesos de ¾' se obtiene una respuesta a la compresión de 51.75 kg/cm², por otro lado, cuando se analiza las muestras constituidas por agregados de ½' se obtiene una resistencia de 97.70 kg/cm², es decir existe un incremento del 88.79%, nuevamente superando en resistencia la dosificación constituida por agregados de ½'.

- **Hormigón permeable con 0.050% de adición de fibras de polipropileno.**

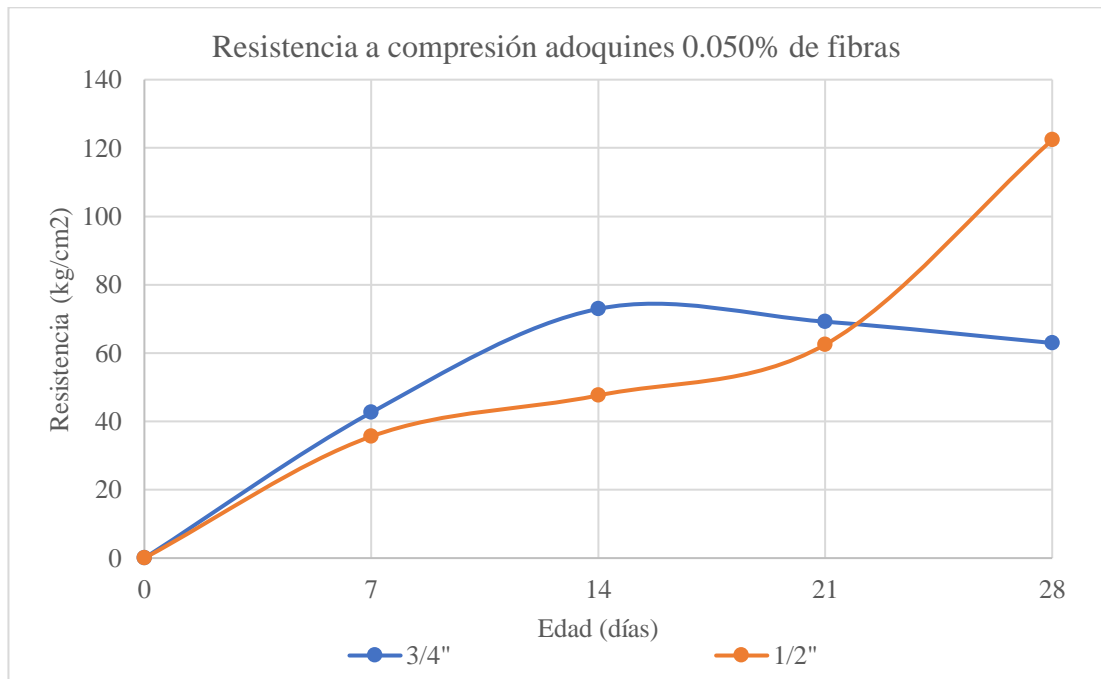


Fig. 46 Resistencia a la compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.050%

Elaborado por: Carla Reinoso

Respecto a la adición de fibra de polipropileno al 0.050% se obtuvieron valores para la dosificación de $\frac{3}{4}$ ' con una resistencia a la compresión de 62.94 kg/cm², cuyos primeros valores fueron relativamente buenos puesto que obtuvieron un pico de 72.93 kg/cm², pero en el día 28 desciende, mientras que para la dosificación de $\frac{1}{2}$ ' se obtuvo una resistencia a la compresión de 112.36 kg/cm², y los valores iniciales de los 7 a 21 días fueron bajos, pero se dispara y mejora la resistencia.

- **Hormigón permeable con 0.075% de adición de fibras de polipropileno.**

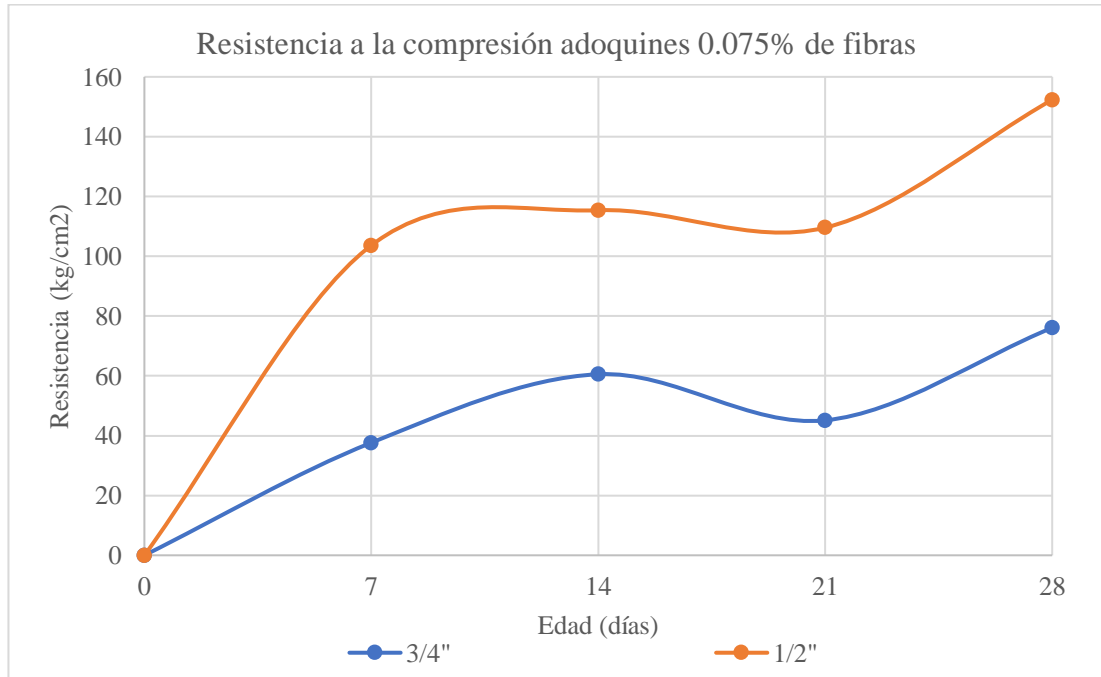


Fig. 47 Resistencia a la compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.075%

Elaborado por: Carla Reinoso

En este apartado se puede evidenciar que para la fibra de polipropileno en adición del 0.075% la resistencia máxima a los 28 días constituido por agregados de $\frac{3}{4}$ ' fue de 76.09 kg/cm², mientras que para para la dosificación con agregado de $\frac{1}{2}$ ' obtuvo una resistencia de 125.34, siendo este el valor máximo obtenido por los adoquines ensayados en su totalidad, cabe recalcar que la tendencia de resistencias está siempre en aumento y son relativamente paralelas, pero se mantiene la tendencia de que a menor tamaño nominal máximo, mayor será la resistencia.

- **Hormigón permeable con 0.10% de adición de fibras de polipropileno.**

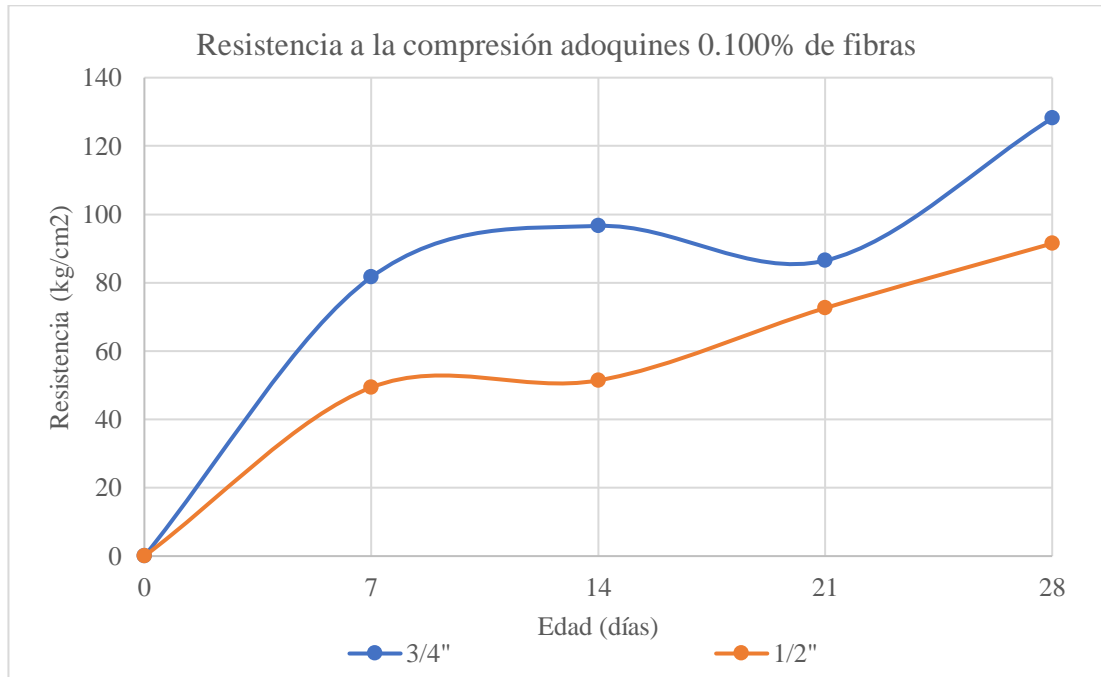


Fig. 48 Resistencia a la compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.10%

Elaborado por: Carla Reinoso

Cuando se analiza la adición de fibras del 0.10%, respecto a los agregados de $\frac{3}{4}$ ´ existe una tendencia creciente en los días 7, 14, y 28 días, pero respecto al día 21 se observa una depresión hasta llegar a los 86.48 kg/cm², pero finalmente se obtiene una resistencia de 128.11 kg/cm², respecto a los agregados de $\frac{1}{2}$ ´ se puede evidenciar una tendencia creciente en todo momento, llegando a un valor de 91.48 kg/cm², finalmente se observa que la dosificación de $\frac{3}{4}$ predomina en este análisis.

- **Hormigón permeable con 0.150% de adición de fibras de polipropileno.**

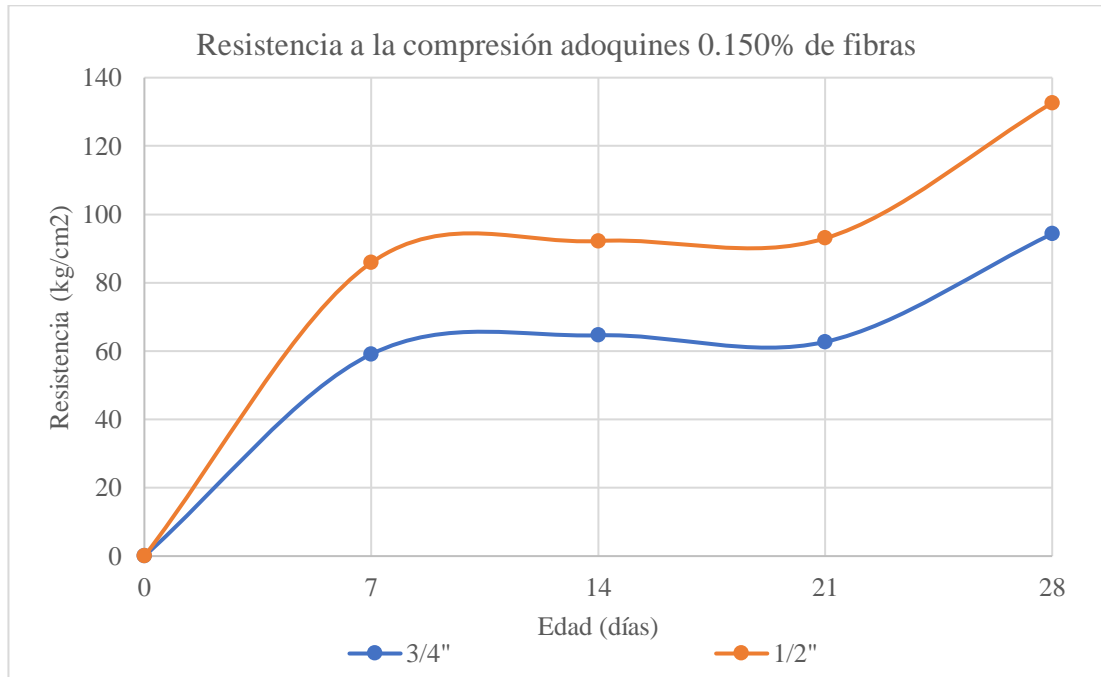


Fig. 49 Resistencia a la compresión de adoquines reforzados con fibras de polipropileno al 0.15%

Elaborado por: Carla Reinoso

Finalmente, en el apartado las dosificaciones reforzadas con fibras de polipropileno al 0.15% se puede ver una curva edad vs. Resistencia a la compresión similar en los 2 casos, obteniendo valores crecientes en todo momento, en el caso de las dosificaciones de $\frac{3}{4}$ ' se obtiene una resistencia máxima a los 28 días de 92.29 kg/cm², por otro lado la dosificación de $\frac{1}{2}$ ' obtuvo un valor pico a los 28 días de 132.61 kg/cm², lo cual demuestra nuevamente la predominancia de la dosificación con un TNM de $\frac{1}{2}$ '.

- **Hormigón permeable a los 28 días de edad**

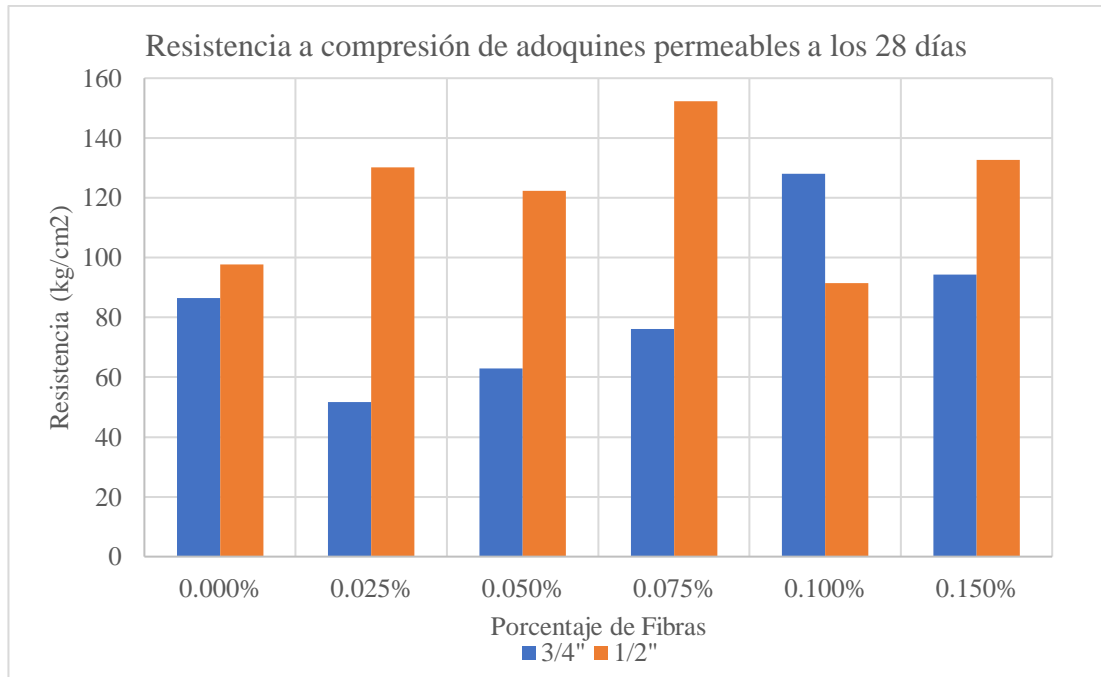


Fig. 50 Resistencia a la compresión de hormigones permeables a los 28 días

Elaborado por: Carla Reinoso

En general, las mejores dosificaciones en cada caso de adición de fibras de polipropileno fueron: D-05 y D-010, las dosificaciones que lograron un mejor comportamiento son aquellas que acumulan entre 0.075 y 0.100% de microfibras que polipropileno respectivamente, cabe recalcar son porcentajes sumamente bajos, pero incrementan la resistencia considerablemente, por ejemplo en el caso de los adoquines con agregados de 3/4' la mejor adición de fibras es en el punto 0.1%, mientras que para los agregados de 1/2' el mejor porcentaje de adición de fibras de polipropileno es de 0.075%, con este resultado se comprueba la recomendación del proveedor de fibras, ya que este recomienda un porcentaje de uso entre el 0.03 a 0.13%.

- **Hormigón permeable con 0.05% de adición de fibras de polipropileno.**

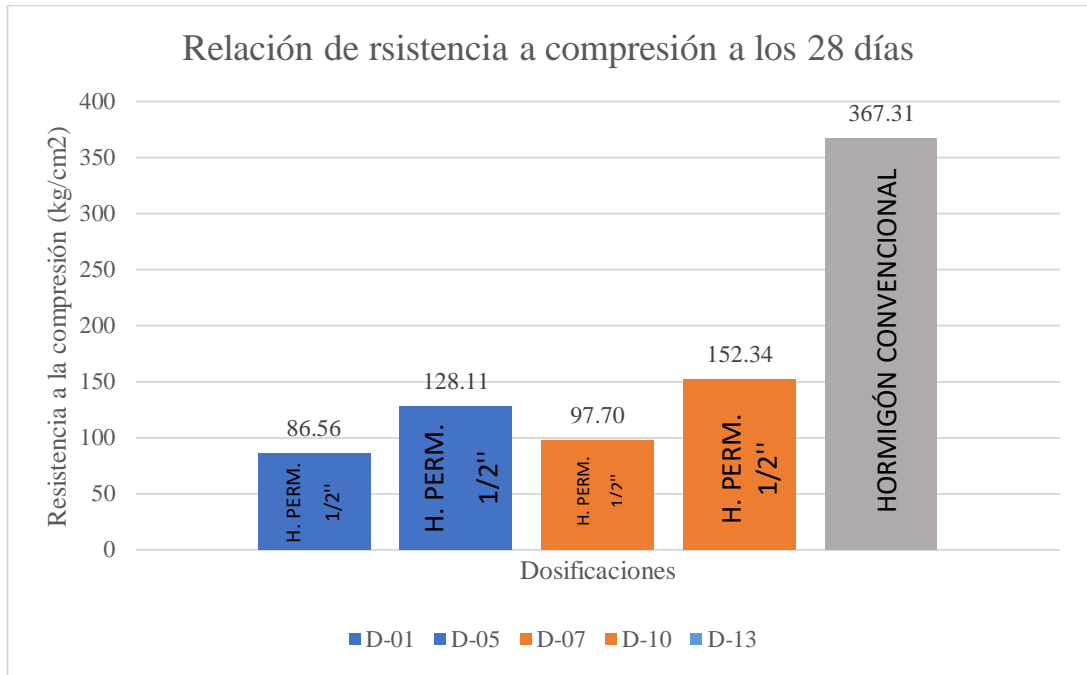


Fig. 51 Resistencia a la compresión a los 28 días de edad.
 Autora: Carla Reinoso

- **Incremento de la resistencia a compresión de los hormigones de 3/4"**

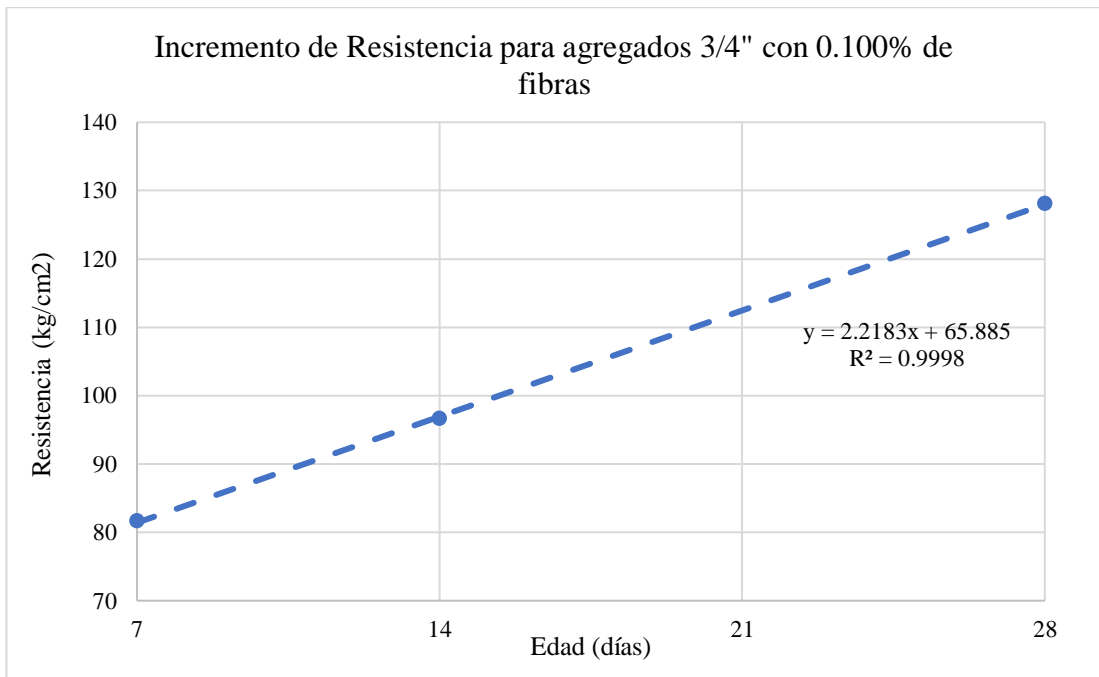


Fig. 52 Línea de tendencia de la dosificación D-05
 Autora: Carla Reinoso

Tras analizar la línea de tendencia de la dosificación desde el día 7 al día 28, se observa que el coeficiente de determinación es de 0.998, lo que presenta un crecimiento lineal de la resistencia a compresión. La resistencia a los 28 días de 128.11 kg/cm² representa el 71% de la resistencia esperada de 180 kg/cm³.

Proyección Días para los 180kg/cm²: 52.44 días ≈ 53 días

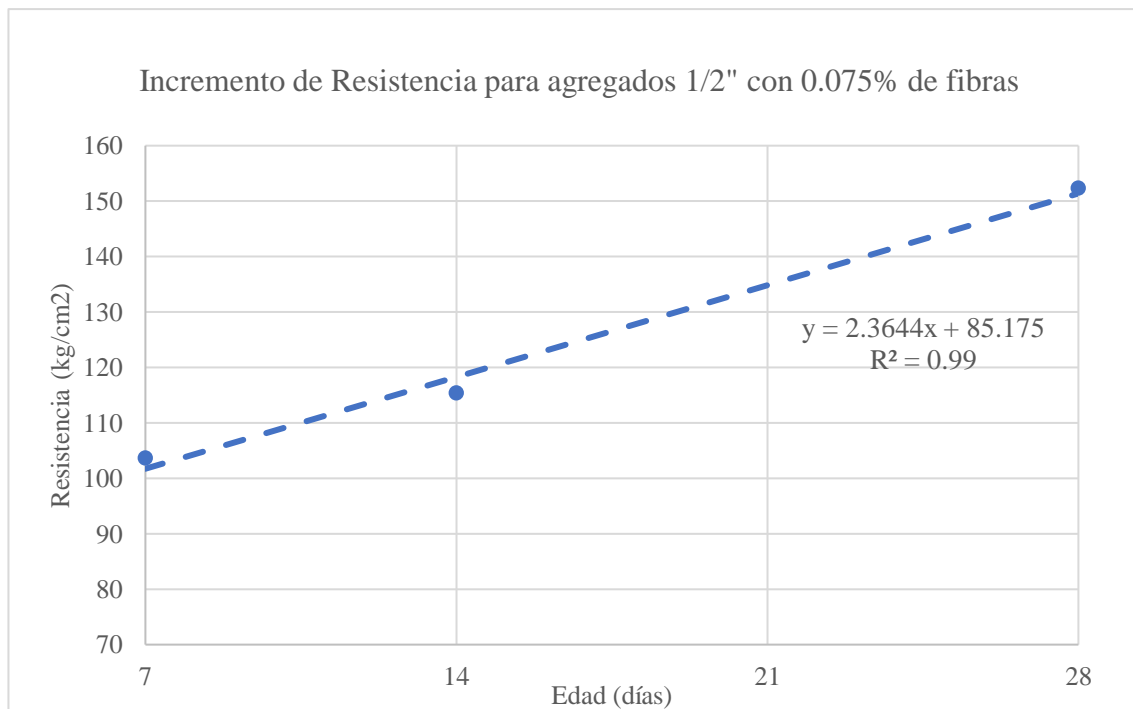


Fig. 53 Línea de tendencia de la dosificación D-10
 Autora: Carla Reinoso

Días para los 180 kg/cm²: 40.10 días ≈ 41 días.

Si proyectamos la mayor resistencia a los 90 días de edad, este adoquín podría llegar a cumplir con los 180.0 kg/cm² planteados en la hipótesis, puesto que se habla de un incremento en la resistencia de 1.20% como se muestra a continuación:

Edad del hormigón (días)	3	7	28	90	360
Hormigones de endurecimiento normal	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Hormigones de endurecimiento rápido	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Fig. 54 Incremento en la resistencia del hormigón según la edad.
Fuente: Valcúente Manuel y otros [45]

De esta forma obtenemos:

$$R_{90\text{días}} = 152.34 \text{ kg/cm}^2 * 1.20$$

$$R_{90\text{días}} = 182.8 \text{ kg/cm}^2$$

Pero finalmente este valor es proyectado y existe la probabilidad, y por tanto puede que ocurra como que no ocurra.

3.1.5 Análisis Técnico - Económico del hormigón permeable

Para obtener los precios de cada uno de los materiales, buscamos la tura de transporte del material desde la cantera al lugar de fabricación, en este caso la Universidad Técnica de Ambato.

3.1.5.1 Transporte de materia prima

- Áridos finos y gruesos

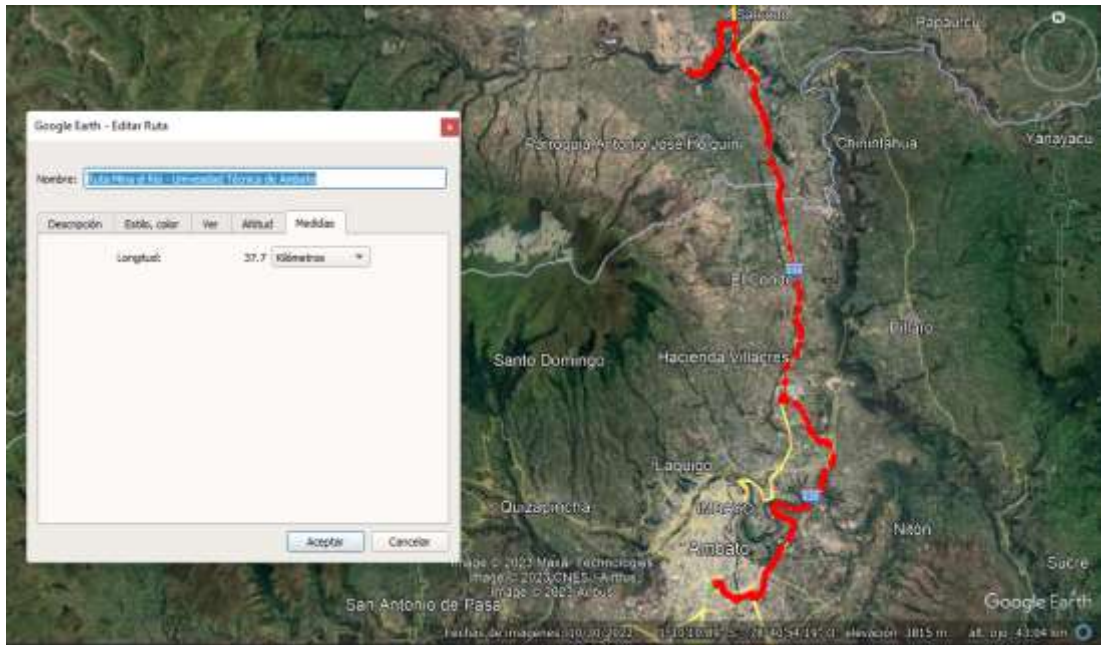


Fig. 55. Ruta de transporte del material desde la cantera al lugar de fabricación
Fuente: Google Earth

La primera ruta comprende el transporte de los áridos gruesos y finos, el mismo que empieza en la cantera El Río perteneciente al sector “La Argentina” en el cantón Salcedo ubicado en la Provincia de Cotopaxi - Ecuador, esta ruta tiene una distancia total de 37.7 km.

Para obtener el precio kg/km se debe obtener la distancia en km, y transformar los m³ a kg con ayuda de la densidad real del agregado, de tal forma obtenemos los siguientes datos:

- Precio kg/km de agregado grueso: \$ 0.0067
- Precio kg/km de agregado fino: \$ 0.0024

- **Cemento**

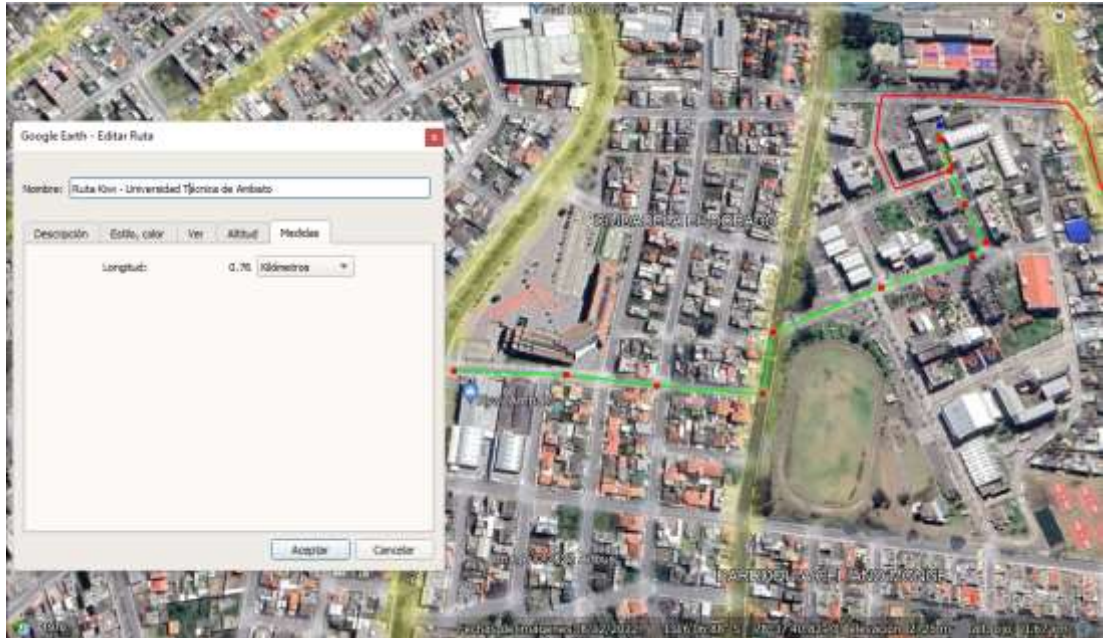


Fig. 56 Ruta de transporte cemento
Fuente: Google Earth

La segunda ruta comprende 0.76 km, y conecta los puntos del almacén proveedor hasta la Universidad Técnica de Ambato, transportando la cantidad de cemento que se implementará en la dosificación.

Para obtener el precio kg/km se debe obtener la distancia en km, y transformar los m³ a kg con ayuda de la densidad real del agregado, de tal forma obtenemos los siguientes datos:

- Precio kg/km de agregado cemento: \$0.175

- **Fibras de polipropileno**

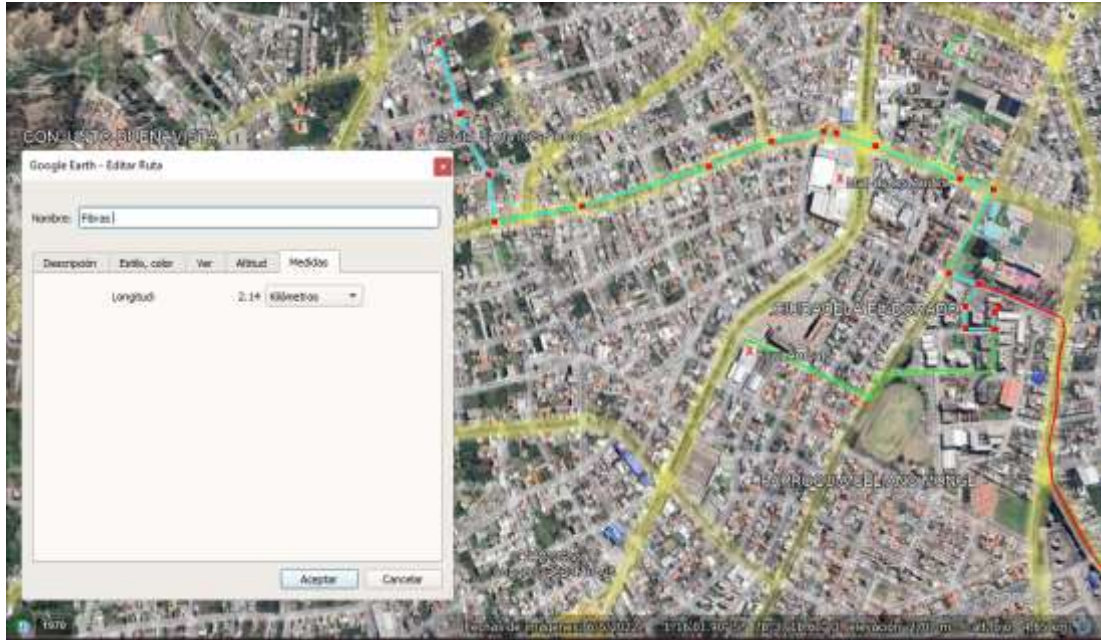


Fig. 57 Transporte de las fibras de polipropileno
Fuente: Google Earth

Las fibras Son transportadas desde una casa de aditivos Sika, ubicada en la Av. Antonio Clavijo y Celiano Monje con una distancia total de 2.14 km.

- Precio kg/km de fibras: \$ 6.44

- **Agua**

Este material será obtenido dentro de las instalaciones, por tanto, no requiere transporte.

El siguiente punto es realizar un análisis de precios unitarios para cada tipo de dosificación, de esta forma se obtiene el costo requerido para fabricar un adoquín de cada dosificación:

3.1.5.2 Análisis de precios unitarios

Es necesario precisar que los costos que se muestran a continuación incluyen el transporte desde el lugar de la compra hasta el sitio donde se fabrica el hormigón.



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-01				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concretera	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de obra	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.02	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.36	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.002	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0	6.45	0.000	
SUBTOTAL O					\$ 0.11
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.24
INDIRETOS %					0.036
UTILIDAD %					0.012
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.287
VALOR OFERTADO					\$0.29

Fig. 58 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-01
Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-02				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concreteira	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de ob	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.02	0.000180139	0.000	
Arena	Kg	0.36	6.58903E-05	0.000	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.002	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.004	6.448598131	0.028	
SUBTOTAL O					\$ 0.14
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.27
INDIRETOS %					0.040
UTILIDAD %					0.013
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.321
VALOR OFERTADO					\$0.32

Fig. 59 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-02
Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-03				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concreteira	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBOTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de ob	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.02	0.000180139	0.000	
Arena	Kg	0.36	6.58903E-05	0.000	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.002	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.009	6.448598131	0.056	
SUBTOTAL O					\$ 0.17
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.30
INDIRECTOS %					0.044
UTILIDAD %					0.015
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.355
VALOR OFERTADO					\$0.36

Fig. 60 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-03
Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-04				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concreteira	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de obra	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.02	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.36	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.002	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.01	6.45	0.084	
SUBTOTAL O					\$ 0.20
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.32
INDIRETOS %					0.049
UTILIDAD %					0.016
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.389
VALOR OFERTADO					\$0.39

Fig. 61 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-04

Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-05				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concretera	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBOTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de ob	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.02	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.36	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.002	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.02	6.45	0.113	
SUBTOTAL O					\$ 0.22
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.35
INDIRETOS %					0.053
UTILIDAD %					0.018
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.423
VALOR OFERTADO					\$0.42

Fig. 62 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-05
Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-06				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concretera	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de ob	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.02	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.36	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.002	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.03	6.45	0.169	
SUBTOTAL O					\$ 0.28
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.41
INDIRETOS %					0.061
UTILIDAD %					0.020
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.490
VALOR OFERTADO					\$0.49

Fig. 63 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-06
Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-07				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concreteira	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de obra	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.07	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.37	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.003	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.00	6.45	0.000	
SUBTOTAL O					\$ 0.11
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.24
INDIRETOS %					0.036
UTILIDAD %					0.012
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.288
VALOR OFERTADO					\$0.29

Fig. 64 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-07

Elaborado por: Carla Reinoso



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES

Rubro: Adoquines de hormigón permeable **Unidad:** u
Detalle: Elaboración de adoquines
Dosificación: D-08

EQUIPOS

Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concreteira	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBOTOTAL M			0		0.031

MANO DE OBRA

Descripción	Cantidad A	JORNAL/HR B	Costo hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Maestro de ob	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097

MATERIALES

Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo C=A*B
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108
Ripio	Kg	2.07	0.000180	0.0004
Arena	Kg	0.37	6.6E-05	0.00002
Agua	Kg	0.14	0.018	0.003
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001
Fibra de polipropileno	kg	0.00	6.45	0.028
SUBTOTAL O				\$ 0.14

TOTAL DEL COSTO DIRECTO

\$ 0.27

INDIRETOS %

0.040

UTILIDAD %

0.013

COSTO TOTAL DEL RUBRO

0.321

VALOR OFERTADO

\$0.32

Fig. 65 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-08

Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-09				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concreteira	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de ob	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.07	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.37	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.003	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.01	6.45	0.056	
SUBTOTAL O					\$ 0.17
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.30
INDIRETOS %					0.044
UTILIDAD %					0.015
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.355
VALOR OFERTADO					\$0.36

Fig. 66 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-09

Elaborado por: Carla Reinoso



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES

Rubro:	Adoquines de hormigón permeable	Unidad:	u		
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-10				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concreteira	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de obra	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.07	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.37	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.003	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.01	6.45	0.084	
SUBTOTAL O					\$ 0.20
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.32
INDIRETOS %					0.049
UTILIDAD %					0.016
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.389
VALOR OFERTADO					\$0.39

Fig. 67 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-10
Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-11				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concreteira	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de ob	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.07	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.37	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.003	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.02	6.45	0.113	
SUBTOTAL O					\$ 0.22
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.35
INDIRETOS %					0.053
UTILIDAD %					0.018
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.423
VALOR OFERTADO					\$0.42

Fig. 68 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-11
Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-12				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concretera	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de ob	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	0.47	0.230263158	0.108	
Ripio	Kg	2.07	0.000180	0.0004	
Arena	Kg	0.37	6.6E-05	0.00002	
Agua	Kg	0.14	0.018	0.003	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.03	6.45	0.169	
SUBTOTAL O					\$ 0.28
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.41
INDIRETOS %					0.061
UTILIDAD %					0.020
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.490
VALOR OFERTADO					\$0.49

Fig. 69 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-12
Elaborado por: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS - ADOQUINES					
Rubro:	Adoquines de hormigón permeable			Unidad:	u
Detalle:	Elaboración de adoquines				
Dosificación:	D-13				
EQUIPOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Herramienta menor 5% MO					0.005
Concretera	1	2.5	2.5	0.01	0.026
Molde	1	1.25	1.25	0.01	0.013
SUBOTOTAL M			0		0.031
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	JORNAL/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro de obra	1	4.06	4.06	0.02	0.097
Ayudante	1	2.06	2.06	0.02	0.049
SUBTOTAL N					0.097
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
Cemento	Kg	1.62	0.230263158	0.374	
Ripio	Kg	1.42	0.000180	0.0003	
Arena	Kg	0.92	6.6E-05	0.00006	
Agua	Kg	0.25	0.018	0.005	
Luz	kw/h	0.01	0.092	0.001	
Fibra de polipropileno	kg	0.00	6.45	0.000	
SUBTOTAL O					\$ 0.38
TOTAL DEL COSTO DIRECTO					\$ 0.51
INDIRETOS %					0.076
UTILIDAD %					0.025
COSTO TOTAL DEL RUBRO					0.609
VALOR OFERTADO					\$0.61

Fig. 70 Análisis de precios unitarios - Dosificación D-13

Elaborado por: Carla Reinoso

A partir de este punto se puede realizar un análisis de costos de fabricación del hormigón permeable y hormigón convencional. A continuación, se muestra un diagrama, en el cual se encuentran representados los costos a manera de resumen de todas las dosificaciones.

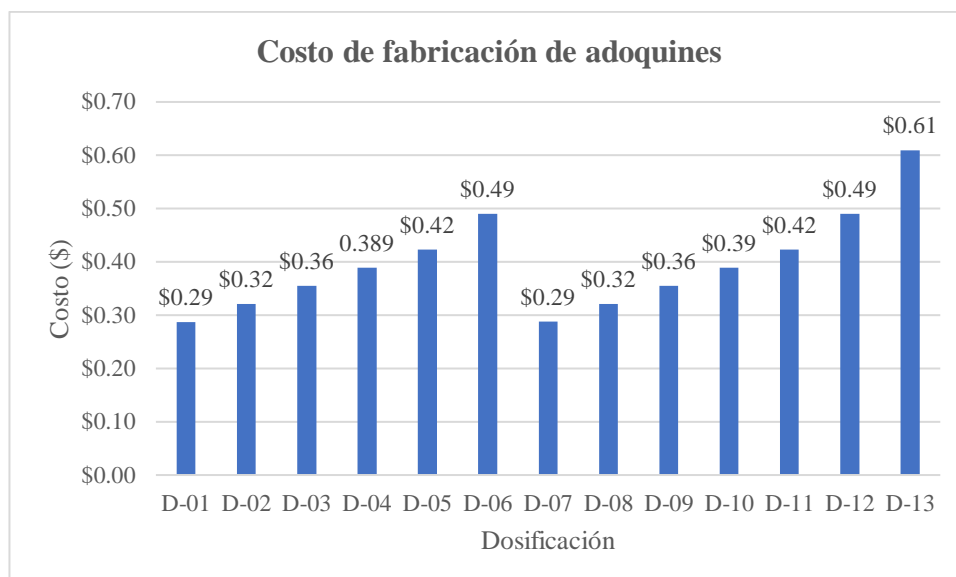


Fig. 71 Diagrama de costos
Elaborado por: Carla Reinoso

Como se puede observar, el hormigón permeable tiene un consto de fabricación relativamente bajo, si hablamos del hormigón permeable más costoso, tiene un valor de \$0.49, a comparación del hormigón convencional cuyo precio final fue de \$0.61 por cada unidad, lo que significa que tenemos un incremento del 24.48%, que a simple vista al tratarse de 1 unidad no resulta muy costoso, pero si se desea cubrir una superficie magna el costo final si fuera considerable.

- **Tabla comparativa del hormigón permeable y hormigón convencional**

Aspecto por comparar	Hormigón permeable	Hormigón convencional
Precio	Al disminuir la cantidad de agregado fino, cemento y agua mantiene un precio bastante competitivo.	Es de manejo universal, con precios normalizados al consumidor.
Sistema de drenaje	No requiere sistema de drenaje pluvial para complementarlo.	Debido a su bajo volumen de vacíos es necesario buscar un sistema de drenaje pluvial

Resistencia a la compresión	2.8 a 28 Mpa.	Puede llegar hasta los 70 Mpa
Personal capacitado	Debe conocer los ensayos requeridos para regular su calidad	No requiere personal altamente capacitado
Mantenimiento	Requiere mantenimiento para evitar taponamientos	No requiere mantenimiento constante
Permeabilidad	Altamente permeable, permite el paso de fluidos por su estructura	Altamente impermeable, cambia la escorrentía superficial del terreno.
Aplicación en obras civiles	Aplicación principal en el campo vial de tránsito liviano.	Infraestructura en general.
Sustentabilidad	Amigable con el medio ambiente, reduce la contaminación sonora, no afecta al ciclo del agua	Genera escombros y mayor costo de producción.
Normativa de control	ACI 522R-10 normativa internacional generalizada	Normativas internacionales y adaptadas a diferentes condiciones.
Manejo vial	Evita la acumulación excesiva de agua, por tanto, vuelve más segura la vía, no requiere de pendientes establecidas para drenaje	Requiere de un buen sistema de drenaje y bombeo en las vías para evitar la acumulación de agua pluvial.

Tras este análisis se puede concluir que el hormigón permeable es altamente recomendado para zonas de tráfico ligero como zonas verdes, pasos peatonales y viales de segundo y tercer orden, así como zonas ecológicas donde se requiere bajo impacto ambiental debido a su bajo nivel de costo de producción. Mientras que el hormigón convencional sigue y seguirá siendo el preferido cuando se habla de estructuras de gran tamaño para cumplir con los requerimientos de la infraestructura.

3.1.5.3 Cálculo de volumen de vacíos de las muestras vs. Permeabilidad.

- Dosificaciones con un TNM 3/4"

$$V_G = \frac{W_{Gs}}{Ge_{GS} * PU_a}$$

$$V_G = \frac{2.006 \text{ Kg}}{\left(\frac{2448}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_G = 0.00082 \text{ m}^3$$

$$V_F = \frac{W_{Fs}}{Ge_{FS} * PU_a}$$

$$V_F = \frac{0.36 \text{ Kg}}{\left(\frac{2667}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_F = 0.00013 \text{ m}^3$$

$$V_C = \frac{C}{Ge_c * PU_a}$$

$$V_F = \frac{0.470 \text{ Kg}}{\left(\frac{3040}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_F = 0.00015 \text{ m}^3$$

$$V_a = \frac{am}{PU_a}$$

$$V_F = \frac{0.14 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$V_F = 0.00014 \text{ m}^3$$

Posteriormente se obtiene el volumen de la mezcla y por consiguiente el contenido de vacíos:

$$V_M = V_G + F_F + V_C + V_A$$

$$V_M = (0.00082 + 0.00013 + 0.00015 + 0.00014) \text{ m}^3$$

$$V_M = 0.00124 \text{ m}^3$$

$$\%VACIOS = (V_T - V_M) * \frac{100}{V_T}$$

$$\%VACIOS = (0.0016 - 0.00124) \text{ m}^3 * \frac{100}{0.0016}$$

$$\%VACIOS = 22.50\%$$

- **Dosificaciones con un TNM 1/2"**

$$V_G = \frac{W_{Gs}}{Ge_{Gs} * PU_a}$$

$$V_G = \frac{2.058Kg}{\left(\frac{2448}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_G = 0.00084 m^3$$

$$V_F = \frac{W_{Fs}}{Ge_{Fs} * PU_a}$$

$$V_F = \frac{0.37Kg}{\left(\frac{2667}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_F = 0.00013 m^3$$

$$V_C = \frac{C}{Ge_c * PU_a}$$

$$V_F = \frac{0.470Kg}{\left(\frac{3040}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_F = 0.00015 m^3$$

$$V_a = \frac{am}{PU_a}$$

$$V_F = \frac{0.141Kg}{1000 Kg/m^3}$$

$$V_F = 0.00014 m^3$$

Posteriormente se obtiene el volumen de la mezcla y por consiguiente el contenido de vacíos:

$$V_M = V_G + F_F + V_C + V_A$$

$$V_M = (0.00084 + 0.00013 + 0.00015 + 0.00014)m^3$$

$$V_M = 0.00126 m^3$$

$$\%VACIOS = (V_T - V_M) * \frac{100}{V_T}$$

$$\%VACIOS = (0.0016 - 0.00126)m^3 * \frac{100}{0.0016}$$

$$\%VACIOS = 21.25\%$$

- **Dosificaciones con granulometría bien graduada**

$$V_G = \frac{W_{Gs}}{Ge_{GS} * PU_a}$$

$$V_G = \frac{1.42Kg}{\left(\frac{2448}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_G = 0.00058 m^3$$

$$V_C = \frac{C}{Ge_C * PU_a}$$

$$V_F = \frac{1.62Kg}{\left(\frac{3040}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_F = 0.00053 m^3$$

$$V_F = \frac{W_{Fs}}{Ge_{FS} * PU_a}$$

$$V_F = \frac{0.92Kg}{\left(\frac{2667}{1000}\right) * 1000}$$

$$V_F = 0.00034 m^3$$

$$V_a = \frac{am}{PU_a}$$

$$V_F = \frac{0.25 Kg}{1000 Kg/m^3}$$

$$V_F = 0.00025 m^3$$

Posteriormente se obtiene el volumen de la mezcla y por consiguiente el contenido de vacíos:

$$V_M = V_G + F_F + V_C + V_A$$

$$V_M = (0.00058 + 0.00034 + 0.00053 + 0.00025)m^3$$

$$V_M = 0.0017 m^3$$

$$\%VACIOS = (V_T - V_M) * \frac{100}{V_T}$$

$$\%VACIOS = (0.0017 - 0.0016)m^3 * \frac{100}{0.0017}$$

$$\%VACIOS = 5.88\%$$

A partir de estos cálculos, y conociendo que un hormigón permeable es aquel que tiene como mínimo un 15% de volumen de vacíos, se comprobaría que el hormigón es permeable para las dosificaciones con un tamaño máximo nominal de 3/4" al contener 22.50% y 1/2" con un valor de 21.25%, mientras que para el hormigón convencional el volumen de vacíos fue de 5.88%.

Este principio también se puede comprobar al aplicar agua directamente sobre la mezcla en un molde que pueda contener el agua sobre el testigo como se muestra a continuación:

- **Hormigón permeable**



Fig. 72 Molde de Vidrio con una muestra de hormigón permeable
Elaborado por: Carla Reinoso

- **Hormigón estructural**



Fig. 73 Molde de vidrio con una muestra de hormigón convencional
Elaborado por: Carla Reinoso

Al aplicar un volumen conocido de agua (50cc) en el caso del hormigón permeable se pudo notar que el agua pasaba sin ningún tipo de problema, y en ningún momento el líquido se detuvo en la estructura, mientras que en el caso del hormigón convencional el agua se detuvo, puesto que esta muestra es mayormente impermeable.



Fig. 74 Recipiente con volumen conocido
Autora: Carla Reinoso



Fig. 75 Aplicación de agua a la muestra de hormigón convencional
Autora: Carla Reinoso

Como se puede observar, el nivel de agua crece en la muestra de hormigón convencional, acumulándose en la parte superior, para evitar fugas, se colocó plastilina en los bordes de unión del vidrio y la muestra, así aislaremos la parte superior del adoquín.



Fig. 76 Aplicación constante de agua en un adoquín permeable
Autora: Carla Reinoso

A comparación del hormigón convencional, el hormigón permeable cumplió con una gran permeabilidad, puesto que se aplicó un caudal constante y el agua no llegó a los

bordes de la muestra, por lo cual cumple satisfactoriamente con los resultados esperados respecto a la permeabilidad de la muestra.

3.2 Verificación de Hipótesis

Tras la elaboración de la investigación, con 156 especímenes distribuidos en 13 dosificaciones, 12 de ellas relacionadas al hormigón permeable con y sin fibras de polipropileno y una de ellas con hormigón convencional, ensayados a compresión, un análisis técnico económico y análisis de volúmenes de vacíos para comprobar su permeabilidad. Se pueden aprobar y desaprobar las siguientes hipótesis:

- 1. El hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno tiene suficiente resistencia a compresión mínima del hormigón estructural.**

Esta hipótesis es incorrecta si se habla de una edad de 28 días, puesto que la resistencia máxima a la compresión fue de 125.34 kg/cm², si este valor es proyectado en su resistencia a los 90 días, podría obtener un valor final de 180.80 kg/cm².

- 2. El hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno tiene mayor resistencia que el hormigón estructural.**

Este apartado es negativo, puesto que, respecto a los valores obtenidos de resistencias, no logran superar el valor máximo obtenido por el hormigón convencional, tal cual se presenta en el apartado 2.1.1.

- 3. El hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno tiene mayor permeabilidad y e igual o mayor resistencia que el hormigón estructural.**

Una de las dos proposiciones es certera, como se señala en el apartado 2.2.2 cuyo propósito es comprobar la permeabilidad de las muestras, y se comprueba mediante el volumen de vacíos que compone cada dosificación en comparación

con la dosificación del hormigón convencional. Mientras que el segundo enunciado resulta ser de carácter negativo.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- La resistencia a compresión resultado de la carga aplicada a las muestras reflejó que la resistencia máxima a los 28 días de las dosificaciones de hormigón permeable de 152.34 kg/cm², para una dosificación reforzada con fibras de polipropileno de 0.075%, si se proyecta este valor a los 90 días, se espera obtener un valor final de 180.8 kg/cm², donde se podría satisfacer la primera hipótesis planteada.
- El hormigón convencional dosificado con una resistencia de diseño igual a 180 kg/cm² logró obtener una resistencia final a los 28 días de 367 kg/cm².
- El porcentaje de vacíos para el hormigón permeable cuyo tamaño máximo nominal es 3/4" obtuvo un valor de 22.50%, y las dosificaciones cuyo tamaño máximo nominal es 1/2" logró un valor de 21.25%, mientras el hormigón convencional adquirió un valor de 5.88%.
- Las fibras de polipropileno evitan que la muestra se segregue una vez aplicada la carga a compresión, puesto que esta tiene una deformación en el eje horizontal se observa que en las muestras que no contenían ningún tipo de refuerzo se disgregaron, mientras que aquellas que contaban con el refuerzo se mantuvieron unidas.
- Un mayor porcentaje de vacíos reduce la resistencia a la compresión, tal como se puede observar en las dosificaciones de 3/4", cuya resistencia máxima a la compresión fue 128.11 kg/cm² y para la dosificación de 1/2" obtuvo un valor máximo de 152.34 kg/cm².
- Como indica el fabricante de las fibras de polipropileno, el rango específico de incremento de las fibras va desde 0.03 a 0.13%, puesto que un mayor incremento de fibras no necesariamente incrementa la resistencia a

compresión, en tal caso llegan a afectar tanto la trabajabilidad, como evitar la adhesión entre los agregados, reduciendo considerablemente la resistencia. Tan cual se puede observar en las dosificaciones que incluían un porcentaje de 0.15%, donde las resistencias empezaron a descender.

- Tras las resistencias obtenidas en esta investigación, se obtuvieron las mejores dosificaciones en el caso de agregados con un TNM de 3/4" aquella que incluye un porcentaje de fibras de polipropileno de 0.10%, mientras que para el agregado con un TNM de 1/2" con un porcentaje de adición del 0.075%, como se puede observar estos valores son cercanos, por tal motivo el rango de aplicación de las fibras mejora en esta investigación entre 0.075 y 0.1%.
- El precio del adoquín permeable resulta menor que el de un adoquín convencional, puesto que el precio de los adoquines de hormigón permeable va desde los \$0.23 centavos, mientras el valor del hormigón convencional es de \$ 0.42, es decir que tiene un incremento del 82%.
- El hormigón permeable es altamente recomendable para parqueaderos, áreas verdes, pasos peatonales y afines, puesto que tiene limitaciones debido a su resistencia debido al volumen de vacíos presentes en su estructura, frente al hormigón convencional con bajo volumen de vacíos, que se puede utilizar en obras civiles en general sin restricción.
- La trabajabilidad del concreto permeable se incrementa mientras el tamaño nominal máximo del agregado grueso se reduce, puesto que se adapta mejor al molde, al mismo tiempo que el volumen de vacíos se reduce y la resistencia a la compresión se incrementa, como se pudo observar en la dosificación D-05 de 128.11 kg/cm², a 152.34 kg/cm² correspondiente a la dosificación D-10.
- Los agregados gruesos juegan el papel más importante dentro de la resistencia a la compresión, debido a que producto de los ensayos realizados previamente se pudo observar que la resistencia máxima a compresión de los adoquines constituidos por agregados de 3/4" fue de 128.11 kg/cm², mientras que para aquellos que fueron construidos con agregados de 1/2" obtuvieron como pico una resistencia de 152.34 kg/cm². Es decir, mientras menor es el tamaño

máximo de los agregados, mayor será su resistencia, pero menor su volumen de vacíos.

- El hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno de mayor resistencia a la compresión constituido por agregados gruesos cuyo tamaño nominal máximo es 3/4” y con un reforzamiento de fibras de polipropileno de 0.075% obtuvo un valor de 128.11 kg/cm², es decir cumplió con el 71% de la resistencia esperada para uso peatonal (180 kg/cm²).
- El hormigón permeable reforzado con fibras de polipropileno de mayor resistencia a la compresión constituido por agregados gruesos cuyo tamaño nominal máximo es 1/2” y con un reforzamiento de fibras de polipropileno de 0.075% obtuvo un valor de 152.34 kg/cm², es decir cumplió con el 84% de la resistencia esperada para uso peatonal (180 kg/cm²).
- La resistencia esperada a compresión del hormigón permeable en adoquines es desconocida al momento de la dosificación. Los únicos parámetros que aseguran que la resistencia a la compresión se incremente son el volumen de vacíos y el volumen de pasta cementante.
- El hormigón permeable está conformado por un 68% de agregado grueso en su composición, 16% de cemento, 12% de agregados finos y un 4% de agua, mientras que el hormigón convencional contiene un 38% de contenido de cemento, seguido por el 34% de agregados gruesos, un 22% de agregados finos y finalmente el 6% de agua. Por tanto, en cuanto al hormigón convencional el componente de mayor volumen es el agregado grueso, mientras que para el hormigón convencional el cemento es el elemento de mayor volumen y por tanto el que más actúa en su composición.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas en primera instancia con diferentes relaciones a/c para evitar el desperdicio de material.
- Se recomienda cortar las fibras de microfilamento para lograr una mayor cobertura y mezclado de todos los componentes del hormigón y así evitar la obstrucción de los vacíos de la mezcla.
- Se recomienda revisar la ficha técnica del productor para aplicar las dosificaciones correctas en dependencia del volumen elaborado.
- Se recomienda implementar macro fibras corrugadas, y estudiar su comportamiento frente a las muestras producidas con microfibras.
- Se recomienda aplicar la fibra de polipropileno de a poco, puesto que este se hace agrupa en forma de esferas.
- Se recomienda aplicar una gran energía de compactación y en el mejor de los casos aplicar un rodillo sobre la muestra para lograr que la muestra sea lo más compacta posible.
- Se recomienda para futuras investigaciones implementar granulometrías menores, tal es el caso de 3/8 y N°4 y más aditivos como la fibra de nylon, que es otro grupo de microfibras que mejora la resistencia del hormigón.
- Se recomienda que se llenen los moldes a rebose y luego se aplique la energía de compactación para formar el adoquín.
- Se recomienda implementar diferentes relaciones agua – cemento para el hormigón permeable, para el análisis de influencia de este factor.
- Se recomienda la utilización de aditivos para mejorar la trabajabilidad.
- Se recomienda ampliamente revisar constantemente la textura del hormigón permeable durante su fabricación, tomando en cuenta los factores mencionados con anterioridad.

- Se recomienda sumergir los adoquines en agua antes del ensayo de permeabilidad, para evitar que la muestra absorba agua que podría perjudicar los cálculos.
- Se recomienda el mantenimiento periódico del hormigón permeable una vez colocado, puesto que este puede acumular sedimentos en su estructura.
- Se recomienda colocar capas de material granular fino previo la colocación en campo de los adoquines de hormigón permeable para mejorar su drenaje, puesto que ciertos tipos de suelo como pueden retardar o adelantar este proceso.
- Se recomienda implementar un cambio de materia prima, puesto que sería interesante revisar el cambio de resistencia a la compresión en dependencia de las propiedades físicas del material que se utilice.
- Se recomienda ampliamente que se realice una investigación con macro fibra, puesto que la textura y concentración de fibras cambian en dependencia de la forma.

4. Referencias Bibliográficas

- [1] Oscar Rene Espinoza Pérez y Edelma Raquel López Antón, “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE CON AGREGADOS DEL BANCO DE PRÉSTAMO VERACRUZ, CEMENTO PORTLAND TIPO GU (ASTM-C1157) Y FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.”, Managua, sep. 2018.
- [2] A. Spalvier, A. Díaz, I. Marrero, T. Baliosian, R. Piellarisi, y L. Segura, “Recomendaciones sobre Pavimentos de Hormigón Permeable”.
- [3] ACI, “Hormigón permeable Reportado por el Comité ACI 522”, 2006.
- [4] “Redalyc.INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADOS PLÁSTICO Y ENDURECIDO | Enhanced Reader”.
- [5] I. Sonocco y E. Ticono, “Influencia de la incorporación de fibras de polipropileno en concreto permeable $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ”, Juliaca, dic. 2017.
- [6] Salguero Víctor, “ADOQUINES MODIFICADOS CON FIBRA DE POLIPROPILENO PARA EL USO EN VIAS DE LA CIUDAD DE QUITO”, Quito, 2013.
- [7] N. Cárdenas, H. Alexis, R. Quiroz, y J. Charly, “Elaboración del concreto poroso con fibra de polipropileno como alternativa para reducir la contaminación sonora causada por la interacción del neumático y la calzada aplicado en la avenida San Luis, distrito de San Borja Item Type info:eu-repo/semantics/bachelorThesis”. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10757/656331>
- [8] ACI, “aci-522-r-10_compress”, 2010.
- [9] INEN, “Requisitos-adoquines”, 1986.
- [10] Marcelo. Mastropietro, “El hormigón para arquitectos”.
- [11] “Los 5 edificios de concreto más importantes diseñados por Pier Luigi Nervi – Geoplast”. <https://www.geoplastglobal.com/es/blog/los-5-edificios-de-concreto-mas-importantes-disenados-por-pier-luigi-nervi/> (accedido ene. 15, 2023).

- [12] “Permeable Pavement Options | New Dawn Permeable Paving”.
<https://newdawnpermeablepaving.com.au/types-of-permeable-pavers>
 (accedido dic. 02, 2022).
- [13] M. Mastropietro, *El hormigón para arquitecto*. Ediciones de la U, 2020.
 Accedido: oct. 28, 2022. [En línea]. Available:
<https://elibro.net/es/ereader/uta/127069?page=12>
- [14] C. León y Rosero Gina, “OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN PERMEABLE A PARTIR DE TRES DISTINTAS GRADUACIONES”, Quito.
- [15] S. Chinchón Yepes y M. Á. Sanjuán Barbudo, “Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland”, *Nucleic Acids Res*, vol. 34, nº 11, pp. 17–18, 2014, Accedido: ene. 15, 2023. [En línea]. Available:
<http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/45347>
- [16] W. H. Duda y A. Sarabia González, “Manual tecnológico del cemento”, 1977.
- [17] M. Ángel, S. Barbudo, S. Chinchón, I. A. la Fabricación, Y. Normalización, y D. Cemento, “INTRODUCCIÓN A LA FABRICACIÓN Y NORMALIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND”, Accedido: nov. 10, 2022. [En línea]. Available: <http://publicaciones.ua.es>
- [18] Q. -Ecuador y C. PORTLAND REQUISITOS Primera Edición, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 152:2010 Cuarta revisión”.
- [19] Q. -Ecuador, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NTE INEN 872”.
- [20] Q. -Ecuador, “HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. AGUA PARA MEZCLA. REQUISITOS.”, 2012.
- [21] Á. G. Sánchez Muñoz, “Análisis de la resistencia a compresión del hormigón al sustituir parcialmente el cemento hidráulico tipo GU por ceniza volcánica”, 2022, Accedido: nov. 09, 2022. [En línea]. Available:
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/35974>
- [22] P. SERRANO, “DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN BASADA EN MATLAB PARA EL CÁLCULO DE CIMENTACIONES

- SUPERFICIALES AISLADAS”, Universidad técnica de Ambato, Ambato, 2017. Accedido: oct. 28, 2022. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26396/1/Tesis%201158%20-%20Serrano%20Moreta%20Paola%20Carolina.pdf>
- [23] “Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad”.
- [24] “EPS FIBRATEX - Tespecon”. <https://www.tespecon.com/product/eps-fibratex/> (accedido ene. 16, 2023).
- [25] S. C. ALEX ROMARIO, “OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE EL USO DE SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES HASTA ALCANZAR UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 50 Mpa”, Riobamba, 2016.
- [26] Q. -Ecuador, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NTE INEN 696”.
- [27] Chan J, “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto”, n° 2, pp. 39–46, may 2003.
- [28] Y. M. SANCHEZ, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 856:2010 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO”. Accedido: nov. 10, 2022. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/34453696/INSTITUTO_ECUATORIANO_DE_NORMALIZACION_NORMA_TECNICA_ECUATORIANA_NTE_INEN_856_2010_%C3%81RIDOS_DETERMINACION_DE_LA_DENSIDAD_DENSIDAD_RELATIVA_GRAVEDAD_ESPECIFICA_Y_ABSORCION_DEL_%C3%81RIDO_FINO
- [29] Q. -Ecuador y P. Edición, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 857:2010 Primera revisión ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA

DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO”.

- [30] Q. -Ecuador y P. Edición, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 858:2010 Primera revisión ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS”.
- [31] N. T. Ecuatoriana, M. De, S. Determinación, D. L. Líquido, M. De, y C. Grande, “691”.
- [32] R. A. William Alejandro, “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE DATOS PARA DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE EN LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON APLICANDO EL MÉTODO ACI”, *Universidad técnica de Ambato*, jul. 22d. C.
- [33] Q. F. -Ecuador DE ERRATAS y C. de HIDRÁULICO DETERMINACIÓN LA DENSIDAD Primera Edición, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 156:2009 Segunda revisión”, 2009.
- [34] “Ensayo del Cono de Abrams - Consistencia del hormigón”. <http://ingenieriyamas.com/2016/09/ensayo-del-cono-de-abrams-consistencia-del-hormigon.html> (accedido ene. 16, 2023).
- [35] zia wadud, “Aci Method of Concrete MIX Design: A Parametric Study”. Accedido: ene. 16, 2023. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/38926416/Aci_Method_of_Concrete_MIX_Design_A_Parametric_Study
- [36] “(PDF) ACI 211.1-91 (NORMA) - DOKUMEN.TIPS”. <https://dokumen.tips/documents/aci-2111-91-norma.html?page=3> (accedido ene. 20, 2023).
- [37] ACI, “ACI 211.1-91”, 1997. <https://dokumen.tips/documents/aci-2111-91-norma.html?page=14> (accedido ene. 20, 2023).
- [38] W. A. Rodríguez Auquillas, “Análisis y evaluación de datos para dosificación de mezclas de hormigón mediante el desarrollo de un software

- en lenguaje de programación Python aplicando el método ACI”, 2022, Accedido: ene. 16, 2023. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/35595>
- [39] VallejoPatarón Marco Alexis y Chacha Vinicio Javier, “SELECCIÓN DEL MATERIAL ÓPTIMO PARA EL DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO AGREGADOS DE DOS MINAS DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO Y EL CEMENTO PORTLAND TIPO I, EN RELACION A LA OBTENCIÓN DE MAYOR PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA”, 2016.
- [40] INEN 1486, *Adoquines. DEterminación de las dimensiones, area tota y área de la superficie de desgaste*. 1986. Accedido: ene. 01, 2023. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1486.pdf>
- [41] Q. -Ecuador y P. Edición, “INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN GUÍA PRÁCTICA ECUATORIANA GPE INEN 044:1996 GUÍA DE PRÁCTICA DE ADOQUINES DE HORMIGÓN PARA TRANSITO PESADO”.
- [42] R. Hernandez, *Metodología de la investigación*, Sexta. México D.F: Mc Graw Hill Education, 2014. Accedido: nov. 27, 2022. [En línea]. Available: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- [43] “AREA CONSTRUCCIÓN Asignatura: Laboratorio de Suelos y Hormigones I Código: COTTLB01/G06/Peso Específico Relativo del Cemento”.
- [44] “Norma Técnica Ecuatoriana ADOQUINES. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN”.
- [45] nombre Valcuende Payá, M. Marco Serrano, E. Jardón Giner, y R. Gil Andrés, “Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura”.

3. ANEXOS

A1. FOTOGRAFÍAS



Fig. 77 Adoquín con agregados de 3/4” y sin reforzamiento



Fig. 78 Adoquín permeable en la máquina de compresión.



Fig. 79 Cámara de curado con temperatura adaptable



Fig. 80 Árido fino tamizado



Fig. 81 Tamices cuadrados



Fig. 82 Mesa Vibratoria



Fig. 83 Construcción de Adoquines



Fig. 84 Granulometría de finos



Fig. 85 Instrumentos para el ensayo de densidad de la arena



Fig. 86 Granulometría de agregados gruesos



Fig. 87 Cantera "El Río" - Cantón Salcedo



Fig. 88 Ensayo de densidad aparente de agregados gruesos



Fig. 89 Ensayo de densidad real del cemento



Fig. 90 Ensayo de densidad aparente de agregados finos



Fig. 91 Ensayo de densidad aparente del agregado fino



Fig. 92 Consistencia del hormigón permeable



Fig. 93 Fibra de polipropileno



Fig. 94 Ensayo de densidad real de áridos gruesos



Fig. 95 Probeta de hormigón convencional ensayado a compresión



Fig. 96 Agregados gruesos sumergidos

A1. DATOS BRUTOS DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESIÓN



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ENSAYADO POR:		Carla Alexandra Reinoso Bonilla				
NORMA APLICADA:		NTE INEN 1485				
FECHA DEL ENSAYO:		5/1/2023				
ID	Dimensiones		Parámetros			
Parámetro	Área	Espesor	Carga máxima	Resistencia a compresión	Resistencia promedio	Desviación estándar
Unidad	mm ²	mm	kN	MPa	Mpa	Mpa
1	200.00	80.00	111.4976	5.5749	4.814	1.20
2	200.00	80.00	108.6836	5.4342		
3	200.00	80.00	68.6836	3.4342		
13	200.00	80.00	71.2234	3.5612	2.901	1.17
14	200.00	80.00	31.0494	1.5525		
15	200.00	80.00	71.7740	3.5887		
25	200.00	80.00	66.9790	3.3490	3.957	0.53
26	200.00	80.00	86.9790	4.3490		
27	200.00	80.00	83.4562	4.1728		
37	200.00	80.00	75.8370	3.7919	3.424	0.59
38	200.00	80.00	74.7888	3.7394		
39	200.00	80.00	54.7888	2.7394		
49	200.00	80.00	99.2818	4.9641	7.097	1.85
50	200.00	80.00	164.3850	8.2193		
51	200.00	80.00	162.1674	8.1084		
61	200.00	80.00	64.0020	3.2001	5.006	1.56
62	200.00	80.00	118.0020	5.9001		
63	200.00	80.00	118.3772	5.9189		
73	200.00	80.00	91.7540	4.5877	3.638	1.21
74	200.00	80.00	45.5494	2.2775		
75	200.00	80.00	80.9602	4.0480		
85	200.00	80.00	67.0320	3.3516	6.718	2.92
86	200.00	80.00	171.0300	8.5515		
87	200.00	80.00	165.0452	8.2523		
97	200.00	80.00	68.0310	3.4016	3.546	0.16
98	200.00	80.00	74.3790	3.7190		
99	200.00	80.00	70.3707	3.5185		
109	200.00	80.00	71.4800	3.5740	8.102	3.92
110	200.00	80.00	209.0620	10.45		
111	200.00	80.00	205.5494	10.28		
121	200.00	80.00	38.4724	1.9236	3.932	1.74
122	200.00	80.00	99.7238	4.9862		
123	200.00	80.00	97.7062	4.8853		
133	200.00	80.00	175.4072	8.7704	6.209	4.12
134	200.00	80.00	168.0836	8.4042		
135	200.00	80.00	29.0528	1.4526		
145	200.00	80.00	514.3260	25.7163	26.326	4.34
146	200.00	80.00	618.7700	30.9385		
147	200.00	80.00	446.4912	22.3246		

Fig. 97. Tabla de datos brutos - Resistencia a compresión a los 7 días

Autora: Carla Reinoso



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



ENSAYADO POR: Carla Alexandra Reinoso Bonilla
NORMA APLICADA: NTE INEN 1485
FECHA DEL ENSAYO: 12/1/2023

ID	Dimensiones		Parámetros			
	Parámetro	Área	Espesor	Carga máxima	Resistencia a compresión	Resistencia promedio
Unidad	cm ²	cm	kN	MPa	Mpa	Mpa
4	200.00	8.00	139.13	6.96	5.57	2.34
5	200.00	8.00	137.79	6.89		
6	200.00	8.00	57.56	2.88		
16	200.00	8.00	181.01	9.05	7.04	1.74
17	200.00	8.00	120.53	6.03		
18	200.00	8.00	120.97	6.05		
29	200.00	8.00	7.66	0.38	4.99	3.99
30	200.00	8.00	144.70	7.23		
31	200.00	8.00	147.01	7.35		
40	200.00	8.00	52.70	2.64	4.92	1.97
41	200.00	8.00	121.25	6.06		
42	200.00	8.00	120.94	6.05		
52	200.00	8.00	80.97	4.05	7.79	3.24
53	200.00	8.00	193.90	9.69		
54	200.00	8.00	192.52	9.63		
64	200.00	8.00	5.84	0.29	4.40	3.57
65	200.00	8.00	125.08	6.25		
66	200.00	8.00	133.31	6.67		
76	200.00	8.00	102.67	5.13	5.44	0.42
77	200.00	8.00	105.28	5.26		
78	200.00	8.00	118.29	5.91		
88	200.00	8.00	58.51	2.93	7.13	3.64
89	200.00	8.00	184.94	9.25		
90	200.00	8.00	184.30	9.22		
100	200.00	8.00	87.67	4.38	4.63	0.26
101	200.00	8.00	92.52	4.63		
102	200.00	8.00	97.91	4.90		
112	200.00	8.00	236.25	11.81	9.49	3.56
113	200.00	8.00	225.31	11.27		
114	200.00	8.00	107.93	5.40		
124	200.00	8.00	100.39	5.02	4.60	0.95
125	200.00	8.00	105.28	5.26		
126	200.00	8.00	70.10	3.51		
137	200.00	8.00	116.57	5.83	8.09	1.96
138	200.00	8.00	187.31	9.37		
139	200.00	8.00	181.50	9.07		
148	200.00	8.00	424.31	21.22	22.36	6.09
149	200.00	8.00	338.60	16.93		
150	200.00	8.00	578.81	28.94		

Fig. 98 Tabla de datos brutos - Resistencia a compresión a los 14 días
 Autora: Carla Reinoso



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ENSAYADO POR: Carla Alexandra Reinoso Bonilla						
NORMA APLICADA: NTE INEN 1485						
FECHA DEL ENSAYO: 12/1/2023						
ID	Dimensiones		Parámetros			
Parámetro	Área	Espesor	Carga máxima	Resistencia a compresión	Resistencia promedio	Desviación estándar
Unidad	cm ²	cm	kN	MPa	Mpa	Mpa
7	200.00	8.00	106.16	5.31	6.10	0.80
8	200.00	8.00	138.33	6.92		
9	200.00	8.00	121.28	6.06		
19	200.00	8.00	70.86	3.54	5.24	1.70
20	200.00	8.00	104.72	5.24		
21	200.00	8.00	139.06	6.95		
31	200.00	8.00	100.20	5.01	6.28	1.13
32	200.00	8.00	133.65	6.68		
33	200.00	8.00	143.05	7.15		
43	200.00	8.00	114.39	5.72	4.92	0.73
44	200.00	8.00	94.51	4.73		
45	200.00	8.00	86.05	4.30		
55	200.00	8.00	43.18	2.16	6.49	3.76
56	200.00	8.00	166.87	8.34		
57	200.00	8.00	179.06	8.95		
67	200.00	8.00	96.70	4.83	5.79	0.83
68	200.00	8.00	126.49	6.32		
69	200.00	8.00	124.30	6.21		
79	200.00	8.00	155.70	7.79	7.13	0.80
80	200.00	8.00	147.39	7.37		
81	200.00	8.00	124.92	6.25		
91	200.00	8.00	174.50	8.72	7.88	1.67
92	200.00	8.00	179.25	8.96		
93	200.00	8.00	119.25	5.96		
103	200.00	8.00	74.06	3.70	5.40	1.47
104	200.00	8.00	125.07	6.25		
105	200.00	8.00	124.92	6.25		
115	200.00	8.00	155.70	7.79	9.90	1.83
116	200.00	8.00	217.27	10.86		
117	200.00	8.00	221.07	11.05		
127	200.00	8.00	200.24	10.01	8.18	1.61
128	200.00	8.00	140.24	7.01		
129	200.00	8.00	150.10	7.50		
139	200.00	8.00	109.94	5.50	8.03	2.21
140	200.00	8.00	190.47	9.52		
141	200.00	8.00	181.50	9.08		
150	200.00	8.00	675.08	33.75	29.16	4.12
151	200.00	8.00	516.01	25.80		
152	200.00	8.00	558.60	27.93		

Fig. 99 Tabla de datos brutos - Resistencia a compresión a los 21 días
 Autora: Carla Reinoso