

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Evaluación de un concreto permeable adicionando diferentes porcentajes de puzolana de vidrio reciclado para su aplicación en veredas y ciclovías en el distrito de Reque-Chiclayo 2021

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL Y AMBIENTAL**

AUTOR

Francisco Antonio Pereyra Valdera

ASESOR

Luis Quiroz Quiñones

<https://orcid.org/0000-0001-9193-0307>

Chiclayo, 2023

**Evaluación de un concreto permeable adicionando
diferentes porcentajes de puzolana de vidrio reciclado
para su aplicación en veredas y ciclovías en el distrito de
Reque-Chiclayo 2021**

PRESENTADA POR:

Francisco Antonio Pereyra Valdera

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL Y AMBIENTAL

APROBADA POR:

Pedro Patazca Rojas

PRESIDENTE

Tafur Jimenez Carlos Rafael

SECRETARIO

Luis Quiroz Quiñones

ASESOR

DEDICATORIA

Dedico esta presente investigación a Dios principalmente por darme salud protección que en todo momento necesité y darme su bendición para poder alcanzar mis metas como persona y como profesional pese a las dificultades de la vida.

A mis Padres, Víctor Alejandro Pereyra Castillo y Vilma Valdera Zeña que me enseñaron de pequeño que la vida muchas veces es un poco dura, pero se tiene que sacar provecho de ello para poder crecer como persona.

A mis hermanos Jesús Abraham Pereyra Valdera y Juan Diego Pereyra Valdera, que me animan siempre a seguir y a su maduración rápida de ambos por darme a entender el propósito de este logro.

A mis mejores amigos, Brayan Michel Muros Rojas, Albert Louis Gregory Becerra Fernández, Líder David Collazos Palomino que fueron criados por padres muy amables y con mucha humanidad, y que gracias a su ayuda y sus consejos puedo presentarles este logro.

A mis tíos Jorge y Aydee, los cuales con su solidaridad, compasión y afecto me llenaron de gozo y tranquilidad en el transcurso de esta investigación.

Y a todos mis amigos y familiares en general que me estiman y siempre están ahí para apoyarme.

INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

28%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

7%

2

repositorio.usmp.edu.pe

Fuente de Internet

4%

3

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.usanpedro.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

1%

9

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

Índice

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	17
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	17
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	17
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	20
2.1.3. Antecedentes Locales.....	23
2.2. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS	24
2.2.1. Concreto permeable.....	24
2.2.1.1. Ventajas de un concreto permeable.....	24
2.2.1.2. Desventajas de un concreto permeable.....	24
2.2.1.3. Propiedades de un concreto permeable en estado fresco.....	25
2.2.1.4. Propiedades de un concreto permeable en estado endurecido.....	26
2.2.1.5. Materiales empleados en la elaboración del concreto permeable.....	34
2.2.2. Vidrio	37
2.2.2.1. Puzolana de Vidrio	38
2.2.2.1.1. Puzolanas de vidrio frente a otras puzolanas	38
2.2.2.1.2. Reacción álcali-sílice (RAS).....	39
2.2.2.1.3. Densidad de la puzolana de vidrio.....	39
2.2.2.1.4. Composición química del vidrio.....	42
2.2.3. Plástico reciclable.....	43
2.2.3.1. Clasificación de los plásticos según su plasticidad	43
2.2.3.1.1. Codificación de los plásticos	47
2.2.4. Definición de términos básicos	48
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	49
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	49
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO.....	49
3.4. VARIABLES-OPERACIONALIZACIÓN	51
3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	52
3.5.1. Métodos.....	52
3.5.2. Técnicas.....	52
3.5.3. Instrumentos	52
3.5.4. Estrategia metodológica para la demostración de la hipótesis.....	54

3.5.5.	Plan y procesamiento de análisis de datos	54
IV.	DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	55
4.1.	ENSAYO DE LOS MATERIALES	55
4.1.1.	Extracción y Preparación de las Muestras (NTP 400.010)	57
4.1.2.	Contenido de Humedad (NTP 399.185).....	61
4.1.3.	Determinación de la Resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles – (NTP 400.019 -2002) 65	
4.1.4.	Análisis Granulométrico (NTP 400.012)	74
4.1.5.	Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Grueso (NTP 400.021)	87
4.1.6.	Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Fino (NTP 400.022).....	91
4.1.7.	Peso Específico Del Cemento Hidráulico (Le chatelier) – (NTP 334.005) .	98
4.1.8.	Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos (NTP 400.017).....	106
4.2.	METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE 114	
4.2.1.	Determinación de la Intensidad de lluvia de diseño.....	116
4.2.2.	Compactación en un concreto permeable.....	120
4.2.2.1.	Normatividad aplicada a concretos con Cero Slump.....	122
4.2.2.2.	Energía de compactación según la consolidación requerida en un concreto permeable	122
4.2.2.3.	Compactación de probetas cilíndricas 6"x12" (15x30cm) de concreto permeable (0%, 10%, 15%, 1% y 2% de PVM).....	124
4.2.2.4.	Compactación de probetas cilíndricas 6"x12" (15x30cm) de concreto permeable (30% de PVM).	125
4.2.3.	Criterios de Diseño del Concreto Permeable	126
4.2.4.	Elección del porcentaje de Vacíos	127
4.2.5.	Elección de la resistencia a compresión de diseño.....	128
4.2.6.	Determinación del Volumen de Pasta	129
4.2.7.	Elección de la relación agua-cemento.....	131
4.2.8.	Método de los volúmenes absolutos y corrección por humedad y absorción 132	
4.2.9.	Diseño de Mezcla de un Concreto Permeable.....	133
4.2.9.1.	Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 0% DE PVM).....	133
4.2.9.2.	Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 10% DE PVM).....	138
4.2.9.3.	Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 15% DE PVM).....	140
4.2.9.4.	Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 30% DE PVM).....	142
4.2.9.5.	Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 1% DE PVM).....	144

4.2.9.6.	Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 2% DE PVM).....	146
4.2.10.	Resumen de los Diseños de Mezcla de un Concreto Permeable	148
4.3.	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	150
4.3.1.	Medición del Asentamiento del Concreto Fresco con el Cono de Abrams - (NTP 339.035).....	150
4.3.2.	Determinación de la Temperatura de las Mezclas de Concreto – (NTP 339.184)156	
4.3.3.	Determinación de Densidad y el Contenido de Vacíos del Concreto Permeable Fresco – (NTP 339.230)	158
4.3.4.	Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en Laboratorio – (NTP 339.183)161	
4.4.	ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	167
4.4.1.	Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en Especímenes Cilíndricos – (NTP 339.034)	167
4.4.2.	Ensayo de la Tasa de Percolación o infiltración (ACI 522R-10).....	177
4.4.3.	Determinación de la Densidad y el Contenido de Vacíos del Concreto Permeable en estado Endurecido – (NTP 339.238).....	182
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	190
5.1.	Análisis del Slump obtenido en las muestras.....	190
5.2.	Análisis de la Temperatura obtenida en las muestras	191
5.3.	Análisis del Contenido de Vacíos y Densidad teóricas de las muestras del concreto en estado fresco.....	192
5.4.	Análisis de la resistencia a la compresión del concreto en Estado Endurecido	198
5.5.	Análisis del Contenido de Vacíos y Densidad del Concreto en Estado endurecido	202
5.6.	Análisis de la Permeabilidad y requisitos del concreto permeable.....	206
5.7.	Evaluación Económica de los diseños de mezcla Evaluados	208
5.7.1.	Diseños o grupos de mezcla que cumplieron la hipótesis planteada.....	210
5.7.2.	Diseños o grupos de mezcla que no cumplieron la hipótesis planteada y su selección para distintos usos.....	212
5.8.	Comparación de la efectividad de la puzolana de vidrio frente a otros materiales reciclados	214
VI.	CONCLUSIONES	221
VII.	RECOMENDACIONES	224
VIII.	REFERENCIAS.....	225
IX.	ANEXOS.....	230

RESUMEN

La investigación se centra en la sustitución de puzolana de vidrio reciclado de un tamaño de grano de 0.15mm en los porcentajes del 10%, 15%, 30% del peso del cemento, cuya finalidad es de evaluar las propiedades mecánicas e hidráulicas de un concreto permeable para su implementación en ciclovías y veredas, y a su vez superar la intensidad de lluvia máxima de diseño equivalente a 91.6 mm/hora producida por el Fenómeno del Niño del año 1998. En el transcurso de la investigación se implementó la sustitución de dos porcentajes equivalentes al 1% y 2% de puzolana de vidrio reciclado.

Las variables independientes son la puzolana de vidrio reciclado de 0.15mm y los agregados naturales, mientras que las dependientes son las propiedades mecánica e hidráulicas del concreto permeable, medidas con sus indicadores como el asentamiento, temperatura, densidad teórica del concreto fresco, densidad del concreto endurecido, resistencia a la compresión y la tasa de infiltración.

La investigación se define experimental, por ello posee un total de 72 muestras cilíndricas de 6"x12", de las cuales 54 son para la evaluación de resistencia a la compresión; mientras que los 18 restantes son para permeabilidad y contenido de vacíos.

Se concluyó que utilizarse agregado de 3/4" y 10% de finos, con una relación agua/cemento de 0.35, todos los porcentajes obtienen las propiedades específicas de un concreto permeable, siendo los porcentajes óptimos para usarse en ciclovías y veredas con el 0% y 2% de puzolana de vidrio reciclado de 0.15mm, cuya capacidad de infiltración resultó 2.52 L/m²/s y 2.59 L/m²/s, con una resistencia a la compresión a los 28 días de 177.29 kg/cm² y 176.72 kg/cm² respectivamente. Además, que los porcentajes del 1%, 10% y 30% quedan cercanos al valor de resistencia mínima requerida, atribuyendo a incrementar las energías de compactación inducidas en la elaboración de estas.

Palabras Clave: Concreto permeable, Puzolana de vidrio, Energía de Compactación, Tasa de percolación, colmatación.

ABSTRACT

The research focuses on the substitution of recycled glass pozzolan of a grain size of 0.15mm at the percentages of 10%, 15%, 30% of the weight of cement, the purpose of which is to evaluate the mechanical and hydraulic properties of a permeable concrete for its implementation in cycloways and sidewalks, and in turn to exceed the maximum rain intensity of design equivalent to 91.6 mm/hour produced by the Child phenomenon of the year 1998. In the course of the investigation, the substitution of two percentages equivalent to 1% and 2% of recycled glass pozzolan was implemented.

The independent variables are the recycled glass pozzolan of 0.15mm and the natural aggregates, while the dependent variables are the mechanical and hydraulic properties of the permeable concrete, measured with their indicators such as settling, temperature, theoretical density of the fresh concrete, density of the hardened concrete, compression resistance and infiltration rate.

The research is defined as experimental, therefore it has a total of 72 cylindrical samples of 6"x12", of which 54 are for the evaluation of compression resistance, while the remaining 18 are for permeability and vacuum content.

It was concluded that to use aggregate of 3/4" and 10% of fine, with a water/cement ratio of 0.35, all the percentages obtain the specific properties of a permeable concrete, being the optimal percentages for use in cyclovias and sidewalks with 0% and 2% of recycled glass pozzolan of 0.15mm, The infiltration capacity was 2.52 L/m²/s and 2.59 L/m²/s, with a 28-day compression resistance of 177.29 kg/cm² and 176.72 kg/cm² respectively. In addition, the percentages of 1%, 10% and 30% remain close to the minimum resistance value required, attributing to increasing the compaction energies induced in the processing of these.

Keywords: Permeable concrete, Glass pozzolan, Compaction Energy, Percolation Rate, Silting.

I. INTRODUCCIÓN

El mundo actualmente está en una carrera contra el tiempo, por lo cual limitar el calentamiento a 1,5°C en lugar a 2°C supondría una diferencia enorme, por lo cual el Panel Intergovernmental de expertos de Naciones Unidas sobre el cambio climático (IPCC), indica que la mejor manera de contribuir es el reciclaje, lo cual aporta grandes reducciones de emisión de CO₂, donde nos avisan que debemos reducirlas a la mitad en el 2030.

Según reportes de la ONU HABITAT, se contabiliza que más de 200 ciudades han contribuido al aumentar sus tasas de reciclaje del 40% al 80% con la sola integración de recicladores. Esto igualando a la pérdida de árboles por año debido a la contaminación, supone un total de 2 millones de árboles en ahorro por dicha elevación de tasa de reciclaje.

Según la información proporcionada por el Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, en el año 2011, en la ciudad de Argentina se generaron en el país más de 14 000 000 toneladas de residuos sólidos de los cuales el 5% corresponden a vidrio de diferente origen. [1]

No obstante, el mayor progreso se visualiza en los países europeos, de los cuales 6 de ellos han alcanzado niveles de reciclaje que pasan el 50% de su total de desechos anuales, los cuales son: Suiza, Austria, Alemania, Bélgica, y los países bajos. Lo que se recicla entre sus contenedores, se describe minuciosamente como: 93% vidrio, 91% de latas y el 83% de botellas plásticas.

España ya alcanza el 76,8% de tasa de reciclaje en vidrio, según lo que reporta el Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico (MITRED) ha reportado a Eurostat, que hace referencia a la cifra del 2018 y que supone un incremento de 4,6 puntos con respecto al 2017 (72,2%). De esta forma España supera la media europea (75,8%) y se posiciona delante de países del entorno como Portugal (61,1%), Reino Unido (68,5%), Italia (73,4%) y Francia (76,2%).

El panorama cambia para América Latina, el cual, de acuerdo con la ONU, recalca que no habrá cambios positivos en los siguientes 30 años, sino que, por el contrario, los daños se extienden hasta el 2050. Y se estima que el nivel de desechos aumentará a 671000 toneladas diarias y que a su vez una tercera parte acaba en depósitos que no garantizan una adecuada protección al medioambiente.

Siendo el vidrio uno de sus materiales altamente contaminantes y superior en muchísimos años en degradación en comparación con el plástico, el cual produce efectos nocivos sobre la vida animal, vida silvestre y el hábitat de esta, sobre los océanos y los cuerpos de agua, incluyendo los humanos.

En el año 2016, en el Perú se generaron 7 005 576 toneladas de residuos sólidos municipales urbanos, de lo cual en volumen representa un 18,7% son residuos inorgánicos reciclables con el fin de generar empleos a través del reciclaje o negocios innovadores (papel, vidrio, cartón plástico PET, etc.)

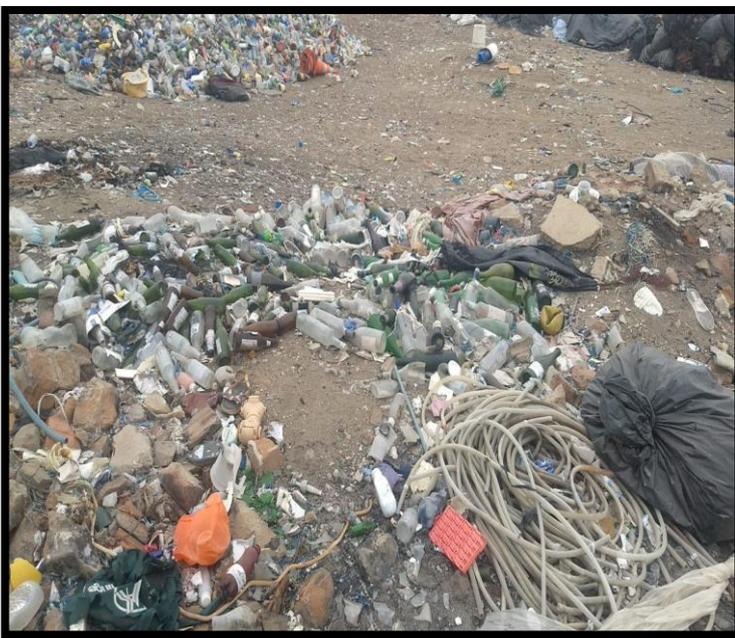
En el Perú tenemos enormes oportunidades para aumentar el reciclaje, pues según datos obtenidos del MINAM, para el año 2018, se recicla el 1,9% del total de residuos sólidos reaprovechables que se generan.

Así mismo se ha identificado 1585 botaderos, de los cuales un total de 27 han sido categorizados como áreas que pueden ser recuperadas como proyectos de infraestructuras formales de disposición final de residuos sólidos.

[2]Entre los departamentos registrados que tienen mayor presencia de botaderos son Cajamarca (123), Puno (111) y Áncash (149) y entre los departamentos que han sido afectados por mayor extensión de botaderos son Lambayeque (438hab), Ica (276ha) y Piura (201ha). Además, en el año 2011 la OEFA, denunció a varias Municipalidades, las cuales la Municipalidad de Huancayo y la municipalidad distrital de El Tambo fueron responsables de su mala disposición de sus residuos sólidos, por lo cual se priorizó la implementación de un Plan de Recuperación de Áreas degradadas.

Por otra parte, en el ámbito local, podemos rescatar al distrito de Reque, que tiene uno de los climas más agradables del departamento, lo cual puede ser tipificado como Cálido Templado y Seco; solo presenta una precipitación fluvial veraniega que se torna muy escasa, aunque cuando se produce el fenómeno de “El Niño” es fuerte, llegando a ocasionar torrenciales lluvias. Actualmente el problema que afronta el distrito de Reque es que está lejos de ser denominado como la “CHOSICA DEL NORTE” (por su clima curativo), debido a diversos factores medioambientales, el cual el más grande es por la existencia del botadero de basura, que durante 3 décadas se viene arrojando desperdicios de los distritos de José Leonardo Ortiz, Chiclayo, La Victoria y Reque. [3]

Un estudio realizado por ingenieros industriales en el año 2019, visitaron In Situ las pampas de Reque, recolectando información para la identificación de impactos ambientales que genera este botadero. Por lo cual usaron la matriz de Leopold, que permitió conocer las actividades e impactos ambientales, sociales y económicos que genera, de lo cual existe una inadecuada segregación de los residuos sólidos, crianza de ganado equino, la quema de basura, etc. Esto afecta la salud de los segregadores como también al aire, suelo, el agua, los ecosistemas; donde la categorización y evaluación del botadero según la matriz se consideró como puntuación de “muy riesgoso”, y se concluye que debe ser clausurado. [4]



Fundamento: Propia

Ilustración #1 y 2: “Pampas de Reque” – reciclado de vidrio

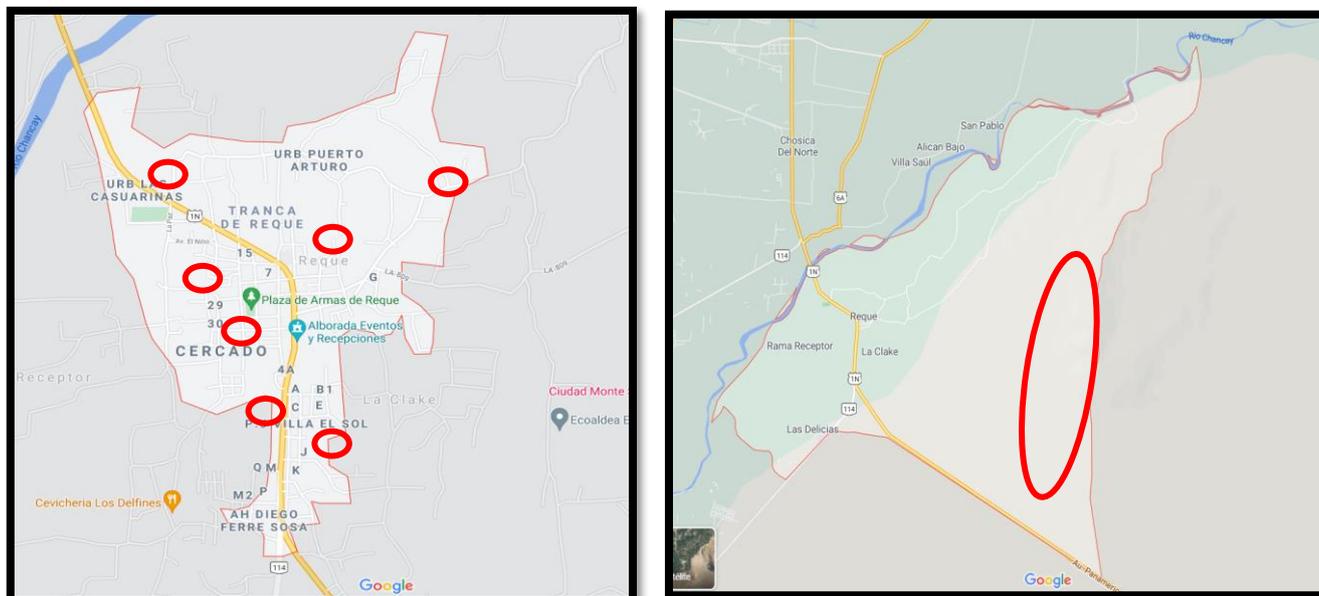
Es por ello que ante la gran cantidad de desperdicios que afronta Reque, uno de los elementos investigados es el vidrio, como un reemplazo parcial del cemento. De acuerdo con el Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL) del Ministerio del Ambiente (MINAM), en el año 2018, en el distrito de Reque, provincia de Chiclayo, se recolectó mensualmente 2100 Tn de

residuos sólidos, de los cuales aproximadamente el 1,45%, que representan 30,45 Tn son de vidrio reciclado. [5]



Fundamento: Propia

Ilustración #3,4 y5: Vidrio reciclado en diferentes puntos del distrito de Reque



Fundamento: Google Maps

Ilustración #6 y 7: Botaderos en Reque y “Pampas de Reque”

Sin embargo, no estamos exentos a los fenómenos naturales que ocurren durante el transcurso de los años, el cual un panorama de riesgo son las lluvias intensas que presenció el departamento de Lambayeque en los meses de enero a marzo del año 2017, por el Niño Costero.

De acuerdo a la Comisión Multisectorial encargada del estudio nacional del fenómeno del niño (ENFEN), los eventos ocurridos del 2017 fueron similares a los del año 1925 y de características y mecanismos locales y diferentes a los años de 1982-1998. Los impactos ocasionados por este fenómeno se registraron como lluvias intensas calificadas como “Muy lluvioso”, de 1 a 2 días en los meses de febrero y marzo por lo cual contribuyeron a la saturación del suelo y acumulación de agua del centro poblado de Reque, Las delicias y Miraflores.

Debido a las precipitaciones del Niño Costero, el 17 de marzo del 2017, en el distrito de Reque, se registró a más de 250 damnificados, 50 viviendas colapsadas, 120 afectadas, 10 viviendas inhabitables, y pérdidas de 150 hectáreas de cultivos de panllevar y 50 hectáreas de pastizales también sufrieron daños por las inundaciones. [6]



Fundamento: La república

Ilustración #8: Inundaciones en Reque por el Niño Costero



Fundamento: Propia

Ilustración #9: Aplicación del concreto permeable en veredas y ciclovías

Con esta información decido presentar una alternativa del uso de un concreto permeable con adición de puzolana de vidrio reciclado, de esta manera surge la pregunta: ¿De qué forma influye la sustitución de porcentajes del 10, 15 y 30% de puzolana de vidrio reciclado en el comportamiento de las propiedades mecánica e hidráulica de un concreto permeable en estado fresco y endurecido, para su aplicación en veredas y ciclovías, en el distrito de Reque, Chiclayo, Lambayeque?, con esto se lleva a cabo a formularse una hipótesis, la cual expresa que la sustitución de diferentes porcentajes de puzolana de vidrio reciclado mejora las propiedades mecánicas-hidráulica del concreto permeable para su utilización en veredas y ciclo vías del distrito de Reque provincia de Chiclayo.

Con la finalidad de respaldar esta investigación decimos que en el sector construcción en Perú ha ido aumentando, por lo cual el concreto es uno de los materiales de mayor demanda que los demás en esta industria, donde a mayor demanda, los recursos se escasean, por ello se trata de optimizarlos. Ahora en la actualidad con el fin de minimizar el impacto ambiental se ha tratado de investigar el efecto que tienen otros materiales usados como adición o reemplazo parcial que pueden ser usados para la elaboración del concreto; un ejemplo de ello es el vidrio, ya que debido a su composición química puede ser usado para este fin, por ello se definen justificaciones las cuales se resaltan a continuación.

En el aspecto ambiental, el uso de un concreto permeable con puzolana de vidrio reciclado, nos permite primero; disminuir la cantidad de vidrio que llega a los botaderos y darle un mejor uso, segundo; al evacuar las aguas de lluvia y usarlas para riego, consumo humano si se le da el tratamiento adecuado o mejora de las aguas subterráneas; tercero, disminuye la contaminación sonora al funcionar como una barrera en contra del ruido y lo atrae, además de que disminuye la contaminación por material de arrastre.

En el aspecto social, incentiva el reciclaje y que más investigaciones se desarrollen de estos temas, con el fin de mostrar una ciudad limpia y con menos desechos, además de que implementa mejores mecanismos de infraestructura para la evacuación de las aguas de lluvia, como drenajes pluviales, o como también en la seguridad o confort en los pavimentos, ya que evita que los automóviles se desvíen en tiempos de lluvia y se mantengan firmes.

En el aspecto económico, se manifiesta como una alternativa financiera en reducción de costos, ya que minimiza la construcción de infraestructuras de drenajes.

En el aspecto científico, el vidrio pulverizado se asemeja a la micro sílice debido a que el vidrio posee alto contenido de sílice alcanzando el 70% de este compuesto y que lo encontramos en las botellas de vidrio. Esta importante sustitución implicaría el reemplazo parcial del Clinker portland del cemento, debido a que el vidrio por su alto contenido de sílice puede comportarse como material puzolánico cuando se muele finamente. [7]

Otro aporte a la ciencia es que no existen normativas en el Perú de concreto permeable con elementos reciclables, lo cual es de gran apoyo científico, para que en posibles tesis se incentive a elaborar una adecuada normatividad para este tipo de concreto ecológico. Además, decimos que el concreto permeable es un producto innovador por las ventajas que ofrece a nuestro medio ambiente.

Para responder a la interrogante anteriormente mencionada y para validar la hipótesis formulada, se tiene como **objetivo principal** determinar el porcentaje más óptimo mediante el análisis y diseño de la elaboración de un concreto permeable $f^c=175\text{kg/cm}^2$ sustituyendo puzolana de vidrio reciclado como cemento portland entre los valores de 10%, 15% y 30% utilizado en la

construcción de veredas y ciclovías y como **objetivos específicos**, determinar las propiedades y características físicas de la puzolana de vidrio reciclado, elaborar muestras de concreto permeable utilizando porcentajes de puzolana de vidrio reciclado, evaluar la resistencia del concreto permeable patrón a los 7, 21 y 28 días, evaluar la resistencia a la compresión del concreto permeable elaborados con distintos porcentajes de puzolana de vidrio reciclado a los 7, 21 y 28 días, determinar el porcentaje más óptimo para el uso de la puzolana de vidrio reciclado, determinar la tasa de percolación de cada probeta, evaluar económicamente la variación de precios por metro cuadrado de una losa permeable con puzolana de vidrio reciclado y una losa permeable patrón, realizar una comparación de efectividad de la aplicación de puzolana de vidrio reciclado, con otras investigaciones realizadas con otro material.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Se han realizado diferentes investigaciones del comportamiento del concreto normal y concreto permeable, frente a su adición o reemplazo del vidrio reciclado, ya sea por cemento o los agregados, tanto a nivel internacional como nacional; asimismo la presente investigación trata de comparar con otro material reciclable como lo es el plástico, que también ha sido usado en diferentes investigaciones como material reemplazable en un concreto.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Effect of Using Glass Powder as Partial Cement Replacement on Physical and Mechanical Behavior of Concrete, The Islamic University of Gaza. Degree of Máster of Science in Civil Engineering. Israel 2018.

Efecto del uso del polvo de vidrio como reemplazo parcial del cemento en el comportamiento físico y mecánico del hormigón, la Universidad Islámica de Gaza. Grado de Máster en Ciencias en Ingeniería Civil. Israel 2018.

[8]La investigación llevada a cabo por Mohamemed A. Abu Haloub, nos habla del polvo de vidrio reciclado en reemplazo parcial del cemento, el cual fue reemplazado en los porcentajes de 0% o mezcla padrón, 10%, 20% y 30% en peso, el cual las mezclas fueron producidas, probadas y comparadas en términos de

capacidad de trabajo, densidad, absorción y pruebas mecánicas. Utilizó un nuevo método de mezcla para mejorar su eficiencia, el cual el polvo de vidrio se disolvió en agua antes de añadirlo al cemento y a los agregados. Los resultados obtenidos mostraron que la capacidad de trabajo del concreto aumentó a medida que aumentó la sustitución del polvo de vidrio debido a la presencia de agua más libre en la estructura, lo que condujo a una menor densidad y mayor absorción de agua. Sin embargo, el método del esfuerzo de compresión de las mezclas convencionales disminuyó a medida que el polvo de vidrio aumentó a una edad temprana. Los resultados también indicaron que el concreto que contenía 10% de polvo de vidrio a temperatura caliente (40°C y 50°C) desarrollaron una resistencia que fue 1,13, 1,20 veces más alta que el hormigón curado a la temperatura de referencia (23°C) a los 3 días. Se atribuyó al aumento de la tasa de hidratación y aceleración de la actividad puzolánica. Por lo tanto, los resultados que conllevaron esta investigación culminan en que introducir el polvo de vidrio como reemplazo de cemento en concreto ayuda a mejorar la actividad puzolánica y que además las implementaciones de este nuevo método de mezcla verifican la viabilidad de esta investigación.

Use of waste glass as aggregate and cement replacement in concrete. PhD Thesis, James Cook University. Australia 2020.

Uso de residuos de vidrio como agregado y reemplazo de cemento en concreto. Tesis doctoral, Universidad James Cook. Australia 2020.

[9] Investigación realizada por Nafisa Tamanna, el cual nos describe el comportamiento del uso de dos tipos de vidrio reciclado, lo describe como “arena de vidrio residual reciclado (RGS) y polvo de vidrio reciclado (RGP). Resalta que cuando el vidrio es más pequeño, puede producirse una reacción puzolánica entre las partículas del vidrio y el hidróxido de calcio en lugar de una reacción de ASR (Álcali-Árido) nociva. Al ser amorfo y tener cantidades prominentes de sílice, el vidrio triturado muestra propiedades puzolánicas. Esta investigación describe una forma sostenible de reciclar los residuos de vidrio como sustitución parcial de arena y cemento en el hormigón. Realizó una serie de pruebas tanto en sus propiedades frescas y endurecidas del concreto, incluidas sus características de durabilidad. En tanto el concreto que se produjo al reemplazar arena natural de los

ríos con un 20%, 40% y un 60% de RGS mostró mejoras significativas en su resistencia, como también una mejora de resistencia a la penetración de iones cloruro. En cambio, el RGS redujo significativamente la expansión causada por la reacción álcali-sílice. Por otro lado, el concreto con RGP como reemplazo parcial de cemento en hormigón mostró una mejora en la resistencia con el tiempo, como la ceniza volante, además el uso de RGP mejoró significativamente la resistencia frente a la penetración de cloruro con un mayor contenido en polvo de vidrio, cumpliendo con la fuerza relativa según el requisito de la Norma Australiana para ser considerado como un material complementario cementoso.

Y finalizando concluye que la aplicación del uso de vidrio reciclado en el hormigón puede reducir el dragado de arena y la producción de cemento reduce junto con la reducción de los residuos de vidrio que van a los vertederos.

Flexural Load Capacity of Heat-treated Concrete Mixed with Recycled Glass Aggregate and Glass Pozzolan, The University of Texas at Arlington. Degree of Master of Science in Civil Engineering. United States 2020.

Capacidad de carga flexural del hormigón tratado con calor mezclado con agregado de vidrio reciclado y puzolana de vidrio, Universidad de Texas en Arlington. Grado de Master en Ciencias en Ingeniería Civil. Estados Unidos 2020.

[10]Investigación realizada por Enrique Gonzales Tapia, utilizó en este proyecto una proporción de reemplazo de 20% de agregados de vidrio y 30% de puzolana de vidrio. La hipótesis de esta investigación se basa en que el concreto gane fuerza flexural con la adición de vidrio, después de estar expuesto a altas temperaturas.

Para probar la hipótesis, se elaboró seis vigas con concreto regular, seis vigas con puzolana de vidrio al 20% como reemplazo de cemento, y seis vigas con puzolana de vidrio al 20% como reemplazo de cemento y agregado de vidrio al 30% como reemplazo de agregado grueso. Después del tratamiento térmico de los haces y la realización de una prueba flexural de 3 puntos, descubrió que las muestras que contenían puzolana de vidrio al 20% como reemplazo del cemento tenían mayor capacidad de carga, como también mayor resistencia al calor y en

general sus propiedades mecánicas fuertes en comportamiento, antes y después del tratamiento térmico.

Determinación del Comportamiento del Concreto en Estado Fresco y Endurecido, Utilizando Vidrio Molido como Sustituto Parcial del Agregado Fino. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Ciudad Universitaria 2019.

[11]La investigación realizada por Luis Alejandro Palacios Martínez redacta utilizará cemento bajo la norma ASTM C 1157 de uso general, por su baja reactividad álcali agregado y menor calor de hidratación comparado con un cemento puro, asimismo compara un concreto patrón con el mismo diseño, pero sustituyendo porcentajes del 15, 20 y 25% del peso del agregado fino, para resistencias a la compresión de los especímenes de ensayo a los 7, 28 y 56 días. Además, trabaja con el 50% de vidrio que pase por la malla #50. El cual según el estudio se obtiene que el comportamiento que tiene el concreto para las dosificaciones de vidrio entre un 15 % y 25 %, como sustituto de arena, es que tiende a disminuir la trabajabilidad que existe entre estos. Y como finalizar obtiene como resultado que el mejor porcentaje de vidrio que ayuda a elevar la resistencia en comparación con la del concreto base resulta en el momento que se incorpora 20% de vidrio de sustitución con un valor de 37,9 MPA.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Análisis Y Diseño Para La Elaboración De Concreto F'C=210 KG/CM2 Adicionando Vidrio Reciclado Molido como Agregado Fino según la norma ACI 211. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Lima 2019.

[12]En la investigación realizada por Julio Alberto, Poma Ariza; describe como punto primordial obtener el porcentaje óptimo de vidrio reciclado molido para el diseño de mezcla, utilizando los ensayos para un concreto estándar. Con el fin de demostrar que la adición parcial del vidrio molido en parte del agregado fino ayudará al aumento de la resistencia a la compresión de la mezcla.

En este estudio los resultados obtenidos indicaron aumento de forma significativa en la fuerza a la compresión al añadir una proporción del 2% y 3% de vidrio al concreto convencional. Además, el uso masivo de vidrio molido puede aportarnos una resistencia mayor en cuanto a cantidades superiores del 3 % pero

teniendo en cuenta las restricciones que contiene el vidrio a su producción en masa.

Efecto de la fibra de vidrio en las propiedades físico-mecánicas del concreto permeable para su empleo en el Jr. Huascarán. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Huaraz 2019.

[13]En la presente investigación, los autores Joshep Coronado y Ángel Maguiña, se busca determinar que se cumplan las propiedades mecánicas adecuadas para el concreto permeable con el fin de poder usarlo en pavimentos rígidos, para obtener una capacidad de infiltración adecuada. En esta tesis desarrollaron 2 tipos de diseño de mezcla de concreto, permeable con agregado grueso de ½” y 3/8”, siguiendo la normativa del ACI 522R-10. Se elaboraron las muestras de concreto poroso para determinar los ensayos de compresión, flexión y permeabilidad, con el fin de descubrir si su utilidad como capa de rodadura es apto.

El cual los resultados arrojados favorecieron al espécimen que se hizo con agregado grueso de 3/8”, presentando mayores resistencias de compresión y flexión, con 180.68 Kg/cm² y 28.33 Kg/cm² respectivamente, mientras que la permeabilidad fue favorecida con el espécimen de agregado grueso de ½”, presentando un coeficiente de 0,492cm/seg.

Análisis de la Resistencia a la Compresión del Concreto F’c=210 kg/cm con Adición de Vidrio Reciclado Molido. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Tarapoto-Perú 2019.

[14]La siguiente investigación del autor Alexis Paredes Bendezú, evalúa concreto con la adición de vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino en los porcentajes del 15%, 20% y 25% con el fin de comparar un concreto convencional con otro con adición de vidrio reciclado molido. Aparte tuvo que determinar otros porcentajes como el 5, 10, 15, 20, 25 y 30% con el fin de obtener los 3 porcentajes de adición más adecuados. El cual después de los ensayos de rotura según la resistencia resultante, dio que los porcentajes adecuados para la sustitución de vidrio por agregado fino fueron del 15, 20 y 25%.

Después se procedió a realizar los ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días obteniendo como resultado final que el porcentaje del 15% de adición de vidrio reciclado molido como reemplazo en peso del agregado fino se obtiene mayor resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional y los demás porcentajes de adición estudiados.

Diseño de Mezcla de Concreto Permeable con Adición de Tiras de Plástico para Pavimentos $f'c$ 175kg/cm² en la Ciudad de Puno. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Puno-Perú 2015.

[15]En la presente tesis de investigación de los autores Cesar Eddy Flores Quispe y Iván Alexander Pacompia Calcina resaltan los estudios de dos diferentes tipos de diseños de mezclas los cuales difieren en diferentes porcentajes de agregado grueso, con tamaños estándar de N°57 y N°8 respectivamente, el cual identificado el grano con respecto a las curvas que normaliza el comité del ACI para obtener resistencias mayores de compresión se determinó que el de tamaño N°8 presenta mejor idoneidad para la incorporación de diferentes porcentajes de tiras de polipropileno de 3mm x 30mm respecto al peso por metro cúbico en el diseño de mezcla los cuales son de (0.05%, 0.10% y 0.15%). Obteniendo así que los porcentajes de 0.05% y 0.10% respecto al peso mejoran la resistencia a compresión del concreto permeable a los 28 días en 16.7% y 4.2% respectivamente mientras que el 0.15% lo disminuye a 10.7%.

Elaboración de Concreto Permeable con Adición de Material Plástico Reciclado para Pavimentación en el Distrito de Pariacoto-Ancash. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Chimbote-Perú 2019.

[16]La investigación llevada a cabo por los autores Liz Marcia Castillo Castillo y Eredith Trujillo De La Cruz realizaron 4 grupos de prueba siguiendo la metodología indicada del ACI 522-R10, donde realizaron la gradación del huso 67, una relación a/c de 0.35, porcentaje de finos (10%) y contenido de vacíos (17.4%) en el cual se le agrego tiras de plástico (polietileno de baja densidad) de 4mm x 20mm en porcentajes de 0.075%, 0.1% y 0.125% del peso total de la mezcla. El cual los resultados demuestran que el porcentaje óptimo que mejora la resistencia a la compresión fue del 0.075% a los 28 días con un valor del 5.33%

con respecto al concreto patrón, mientras que la permeabilidad y el contenido de vacíos disminuían conforme se iba aumentando el porcentaje de las tiras.

2.1.3. Antecedentes Locales

Análisis del Concreto Simple Utilizando Vidrio Pulverizado Como Adición para Concreto de Alta Resistencia con Agregados de la Ciudad de Chiclayo. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil y Ambiental. Chiclayo 2018.

[17]La investigación realizada por Carlos Córdova Sánchez, reemplazando vidrio pulverizado en reemplazo porcentual de los agregados, puede contribuir a la resistencia del concreto en un 10%, pero cuando es llevado a polvo puede reemplazar al cemento, con un tamaño de vidrio pulverizado de 0,15mm.

Además, el uso de vidrio reciclado no provocó cambios en las propiedades del concreto fresco; por otro lado, la adición de vidrio resultó en cambios significativos en la resistencia, el polvo de vidrio brinda dureza a la abrasión en comparación con el concreto estándar cuando se somete a un tráfico vial intenso, así como la adición de 10 × 15 mm causa daños duraderos a largo plazo, es decir, hay una alta probabilidad de sufrir una reacción álcali-sílice.

Diseño de Mezcla de Concreto Permeable Utilizando Diferentes Porcentajes de Agregado Fino y Aditivos en la Ciudad de Chiclayo. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil y Ambiental. Chiclayo 2021.

[18]El autor de la investigación, Jorge Jacinto Aquino; estudia la incorporación de agregado fino en proporciones de 0, 5, 10, 15 y 20% y la implementación de aditivo SikaCem Plastificante en volúmenes de 250mL y 500mL por bolsa de cemento en el concreto permeable para obtener una resistencia óptima sin alterar la porosidad que lo determina.

En sus estudios ensayados para sus especímenes, concluyó que el porcentaje adecuado fue de 20% para agregado fino, juntamente con agregado de $\frac{3}{4}$ " y una relación a/c de 0,30 da la caracterización de un concreto poroso el para su utilización en pavimentos urbanos con una capacidad de infiltración de 22.4 Lt/m²/s, esfuerzo de compresión de 189.2 kg/cm² y pérdida de masa por abrasión de 32.7%. A su vez incorporando 500 mL de aditivo SikaCem Plastificante por

bolsa de cemento al grupo de mezcla anterior destacado, mejora las características primordiales de un concreto permeable, como la capacidad de infiltración de 19.9 Lt/m²/s, el esfuerzo de compresión de 213.7 kg/cm² y la pérdida de masa por abrasión 28.8%.

2.2. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS

2.2.1. Concreto permeable

Es un tipo de especial de concreto de alta porosidad, debido a que posee alto contenido de poros interconectados entre sí. Usualmente este sistema poroso está conformado por materiales a base de cemento, agregado grueso, y agua con poco o casi nulo de agregado fino, resaltando que el concreto tiene la suficiente cantidad de pasta para cubrir partículas del agregado grueso conservando así la interconectividad de los vacíos. El porcentaje de vacíos puede se encuentra entre 18 y 35%, con esfuerzos de compresión típicas de 400 a 4000 psi (2.8 a 28 MPa). [19]

2.2.1.1. Ventajas de un concreto permeable

Ayuda a evacuar aguas de escorrentía de lluvia, como también para ser usado como filtro y reducir contaminantes del agua antes de ser tratada para riego u otra actividad. Proporciona además beneficios medioambientales, ya que favorece el ciclo hidrológico del agua, ayudando a la recuperación de las aguas subterráneas y haciendo que tanto aire como agua lleguen a las raíces. Por otra parte, en pavimentos, ayuda a prevenir deslizamiento provocado por agua en superficies, haciendo que se reduzca el ruido entre el contacto de neumático-pavimento, y a su vez eliminado el brillo o resplandor causado por la superficie de las carreteras cuando están mojadas de noche. [19]

2.2.1.2. Desventajas de un concreto permeable

La desventaja de un concreto poroso es que, si es usado como capa de rodadura, su uso se limita a solo tránsito liviano, ya que requiere mayor tiempo de curado y técnicas de construcción especializadas. A esto se le atribuye que si se construye sobre terrenos expansivos o climas donde se produce congelamiento y deshielo, ocasiona problemas de fluidez de la mezcla. [19]

2.2.1.3. Propiedades de un concreto permeable en estado fresco

- a. Trabajabilidad o revenimiento (Slump): Se representa como los inconvenientes que se presentan cuando se fabrica el concreto, tanto en su traslado, vaciado, compactación; depende más en la forma o circunstancias de cómo se trabaja durante las fases de su proceso constructivo. Por ende, depende de la pasta, o proporciones de los agregados, en términos abreviados se puede definir como el asentamiento o “Slump” el cual se mide con el cono de Abrams, haciendo que la mezcla tenga un escurrimiento natural o artificial de la masa. [20]
Ahora para nuestro concreto permeable resulta cero Slump y al ser medido generalmente se obtienen valores de 0 a 1cm, sin embargo, este no es el único parámetro para determinar la trabajabilidad del concreto; pues depende también de la consistencia, temperatura y homogeneidad.

- b. Segregación: Debido a las diferencias de las densidades de los componentes en el concreto, como los agregados, hacen que una fracción de la masa descienda. Teniendo también en consideración que la densidad de la pasta y los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los agregados gruesos, y esto añadido a la viscosidad de la mezcla produce que el agregado grueso quede suspendido en la matriz. [20]
Este problema de segregación genera lo más conocido como cangrejas, como también acumulación de partes mal uniformizadas en el vaciado; debiéndose sobre todo a la mala manipulación y colocación de la mezcla, o cuando se aplica concreto en zonas angostas donde el agregado grueso no entra y no se aplica vibrado, o en el vaciado de concreto a elevadas alturas.

- c. Exudación: Se define como el ascenso de una fracción del agua de la mezcla hacia la superficie en consecuencia de la sedimentación de los sólidos. [21]
Así pues, este fenómeno viene resultando por el contenido de finos en los agregados y la finura del cemento, lo que hace que mientras más fino sea el cemento y mayor sea el porcentaje de qué pasa por la mala #100, la exudación será inferior, pues retiene agua en la mezcla. La exudación se

genera inevitablemente en el concreto, ya que es una propiedad permanente, lo importante es controlarla.

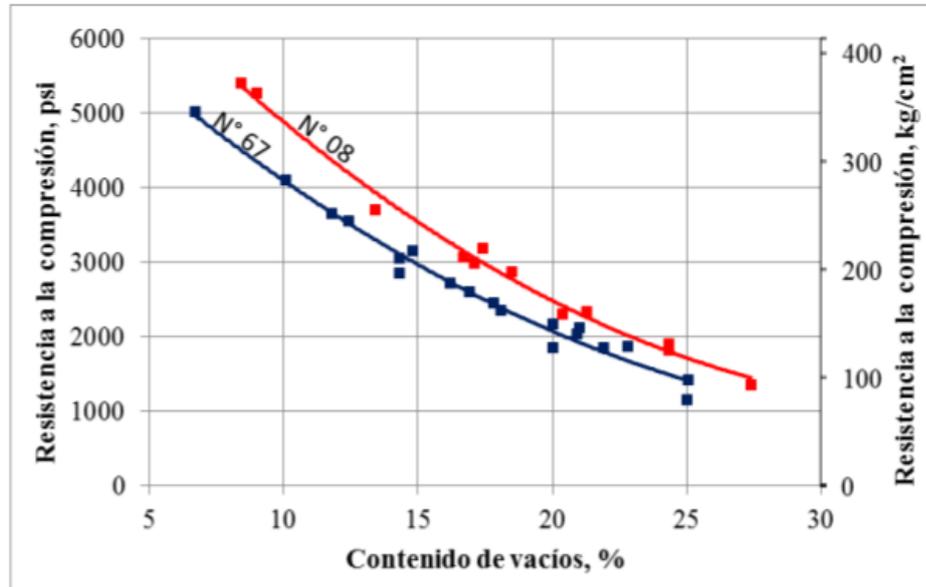
En nuestro concreto permeable se presenta relaciones de agua/cemento bajas como lo indica la Norma ACI 522R en el rango de (0,30-0,40); por ende, es un concreto seco que no presentaría fenómeno de segregación como el concreto convencional. [19]

- d. Contracción: La contracción intrínseca se produce cuando la pasta de cemento se contrae debido, debido a una reducción del volumen de agua, ya sea por la absorción de la combinación de los elementos del concreto, el cual es un proceso irreversible. Al igual que existe la contracción por secado, que se da por fisuración y esto ocurre tanto para concreto plástico o concreto endurecido cuando se permite la disminución de agua en la mezcla, siendo un proceso irreversible. [20]

2.2.1.4. Propiedades de un concreto permeable en estado endurecido

- a) Resistencia a la compresión

Esta propiedad se puede definir como el nivel máximo al que se somete la probeta de concreto a la carga axial, que se determina según las especificaciones de la norma ASTM C39. También es importante señalar que la resistencia a la compresión se ve afectada por diferentes porcentajes de los componentes en la mezcla y el esfuerzo de compactación durante la fase de vertido. En la ilustración #10, Meininger muestra la relación entre esfuerzo de compresión del concreto poroso y el porcentaje de vacíos, con base en los resultados de una serie de pruebas de laboratorio considerando dos tamaños de agregado grueso para una determinada energía de compactación aplicada.

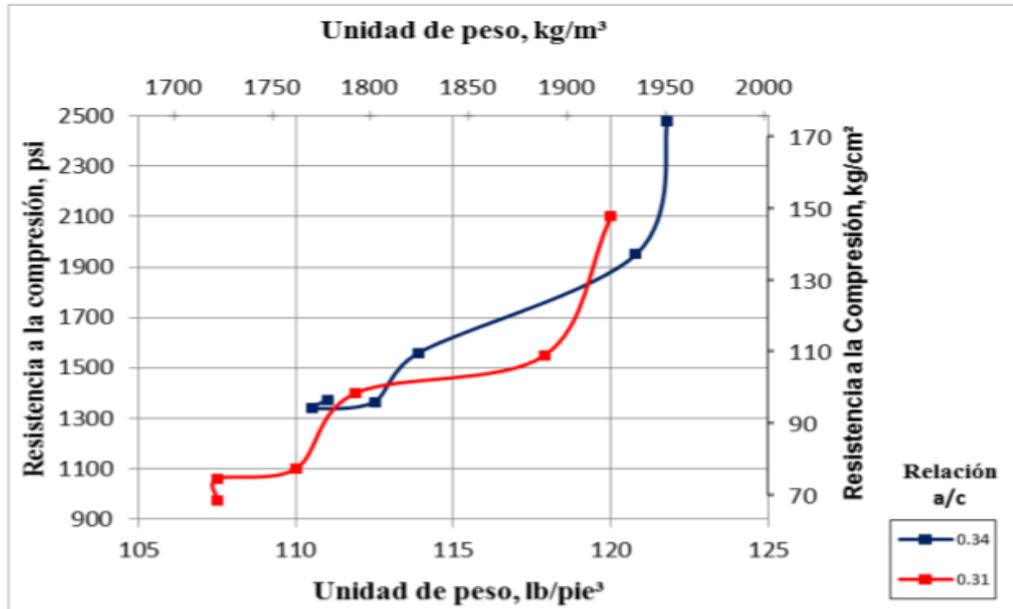


Fuente: [15]

Ilustración #10: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados Nro. 67 y Nro. 8.

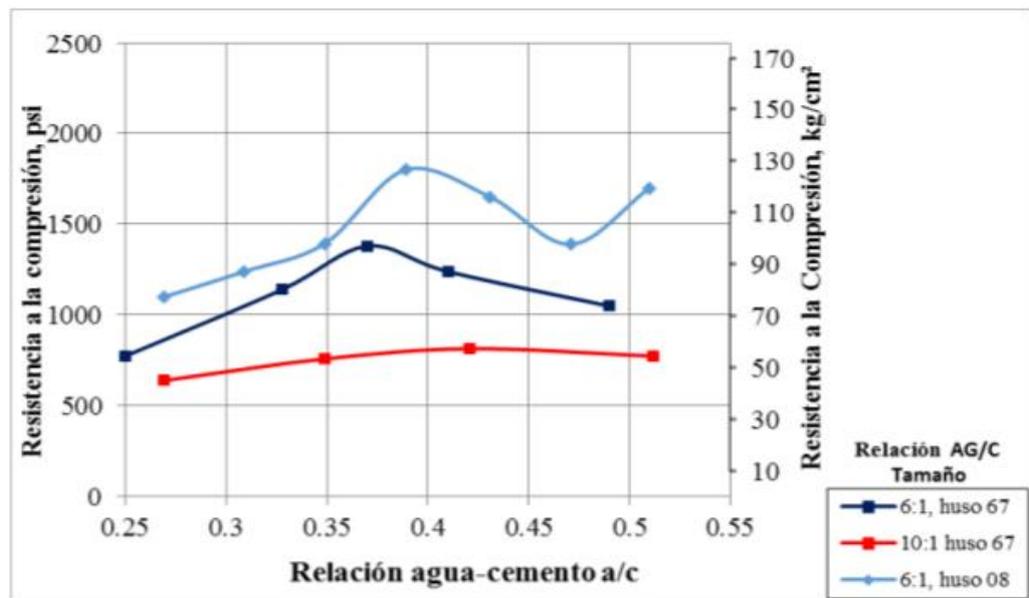
Otra alternativa para obtener mayor resistencia de compresión es en una reducción de contenido de vacíos, pero estaríamos afectando nuestro fin para un concreto permeable.

En la ilustración #11, Mulligan señala una relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario del concreto permeable. La figura se basa en series de pruebas de laboratorio donde se varió la relación agua/cemento utilizando un tamaño de agregado grueso y un esfuerzo de compactación determinado.



Fuente: [15]

Ilustración #11: Resistencia a la compresión a los 28 días vs Peso Unitario.



Fuente: [15]

Ilustración #12: Relación entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua cemento.

La ilustración #12, muestra que esfuerzos de compresión relativamente altos de concretos porosos son posibles, con relaciones (a/c) de aproximadamente de 0,40 y con tamaños de agregado grueso de tamaño pequeños.

Por otra parte, el esfuerzo de compresión aumenta en relación con el tamaño del agregado grueso, o con la adición de aditivos para una misma mezcla.

En referente, podemos decir que el contenido total de la pasta en una mezcla de concretos porosos es importante para el desarrollo del esfuerzo de compresión y la estructura de sus vacíos. Un contenido cementante alto opaca la concentración de vacíos internos mientras que un contenido de cemento insuficiente puede dar mayores cantidades de vacíos, por ende, menor esfuerzo de compresión. El contenido óptimo cementante depende en gran medida del tamaño del agregado, el tipo de compactación y el volumen de vacíos inicial.

Además, para este estudio, se añadirá arena gruesa en pequeñas proporciones para aumentar la resistencia del concreto poroso, sin embargo, la porosidad del concreto se verá comprometida, lo cual se buscará un porcentaje adecuado en relación de sustituto de vidrio molido en el cemento, teniendo como finalidad alcanzar el esfuerzo de compresión de 175 kg/cm² requerida para su aplicación en veredas y ciclovías como se presenta en la siguiente tabla.

Tipo de Pavimento Elemento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclovías
		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
Sub-rasante		Espesor compactado: ≥ 150 mm		
Base		CBR ≥ 30 %	CBR ≥ 60%	
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	≥ 30 mm		
	Concreto de cemento Portland	≥ 100 mm		
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico*		
	Concreto de cemento Portland	f _c ≥ 175 Kg/cm ² (17,5 MPa)		
	Adoquines	f _c ≥ 320 Kg/cm ² (32 MPa)	N.R. **	

Fundamento: Norma CE-010 – Pavimentos Urbanos

Tabla N°1: Requisitos para pavimentos especiales

b) Resistencia a la flexión

Como en el concreto normal, el esfuerzo a la flexión es menor que el esfuerzo a la compresión. Este parámetro se utiliza para dimensionar estructuras como pavimentos rígidos sujetos a las fuerzas de los vehículos que pasan y para medir

la resistencia a los cambios de temperatura que provocan tensión en una parte del pavimento y compresión en otra parte, cuando podemos invertirlos.[20]

Los estudios de concretos porosos demuestran que añadiendo pequeños porcentajes de arena de aproximadamente 5% en relación con el volumen de la mezcla y la adición de polímeros, aumentan la resistencia a la flexión. [19]

c) Esfuerzo del concreto poroso a la degradación por impacto y abrasión

La resistencia al desgaste o abrasión va dirigida por la resistencia a la compresión, la cual mayormente depende de la relación agua/cemento y por supuesto el curado del concreto.

Existen otros factores como lo es la dureza de los agregados y su forma. En su mayoría de casos presentan una serie de problemas lo cual este problema puede superarse con una adecuada curado o buena compactación.

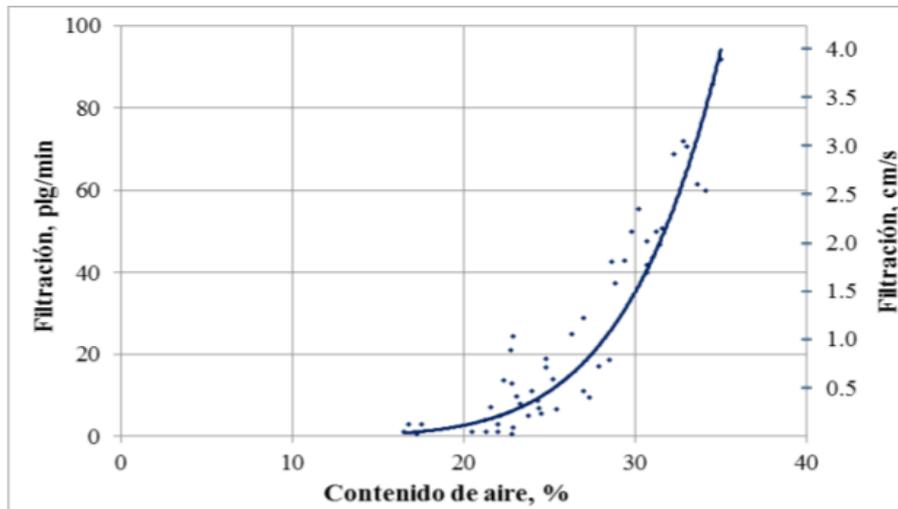
En el caso de la abrasión del concreto poroso lleva consecuencias el desprendimiento de la pasta del concreto. La cual si esta es demasiada fluida no cumplirá con los estándares y no envolverá en su totalidad los agregados incrementando las probabilidades de que esta falle por falla local en uno de sus lados. [20]

d) Tasa de Percolación o Tasa de infiltración

La tasa de percolación del concreto poroso tiene una relación directa con su porosidad y el tamaño de estos. Estudios demuestran que una porosidad mínima de 15% es suficiente para lograr una permeabilidad significativa, por ello es recomendable que no exceda el 25% ya que genera resultados poco satisfactorios en el manejo de la pasta. El tamaño de un agregado define el porcentaje de huecos, por lo cual usar agregado grueso de tamaño de 1cm produce un porcentaje de vacíos entre 15 y 25%; de 1,2 cm produce entre 30 y 40% con una superficie notoria (agujeros más notorios).

La ilustración #13, (Meininger 1998) muestra la relación entre el porcentaje de vacíos y la tasa de percolación de una mezcla de concreto poroso.

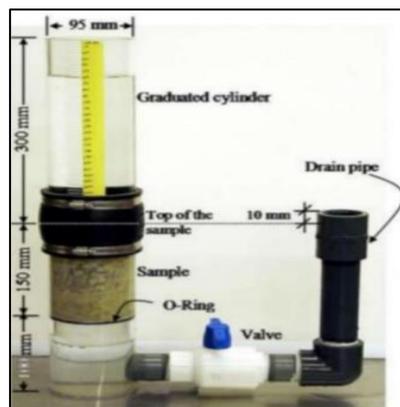
Dado que la tasa de percolación incrementa cuando aumenta el contenido de vacíos, por lo tanto, el esfuerzo de compresión disminuye, el desafío de dosificar un concreto poroso es encontrar un balance aceptable entre la tasa de percolación y el esfuerzo de compresión. [19]



Fuente: [15]– *Adaptación de la Norma ACI 522R.*

Ilustración #13: Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación.

La capacidad de filtrar de un concreto poroso oscila comúnmente en el rango de 120 a 320 L/m²/min (0.20 cm/s a 0.54 cm/s). Además, si se quiere preservar la continuidad del agua en el concreto se recomienda usar un valor cercano al 15% del contenido de vacíos (Meininger,1988). [22]



Fundamento: ACI 522R– American Institute Concrete

Ilustración #14: Aparato para medir la permeabilidad mediante un permeámetro de carga variable de caída simple.

En discusión a esto según el reporte generado por Fenómeno del Niño de 1997/1998, que su intensidad de lluvia llegó a valores máximos de 91,6mm/hora en la zona Norte del País. [23]

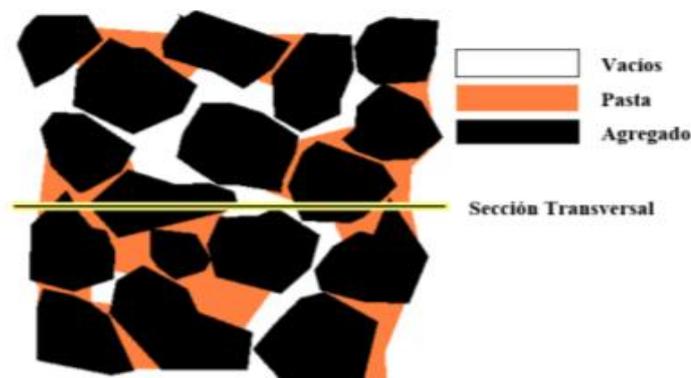
Por ello con esta investigación, se espera obtener un adecuado porcentaje por el cual logre satisfacer la demanda de 91,6mm/h con adición de vidrio molido como puzolana en el cemento, y a su vez alcanzando las características de resistencia y trabajabilidad adecuadas.

e) Contenido de vacíos

La relación masa sobre volumen del concreto poroso tiene una dependencia importante entre las dosificaciones por volumen de los materiales que lo conforman, y de la energía de compactación aplicada en su colocación. Estudios en laboratorio realizadas por (Meininger 1988), menciona que para una única mezcla de concreto apisonado con 8 diferentes niveles de esfuerzo, los resultados por peso de las unidades producidas variaban desde 1680 a 1920 kg/m³.

El esfuerzo a la compresión que desarrolla un concreto poroso disminuye conforme la magnitud de su porosidad incrementa, llevando a cabo un proceso inverso, ósea si su porosidad disminuye, su resistencia aumenta. Por ello varios estudios han demostrado que los porcentajes de vacíos para un concreto permeable se encuentran entre 18% a 35% [24].

En la ilustración #17 se presenta la forma de la estructura interna del concreto permeable.

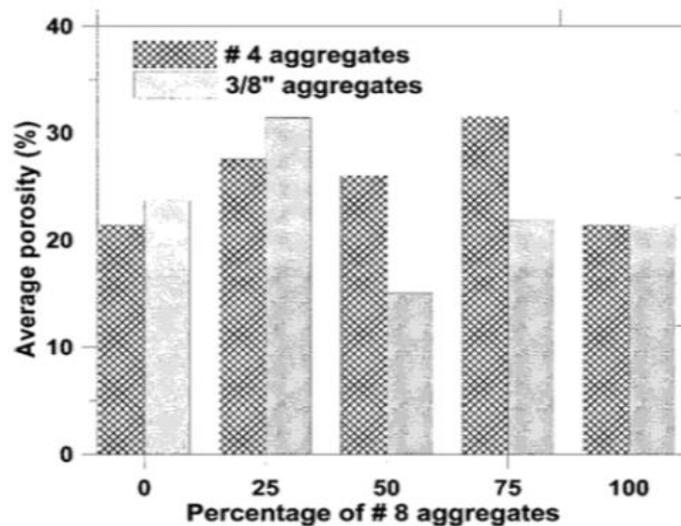


Fundamento: [24]

Ilustración #15: Estructura interna del concreto permeable.

Además, el contenido de vacíos depende de varios factores; como la gradación del agregado, la relación agua/cemento, el contenido de pasta, y esfuerzo de compactación. [19]

La influencia de la gradación del agregado en la porosidad, para especímenes de concreto permeables preparados en laboratorio, es presentada en la ilustración #18. Se puede obtener un rango de porosidades mediante la combinación de dos diferentes tamaños de agregado. [25]



Fundamento: (Neithalath, 2004)

Ilustración #16: Influencia del tamaño del agregado y la gradación de la porosidad de concretos permeables.

f) Durabilidad

La durabilidad de un concreto se refiere a su vida útil bajo condiciones relacionadas a diferentes factores como temperatura, clima, humedad, etc. Los efectos físicos que actúan de manera negativa a la durabilidad del concreto incluyen la exposición a temperaturas adversas, como procesos de congelación y deshielo, y productos químicos como los sulfatos y ácidos. Podemos decir que no se define exactamente el esfuerzo de compresión del concreto poroso frente a estos ataques agresivos presentes en las aguas.

Para poder determinar una dosificación adecuada para esta mezcla, como el factor cemento, peso unitario de la mezcla, incorporación de aire; se recomienda a partir de elaborar muestras de ensayos de laboratorio. Se usa mayormente el término de

colmatación para definir a los diferentes daños que presenta un concreto permeable por sus diferentes factores medioambientales durante su vida útil.

La colmatación se refiere a una obstrucción en los poros del concreto permeable, o definido también como un estupimiento de los vacíos del concreto permeable con partículas de suelo o material biológico, lo cual hace que las propiedades hidráulicas de un concreto permeable se vean disminuidas. [19]



Fuente: (Universidad Federal do Paraná) – Hormigón permeable.

Ilustración #17: Fenómeno de colmatación del concreto permeable.

2.2.1.5. Materiales empleados en la elaboración del concreto permeable

A. Cemento Portland

Materias primas mezcladas y molidas en tamaños demasiado pequeños que se calientan a temperaturas de 1400 a 1500°C en hornos rotatorios; el material saliente de este fundido se denomina “Clinker” (esferas pequeñas de color negruzco, duras y de distintos tamaños). Este Clinker enfriado y molido es lo que caracteriza al cemento Portland comercial, el cual tiene la propiedad de reaccionar instantáneamente al contacto con el agua, formando así una masa endurecida. [21]

La Norma ASTM 1157 nos recomienda que usemos cemento de uso general debido a su baja reactividad álcali-agregado y menor calor de hidratación comparado con un cemento puro (portland).

[26] Sin embargo, para esta investigación se optará por la utilización de cemento Portland Tipo I MS Pacasmayo para la elaboración de concreto permeable por brindar resistencia mecánica en todas las edades del concreto, deberá cumplir además con las Normas NTP 334 090.

B. Agregado grueso

Son partículas de agregado mayor a 4,75mm (N°4), y el tamaño máximo a utilizar dependerá de la calidad de agregado que se produzca en la zona, y que a su vez cumplan con los límites establecidos en las Normas ITINTEC 400.037 o ASTM C33. Puede estar conformado por grava, piedra chancada, agregados metálicos naturales o artificiales, concreto reciclado o la combinación de ellos. Además, aquellos concretos que tengan contacto con humedad no deberán contener agregados reactivos, pues originan una reacción expansiva del concreto. [26]

De otro modo, para concretos porosos se usa agregado grueso de un solo tamaño o una gradación entre 3/4 y 3/8 pulg. (19 y 9.5 mm). Los agregados redondeados y triturados, tanto normales como livianos, se han utilizado para elaborar concreto poroso. El agregado utilizado debe cumplir los requisitos de ASTM D 448 y C 33, como también estos mismos deben estar exentos de protuberancias en su superficie, como polvo o arcilla, u otros químicos absorbidos, ya que puede afectar de modo negativo en el enlace de adhesión entre la pasta o la hidratación del cemento. [19]

Decimos también que los agregados de 3/4" a más, genera dificultad en la pasta del cemento, debido a la poca cantidad de agregado fino que se emplea para los concretos permeables, por otro lado, usar agregados gruesos de 3/8" o menos, presenta mejor acomodación en la pasta lo cual obstruye los poros. Entonces con estas deducciones decido usar una piedra chancada de 3/4" de la cantera de la Victoria en el Distrito de Pátapo, cuya finalidad será de obtener las propiedades necesarias del concreto poroso.

C. Agregado fino

Se define como agregado fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pase por el tamiz NTP 9,4mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33. [26]

El agregado fino para un concreto permeable resulta limitado, ya que interfiere en la conectividad del sistema de vacíos, pero en pequeñas dosificaciones puede incrementar el esfuerzo de compresión y la densidad, minimizando el agua que entra a la masa de la mezcla de concreto permeable. [19]

Tamiz	% Que pasa
9,5mm (3/8")	100
4,75mm (N°4)	95 a 100
2,36mm (N°8)	80 a 100
1,18mm (N°16)	50 a 85
600 μm (N°30)	25 a 60
300 μm (N°50)	5 a 30
150 μm (N°100)	0 a 10

Fundamento: Rivva López, Naturaleza del concreto – Capítulo ACI

Tabla N°2: Límites granulométricos del agregado fino

D. Agua

Los indicadores de la calidad del agua son los mismos que de un concreto normalizado, por otro lado, para el concreto poroso se debe tener una proporción baja de relación agua/cemento (0,30 a 0,40) ya que, si se le añade una excesiva cantidad de agua, esta generará un drenaje en la pasta ocasionando una obstrucción en el sistema de poros. [19]

2.2.2. Vidrio

[27]El vidrio es un material con mucha refracción de luz, sin forma, duro y frágil; resultado de la combustión y fusión de la arena, cuyo resultado final es una estructura molecular muy poco compacta y organizada, por tanto, deja muchos espacios a través de los cuales se observa el paso de la luz.

La composición se basa en sílice con más de 70%, carbonato o sulfato de sodio/potasio: sirviendo para que la sílice se funda a menores temperaturas, mientras que la realiza la función de estabilizar la mezcla y darle durabilidad.

El vidrio se realiza en un reactor de fusión, donde la mezcla de arena silícea y óxidos metálicos secos y pulverizados se calientan a temperaturas mayores a 1000°C, en este proceso se forma un líquido viscoso homogéneo con masa transparente, que al extraerlo adquiere una rigidez de tal modo poder manipularlo, y con una adecuada temperatura se evita la destrificación o cristalización.

Los tipos de vidrio se subdividen en:

- 1) Vidrio Sódico-cálcico: Formado por sílice, sodio y calcio principalmente. El sodio le da cierta facilidad de fusión y el calcio la provee de estabilidad química. Sin el calcio el vidrio sería soluble hasta en agua y prácticamente no serviría para nada. Este tipo de vidrio es el que se funde con mayor facilidad y el más barato, es por ello que la mayor parte del vidrio incoloro y transparente este hecho de esta composición.
- 2) Vidrio de plomo: Sustituye el óxido de calcio por óxido de plomo. Es igual de transparente que el vidrio sódico-cálcico, pero es más denso, con lo cual tiene mayor poder de refracción y de dispersión.
- 3) Vidrio de borosilicato: Su principal componente es el óxido de boro, por lo cual es demasiado inerte, a su vez mucho más difícil de fundir y trabajar. Además, puede resistir cambios bruscos de temperatura, pero no tan alta como el vidrio de sílice puro.
- 4) Vidrio de sílice: Con casi el 96% de sílice es el más duro y difícil de trabajar. Si se requiere para usos especiales, su procesamiento es muy costoso, ya que se usaría una técnica de vacío.

2.2.2.1. Puzolana de Vidrio

Por su elevado contenido de sílice en estado amorfo, los vidrios pueden comportarse como materiales puzolánicos cuando son molidos finamente, lo que hace posible a que se puedan reutilizar estos residuos.

Según la American Society for Testing and Materials (ASTM), las puzolanas se definen como materiales sílico o sílico-aluminosos los cuales finamente molidos y con contacto de humedad reaccionan con el hidróxido de calcio o portlandita $CA(OH)_2$ a temperatura ambiente, dando lugar a compuesto cuas propiedades se asemejan al material cementicio.

2.2.2.1.1. Puzolanas de vidrio frente a otras puzolanas

En comparación con otros materiales en la industria, las puzolanas de vidrio poseen las siguientes características:

- Mayor pureza: Las puzolanas provenientes de las 3 categorías antes descritas, tienen una química diferente y están exceptuados de cualquier elemento peligroso.
- Impactos ambientales similares: al ser un material reciclado por corrientes de desechos post-consumo o post-industriales y usado alternativamente en el concreto, tendrá beneficios ambientales mitigantes.
- Reactividad similar: el rendimiento de la puzolana de vidrio logra niveles de sustitución en el cemento equivalentes a los de la ceniza volante o la escoria, a su vez estas puzolanas de vidrio tienen una reactividad moderada alta, dependiendo de su tamaño de grano una vez procesadas. (Ver tabla N°3).
- Menor demanda de agua: poseen baja demanda de agua, lo cual ayuda a evitar usar aditivos y factores del cemento en el concreto. (Ver tabla N°3).

Puzolana	% Potencial del cemento	Reactividad	Demanda de agua
<i>Vidrio para envases</i>	10-40	Moderado a alto	Reducción
<i>Vidrio clase E</i>	10-30		
<i>Vidrio plano</i>	10-40		
<i>Ceniza volante Tipo F</i>	10-30	Bajo a edades tempranas	Reducción
<i>Ceniza volante tipo C</i>	10-40	Moderado a alto	Reducción
<i>Puzolana natural</i>	10-20	Bajo a moderado	Aumento moderado a mayor
<i>Cemento de escoria</i>	25-50	Moderado	Neutral
<i>Humo de sílice</i>	5-8	Alto	Mayor
<i>Metacaolin</i>	5-15	Alto	Mayor

Fundamento: Concreto en Latinoamérica – Volumen I. Número 2. [28]

Tabla N°3-A: Reactividad y demanda de agua para diferentes tipos de puzolanas.

2.2.2.1.2. Reacción álcali-sílice (RAS)

Según la Norma ASTM C1866/C1866M nos define que el tamaño del vidrio reciclado molido debe pasar por la malla del tamiz #325 (partículas de alrededor de 45µm). Por otro lado, las investigaciones previas respecto a esta reacción indican que partículas menores de 300 micras no presentan esta reacción.

Sin embargo, las puzolanas de vidrio reciclado molido (PVM) deben evaluarse según la conformidad que nos brinda la ASTM C1778. En cuanto a usar la PVM en mezclas con materiales radioactivos, no se define muy bien las características o reacciones que puedan presentar.

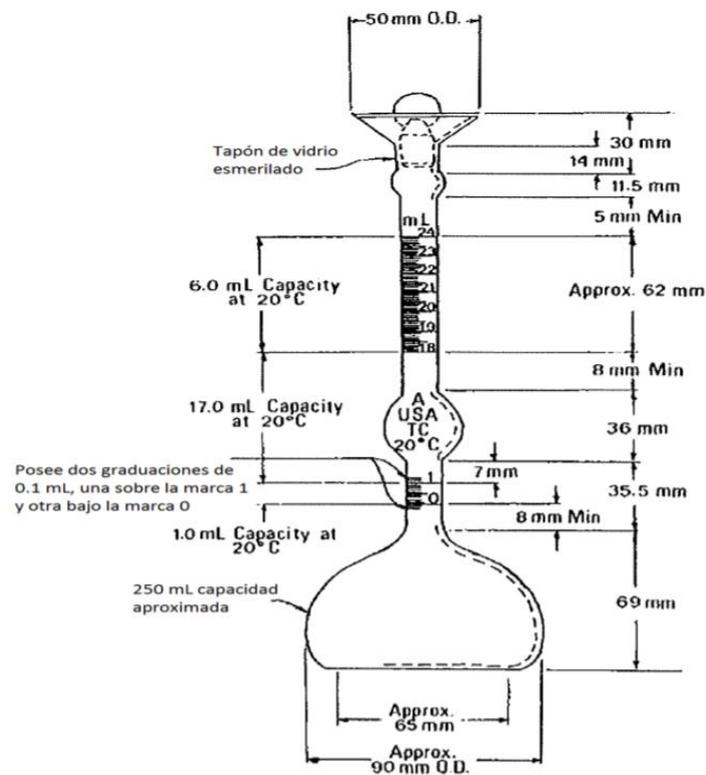
2.2.2.1.3. Densidad de la puzolana de vidrio

Investigaciones realizadas por la Revista Digital Concreto en Latinoamérica [28], destaca el uso de vidrio molido como puzolana en el concreto, en la sección donde realiza el “Método de Prueba Estándar para la Determinación del Cambio de Longitud del Concreto debido a la Reacción Álcali-sílice”, nos muestra dos tipos de gráficos los cuales nos brindan las propiedades de la PVM, los cuales son: LOI (efectos de pérdida por ignición) = 1% en peso; diámetro medio = 4 micras; SG (gravedad específica) = 2,60; finura de Blaine = 1020 m²/kg.

Podemos tomar como referencia la gravedad específica de la PVM del dato anterior, pero debido a que en esta investigación se usará la puzolana de vidrio en reemplazo porcentual del cemento, se desea averiguar qué peso específico o densidad le corresponde a esta puzolana para poder trabajarlo como cemento.

En este caso, la temperatura a la cual se hará la prueba no ocasiona mucha diferencia en los resultados; pero es importante que la temperatura del frasco, del líquido y de la puzolana de vidrio se mantenga constante durante toda la práctica. La principal utilidad que tiene el peso específico de la puzolana de vidrio en reemplazo del cemento está relacionada con el diseño y control de mezclas de concreto.

Se usa el denominado frasco “Le Chatelier” y un líquido que requiere el recipiente de ensayo, que puede ser “kerosene, petróleo” para poder determinar el aumento de volumen y calcular el peso específico de la puzolana de vidrio.



Fuente: Norma Técnica Guatemalteca (NTG 41003 h2) – Determinación de la densidad del cemento hidráulico.

Ilustración #18: Frasco de Le Chatelier

Para determinar la densidad de la puzolana de vidrio se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\rho_v = M / (V_f - V_i)$$

Donde:

- M: Masa de la muestra de la puzolana de vidrio molida.
- Vi: Volumen inicial del líquido introducido al frasco Le Chatelier, en cm³.
- Vf: Volumen final del líquido (después de introducir los 64 g de cemento), en cm³.
- ρ_v : Densidad de la puzolana de vidrio, en g/cm³.

El peso específico relativo de la puzolana de vidrio se calcula de la siguiente forma:

$$PER_v = \rho_v / H_2O$$

Donde:

- ρ_v : Densidad de la puzolana de vidrio en g/cm³.
- ρ_{H_2O} : Densidad del agua a 4 C = 1 g/cm³.
- PER_v: Peso específico relativo de la puzolana de vidrio(adimensional).

2.2.2.1.4. Composición química del vidrio

Por lo general los vidrios como cristales, son una mezcla de silicatos de sodio y potasio, y con cantidades mínimas de aluminio, magnesio y óxido de hierro.

Siendo el componente principal del vidrio la sílice, que se obtiene a partir de la arena, el pedernal y el cuarzo, por lo que desde el punto de vista estructural la composición del vidrio se presenta así:

Composición Química del Vidrio

Compuesto	% Del total
Óxido de silicio (SiO ₂)	72%
Sulfato de Sodio (Na ₂ SO ₄)	14%
Óxido de Calcio (CaO)	9%
Óxido de Magnesio (MgO)	4%
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0.70%
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.30%

Fundamento: [51]

Tabla N°3-B: Composición General de los Compuestos del Vidrio.

2.2.3. Plástico reciclable

2.2.3.1. Clasificación de los plásticos según su plasticidad

Los plásticos se pueden definir en 2 categorías desde el punto de vista de su plasticidad por elevación de su temperatura, como:

▪ Termoplásticos

Estos tipos de plásticos al calentarse su estado fluyen como líquidos viscosos capaz de ser moldeable mientras que al enfriarse se solidifica. El enfriarse o calentarse puede realizarse las veces que se quiera, ya que este no perderá en ningún momento sus propiedades.

Este tipo de material compone aproximadamente el 85% de los plásticos consumidos y lo más importante es que son reciclables. Los diferentes tipos de termoplásticos son:

i. Polietileno

A. Definición

Es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por la polimerización del etileno. Es un material cristalino y amorfo parcialmente, con color translucido y blanquecino. Decimos también que los diferentes tipos de polietileno que se encuentran en el mercado son productos los cuales han sido llevados por diferentes condiciones de reacciones de polimerización.

“El polietileno es el termoplástico más utilizado en el mundo hoy en día, es un material económico que puede moldearse en casi cualquier forma, extruirse en un filamento o soplarse en una película delgada.” [16]

B. Propiedades del material

Propiedades físicas:

- Moderada resistencia a los impactos.
- Pésimo conductor del calor y de la energía eléctrica
- Coloración transparente.

C. Aplicaciones

El polietileno de baja densidad se encuentra en casi todos los artículos que nos rodean en nuestra vida cotidiana, como son:

- ✓ Sacos de material plástico.
- ✓ Recubrir y aislar cables.
- ✓ Cintas para equipajes.
- ✓ Juguetes con este material.
- ✓ Utensilios y accesorios de desechables.
- ✓ Botellas de consumo diario (retornables).

ii. **Polipropileno**

A. Definición

El polipropileno es un termoplástico semicristalino producido mediante la polimerización del propileno en presencia de un estereocatalizador específico. El polipropileno tiene múltiples aplicaciones, por lo que se considera uno de los productos termoplásticos con mayor crecimiento en el futuro. Es un producto inerte, completamente reciclable, la combustión no tiene ningún impacto nocivo sobre el medio ambiente y su tecnología de fabricación tiene el menor impacto ambiental. Esta es una característica atractiva en comparación con los materiales alternativos en esta era de reciclaje.

B. Propiedades del material

Propiedades físicas:

- La densidad está en un rango de 0.90 y 0.93 gr/cm³. Su fabricación debido a su densidad baja, le permite fabricar productos ligeros.
- De presentación rígida, a diferencia de los demás termoplásticos.
- Alta plasticidad.
- Se adapta al medio.
- Material más común de reciclaje.

C. Aplicaciones

Hoy, el polipropileno es uno de los termoplásticos más vendidos en el mundo, con una demanda anual estimada de 40 millones de toneladas. Su crecimiento de consumo anual es cercano al 10% en las últimas décadas, lo que confirma el nivel de aceptación del mercado.

La buena acogida que recibe está directamente relacionada con su flexibilidad, buenas propiedades físicas y la competitividad económica de sus procesos productivos. Varias fortalezas lo convierten en un material ideal para muchas aplicaciones:

- ✓ Baja densidad.
- ✓ Alta dureza y resistente a la abrasión.
- ✓ Alta rigidez. - Buena resistencia al calor.
- ✓ Excelente resistencia química.
- ✓ Excelente versatilidad.
- ✓ Tubos, etc.

iii. **Poliestireno (PS)**

- ❖ PS Cristal: Es un polímero de estireno monómero (derivado del petróleo), cristalino, y presenta alto brillo. Este material es muy versátil para distintos usos, donde se puede usar como productos que requieren transparencia, como envases, pequeñas ventanas o visores y equipos de laboratorio. Además, se aplica en el sector alimentación en forma sólido, usado en bandejas o aislantes para el sector construcción.
- ❖ PS Alto Impacto: Polímero de estireno monómero con oclusiones de polibutadieno que le confiere alta resistencia al impacto. Las hojas de este material son fáciles de manipular, cortar, pegar, moldear y tienen un peso ligero. Mencionamos algunas de sus ventajas:
 - Es liviano, y puede ser procesado en un amplio rango de temperaturas.
 - Elevada fuerza de tensión, como también resistente a químicos inorgánicos y al agua.
 - Propiedades eléctricas.

- Impermeabilidad y resistencia térmica.

Ambos “PS” son fácilmente moldeables a través de procesos como: Inyección, Extrusión/Termo formado, Soplado.

iv. Cloruro de Polivinilo (PVC)

Se produce a través de dos materias primas naturales: gas (43%) y la sal común (57%). Los productos de vinilo consumen menos energía, generan menos emisiones y ahorran más energía que otros productos. Para obtener productos de diferentes o variadas propiedades, su procesado se le agrega compuestos fabricados con aditivos especiales, donde se obtienen productos rígidos o totalmente flexibles. Además, es eficaz en la protección del medio ambiente, en términos de bajas emisiones de gases de efecto invernadero y la conservación de recursos y energía.

v. Nylon

Es una fibra textil elástica y resistente al desgaste, y al ataque químico. No requiere de planchado y su uso está presente en la confección de medias, tejidos sedales, etc. El nylon una vez moldeado como material duro, se puede usar en la fabricación de utensilios, como peines, mangos de los cepillos, etc.

vi. PET

Polietileno tereftalato, es un polímero plástico que para obtenerlo se realizan procesos de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Es un polímero lineal, que posee un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado.

▪ Termoestables

i. Resina de Poliéster

Es un plástico obtenido mediante la polimerización del estireno y otros productos químicos. Se endurece a la temperatura ambiente y tiene alta resistencia a la humedad, a los productos químicos y a fuerzas mecánicas. [29]

ii. Melanina Formaldehído

Su propiedad principal es que es un plástico duro, siendo un buen aislante de calor y electricidad. Mayormente se le emplea en recubrimientos de madera en mobiliarios de cocina y utensilios como ensaladeras. [29]

iii. Urea Formaldehído

Hecho a partir de la condensación de la urea y formaldehído, calentándose en presencia de una base débil, tales como amoníaco o piridina. Posee gran resistencia al calor, y es empleado para fabricación de adhesivos y revestimientos superficiales. [29]

iv. Fenol Formaldehído (BAKELITA)

Son polímeros sintéticos obtenidos por la reacción de fenol o fenol sustituido con formaldehído. Se usan mayormente como un componente de moldeo y su mercado se basa en la fabricación de madera terciada, debido a su propiedades eléctricas y térmicas. [29]

2.2.3.1.1. Codificación de los plásticos

Existen una variada cantidad de plásticos, los cuales, los más comunes son seis y se les identifica con un número dentro de un triángulo según el SPI (Sistema de Identificación de Plásticos), para mejorar los efectos de la clasificación de su reciclaje, ya que por poseer diferentes características los plásticos exigen un reciclaje por separado. De este modo se resaltan los plásticos más comunes y su nomenclatura:

Tipo de termoplástico	Clave	Tipo de uso
Tereftalato de polietileno (PET O PETE)		Se utiliza en botellas de refresco carbonatado y en recipientes de comida.
Polietileno de alta densidad (HDPE O PEAD)		Empleado en botellas de leche, detergentes, etc.
Policloruro de vinilo (PVC)		Frecuentes en envases de películas finas y envolturas.
Polietileno de baja densidad (LDPE)		Plástico fuerte, flexible y transparente; material que se encuentra en bolsas de compra para comida congelada, etc.
Polipropileno (PP)		Usado para las cajas de botellas, en maletas, etiquetas y tapas.
Poliestireno (PS)		Empleado en los vasos y platos de estereofón y artículos que han sido moldeados por inyección.

Fundamento: Propio

Fuente: [29]

Tabla N°4: Codificación de los plásticos según SPI

2.2.4. Definición de términos básicos

-Puzolana: Formado por “Clinker portland”, por lo general las puzolanas se obtienen de arcillas calcinadas, tierras diatomáceas, tufos y cenizas volcánicas, y de residuos industriales como cenizas volátiles, ladrillo pulverizado, etc.

-Poros de aire: Espacio no interconectado, lleno con aire o cualquier otro gas. [26]

-Reacción Alcalí-sílice: deterioro del concreto debido a la reacción expansiva entre los constituyentes silíceos de algunos agregados y los óxidos de sodio y potasio. [26]

-Pasta matriz: Cemento y material ligante. En este caso vidrio como puzolana, en otros casos se refiere a la pasta (cemento y agua). [20]

- Colmatación: Acumulación de sedimentos o material fino que reduce notablemente la drenabilidad original del concreto propio. [19]

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El estudio ejecutado, está dado con un enfoque de tipo investigativo-cuantitativo.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo Prospectiva, ya que el diseño de la presente investigación es experimental, debido a que se han realizado pruebas y ensayos en laboratorio para llegar al objetivo principal de esta investigación.

Dichos ensayos se han utilizado diferentes porcentajes de puzolana de vidrio reciclado en las mezclas de concreto permeable de los cuales se obtuvieron resultados que fueron analizados y comparados entre sí para luego ser explicados mediante tablas comparativas y gráficos para su entendimiento y así llegar a cumplir los objetivos planteados y probar la hipótesis de la investigación.

La investigación es Longitudinal, debido a que se tuvieron diversas muestras de concreto permeable con diferentes porcentajes de puzolana de vidrio, que se sometieron a ensayos destructivos (como el de compresión) a diferentes edades de curado, obteniendo resultados que se analizaron y compararon entre sí; y que posteriormente ayudó a la elección del diseño que cumpla con las normas.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA DE ESTUDIO Y MUESTREO

La población se delimitó de acuerdo a los objetivos planteados en esta investigación, por lo cual las muestras son testigos de concreto a elaborar durante la fase de metodología y el muestreo son los diferentes ensayos que se les harán.

Los parámetros de diseño con los que se trabajaron esta investigación se resaltan en la Tabla N°5 y el número de muestras con su respectivo ensayo se detalla en la Tabla N°6. **La modificación de los dos porcentajes añadidos con respecto al Objetivo Principal se describe en el Capítulo 4.2.2 de esta investigación.**

Diseño #1	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 0% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	Parámetros definidos de la Norma ACI 522R-10 y ACI 211.3R-02
Diseño #2	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 10% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	
Diseño #3	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 15% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	
Diseño #4	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 30% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	
Diseño #5	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 1% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	
Diseño #6	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 2% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	

Fundamento: Propia

Tabla N°5: Diseños de la investigación.

Ensayos	Tamaño de vidrio pulverizado	Probetas	Tiempo de ensayo/#Probetas			Parcial	Total probetas
			7 días	21 días	28 días		
Vidrio molido tamizado por la Malla #100 (0,15mm)	Resistencia a la compresión (Muestras cilíndricas 6"x12")	Concreto permeable patrón (0% Puzolana de vidrio reciclado)	3	3	3	9	72
		Concreto permeable patrón (10% Puzolana de vidrio reciclado)	3	3	3	9	
		Concreto permeable patrón (15% Puzolana de vidrio reciclado)	3	3	3	9	
		Concreto permeable patrón (30% Puzolana de vidrio reciclado)	3	3	3	9	
		Concreto permeable patrón (1% Puzolana de vidrio reciclado)	3	3	3	9	
		Concreto permeable patrón (2% Puzolana de vidrio reciclado)	3	3	3	9	
	Tasa de percolación y Contenido de Vacíos (Muestras cilíndricas 6"x12")	Concreto permeable patrón (0% Puzolana de vidrio reciclado)	-	-	3	3	
		Concreto permeable patrón (10% Puzolana de vidrio reciclado)	-	-	3	3	
		Concreto permeable patrón (15% Puzolana de vidrio reciclado)	-	-	3	3	
		Concreto permeable patrón (30% Puzolana de vidrio reciclado)	-	-	3	3	
		Concreto permeable patrón (1% Puzolana de vidrio reciclado)	-	-	3	3	
		Concreto permeable patrón (2% Puzolana de vidrio reciclado)	-	-	3	3	

Fundamento: Propia

Tabla N°6: Población, Muestra y Muestreo

3.4. VARIABLES-OPERACIONALIZACIÓN

- ✓ Variables independientes:
 - Puzolana de vidrio reciclado.
 - Agregados naturales
- ✓ Variables dependientes:
 - Propiedades mecánica e hidráulica de un concreto permeable
 - Evaluación del Impacto Ambiental

La modificación de los dos porcentajes añadidos con respecto al Objetivo Principal se describe en el Capítulo 4.2.2 de esta investigación.

VARIABLE			DIMENSIÓN			INDICADOR		
INDEPENDIENTE								
Puzolana de vidrio reciclado	Porcentaje de puzolana de vidrio		10%; 15%, 30%, 1% y 2%					
	Vidrio molido		Granulometría					
	Vidrio molido		Densidad (Le chatelier)					
Agregados naturales	Agregado Fino		Contenido de Humedad					
			Granulometría					
			Peso Unitario Suelto					
			Peso Unitario Compactado					
			Peso específico					
			Grado de Absorción					
	Agregado Grueso		Contenido de Humedad					
			Granulometría					
			Peso Unitario Suelto					
			Peso Unitario Compactado					
			Peso específico					
			Grado de Absorción					
DEPENDIENTE								
Propiedades mecánica e hidráulica del Concreto permeable	Propiedades del concreto en estado fresco		Trabajabilidad (Asentamiento)					
			Temperatura (°C)					
			Densidad y Contenido de Vacíos Teórico					
			Elaboración y Curado de las Muestras					
	Propiedades del concreto en estado endurecido		Ensayo de resistencia a la Compresión					
			Ensayo de la tasa de percolación o infiltración					
			Densidad y Contenido de Vacíos					

Fundamento: Propia

Tabla N°7: Variables y Operacionalización

3.5. MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Métodos

El método para llevar a cabo la ejecución de esta investigación es de tipo experimental, ya que se evaluarán mediante muestras de especímenes los diferentes ensayos a realizarse para satisfacer la hipótesis planteada.

3.5.2. Técnicas

Para esta investigación se utilizará como técnica la observación, ya que esta técnica radica en el registro sistémico, válida y confiable de las conductas o circunstancias que se da en el estudio.

Técnicas de Recolección de Datos	
Observación Directa	Técnica mediante el cual se observará como se comporta el concreto permeable con sustitución porcentual de vidrio molido mediante ensayos respectivos

Fundamento: Propia

Ilustración #19: Técnica de Observación

3.5.3. Instrumentos

Se aplica como instrumento de recolección de datos los ensayos referidos a los agregados, el vidrio molido como puzolana, ensayos del concreto en estado fresco y los ensayos del concreto en estado endurecido. Estos ensayos se realizarán en concordancia con la Norma Técnica Peruana, el ACI 522R-10 y el ASTM, para poder así obtener los resultados óptimos requeridos en todo el proceso de la elaboración de los diferentes especímenes.

A continuación, se nombran los ensayos que se realizarán:

a) Ensayos del vidrio molido

- Lavado y Molienda.
- Análisis granulométrico.
- Obtención de la puzolana de vidrio.
- Densidad de la puzolana de vidrio (Material cementante sustituyente).

b) Ensayos de los agregados

- Extracción y preparación de las muestras.
- Contenido de Humedad.
- Análisis granulométrico.
- Densidad, Peso específico (Densidad relativa) y Absorción del Agregado Grueso.
- Densidad, Peso específico (Densidad relativa) y Absorción del Agregado Fino.
- Peso unitario Suelto y Compactado del agregado Fino y Grueso.

c) Ensayos del Concreto en Estado Fresco

- Asentamiento del Concreto Fresco por el Cono de Abrams.
- Temperatura del concreto fresco.
- Densidad y Contenido de Vacíos Teórico del Concreto Fresco.
- Elaboración y curado de las muestras cilíndricas 6"x12" (15x30cm).

d) Ensayos del Concreto en Estado Endurecido

- Resistencia a la compresión simple.
- Tasa de percolación o infiltración.
- Densidad y contenido de Vacíos del Concreto Endurecido.

El instrumento de recojo de información para la técnica identificada es la ficha de observación. Esta ficha es elaborada especialmente para recopilar datos del laboratorio tanto del concreto patrón como concreto experimental (concreto permeable con puzolana de vidrio reciclado) en sus diversos porcentajes y a diferentes edades.

Instrumento de Recolección de Datos	
Ficha de Recolección de Datos	Para registrar la información obtenida en laboratorio y el procesamiento de la información de datos

Fuente: Propia

Ilustración #20: Instrumento de recolección de Datos

3.5.4. Estrategia metodológica para la demostración de la hipótesis

Para la demostración de la hipótesis, se realizarán los siguientes pasos:

- i. Recopilación de la información bibliográfica.
- ii. Revisión de las Normativas Vigentes.
- iii. Análisis de la información.
- iv. Obtención del vidrio reciclado.
- v. Lavado y molienda del vidrio reciclado en su tamaño óptimo.
- vi. Ensayo de los agregados naturales y el vidrio.
- vii. Realización del Diseño de Mezcla.
- viii. Elaboración de las probetas de concreto permeable.
- ix. Ensayos de la densidad y contenido de vacíos del concreto en estado fresco.
- x. Ensayos de la resistencia a la compresión.
- xi. Ensayos de la densidad y contenido de vacíos del concreto en estado endurecido.
- xii. Ensayos de la tasa de infiltración.
- xiii. Obtención de resultados
- xiv. Discusión de los resultados.
- xv. Conclusiones y recomendaciones.

3.5.5. Plan y procesamiento de análisis de datos

Toda información resultante de los diferentes ensayos a realizar se presentará mediante tablas, cuadros, gráficos, los cuales se dispondrán en comparación y orden de acuerdo con los tipos de ensayos.

Al igual que esta información obtenida será ingresada al programa Microsoft Excel para su elaboración sintetizada en cuadros y gráficos, así como también de las fichas técnicas elaboradas de los ensayos de los materiales.

➤ PROCESAMIENTO DE DATOS

- Registrar los datos obtenidos en laboratorios mediante fichas de recolección de datos.
- Procesar los datos obtenidos para obtener los resultados de la investigación.
- Concluir sobre los resultados obtenidos de la investigación.

IV. DESARROLLO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1. ENSAYO DE LOS MATERIALES

Los agregados son la parte fundamental y más importante en el diseño de un concreto permeable, ya que componen el mayor volumen de este. Es por ello por lo que se analiza y se determina las propiedades físicas y mecánicas de dichos agregados mediante ensayos descritos por la Normatividad Peruana, cuyos valores nos ayudaran a llevar un diseño adecuado y trabajable del concreto permeable.

Para los estudios del vidrio molido, debemos tener en cuenta la molienda, el tamaño del grano de vidrio molido como puzolana a usarse y como también la densidad de la misma puzolana en su tamaño usado para poder usarse como material cementicio sustituyente.

Los agregados para ensayarse deben ser de calidad, libres de químicos o excedente de desperdicios para que no puedan afectar ninguno de las propiedades que definen al concreto permeable. A su vez estos agregados serán traídos de la cantera de la Victoria – Pátapo.



Fuente: Propia

Ilustración #21: Agregado Fino



Fuente: Propia

Ilustración #22: Agregado Grueso TM 3/4"



Fuente: Propia

Ilustración #23: Botellas de Vidrio Reciclado

Según los diferentes ensayos realizados a los agregados y a la puzolana de vidrio, se presenta una tabla resumen de sus respectiva Norma Técnica Peruana que lo aprueban y su variante ASTM.

# De Ensayo	Nombre del Ensayo	Norma	
		NTP	ASTM
1	Extracción y Preparación de las Muestras	400.010	D75
2	Contenido de Humedad	339.185	C566
3	Peso Específico Del Cemento Hidráulico (Le chatelier)	334.005	C188
4	Análisis Granulométrico	400.012	C136
5	Determinación de la Resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles - (Modificado)	400.019 - 2002	C131 - 1996
6	Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Grueso	400.021	C127
7	Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Fino	400.022	C128
8	Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos del Agregado	400.017	C29

: Ensayos realizados al vidrio reciclado.

Fundamento: Propia

Tabla N°8: Ensayo de los Agregados y el vidrio con su respectiva NTP y ASTM.

4.1.1. Extracción y Preparación de las Muestras (NTP 400.010)

a) Definición:

El ensayo tiene como objeto realizar el muestreo del agregado fino y el agregado grueso, a su vez que permite una investigación preliminar de la fuente de abastecimiento, como también facilita la aceptación o el decline de dichos materiales. [30]

b) Equipos y herramientas:

- Pala.
- Varilla de acero
- Cucharón metálico.

c) Procedimiento de trabajos:

El procedimiento se llevó a cabo en 5 pasos:

- ✓ Paso #1: Identificamos el saco a analizar de agregado, donde se almacenó anteriormente para evitar contaminación por agentes externos; para este caso el saco identificado fue de 40kg.
- ✓ Paso #2: Colocamos el agregado sobre el piso debidamente limpio y con la ayuda del cucharón dejamos caer a la altura de 20cm aproximadamente formando así una estructura cónica o piramidal con el fin de que se forme lo más homogéneo posible.
- ✓ Paso #3: Con la ayuda de la varilla dividimos en 4 partes iguales con tal que tome la forma de una cruz en el centro, lo cual posteriormente se escogerán 2 partes opuestas que estén lo más homogéneas posibles en tamaño.
- ✓ Paso #4: Con dichas partes escogidas se realiza nuevamente el procedimiento hasta llegar a una cantidad significativa, y extraer la muestra representativa de aproximadamente 3 kilogramos.
- ✓ Paso #5: Los residuos del agregado de las partes opuestas no escogidas son devueltos a su fuente de abastecimiento (Sacos).



Fuente: Propia

Ilustración #24: Agregado Grueso preparado para ensayar.



Fuente: Propia

Ilustración #25: Cuarteo del Agregado Grueso y elección de partes opuestas homogéneas.



Fuente: Propia

Ilustración #26: Extremos opuestos del Agregado Grueso separados para ensayar.



Fuente: Propia

Ilustración #27: Agregado Fino preparado para ensayar.



Fuente: Propia

Ilustración #28: Cuarteo del Agregado Fino y elección de partes opuestas homogéneas.



Fuente: Propia

Ilustración #29: Extremos opuestos del Agregado Fino separados para ensayar.

4.1.2. **Contenido de Humedad (NTP 399.185)**

a) Definición:

El ensayo tiene como objeto determinar el contenido de humedad evaporable una muestra de agregado fino y grueso por secado. En esta humedad está incluida la humedad superficial contenida en los poros del agregado, resaltando además que esta norma no toma en cuenta los compuestos químicos del agua que al mezclarse con los agregados son susceptibles a la evaporación. [31]

b) Equipos y herramientas:

- Balanza para Agregado Fino (1kg).
- Balanza para Agregado Grueso (1kg).
- Recipientes de Acero Quirúrgico.
- Horno Graduado a 110 ± 5 °C (110 °C).

c) Procedimiento de trabajos:

El procedimiento se llevó a cabo en 5 pasos:

- ✓ Paso #1: Con los agregados ya separados en bandejas después de extraer las muestras opuestas homogéneas, procedemos para pesar una cantidad mínima a ensayar.
- ✓ Paso #2: El peso para el agregado grueso de tamaño máximo (TM) de 3/4" fue de aproximadamente 500 gramos y para el agregado fino fue de aproximadamente 500 gramos.
- ✓ Paso #3: Para determinar la humedad de los agregados se requiere que estén húmedos, por lo tanto, si no lo estuvieran se deberían de saturar en el agua tanto para el agregado fino y lavado del agregado grueso, pero para esta investigación los materiales ya estaban húmedos, por lo que solo se llevó a cabo el pesaje de cada muestra respectiva.
- ✓ Paso #4: Las muestras húmedas pesadas las colocamos en horno para su secado a la temperatura 110 ± 5 °C (110 °C) durante 24 horas, hasta obtener una muestra seca.
- ✓ Paso #5: Después del tiempo de secado se deja enfriar unos minutos y se procede a tomar su peso de cada muestra.



Fuente: Propia

Ilustración #30: Peso de muestra de Agregado Fino Húmeda.



Fuente: Propia

Ilustración #31: Peso de muestra de Agregado Grueso Húmeda.



Fuente: Propia

Ilustración #32: Muestras de Agregado Fino y Grueso colocadas al horno para secado.



Fuente: Propia

Ilustración #33: Retiro de muestras de Agregado Fino y Grueso después de 24 horas.

d) Cálculos

Para determinar el contenido de humedad se utiliza la fórmula siguiente:

$$\%W = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100\%$$

Donde:

- % W: Porcentaje de Humedad (%).
- Wh: Peso de muestra húmeda (gr, kg).
- Ws: Peso de muestra seca (gr, kg).

e) Resultados

Los resultados obtenidos de cada muestra respectiva se presentan en las siguientes tablas:

<u>Ensayo</u>	: Contenido de humedad del agregado fino		
<u>Referencia</u>	: Norma ASTM C-566 o N.T.P. 339.185		
Cantera	: Cantera Victoria - Pátapo		
I.- Datos			
A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	500.1	500.1
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	496	496
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.83	0.83
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.83	

Fundamento: Propia

Tabla N°9: Cálculo del contenido de humedad del Agregado Fino.

<u>Ensayo</u>	: Contenido de humedad del agregado grueso		
<u>Referencia</u>	: Norma ASTM C-566 o N.T.P. 339.185		
Cantera	: Cantera Victoria - Pátapo		
I.- Datos			
A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	501	501
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	500	500
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.2	0.2
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.20	

Fundamento: Propia

Tabla N°10: Cálculo del contenido de humedad del Agregado Grueso.

4.1.3. **Determinación de la Resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles – (NTP 400.019 -2002)**

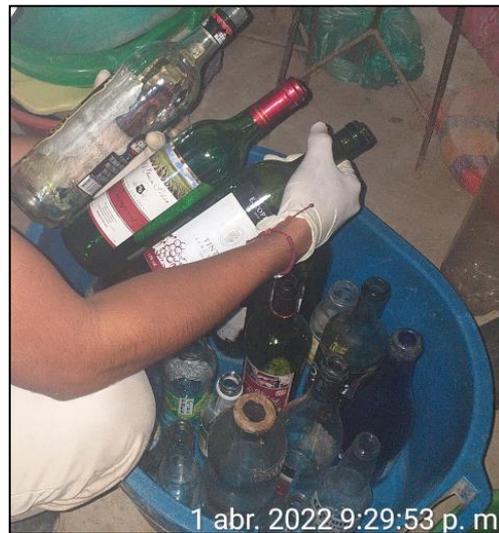
a) Definición:

Establece el procedimiento para ensayar agregados gruesos de tamaños menores que 37.5mm (1 1/2”) para determinar la resistencia a la degradación utilizando la máquina de los Ángeles. [32]

Se utilizó esta máquina para poder triturar las botellas de vidrio reciclado y así poder obtener el tamaño requerido según el ACI 522R-10.

b) Equipos y herramientas en todo el proceso:

- Recipientes de acero quirúrgico.
- Bandeja.
- Guantes y detergente de uso común.
- Lentes de protección.
- Mascarilla de protección.
- Máquina de los Ángeles Modificada.



Fundamento: Propia

Ilustración #34: En el lado izquierdo se denota el vidrio sódico-cálcico de botellas de vidrio seleccionado en las “Pampas de Reque” y en la imagen derecha la obtención de las botellas para posterior limpieza y molienda.

c) Obtención, limpieza y molienda del vidrio

La obtención del vidrio se extrajo del lugar “Pampas de Reque” ya que aquí es donde se acumula la mayor cantidad de basura y donde sus habitantes se dedican al reciclaje seleccionando y separando los diferentes materiales reciclados.

Es aquí donde se obtuvo las botellas de vidrio sódico-cálcicas (que en su mayoría son todas las del mercado usualmente), exceptuando botellas de vidrio de uso sanitario por la emergencia ocasionada por el SARS-COVID 19.

Por otra parte, muchas investigaciones han analizado los diferentes tipos de vidrio, el cual les ha producido incrementos ligeros en las propiedades de un concreto convencional, sin embargo, no ha habido antecedentes que se haya estudiado para un concreto permeable sabiendo además que vidrios del tipo sódico-cálcico (color verde generalmente) genera una leve reacción con el cemento portland. Aun así, se considerará para este estudio.

En esta parte de la investigación se define el proceso de trituración usando la **MÁQUINA DE LOS ANGELES MODIFICADA** para la obtención de vidrio pulverizado (puzolana de vidrio) de botellas recicladas, pero no sin antes empezar con la limpieza de las botellas.

i. Limpieza de las botellas:

- ✓ Las botellas recolectadas se sometieron a un lavado interno usando detergente de uso común y enjuagando, cuya finalidad de remover cualquier residuo acumulado, incluyendo las etiquetas o stickers de las botellas, que son fáciles de quitar debido a su naturaleza soluble de demarcación de las botellas, como también quitando las chapas si es que las tienen.



Fundamento: Propia

Ilustración #35: Enjuague de las botellas.



Fundamento: Propia

Ilustración #36: Eliminación de etiquetas de las botellas que las contienen.

- ✓ Luego de limpiar y enjuagar las botellas, procedemos al secado, el cual se dejará al ambiente unas 2 o 3 horas para su proceso de molienda, además resaltamos que se deben de secar en su totalidad para evitar problemas en la trituration como material pulverizado.

ii. Trituración del vidrio

La máquina de desgaste utilizada en este proceso se denomina “Máquina de los Angeles”, el cual posee una adaptación a la “Máquina de los Angeles original” siendo así mejor manejable y más manual.

Esta máquina ejecuta el proceso de trituración de las botellas de vidrio reciclado ya previamente pasadas por limpieza y secado, mediante 14 esferas de acero de las cuales 12 de ellas tienen un diámetro y masa aproximada de 40mm con 2 kilogramos respectivamente y las 2 restantes de diámetro y masa aproximada de 65mm con 9 kilogramos respectivamente, las cuales son introducidas por tiempo aproximado de 30 minutos junto con las botellas de vidrio en un tambor giratorio a una velocidad aproximada de 33rev/min, realizando este proceso varias veces hasta que pase por lo menos por la malla #50, que es lo recomendable tratándose de este material por poseer mayor dificultad de trituración para convertirlo en polvo.

Sin embargo, para esta investigación al reemplazar el vidrio molido por el cemento, se convierte automáticamente en una puzolana, lo cual según la Revista Latinoamérica denominada “CONCRETO EN LATINOAMÉRICA VOLUMEN I. NÚMERO 2 – NOVIEMBRE 2020” señala en su estudio “VIDRIO MOLIDO COMO PUZOLANA EN EL CONCRETO”, que las puzolanas de este tipo de material según la composición del vidrio, son más eficientes cuando más fino se muele, y a su vez indica que según Norma ASTM C1866/C 1866M un mínimo de 95% del polvo de vidrio pase un tamizado húmedo por la malla #325 (0.045mm de abertura) generando así un riesgo insignificante de la Reacción Álcali Sílice (RAS).

Afirma además que según las investigaciones realizadas sugieren que las partículas menores de 300 micras o que pasen por el tamiz #50 (0.300mm de abertura), no presentan riesgo alguno de reacción álcali-sílice (RAS).

Teniendo en cuenta además que los enunciados resaltados anteriormente que se realizaron a las botellas de vidrio fueron mediante una molienda altamente abrasiva, lo cual desgasta la mayor parte de cualquier material de etiquetas o residuos de alimentos, y estos materiales se aspiran en un colector de polvo para su eliminación.

Finalmente tomando de referencia la información descrita, el proceso de la molienda del vidrio se realizó lo más pequeña posible en la “Máquina de los Angeles modificada”, teniendo en cuenta que el resultado del tamaño del grano de vidrio molido debe pasar por los tamices que estén entre la malla #50 (0.300mm) y la malla #325 (0.045mm).



Fundamento: Propia

Ilustración #37: Máquina de los Angeles Modificada.



Fundamento: Propia

Ilustración #38: Interior de la Máquina de los Angeles Modificada.



Fundamento: Propia

Ilustración #39: Esferas de acero de 40mm y 65mm.



Fundamento: Propia

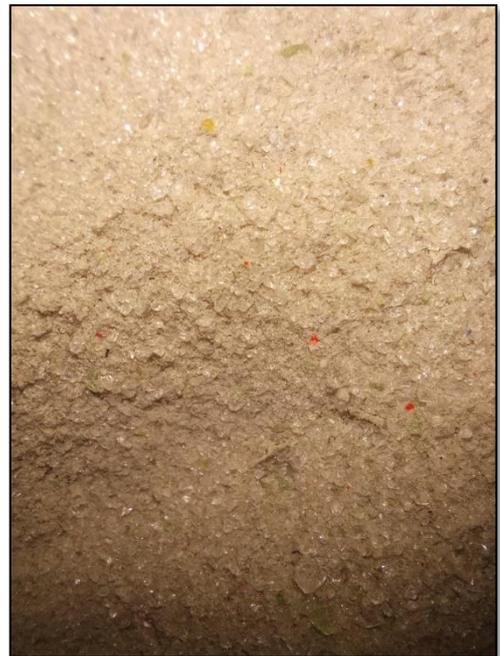
Ilustración #40: Resultado de la molienda de las botellas de vidrio reciclado.

iii. Material resultante

El diámetro del grano obtenido pasó por la malla #50, lo cual está en el límite de lo que dice la norma.

En este punto se optó tamizar el grano por la malla #100 (0.150mm), pese a la dificultad del tamizado y la molienda por tener que volver a pasar el material no pasante nuevamente por la máquina de trituración con el fin de satisfacer una mejor eficacia en el uso como puzolana en el cemento.

Además, se intentó satisfacer una semejanza aún más aproximada en el tamaño del grano de cemento, haciendo que el material pasante por la malla #100 (0.150mm) pase por la #200 (0.074mm) y proceder a triturar lo retenido en la máquina de trituración, lo cual generó un problema de rendimiento en la obtención del grano ya que el tamaño máximo del vidrio pasaba con mucha dificultad la malla #200 y se necesitaría mucho más tiempo de tamizado y de trituración.



Fundamento: Propia

Ilustración #41: Tamaño del vidrio pasante por la malla #50.



Fundamento: Propia

Ilustración #42: Remolienda del vidrio molido para que pase por la malla #100.



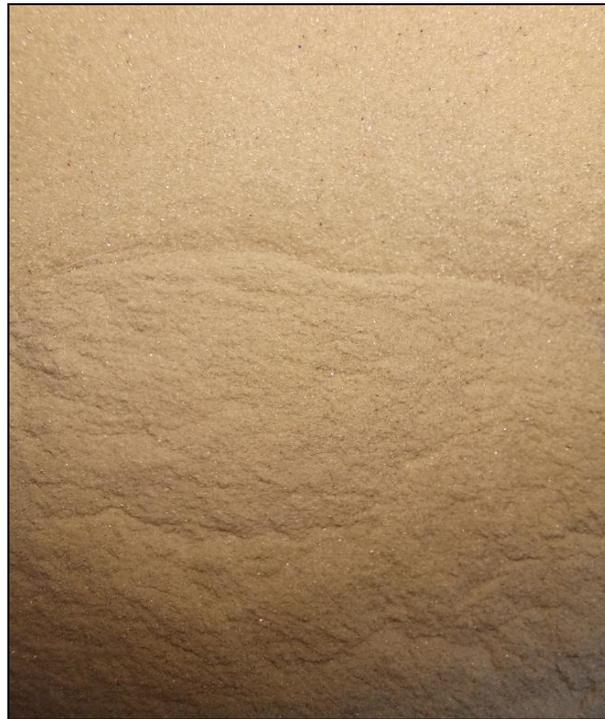
Fundamento: Propia

Ilustración #43: Resultado de la remolienda de vidrio pasante por malla #50 y posterior tamizado por la malla #100.



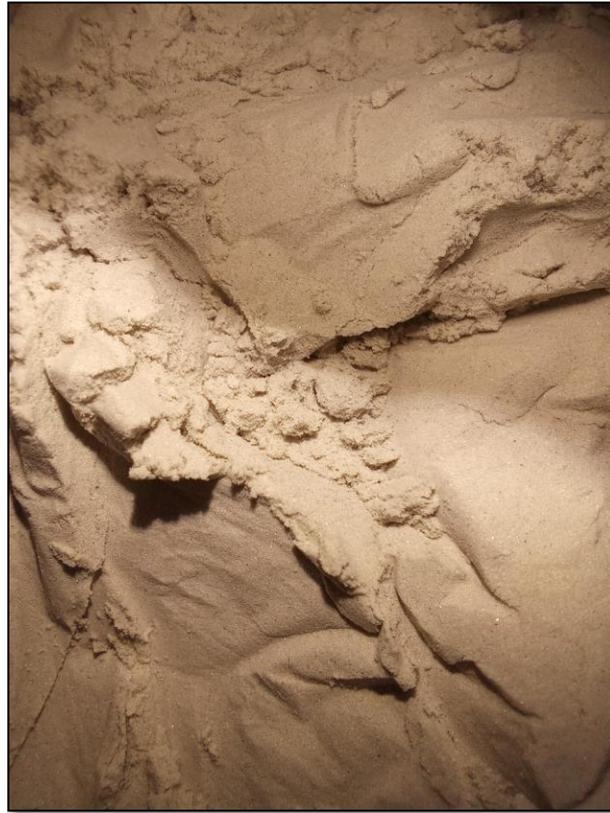
Fundamento: Propia

Ilustración #44: Tamizado de vidrio molido por la malla #100



Fundamento: Propia

Ilustración #45: Tamaño de grano del vidrio molido, resultado de tamizar por la malla #100



Fundamento: Propia

Ilustración #46: Tamaño de grano del vidrio molido, resultado de tamizar por la malla #200

4.1.4. **Análisis Granulométrico (NTP 400.012)**

a) Definición:

El ensayo tiene como objeto determinar los porcentajes pasantes de los diferentes tamaños de agregado (fino, grueso, global), los cuales estos resultados ayudan a elaborar las curvas granulométricas de los mismos. A su vez permite establecer los requisitos de calidad de los agregados y determinar si estos se encuentran dentro de los límites establecidos para su mezcla. [33]

b) Equipos y herramientas

- Serie de tamices para el agregado grueso (se solicitó de cantera piedra chancada de 1/2"): 3/4", 1/2", 3/8". N°4 y N°8 y N°16.
- Serie de tamices para el agregado fino: 3/8", N°4, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.
- Serie de tamices para la puzolana de vidrio: N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, N°270, N°325.

Agregado Grueso		Agregado Fino		Puzolana de vidrio	
Tamiz (pulg.)	Abertura (mm)	Tamiz (pulg.)	Abertura (mm)	Tamiz (pulg.)	Abertura (mm)
3/4"	19.05	3/8"	9.53	N°8	2.36
1/2"	12.7	N°4	4.75	N°16	1.18
3/8"	9.53	N°16	1.18	N°30	0.60
N°4	4.75	N°30	0.60	N°50	0.30
N°8	2.36	N°50	0.30	N°100	0.15
N°16	1.18	N°100	0.15	N°200	0.075
		N°200	0.075	N°270	0.053
				N°325	0.044

Fundamento: Propia

Tabla N°11: Tamices para Agregado Grueso, Agregado Fino y Puzolana de Vidrio.

- Balanza para agregado grueso y fino.
- Bandejas y recipientes de acero quirúrgico.



Fundamento: Propia

Ilustración #47: Tamices para el Agregado Grueso.



Fundamento: Propia

Ilustración #48: Tamices para el Agregado Fino.



Fundamento: Propia

Ilustración #49: Tamices para la Puzolana de Vidrio

c) Procedimiento:

Agregado Fino

- ✓ Para realizar el ensayo, la muestra de agregado fino debió haberse pasado por el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, debido a que la muestra tiene que estar completamente seca.
- ✓ De la muestra seca al horno, se procede a pesar aproximadamente 500 gramos de agregado fino en un recipiente para luego pesarlo y tener el peso exacto tarado.
- ✓ Luego de obtener la muestra seca lista para ser tamizada, se habilita la serie de tamices respectiva en orden descendente (3/8", N°4, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200) con su respectivo fondo.
- ✓ Con los tamices ya ordenados se vacía la muestra de agregado fino seca ya pesada anteriormente con su tapa en el tamiz inicial superior y se procede a realizar movimientos circulares durante unos 3 a 5 minutos.
- ✓ Finalizado el paso anterior se prosigue a pesar el material retenido en cada malla empezando por el tamiz inicial superior hacia abajo, repitiendo este proceso hasta llegar al tamiz de menor abertura.



Fundamento: Propia

Ilustración #50: Muestra seca de Agregado fino zarandeando.



Tamiz retenido: N°04



Tamiz retenido: N°08



Tamiz retenido: N°16



Tamiz retenido: N°30



Tamiz retenido: N°50



Tamiz retenido: N°100



Tamiz retenido: N°200



Tamiz retenido: Fondo

Fundamento: Propia

Ilustración #51: Pesos retenidos por cada tamiz, para el Agregado Fino.

Agregado Grueso

- ✓ Para realizar el ensayo, la muestra de agregado grueso debió haberse pasado por el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, debido a que la muestra tiene que estar completamente seca.
- ✓ De la muestra seca al horno, se procede a pesar aproximadamente 2000 gramos de agregado grueso en un recipiente para luego pesarlo y tener el peso exacto tarado.
- ✓ Luego de obtener la muestra seca lista para ser tamizada, se habilita la serie de tamices respectiva en orden descendente (3/4", 1/2", 3/8". N°4, N°8 y N°16) con su respectivo fondo.
- ✓ Con los tamices ya ordenados se vacía la muestra de agregado grueso seca ya pesada anteriormente con su tapa en el tamiz inicial superior y se procede a realizar movimientos circulares durante unos 3 a 5 minutos.
- ✓ Finalizado el paso anterior se prosigue a pesar el material retenido en cada malla empezando por el tamiz inicial superior hacia abajo, repitiendo este proceso hasta llegar al tamiz de menor abertura.



Fundamento: Propia

Ilustración #52: Muestra seca de Agregado Grueso zarandeando.



Tamiz retenido: 3/4"



Tamiz retenido: 1/2"



Tamiz retenido: 3/8"



Tamiz retenido: N°4

Fundamento: Propia

Ilustración #53: Pesos retenidos por cada tamiz, para el Agregado Grueso.

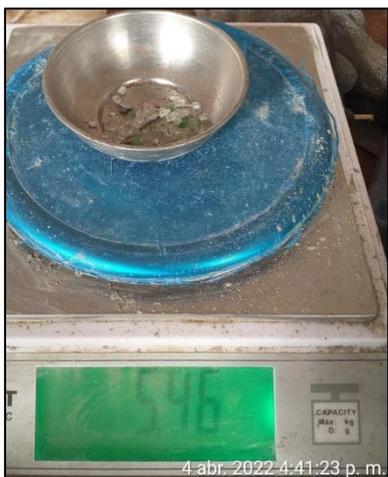
Puzolana de Vidrio molido

- ✓ Para realizar este ensayo, la molienda realizada a las botellas de vidrio reciclado por la Máquina de Los Ángeles dio como resultado diferentes tamaños de granos de vidrio, lo cual con mucho cuidado y sus implementos necesarios se procedió a sacar las muestras en baldes para posteriores tamizados.
- ✓ De la muestra resultante, se pesó aproximadamente 500 gramos en un recipiente para luego pesarlo y tener el peso exacto tarado.
- ✓ Luego de obtener la muestra lista para ser tamizada, se habilita la serie de tamices con el fin de obtener los tamaños del vidrio arrojados por la trituración, lo cual se ordenan de forma descendente: N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, N°270, N°325 y su respectivo Fondo.
- ✓ Con los tamices ya ordenados se vacía la muestra de vidrio molido ya pesada anteriormente con su tapa en el tamiz inicial superior y se procede a realizar movimientos circulares durante unos 3 a 5 minutos.
- ✓ Finalizado el paso anterior se prosigue a pesar el material retenido en cada malla empezando por el tamiz inicial superior hacia abajo, repitiendo este proceso hasta llegar al tamiz de menor abertura.



Fundamento: Propia

Ilustración #54: Muestra de Vidrio Molido por la Máquina de los Ángeles.



Tamiz retenido: N°08



Tamiz retenido: N°16



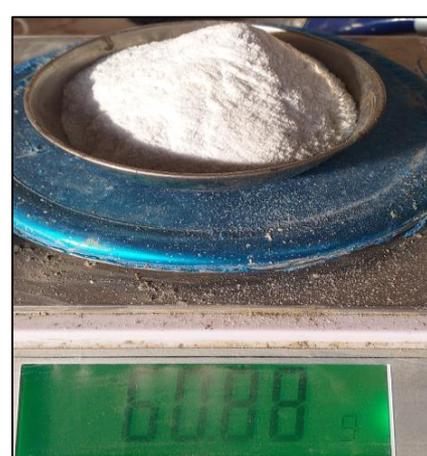
Tamiz retenido: N°30



Tamiz retenido: N°50



Tamiz retenido: N°100



Tamiz retenido: N°200



Tamiz retenido: N°270



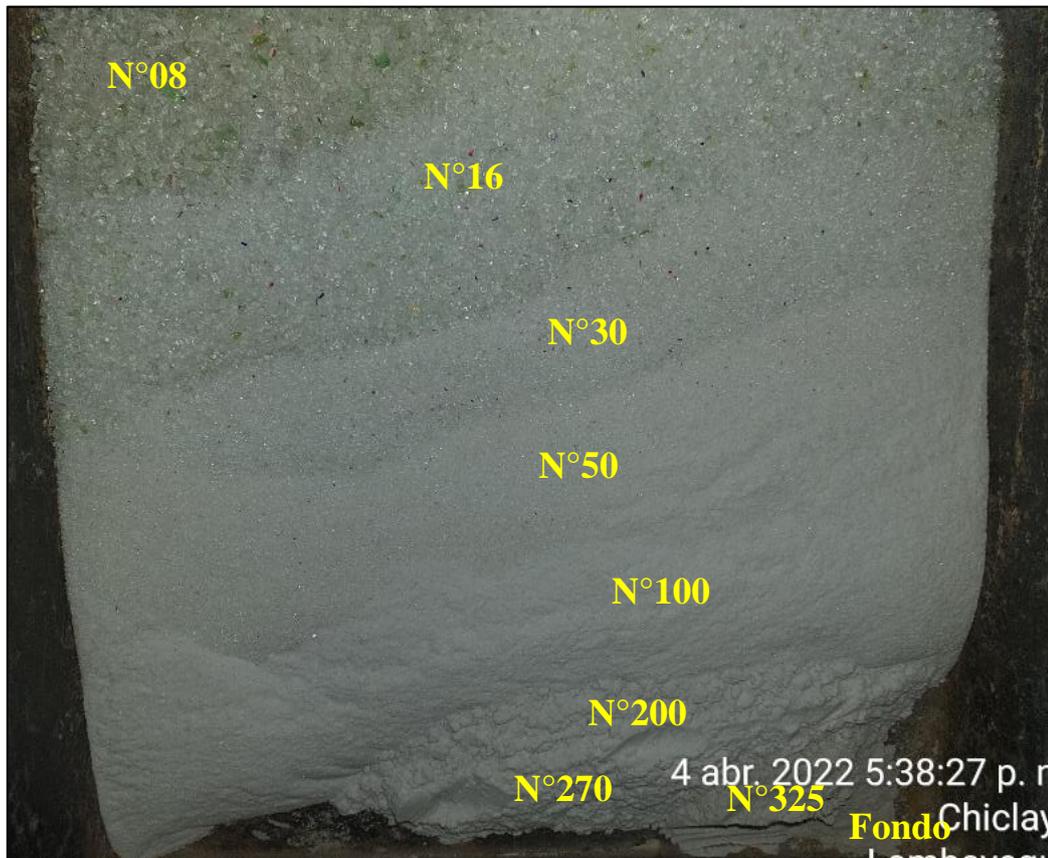
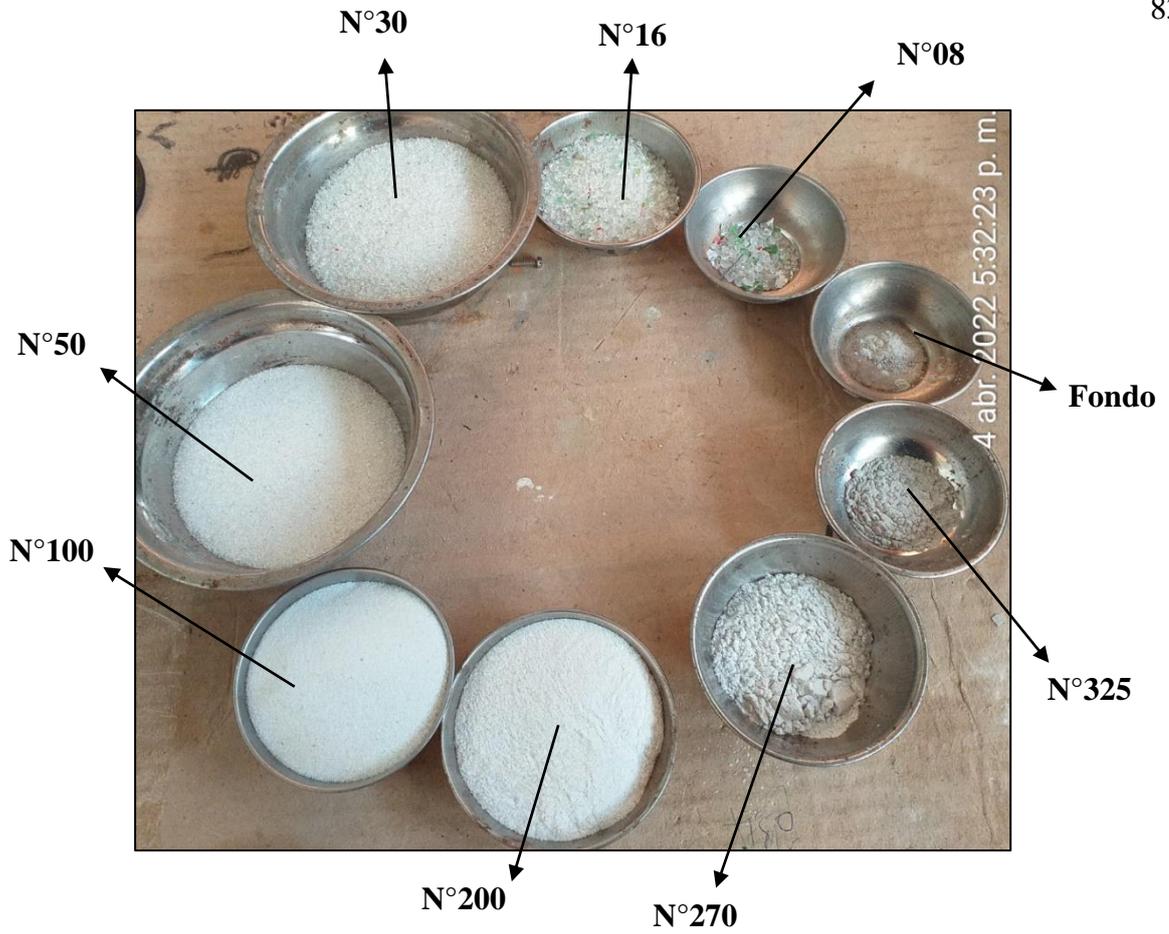
Tamiz retenido: N°325



Tamiz retenido: Fondo

Fundamento: Propia

Ilustración #55: Pesos retenidos por cada tamiz, para la Puzolana de Vidrio Molido.



Fundamento: Propia

Ilustración #56: Secuencia de los diferentes tamaños del grano del vidrio molido.

d) Cálculos

Módulo de Fineza para Agregado Fino y Grueso.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado (1 1/2", 3/4", 3/8", N°04, N°08, N°16, N°30, N°50, N°100)}}{100}$$

Módulo de Fineza para la Puzolana de Vidrio Molido.

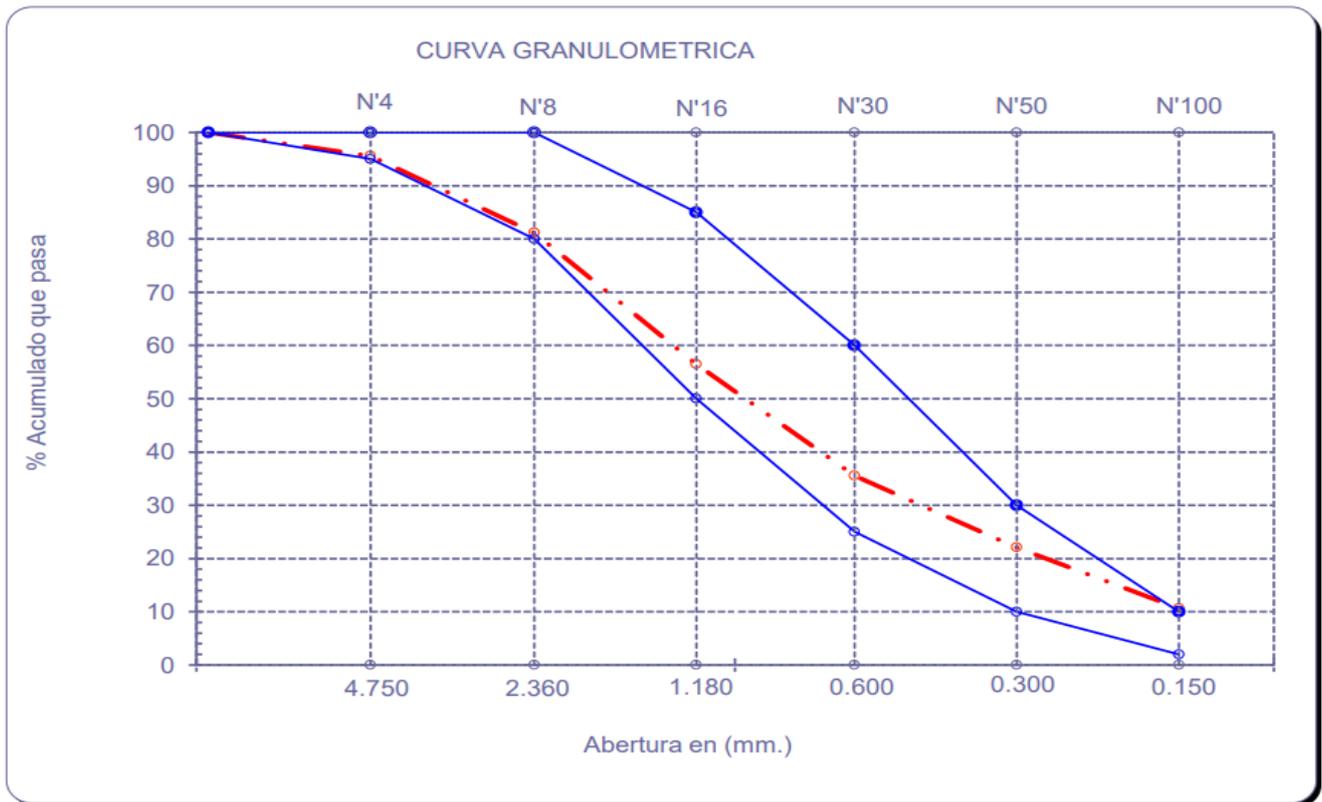
$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado (N°08, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, N°270, N°325)}}{100}$$

e) Resultados

AGREGADO FINO

P. Inicial S. **499.9**

Malla		Peso Ret.	(% Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 04	4.750	22	4.4	4.4	95.6	95	100
N° 08	2.360	72.1	14.4	18.8	81.2	80	100
N° 16	1.180	123.5	24.7	43.5	56.5	50	85
N° 30	0.600	104.6	20.9	64.5	35.5	25	60
N° 50	0.300	67.3	13.5	77.9	22.1	10	30
N° 100	0.150	57.2	11.4	89.4	10.6	2	10
Fondo		53.2	10.6	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.985			
Abertura de malla de referencia				2.360			



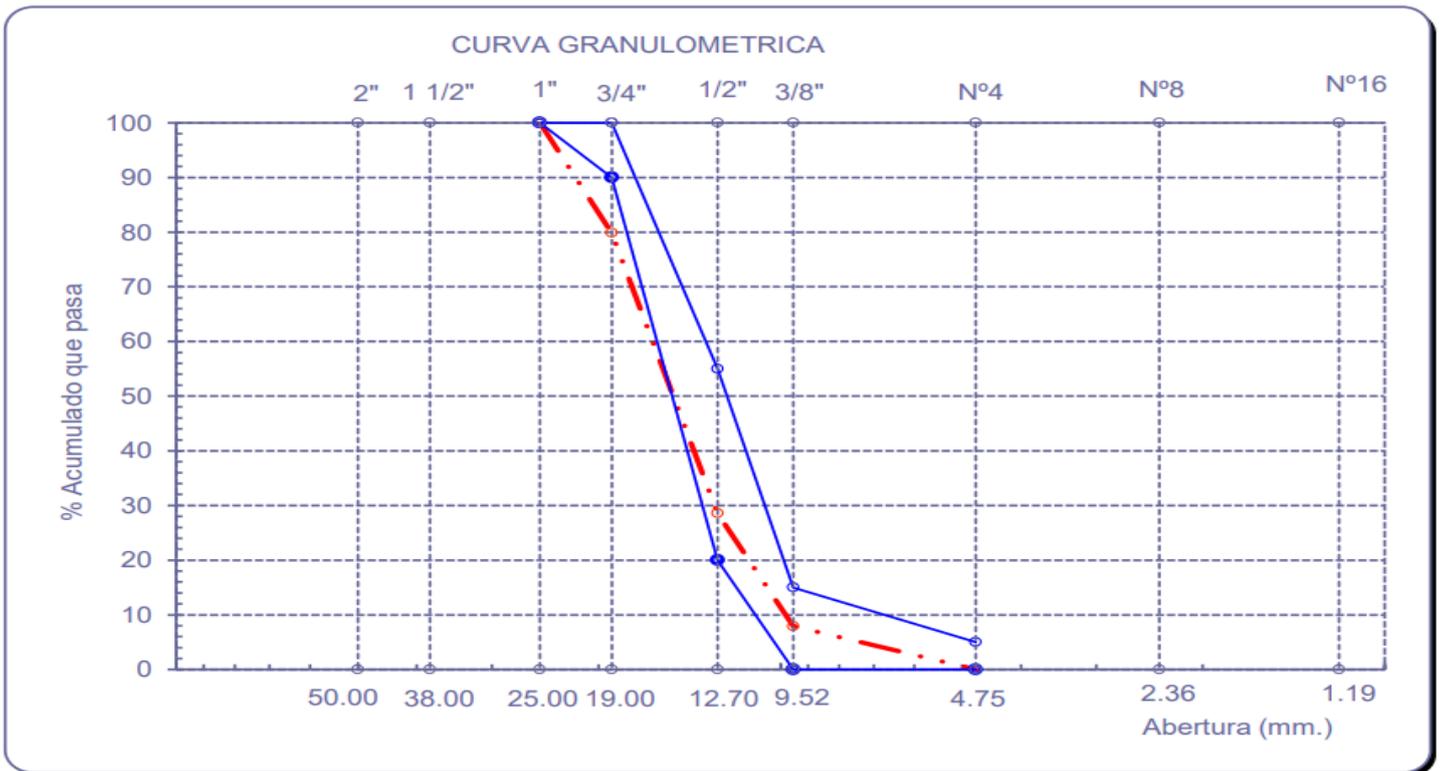
Fundamento: Propia.

Tabla N°12: Granulometría del Agregado Fino (Huso ASTM C-33).

AGREGADO GRUESO

P. Inicial S. **2000.0**

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/4"	19.00	403.0	20.2	20.2	79.9		
1/2"	12.70	1026.0	51.3	71.5	28.6		
3/8"	9.52	413.0	20.7	92.1	7.9		
N° 04	4.75	158.0	7.9	100.0	0.0		
N° 08	2.36	0.0	0.0	100.0	0.0		
N° 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0		
Fondo		0.0	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1	25.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	19.00			



Fundamento: Propia.

Tabla N°13: Granulometría del Agregado Grueso (Huso ASTM C-33).

PUZOLANA DE VIDRIO MOLIDO

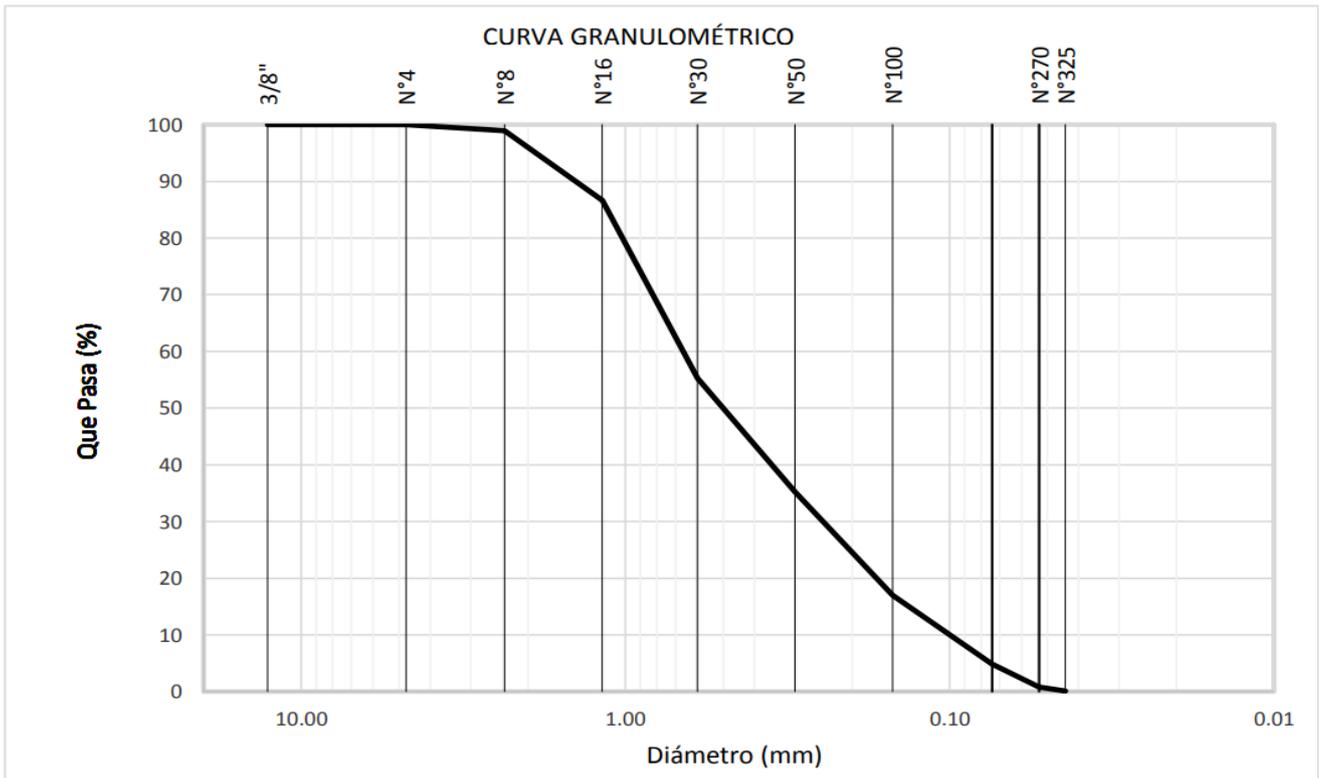
Muestra Vidrio molido

Malla		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado
Pulg.	(mm.)			
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.520	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	1.09	1.09	98.91
N° 16	1.180	12.31	13.40	86.60
N° 30	0.600	31.39	44.78	55.22
N° 50	0.300	19.99	64.77	35.23
N° 100	0.150	18.23	83.00	17.00
N° 200 (*)	0.074	12.12	95.12	4.88
N° 270 (*)	0.053	4.06	99.18	0.82
N° 325 (*)	0.044	0.73	99.91	0.09

(*) Tamices auxiliares.

MÓDULO DE FINEZA

2.07



Fundamento: Propia.

Tabla N°14: Granulometría de la Puzolana de Vidrio Molido (Huso ASTM C-33).

4.1.5. **Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Grueso (NTP 400.021)**

a) Definición

El siguiente ensayo tiene como finalidad determinar la densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso después de saturar por 24 horas una muestra. [34]

b) Equipos y herramientas

- ✓ Balanza de agregado grueso.
- ✓ Balde de agua o depósito para sumergir el agregado grueso.
- ✓ Bandejas y recipientes de acero quirúrgico.
- ✓ Canastilla de alambre.
- ✓ Horno Graduado a 110 ± 5 °C (110 °C).

c) Procedimiento

- ✓ Se prepara una muestra de material homogéneo y se selecciona la más representativa.
- ✓ En este ensayo la muestra elegida se procede a secar en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas debido a que debe de estar totalmente seca (para nuestro caso el material ya estaba superficialmente secado en el ambiente). Luego de haber pasado el tiempo de secado se pesa aproximadamente 4000 gramos de agregado grueso.
- ✓ La muestra de agregado grueso se satura por 24 horas, luego de ese tiempo se seca la muestra superficialmente con un trapo y se pesa para hallar el peso del agregado grueso saturado superficialmente seco.
- ✓ Después de pesado, el material se coloca en la canastilla, no sin antes haber tomado el peso de la canastilla y se sumerge bajo agua para determinar el peso del agregado grueso sumergido o bajo el agua.



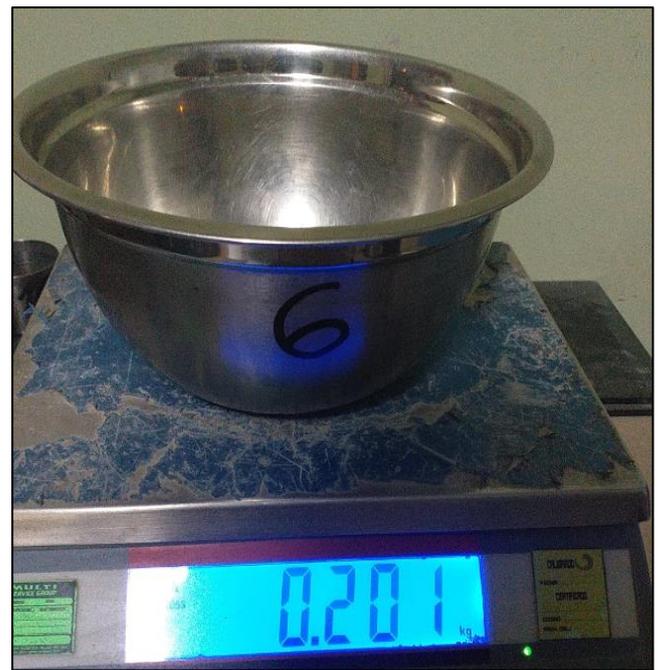
Fundamento: Propia

Ilustración #57: Muestra de agregado grueso superficialmente seca tarado.



Fundamento: Propia

Ilustración #58: Muestra de agregado superficialmente seco, colocado a saturar por 24 horas.



Fundamento: Propia

Ilustración #59: Muestra de agregado grueso secado al horno sin tarar.

d) Cálculos

Densidad:

$$\text{Peso específico} = \frac{W1}{W2 - W3} \times 1000$$

Absorción:

$$\% \text{Absorción} = \frac{W2 - W1}{W1} \times 100$$

Densidad Relativa:

$$\text{Peso Específico} = \frac{W1}{W1 - w3} \times 1000$$

Donde:

- W1: Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr, kg).
- W2: Peso de la muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr, kg).
- W3: Peso de la muestra Sumergida (gr, kg).

e) Resultados

I.- Datos.		
1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	2989
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	3000
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	2036
4.- Peso de la canastilla	(g)	129
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1907
II.- Resultados		
A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.735
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.745
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.762
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.37

Fundamento: Propia.

Tabla N°15: Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Grueso.

4.1.6. Densidad, Densidad Relativa (Peso Específico) y Absorción del Agregado Fino (NTP 400.022)

a) Definición

El ensayo tiene como objeto determinar densidad relativa, absorción y densidad promedio de las partículas de agregado fino. También ayuda a determinar la densidad de una porción esencialmente sólida de un conjunto de partículas de agregado que la conforman y proporcionar un promedio que representa dicha muestra. [35]

b) Equipos y herramientas

- ✓ Balanza de agregado Fino.
- ✓ Embudo pequeño con diámetro de 180mm.
- ✓ Picnómetro (fiola), con capacidad de 500 ml.
- ✓ Molde metálico en forma de cono, de 40 ± 3 mm de diámetro superior, 90 ± 3 mm de diámetro inferior y 75 ± 3 mm de altura.
- ✓ Pisón de metal, siendo una varilla metálica que en su extremo inferior es de sección plana y circular, de 25 ± 3 mm de diámetro. Debe tener una masa de 340 ± 15 gr.
- ✓ Bandejas y recipientes de acero quirúrgico.
- ✓ Horno Graduado a 110 ± 5 °C (110 °C).



Fundamento: Propia

Ilustración #60: Molde metálico en forma de cono y pisón de metal.



Fundamento: Propia

Ilustración #61: Picnómetro o fiola de 500ml y embudo pequeño.

c) Procedimiento

- ✓ Se tomó una muestra de agregado fino superficialmente seco para poder evaluar correctamente el ensayo.
- ✓ Si en caso no se tuviera el material en ese estado se debe de pesar una muestra de 1000 gramos aproximadamente para posteriormente saturarlo por 24 horas, y después de ese tiempo retirar su agua cuidadosamente para evitar pérdidas de material.
- ✓ Este material se debe colocar en el horno y a su vez en la bandeja o molde plano que se proceda a evaluar, se debe esparcir con un cucharón o alguna herramienta que ayude a dispersar el material para quitar su humedad uniformemente en toda la muestra.
- ✓ La secuencia para determinar si la muestra a tomar tiene una humedad óptima o está muy húmedo o está demasiado seca se describe con la ayuda del cono metálico y el pisón.
- ✓ Con el cono en su posición donde el diámetro menor este hacia arriba y este a su vez sobre una bandeja para evitar perder material, se procede a vaciar el material de agregado fino cuidadosamente dentro del cono.

- ✓ El agregado fino para llenarlo debe comprender las dos terceras partes de la capacidad del cono y posterior se deja caer el pisón unas 25 veces distribuidas uniformemente en su superficie donde la altura de caída debe comprender unos 5mm de la superficie llenada.
- ✓ Volvemos a llenar el cono hasta su capacidad máxima y repetimos el proceso.
- ✓ Limpiamos el material esparcido a los costados de la bandeja y levantamos el cono verticalmente y de manera lenta para ver la forma del material.
- ✓ Si su forma es cónica significa que el material está muy húmedo y no podría ser tomado como un material superficialmente seco.
- ✓ Si su forma al levantar el cono se mantiene y presenta un pequeño derrumbe significa que el material está en su humedad óptima que corresponde al estado superficialmente seco y se procede a analizarlo.
- ✓ Si su forma al levantar el cono se desmorona por completo, significa que el material está demasiado seco, y no podría ser tomado como un material superficialmente seco. Por ello para poder saturarlo nuevamente, se puede rociar pequeñas cantidades de agua para humedecer el agregado y dejar reposar durante 1 hora aproximadamente, para posteriormente evaluarse la consistencia de la humedad con ayuda del cono y el pisón.
- ✓ De la muestra de material superficialmente seco se procederá a tamizar por la malla N°04 y lograr pesar del material resultante 500 gramos aproximadamente.
- ✓ Colocar este material cuidadosamente en la fiola o picnómetro de 500ml con ayuda del embudo pequeño, no sin antes saber el peso de la fiola.
- ✓ Adicionamos agua hasta saturar el agregado por completo (llegando a la marca que se encuentra a la mitad de la fiola).
- ✓ Si en caso se presentan burbujas de aire procederemos a realizarle giros circulares a la muestra en conjunto por unos 10 minutos aproximadamente hasta que todo el material quede sin burbujas y completamente asentado.
- ✓ Pesamos el conjunto y dejamos reposar el material por 24 horas para posterior a ello colocarla en un recipiente metálico con peso conocido y llevarlo al horno por unas 24 horas y extraer los datos de la muestra seca.



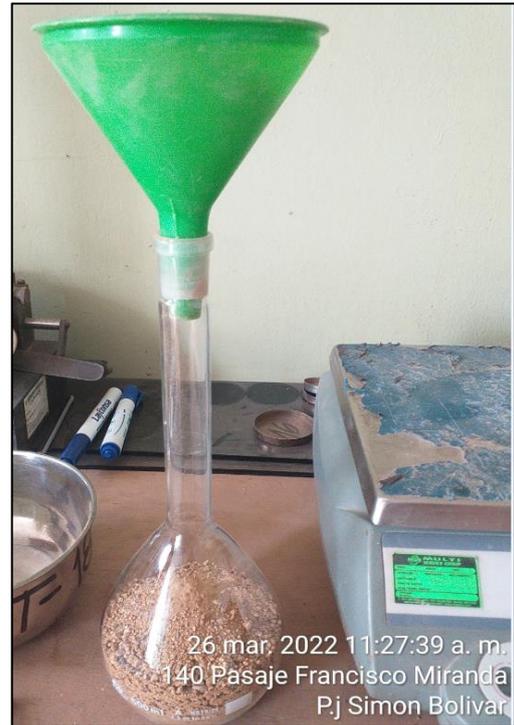
Fundamento: Propia

Ilustración #62: Muestra de Agregado Fino superficialmente seco tamizando por la malla N°04.



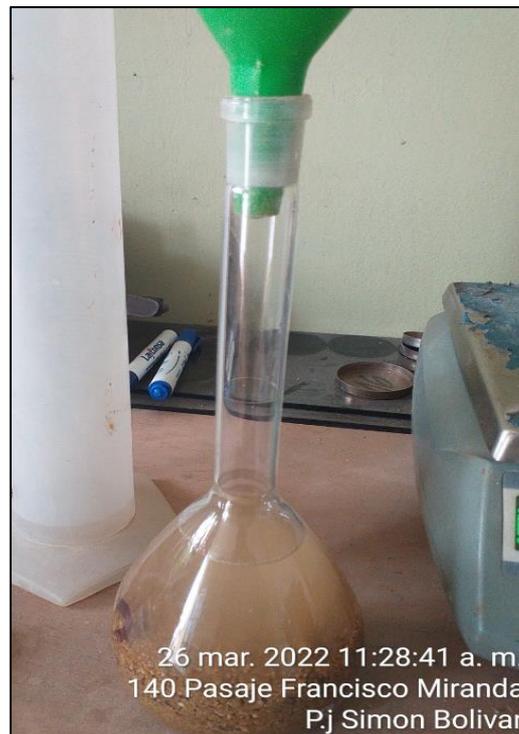
Fundamento: Propia

Ilustración #63: Muestra de Agregado Fino superficialmente seco a analizar.



Fundamento: Propia

Ilustración #64: Muestra de Agregado Fino S.S. colocado en la fiola.



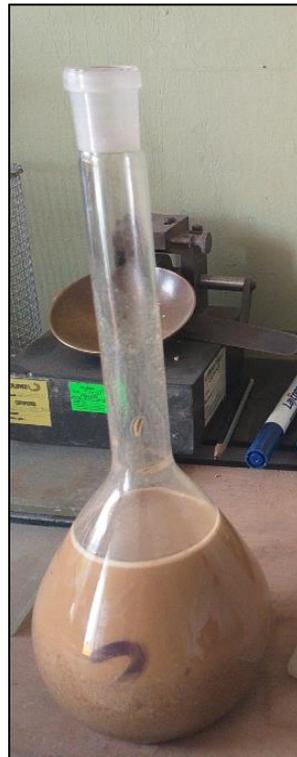
Fundamento: Propia

Ilustración #65: Saturado de la muestra de Agregado Fino en la fiola con burbujas de aire.



Fundamento: Propia

Ilustración #66: Eliminación de burbujas de aire con giros circulares a la muestra.



Fundamento: Propia

Ilustración #67: Muestra de Agregado Fino saturado y asentado posterior a llegar a la marca con agua.

d) Cálculos

Densidad:

$$\text{Peso específico} = \frac{W1}{W2 - W3} \times 1000$$

Absorción:

$$\% \text{Absorción} = \frac{W2 - W1}{W1} \times 100$$

Densidad Relativa:

$$\text{Peso Específico} = \frac{W1}{W1 - w3} \times 1000$$

Donde:

- W1: Peso de la Muestra Seca en el Aire (gr, kg).
- W2: Peso de la muestra Saturada Superficialmente Seca en el Aire (gr, kg).
- W3: Peso de la muestra Sumergida (gr, kg).

e) Resultados

I.- Datos.		
1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.		500.0
1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	991.5
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	677.8
3.- Peso del Agua	(g)	313.7
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	673.8
5.- Peso del Frasco	(g)	177.8
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	496
7.- Volumen del frasco	(g)	500
II.- Resultados		
A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.662
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.684
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.721
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.81

Fundamento: Propia.

Tabla N°16: Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Agregado Fino.

4.1.7. **Peso Específico Del Cemento Hidráulico (Le chatelier) – (NTP 334.005)**

a) Definición

El objeto de este ensayo es determinar la densidad del cemento portland como también poder determinar las densidades de otros tipos de materiales que trabajen como adiciones o sustituciones al cemento. [36]

Consiste en establecer la relación entre una masa de cemento o material a ensayar (g) y el volumen (cm³) de líquido que ésta masa desplaza en el matraz de Le Chatelier.

Para la aplicación de este ensayo, la presente investigación reemplaza el cemento por la puzolana de vidrio molido en diferentes porcentajes, por ello se requiere saber la densidad de este material para definir así un buen diseño de mezcla.

b) Equipos y herramientas

- ✓ Muestra de Vidrio molido tamizado por la malla #100 (64 gramos aproximadamente).
- ✓ Kerosene libre de agua o nafta con una densidad mayor que 0.73 mg/ml a 23°C ± 2°C.
- ✓ Embudos pequeños.
- ✓ Cuchara o espátula.
- ✓ Pipeta.
- ✓ Recipientes.
- ✓ Guantes, lentes para protección.
- ✓ Cubitos de hielo.
- ✓ Frasco Volumétrico de Le chatelier de 250ml calibrado a 20°C.
- ✓ Balanza de 0.01gramos de precisión.
- ✓ Termómetro de 0.02°C de precisión.
- ✓ Caña pequeña adaptada al diámetro del frasco.



Fundamento: Propia

Ilustración #68: Botella de kerosene graduadora, embudos, pepita y caña pequeña.



Fundamento: Propia

Ilustración #69: Frasco de Le Chatelier de 250ml.

c) Procedimiento

- ✓ Lavamos el frasco de Le Chatelier y secamos su interior, asegurándonos que se encuentre libre de residuos y de humedad.
- ✓ Con ayuda de la botella graduadora de kerosene y la pipeta, vertimos el líquido hasta llegar entre las marcas de 0 y 1 ml (se recomienda llenar el frasco hasta la marca de 0 ml). Si en caso sobrepasa la marca de “0 ml” y es inferior a “1 ml” se toma en cuenta la marca en la que está para poder modificar la fórmula y restar al volumen final desplazado por el kerosene.
- ✓ Al tomar el valor de la marca del frasco, se debe de tomar en cuenta la parte más baja de la concavidad hacia arriba que forma el líquido con el frasco.
- ✓ Sumergimos el kerosene en un recipiente de agua a la mitad de su capacidad y lo conectamos con el termómetro para establecer la temperatura del frasco y el líquido a 20°C.
- ✓ Para poder llegar a los 20°C nos ayudamos de los cubitos pequeños de hielo que se irán agregando conforme los datos de temperatura en el termómetro se encuentren arriba y si es el caso inverso, procedemos a templar con nuestra mano o algún otro elemento que emita calor.
- ✓ Una vez establecido a 20°C el recipiente y el frasco con el líquido, procedemos a pesar **60 gramos** del material de vidrio molido tamizado por la malla #100 (**la norma recomienda que sean 64 gramos, pero siempre y cuando la marca del líquido desplazante sea en “0 ml”**).
- ✓ Vertimos lentamente con la ayuda de una cuchara o espátula pequeña por el embudo adaptado con la caña al cuello del frasco, teniendo la más mínima precaución de que al vaciarlo por este medio no salpique mucho por la caída (se recomienda verterlo por cantidades pequeñas) y se adhiera en las paredes del frasco dificultando así el paso del material en caída.
- ✓ Colocamos el tapón del frasco y lo hacemos girar horizontalmente en una posición ligeramente inclinada en círculos, de tal manera liberamos aire del compuesto de líquido de kerosene y material de vidrio molido.
- ✓ Una vez asentado el material colocamos nuevamente la muestra del frasco en el recipiente con agua, y lo temperamos a 20°C con ayuda de los cubitos de hielo.

- ✓ Tomamos la marca respectiva del volumen final desplazado por el kerosene y procedemos el cálculo de la densidad del vidrio molido tamizado por la malla #100.



Fundamento: Propia

Ilustración #70: Vertido del kerosene en el Frasco de Le chatelier.



Fundamento: Propia

Ilustración #70: Vertido del kerosene pasado de la marca "0 ml" e inferior a la marca "1 ml" en el Frasco de Le chatelier.



Fundamento: Propia

Ilustración #71: Frasco de Le chatelier con el líquido desplazante temperado a 20°C.



Fundamento: Propia

Ilustración #72: Peso de la muestra de vidrio molido tamizado por la malla #100.



Fundamento: Propia

Ilustración #73: Vertido del vidrio molido tamizado por la malla #100 al frasco de Le chatelier.



Fundamento: Propia

Ilustración #74: Resultado del asentado del vidrio molido dentro del frasco de Le chatelier.



Fundamento: Propia

Ilustración #75: Marca del volumen final desplazado por el kerosene, temperado a 20°C.



Fundamento: Propia

Ilustración #76: Lectura de la parte baja de la concavidad hacia arriba formado por el volumen final desplazado y el frasco a 20°C.

d) Cálculos

$$\rho_v = M / (V_f - V_i)$$

Donde:

- M: Masa de la muestra de la puzolana de vidrio molida.
- Vi: Volumen inicial del líquido introducido al frasco Le Chatelier, en cm³.
- Vf: Volumen final del líquido (después de introducir los 64 g de cemento), en cm³.
- ρ_v : Densidad de la puzolana de vidrio, en g/cm³.

e) Resultados

ENSAYO	: CEMENTOS. Metodo de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland.	
NORMA	: NTP 334.005	
Muestra	Vidrio molido y tamizado por la malla #100	
	Masa de vidrio molido tamizado por #100	(gr) 60
	Vol.inicial kerosene	(ml) 0.7
	Vol.final desplazado kerosene	(ml) 23.6
	Densidad vidrio molido tamizado por #100	(g/ml) 2.62

Fundamento: Propia.

Tabla N°17: Densidad del vidrio molido tamizado por la malla #100 (puzolana).

4.1.8. **Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos (NTP 400.017)**

a) Definición

El objeto de este ensayo es determinar la densidad de la masa de los agregados en la condición de suelto o compactado, y el cálculo de los vacíos entre las partículas de los agregados tanto como el fino y el grueso. [37]

b) Equipos y herramientas

- ✓ Balanza de Agregado Grueso y Fino.
- ✓ Martillo de goma.
- ✓ Varilla de acero liso, con punta semiesférica (5/8" de diámetro y 24" de longitud).
- ✓ Cucharón.
- ✓ Recipiente para Peso Unitario de Agregado Fino con características geométricas de 2841 cm³ de volumen y 2549 gramos de peso.
- ✓ Recipiente para Peso Unitario de Agregado Grueso con características geométricas de 2133 cm³ de volumen y 5995 gramos de peso.



Fundamento: Propia

Ilustración #77: Recipiente para Peso Unitario de Agregado Grueso.



Fundamento: Propia

Ilustración #78: Recipiente para Peso Unitario de Agregado Fino.

c) Procedimiento

Peso Unitario Compactado

- ✓ El ensayo se realiza con las muestras superficialmente secas, por lo cual el muestreo de los agregados se somete al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.
- ✓ Ya con la muestra superficialmente seca, se llena la tercera parte del molde acomodando la superficie para que sea constante.
- ✓ Dicha capa se compacta usando la varilla de acero liso, dando 25 golpes distribuidos uniformemente en toda la superficie de forma circular en sentido horario.
- ✓ Terminando de varillarlo, se procede a dar 12 golpes laterales al recipiente metálico con el martillo de goma para acomodar la capa completamente, esta acción se repite las 2 veces más faltantes para completar el volumen del recipiente respectivo.
- ✓ Cuando ya este al ras del llenado, con la varilla en forma horizontal se nivela.
- ✓ Tener en cuenta que la compactación de la primera capa se recomienda que la varilla no toque con fuerza el fondo del recipiente y en el caso de

las 2 últimas capas esta debe alcanzar solo la última capa del agregado colocado.

- ✓ Después de acabar el proceso en sus 3 capas, se procede a registrar los datos del recipiente con el contenido de este.
- ✓ El ensayo de estas muestras se debe realizar hasta que la diferencia de pesos compactados finales de al menos dos repeticiones de ensayos no sea mayor al 5%, con el fin de tener un promedio de datos para poder determinar con exactitud la posible variación que puede haber.



Fundamento: Propia

Ilustración #79: Compactación de la primera capa de Agregado Fino.



Fundamento: Propia

Ilustración #80: Compactación de la Segunda capa de Agregado Fino.



Fundamento: Propia

Ilustración #81: Compactación de la Primera y Segunda capa de Agregado Grueso.



Fundamento: Propia

Ilustración #82: Compactación de la Tercera capa de Agregado Grueso.

Peso Unitario Suelto

- ✓ El ensayo se realiza con las muestras superficialmente secas, por lo cual el muestreo de los agregados se somete al horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas.
- ✓ Ya con la muestra superficialmente seca, se llena el recipiente con ayuda del cucharón hasta rebosar.
- ✓ Cuando ya este al ras del llenado, con la varilla en forma horizontal se nivela con sumo cuidado para que el material no se compacte.
- ✓ Se procede a registrar los datos del recipiente con el contenido de este.
- ✓ El ensayo de estas muestras se debe realizar hasta que la diferencia de pesos sueltos finales de al menos dos repeticiones de ensayos no sea mayor al 5%, con el fin de tener un promedio de datos para poder determinar con exactitud la posible variación que puede haber.



Fundamento: Propia

Ilustración #83: Muestra suelta seca del Agregado Fino.



Fundamento: Propia

Ilustración #84: Peso de la muestra suelta seca del Agregado Grueso.

d) Cálculos

Peso Unitario Compactado

$$PU_{Compactado} = \frac{W_{ac+r} - W_r}{V_r}$$

Peso Unitario Suelto

$$PU_{Suelto} = \frac{W_{as+r} - W_r}{V_r}$$

Donde:

- ❖ W_{ac+r} : Peso de la Muestra Compactado + Peso del Recipiente (gr, kg).
- ❖ W_{as+r} : Peso de la Muestra Suelta + Peso del Recipiente (gr, kg).
- ❖ W_r : Peso del Recipiente (gr, kg).
- ❖ V_r : Volumen del Recipiente (cm^3 , m^3).

e) Resultados

AGREGADO FINO**1.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7076	7087
2.- Peso del recipiente	(gr.)	2549.0	2549.0
3.- Peso del material		4527	4538
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.002841	0.00284
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1593	1597
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1582	

*Fundamento: Propia.**Tabla N°18: Peso Unitario Suelto del Agregado Fino***2.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7584	7590
2.- Peso del recipiente	(gr.)	2549.0	2549.0
3.- Peso del material		5035	5041
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00284	0.00284
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1772	1774
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1759	

*Fundamento: Propia.**Tabla N°19: Peso Unitario Compactado del Agregado Fino*

AGREGADO GRUESO**A.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9062	9069
2.- Peso del recipiente	(gr.)	5995.0	5995.0
3.- Peso del material		3067	3074
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00213	0.00213
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1438	1441
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1437	

Fundamento: Propia.

Tabla N°20: Peso Unitario Suelto del Agregado Grueso.

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9327	9325
2.- Peso del recipiente	(gr.)	5995.0	5995.0
3.- Peso del material		3332.0	3330.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00213	0.00213
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1562	1561
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1559	

Fundamento: Propia.

Tabla N°21: Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso.

4.2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO PERMEABLE

Conocidas las propiedades inherentes de cada elemento que compone un concreto poroso, es un requisito indispensable que estos se mezclen con dosificaciones calculadas con la finalidad de que cumplan los requisitos ya descritos (esfuerzo de compresión y tasa de infiltración), para que pueda desempeñarse eficientemente ante cualquier condición a la que esté expuesto.

El diseño de mezcla de un concreto poroso se asemeja al diseño de un concreto estandarizado por el método del ACI, debido a que ambos usan cuadros obtenidos de manera empírica de otros ensayos de investigaciones realizadas, pero la diferencia está en su alcance, ya que ambos son diseños totalmente diferentes.

En esta investigación para realizarse el diseño de mezcla de nuestro concreto permeable, se tuvo en cuenta la Guía para la selección de proporciones para concretos con Cero Slump (Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete, ACI 211.3R) y el procedimiento de diseño que brinda el Reporte en Concreto Permeable (Report on Previous Concrete, ACI 522R-10), en la cual resalta el método de diseño, consideraciones y tablas empíricas necesarias para el proporcionamiento de materiales para el diseño de un concreto permeable.

	DISEÑO ACI CONVENCIONAL (Método: Módulo de Fineza)	DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE (ACI 211.3R-02/ ACI 522R-10)
Datos iniciales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia Requerida. ▪ Slump - Revenimiento. ▪ Con o sin aire incorporado. ▪ Tamaño Máximo Nominal (TMN). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filtración del concreto permeable (Intensidad de Lluvia de diseño).
Datos externos (Uso de Tablas)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Agua. ▪ Relación A/C. ▪ Volumen de Agregado Grueso. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificación de Resistencia a compresión. ▪ Tipo de Compactación. ▪ Elección de la relación A/C.
Datos Obtenidos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cantidad de agregado fino. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Volumen de vacíos. ▪ Volumen de la pasta. ▪ Porcentaje del agregado.
Diseño Final	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño por volúmenes absolutos y corrección por humedad. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseño por volúmenes absolutos y corrección por humedad, absorción y Aportes.

Fundamento: Guía de [15] y elaboración Propia.

Tabla N°22: Diferencias entre Diseño ACI de concreto convencional y el Diseño de concreto permeable.

Para poder diseñar un concreto permeable es necesario tener algunos datos iniciales como los valores obtenidos del ensayo de los materiales como los datos iniciales, los cuales son: Intensidad de lluvia de diseño, porcentaje de vacíos, relación a/c, densidad específica del agregado grueso y fino, densidad específica del cemento a usar, peso específico de la puzolana de vidrio peso unitario de la piedra y la arena, porcentajes de absorción, el huso del agregado a usar (N°08 o N°67) y el contenido de arena gruesa a usar.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las propiedades y características de los agregados fino y grueso, como también del agua, cemento y la puzolana de vidrio que se utilizaron para la realización de estos diseños:

Agregado	Tamaño Máximo Nominal (TMN)	Módulo de Fineza (MF)	PU Compactado Seco (kg/m ³)	PU Suelto Seco (kg/m ³)	Peso Específico (kg/m ³)	% Absorción	% Humedad
Arena	N°04	2.985	1759	1582	2662	0.81%	0.83%
Piedra Angulosa	3/4"	-	1559	1437	2735	0.37%	0.34%

Fundamento: Elaboración Propia.

Tabla N°23: Características y Propiedades de los Agregados.

Material	Marca	Tamaño de Grano	TIPO	Peso Específico (kg/m ³)
Cemento	Pacasmayo	0.005-0.010 mm	I MS Adicionado	3040.00
Vidrio molido	-	0.15 mm	Botellas recicladas	2620.10
Agua	-	-	-	1000.00

Fundamento: Elaboración Propia.

Tabla N°24: Características y Propiedades del Cemento, Vidrio molido y agua.

Para un mejor entendimiento del proceso del diseño de mezcla, se describirá paso a paso siguiendo la metodología que recomienda la Norma ACI 522R-10 para la elaboración de las muestras de concreto permeable que se requieren en esta investigación.

4.2.1. Determinación de la Intensidad de lluvia de diseño

Para poder llevar a cabo el diseño de mezcla se necesita conocer la intensidad de lluvia de diseño como un dato inicial conforme se describe en la Tabla N°22 (Diseño de un concreto permeable según ACI 211.3R-02/ ACI 522R-10).

Las estructuras que son construidas a base de concreto permeable tiene como principal finalidad filtrar el agua que proviene de las diferentes formas de precipitación, como garúa, lluvia, tormentas. Estas precipitaciones se pueden cuantificar mediante la altura de la lámina de agua que forman, teniendo como unidad el milímetro. Esta altura de lámina indica la cantidad que ha sido acumulada en una superficie durante cualquier evento de precipitación, siendo así que un milímetro de lluvia equivale a un litro de agua que ha sido precipitada sobre un metro cuadrado de superficie.

A. Medida de la Intensidad de Lluvia

Como indicador principal para poder medir la capacidad de infiltración perteneciente a un concreto permeable debemos tener en cuenta las unidades con la que se trabaja, siendo centímetro por segundo (cm/s) o milímetro por segundo (mm/s) que se expresa como la altura medida en centímetro o milímetro de la lámina de agua formada por la precipitación dividida por una unidad de tiempo expresada en horas, minutos o segundos.

La cantidad de agua precipitada en un determinado intervalo de tiempo da nombre a la intensidad de lluvia. Durante la ocurrencia de un evento de tormenta es necesario determinar la intensidad máxima de la lluvia presenciada en la duración de esta, expresándose de otra forma como la altura máxima de caída por unidad de tiempo en mm/h. [38]

$$i_{max} = \frac{P}{t}$$

Fundamento: [38]

Ecuación #1: Intensidad de Lluvia

Donde:

- ✓ i_{max} = Intensidad máxima (mm/hora).
- ✓ P = Precipitación en altura de agua (mm).
- ✓ t = Tiempo (horas).

La intensidad de lluvia se registra automáticamente en un aparato de medición denominado “Pluviógrafo”, en el Perú los registros pluviográficos es llevado a cabo por SENAMHI, sin embargo, la disposición de los pluviógrafos aún no está del todo disponible para todas las ciudades del Perú por lo que algunas de ellas no disponen de los mismos. Por ende, el instrumento más común de las estaciones de medición de precipitaciones del SENAMHI es el pluviómetro. [38]

La función de los pluviómetros es de registrar la precipitación máxima acumulada en 24 horas, expresando los valores en milímetros (mm), mientras que los pluviógrafos registran la intensidad de lluvia máxima expresando sus valores en milímetros por hora (mm/h). [38]

Finalmente, para convertir estas precipitaciones máximas acumuladas registradas por los pluviómetros en intensidades de lluvia máxima, el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones nos recomienda usar la metodología Dick Peschle, que relaciona la duración máxima de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas indicada. [39]

B. Parámetros para utilización de la metodología Dick Peschle

Durante los eventos del Fenómeno del Niño en los años 1997/1998 donde las lluvias se concentraron en la región Lambayeque, a diferencia del Fenómeno del Niño de los años 1983/1984 donde las precipitaciones se concentraron en Tumbes y Piura, SENAMHI registró que la mayor precipitación en **24 horas fue de 114mm** y se dio en la ciudad de Chiclayo el día 14 de febrero de 1998 teniendo una duración máxima de 10 horas, empezando desde las 19 horas del día 14 de febrero, y culminando a las 5 horas del día siguiente. [38]

C. Aplicación de la metodología Dick Peschle

La metodología Dick Peschle permite obtener la precipitación total mediante la precipitación máxima y el tiempo de duración de la lluvia, además que es muy útil cuando no se cuenta con registros de estaciones pluviografías.

$$P_d = P_{24h} x \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Fundamento: [39]

Ecuación #2: Ecuación de Dick Peschle

Donde:

- ✓ P_d = Precipitación total (mm).
- ✓ d = Duración en minutos (min).
- ✓ P_{24h} = Precipitación máxima en 24 horas (mm).

D. Cálculo de la intensidad de lluvia

$$d = 10 \text{ horas} = 600 \text{ minutos}$$

$$P_{24h} = 114 \text{ mm}$$

Reemplazando en la Ecuación #2:

$$P_d = 114 x \left(\frac{600}{1440} \right)^{0.25}$$

$$P_d = 91.6 \text{ mm}$$

Usando la Ecuación #1:

Finalmente se divide la precipitación total calculada en la ecuación de Dick Peschle entre la duración total de la tormenta en horas, para así obtener la intensidad de lluvia.

$$i = \frac{91.6 \text{ mm}}{10 \text{ horas}} = 9.16 \text{ mm/h}$$

La intensidad de lluvia comprendida por encima de 7.6 mm/h se califican como fuertes, por ende, la intensidad de lluvia evidenciada en el último Fenómeno del Niño servirá como indicador de comparación para nuestro concreto permeable por lo cual deberá estar en este rango.

Teniendo en cuenta que la capacidad de filtración del concreto permeable depende también distintos factores que se vea afectado como al paso de agua o la retención de agua en su interior, haciendo que la capacidad de infiltración disminuya con el tiempo reduciendo su desempeño.

E. Factor de rendimiento ante la Colmatación

Para la determinación de la tasa de infiltración que debe tener un concreto permeable utilizado como pavimento permeable, se debe tomar en cuenta que éste sea de al menos un orden de magnitud superior a las máximas intensidades de lluvia esperables. No obstante, esta tasa de infiltración se verá reducida y estabilizaría con el tiempo debido al fenómeno de colmatación presente en todo concreto permeable, por ello se recomienda adoptar para el **cálculo de la intensidad de lluvia de diseño un factor de seguridad de 10.** [15]

$$i_{\text{Diseño}} = i_{\text{Calculada}} * FS$$

Fundamento: [15]

Ecuación #3: Factor de Seguridad ante la Colmatación

Donde:

- ✓ $i_{\text{diseño}}$ = Intensidad de diseño (mm/h).
- ✓ $i_{\text{calculada}}$ = Intensidad calculada (mm/h).
- ✓ FS = Factor de seguridad igual a 10.

F. Cálculo de la Intensidad de Lluvia de Diseño

$$i_{calculada} = 9.16 \text{ mm/h}$$

$$FS_{colmatación} = 10$$

Reemplazando en la Ecuación #3:

$$i_{Diseño} = 9.16 \text{ mm/h} * 10$$

$$i_{Diseño} = \mathbf{91.6 \text{ mm/h}}$$

Por lo tanto, aplicando las ecuaciones de Dick Peschle para la precipitación máxima en 24 horas de 114mm con una duración de lluvia de 10 horas, dio como resultado una intensidad de lluvia de 9.16 mm/h. Obteniéndose así una intensidad de lluvia de diseño de 91.6mm/h, considerando el factor de rendimiento ante la colmatación del pavimento permeable.

4.2.2. Compactación en un concreto permeable

La compactación del concreto permeable cumple un rol importante en el proceso de la elaboración de este, pues un valor óptimo de compactación permitirá que los componentes del concreto formen una estructura homogénea y resistente a las acciones mecánica e hidráulicas solicitadas. De otro modo, una excesiva compactación del concreto permeable trae consigo una disminución considerable en el sistema de poros, afectando su capacidad principal de filtrar agua a través su estructura.

La norma ACI 522R-10 recomienda compactar el concreto permeable mediante la utilización de rodillos giratorios, con el fin de crear una buena adherencia de la pasta de cemento y los agregados y proveer de esa forma una superficie lisa.



Fundamento: [60]

Ilustración #85: Compactación del concreto permeable mediante el uso de rodillo giratorio.

El rodillo debe ser de un ancho promedio adecuado para abarcar el ancho de un carril de 3.7m (12 pies) con un peso aproximado de 227kg, equivalente a 500lb. Sin embargo, ante el riesgo de dejar marcas sobre los pavimentos aplicando este rodillo y de la necesidad de que el compactado se dé en áreas pequeñas y zonas de difícil acceso, se plantea la utilización de un rodillo giratorio con peso aproximado de 70lb o 32kg, el cual sea capaz de aportar como fuerza vertical por metro cuadrado de área, **un valor mínimo establecido por la norma ACI 522-R de 1 psi (0.07Mpa) o 0.7kgf/cm².** [19]



Fundamento: [19]

Ilustración #86: Compactación del concreto permeable mediante el uso de rodillo giratorio.

4.2.2.1. Normatividad aplicada a concretos con Cero Slump

La Norma NTP 339.034 (Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión en Muestras Cilíndricas) establece realizar la compactación mediante vibración para concretos con cero Slump, sin embargo, el procedimiento de esta normativa fue pensada para la elaboración de elementos prefabricados como lo son: postes, cajas de concreto, cajas de registro y otros, el cual se busca eliminar el aire atrapado y la impermeabilidad que los describe. [40]

Por ello la vibración para la elaboración de testigos de concretos permeables y construcción de pavimentos permeables no es la más adecuada, ya que este procedimiento haría que el sistema de poros se vea afectado y por ende reduciendo su principal cualidad que lo describe.

La norma NTP 339.183 (Práctica Normalizada para la Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio), en el inciso con descripción “Nota 15” señala que el método de consolidación para concretos con bajo contenido de agua, como es el caso de un concreto permeable, se debe realizar según lo indicado en la normativa de cada concreto. [41]

Por lo antes expuesto y en base a otras investigaciones realizadas, se decide proponer la elaboración de testigos de concreto permeable mediante la compactación manual llevada a cabo por un pisón mecánico, cuya finalidad será la de simular una compactación real que sufre el concreto permeable durante su etapa de construcción.

4.2.2.2. Energía de compactación según la consolidación requerida en un concreto permeable

Según lo mencionado en el inciso 4.2.2.1, la propuesta de compactación manual para la elaboración de probetas cilíndricas 6”x12” (15x30cm), se puede realizar con el martillo utilizado en los ensayos de Próctor Estándar o con el Martillo Marshall utilizado para realizar el Próctor Modificado, reemplazando la varilla lisa de punta semiesférica de 5/16” de diámetro empleado en la fabricación de probetas de concreto convencionales.

Para calcular el número de golpes por capa en la elaboración de los testigos de concreto permeable, se utiliza la ecuación de energía de compactación del ensayo de Próctor.

$$Y = \frac{n * N * P * H}{V}$$

Fundamento: [42]

Ecuación #4: Energía de compactación para el Ensayo Próctor.

Donde:

- ✓ Y = Presión de compactación aplicada a la muestra cilíndrica (kgf/cm²).
- ✓ n = Número de capas en las que se elabora la probeta cilíndrica.
- ✓ N = Número de golpes que se requiere por capa en la elaboración de las muestras.
- ✓ P = Peso del martillo empleado para para la compactación de las muestras (kgf).
- ✓ H = Altura de caída del martillo sobre la muestra cilíndrica (cm).
- ✓ V = Volumen de la probeta cilíndrica (cm³).

En la práctica, el concreto permeable puede ser consolidado por una variedad de diferentes equipos como maquinas pavimentadoras, rodillos giratorios pesados o livianos, pisones, planchas compactadoras, etc.

Por ello Jorge, Mark y Bury, aclaran cuando un concreto permeable es altamente compactado o ligeramente compactado definiéndolo de la siguiente forma:

- Se considera que un concreto permeable es **altamente compactado** si se usa en su consolidación **maquinas pavimentadoras o rodillos manuales pesados**. [18]
- Se considera que un concreto permeable es **ligeramente compactado** si se usa rodillos **livianos sin lastre (liso)**. [18]

4.2.2.3. Compactación de probetas cilíndricas 6"x12" (15x30cm) de concreto permeable (0%, 10%, 15%, 1% y 2% de PVM).

Según el ACI522R-10, nos indica que el valor mínimo de compactación de usar rodillos livianos considerados según lo descrito anteriormente como "Ligeramente Compactados" es de 1psi (0.07Mpa) equivalente a 0.70kgf/cm².

Guizado y Curi, calculando con el valor mínimo de compactación que demanda la norma tiene un valor de 17 golpes, el cual independientemente con las otras propiedades fundamentales como la relación agua/cemento y contenido de vacíos teórico, obtiene resistencias a la compresión un poco variables a los 3, 7 y 28 días con agregado de Huso No. 67, recomendando que se debe estudiar diferentes tipos de compactación. [42]

Entonces para el caso de las probetas cilíndricas de 6"x12", empleadas para los ensayos a compresión en los porcentajes de puzolana de vidrio referentes a 0%, 10%, 15%, 1% y 2% usando el martillo Próctor estándar con un peso de 2.495 kg, se procederá a vaciar en 3 capas; con un volumen de las probetas de 5301.44 cm³; altura de caída del martillo de 30cm y de presión de compactación de **1.05 kgf/cm²**.

Reemplazando los valores en la fórmula de la energía de compactación del ensayo Próctor y redondeando el resultado al número entero inmediato superior, obtenemos que se deben de compactar con 25 golpes cada una de las 3 capas de las probetas con el Martillo Próctor Estándar.

Variable/Items	Valor	Tipo de Compactación	Tipo de Pisón	#Golpes
Y	1.05 kgf/cm ²	Ligeramente Compactado	Martillo Próctor Estándar	25
n	3 capas			
P	2.495 kgf			
H	30 cm			
V	5301.44 cm ³			

Fundamento: Elaboración Propia.

Tabla N°25: Número de Golpes para la Compactación de Probetas de 6"x12" (0%, 10%, 15%, 1% y 2% de PVM)

4.2.2.4. Compactación de probetas cilíndricas 6"x12" (15x30cm) de concreto permeable (30% de PVM).

Para este tipo de muestra cilíndrica con diferente porcentaje de puzolana de vidrio, se procedió a añadir más energía de compactación equivalente a 1.69kgf/cm², debido a los resultados iniciales de los ensayos a la compresión realizados a los 7 días a las muestras del 10% y 15% que demostraron una tendencia de bajada con respecto a la muestra patrón del 0% PVM.

Se realizó este experimento en el proceso de la elaboración de las muestras, para poder determinar cómo influye la energía de compactación en un porcentaje de sustitución mayor de puzolana por cemento.

Entonces para el caso de las probetas cilíndricas de 6"x12", empleadas para los ensayos a compresión en los porcentajes de puzolana de vidrio referentes de 30%, usando el martillo Próctor estándar con un peso de 2.495 kg, se procederá a vaciar en 4 capas; con un volumen de las probetas de 5301.44 cm³; altura de caída del martillo de 30cm y de presión de compactación de **1.69 kgf/cm²**.

Reemplazando los valores en la fórmula de la energía de compactación del ensayo Próctor y redondeando el resultado al número entero inmediato superior, obtenemos que se deben de compactar con 30 golpes cada una de las 4 capas de las probetas con el Martillo Próctor Estándar.

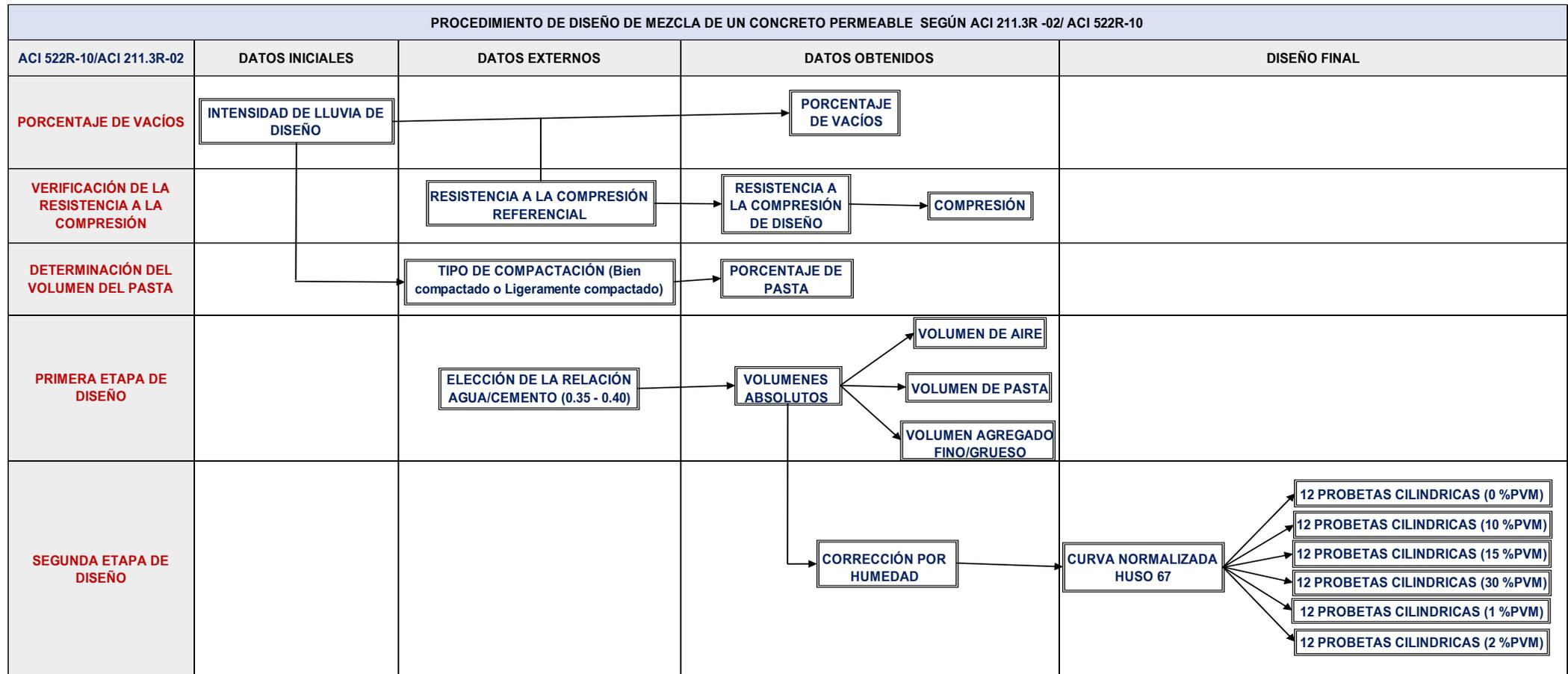
Variable/Items	Valor	Tipo de Compactación	Tipo de Pisón	#Golpes
Y	1.69 kgf/cm ²	Ligeramente Compactado	Martillo Próctor Estándar	30
n	4 capas			
P	2.495 kgf			
H	30 cm			
V	5301.44 cm ³			

Fundamento: Elaboración Propia.

Tabla N°26: Número de Golpes para la Compactación de Probetas de 6"x12" (30%de PVM)

4.2.3. Criterios de Diseño del Concreto Permeable

En la Tabla #25, se detalla el proceso a seguir y los diferentes datos que se deben de saber antes de iniciar con el diseño de mezcla.



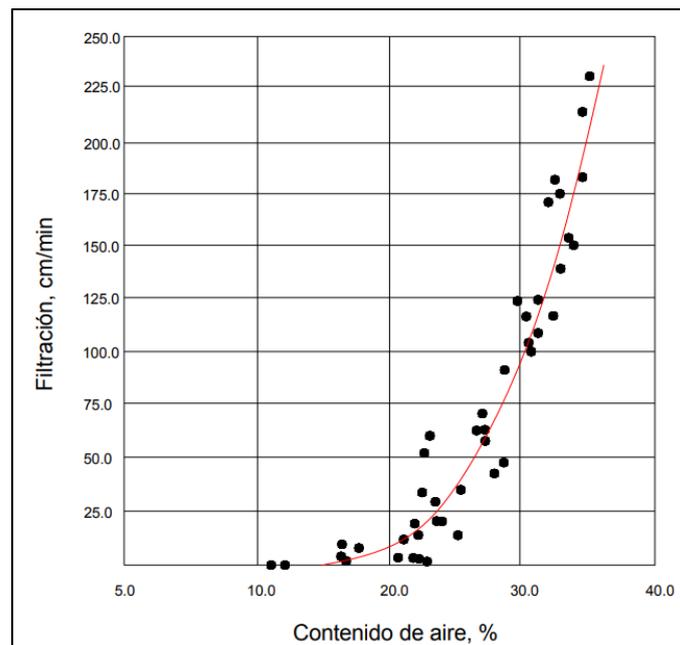
Fundamento: Guía de [15] y Elaboración propia.

Tabla N°27: Procedimiento sistematizado del diseño de un concreto permeable.

4.2.4. Elección del porcentaje de Vacíos

La elección del porcentaje de vacíos depende de la velocidad de filtración de agua pluvial requerida, la cual se determinó por la intensidad de lluvia de diseño calculada para un periodo de retorno y duración de dicho evento. Estos datos históricos fueron obtenidos de los eventos ocurridos en la localidad, en los años de 1998/1999. La localidad de aplicación es en la ciudad de Reque, perteneciente al departamento de Lambayeque, pero esta ciudad no presentó una elevada precipitación en 24 horas, registrando solo en SENAMHI como precipitación acumulada.

La cual para mayor prevención se realizó el diseño de un concreto permeable capaz de no solo filtrar la precipitación de la ciudad de Reque, sino que supere la máxima registrada en la región, por lo que se consideró como precipitación máxima la registrada en el evento del fenómeno del niño del 1998 en la ciudad de Chiclayo.

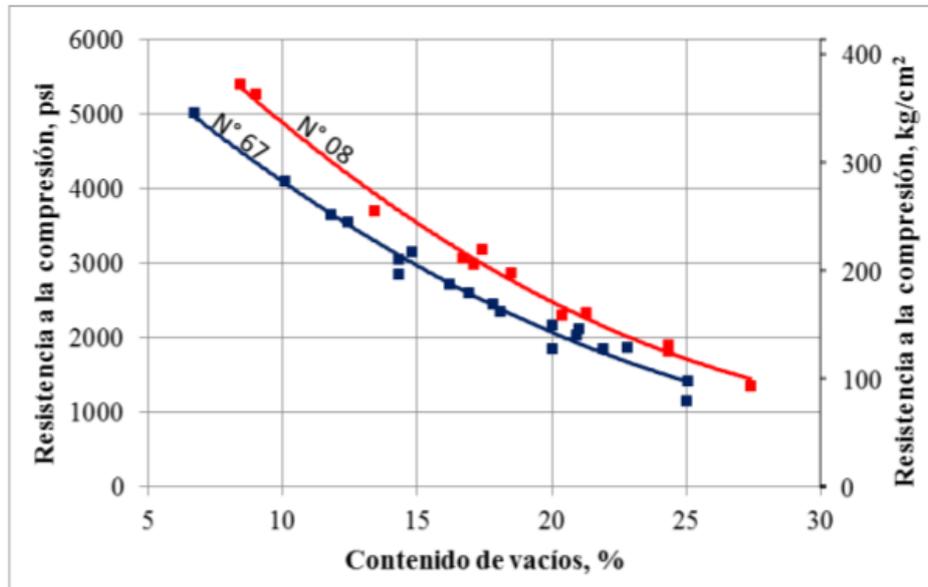


Fundamento: [60] y Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02

Ilustración #87: Relación entre el contenido de aire y la tasa de infiltración de un concreto permeable.

4.2.5. Elección de la resistencia a compresión de diseño

Una vez elegido el porcentaje de vacíos según la intensidad de lluvia de diseño calculada, se puede suponer la resistencia a la compresión de acuerdo con la ilustración #88. En el cual se detalla la variación de las resistencias a la compresión del concreto permeable desarrollados a los 28 días con dos tamaños estándar de agregados gruesos: No. 08 (3/8”) y No. 67 (3/4”).



Fuente: [15] y *Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02*

Ilustración #88: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados Nro. 67 y Nro. 8.

Se puede detallar en la ilustración #88, que el contenido de vacíos mínimo recomendado por la norma ACI 522R-10 es de 15%, por lo cual se obtienen resistencias que varían alrededor de 200 kg/cm² y 250 kg/cm² para concretos permeables desarrollados con los agregados No. 67 y No. 08 respectivamente. De esta manera podemos adquirir valores de resistencia a la compresión referenciales para el diseño.

Se aclara también que estas resistencias no están sujetas al contenido de vacíos específicamente ya que, si observamos la ilustración #88, con menos porcentaje de vacíos se obtiene mejores resistencias en ambos tipos de agregados, por lo cual existen factores muy importantes que definen la resistencia a la compresión, como lo es la relación agua/cemento.

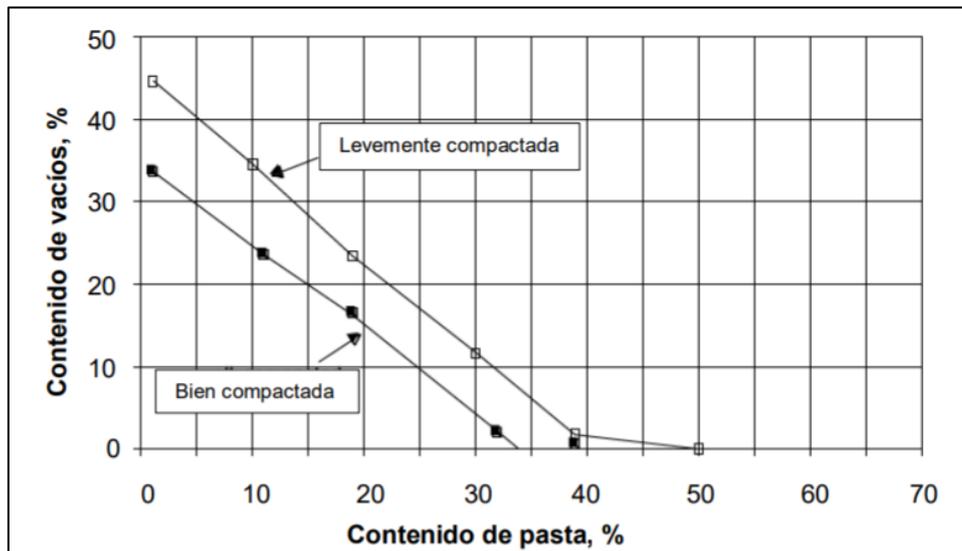
4.2.6. Determinación del Volumen de Pasta

Luego de haber verificado las resistencias a la compresión referenciales, se procede a calcular el volumen de pasta según la normatividad ACI 522R-10 y ACI 211.3R-02 en el cual, partiendo del porcentaje de vacíos elegido, se puede obtener el porcentaje de volumen de pasta en el diseño de la mezcla de un concreto permeable.

La ilustración #89 se muestra la relación entre el contenido de vacíos (%) y el contenido de pasta (%) para concretos permeables elaborados con agregado grueso No. 08.

La primera curva de la ilustración #89 denominada well-compacted (bien compactada), corresponde a un concreto permeable compactado en 3 capas, con 25 golpes por capa usando una varilla lisa. [43]

Mientras que la segunda curva de la ilustración #89 denominada lightly-compacted (ligeramente compactado), corresponde a un concreto permeable compactado en 2 capas, con 5 golpes por capa usando un pisón de 5 libras. [43]



Fuente: [61] y Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02

Ilustración #89: Relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta para tamaños de agregados No. 08.

Como se observa en la ilustración #89, el gráfico de la relación entre el contenido de vacíos y el contenido de pasta es referente sólo a agregados No.08, siendo así un poco limitado para el uso de otros tamaños de agregados como lo es para esta investigación donde se está usando agregados de Huso No. 67.

Por ende, se optó por elegir el caso más crítico correspondiente a un grado de compactación ligera ya que nada nos garantiza que en la elaboración de un concreto permeable se pueda obtener la compactación adecuada, debido a la poca difusión del modo de compactación y la falta de otras maquinarias capaces de compactar este tipo de concreto. [18]

Se resalta, además, que el número de capas y golpes por capa en la compactación del concreto permeable está definido en el apartado **4.2.2 (Compactación de un concreto permeable)**.

Una vez determinado el volumen de pasta, de proceder a calcular los pesos de cemento y agua por m³ cúbico de mezcla de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{c}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a}$$

Donde:

- V_p : Volumen de pasta calculado de la ilustración #89 (%).
- c : Peso del cemento por m³ de mezcla (kg).
- a : Peso del agua por m³ de mezcla (kg).
- γ_c : Peso específico del cemento (kg/m³).
- γ_a : Peso específico del agua (kg/m³).

Otra forma de expresar la ecuación anterior es expresarlo con la relación agua/cemento, quedando de la siguiente manera:

$$V_p = \frac{c}{\gamma_c} + \frac{c * \left(\frac{a}{c}\right)}{\gamma_a}$$

Fundamento: [15]

Ecuación #5: Volumen de pasta, a partir de la relación agua/cemento, densidad del cemento y densidad del agua.

La norma ACI 211.3R-02 (Guía para la selección de proporciones para concretos con Cero Slump), indica que cuando el agregado fino es utilizado, el volumen de pasta se ve reducido en 2% por cada 10% de agregado fino del total de agregado calculado para un concreto permeable bien compactado y en un 1% por cada 10% del agregado fino del total de agregado calculado para un concreto permeable ligeramente compactado. La finalidad de estas reducciones es para mantener el mismo porcentaje de vacíos por volumen. [43]

4.2.7. Elección de la relación agua-cemento

Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación agua-cemento relativamente baja (0.30-0.40) ya que, si en algún caso la cantidad de agua es excesiva, esto conducirá al drenaje de la pasta y la obstrucción del sistema de poros, por ello la adición del agua debe ser monitoreada de cerca en la elaboración de un concreto permeable. [19]

Además, tomando en cuenta resultados presentados por investigaciones referentes a la relación agua-cemento a/c en el concreto permeable destacan:

- Jacinto Aquino, con relación agua/cemento de 0.30 aumenta su fuerza de compresión, flexión independientemente del contenido de agregado fino. [18]

- Flores y Pacompia, usaron una relación agua/cemento 0.40, obteniendo mejor trabajabilidad en la elaboración de las muestras, como también resistencias a la compresión favorables. [15]

Según Meininger 1988, una relación agua-cemento en el rango de 0,35 a 0,45 hace un mejor trabajo de recubrimiento del agregado grueso sin causar demasiado lastrado en el mezclador o, en el extremo opuesto, estar tan húmedo que la pasta tiende a salir del agregado. [43]

4.2.8. Método de los volúmenes absolutos y corrección por humedad y absorción

Una vez obtenido el contenido de vacíos, volumen de pasta, la relación agua/cemento a usar, se procede a calcular la cantidad de cada material convirtiéndolo a un volumen absoluto por metro cúbico de concreto en su estado Saturado Superficialmente Seco (SSS) tal cual como se realiza para un concreto convencional. Luego, se corrige por humedad y sus aportes de agua efectiva para finalmente obtener la cantidad de materiales por metro cubico de concreto para el diseño de cada muestra.

La humedad es el estado presente del agregado que, debido a la exposición al ambiente, puede perder o acumular agua; el porcentaje de absorción es la capacidad del agregado para absorber agua, por lo que si restamos el porcentaje de absorción (capacidad para absorber agua) de la humedad (condición presente durante el vaciado), sabemos la cantidad de agua que absorberá el agregado al durante el vaciado, por lo que sabemos la cantidad de agua que tenemos que sacar o echar en seco para corregirlo. [15]

Teniendo entonces:

- $\%H$ (*Humedad*) > $\%(Absorción)$: Se retira agua en el diseño SSS.
- $\%H$ (*Humedad*) < $\%(Absorción)$: Se adiciona agua en el diseño SSS.

4.2.9. Diseño de Mezcla de un Concreto Permeable

4.2.9.1. Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 0% DE PVM)

Los datos utilizados para el cálculo de los siguientes pasos, se han extraído de las Tablas #23 y #24 del presente documento.

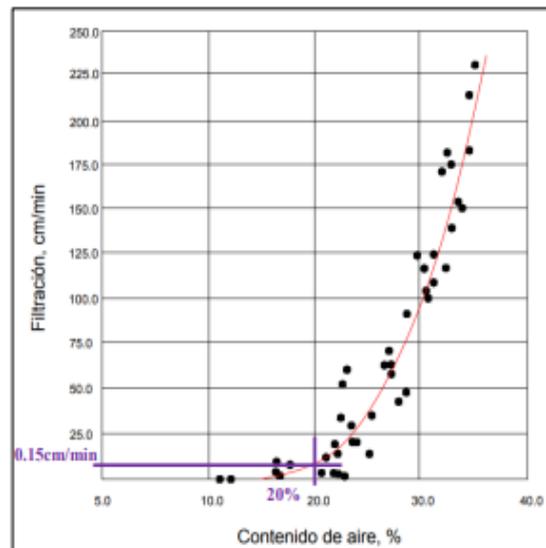
Paso I: Elección de la filtración que el concreto permeable requiere.

Según el reporte generado por Fenómeno del Niño de 1997/1998 la precipitación máxima en 24 horas generada en la región y focalizada en la ciudad de Chiclayo fue de 114mm con una duración de lluvia de 10 horas, dando como resultado una intensidad de lluvia de 9.16 mm/h. Obteniéndose así una intensidad de lluvia de diseño de 91.6mm/h, considerando el factor de rendimiento ante la colmatación del pavimento permeable.

Filtración requerida:	91.60 mm/h
-----------------------	------------

Filtración requerida:	0.15 cm/min
-----------------------	-------------

Paso II: Obtención del porcentaje de vacíos.



Fuente: [51] – y Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02

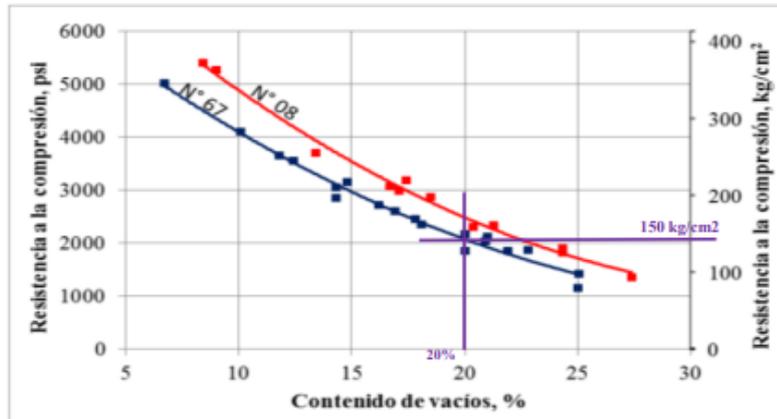
Figura #1: Relación entre el contenido de aire y la tasa de infiltración.

Según la figura precedente para una filtración requerida de **91,6 mm/h**, obtenemos aproximadamente un porcentaje de vacíos de **20%**. Además teniendo en cuenta que el tamaño de los agregados gruesos a utilizar (Huso N° 67) están dentro de los rangos dados por la norma ACI 522R-10 y ACI 211.3R-02.

% Vacíos:	20 %
-----------	------

Paso III: Verificación de la resistencia a la compresión de diseño.

Una vez elegido el porcentaje de vacíos según la intensidad de lluvia de diseño calculada, se puede suponer la resistencia a la compresión de acuerdo con la figura #2. En el cual se detalla la variación de las resistencias a la compresión del concreto permeable desarrollados a los 28 días con dos tamaños estándar de agregados gruesos: No. 08 (3/8") y No. 67 (3/4").



Fuente: [15] y Adaptado de ACI 522R-10, ACI 211.3R-02

Figura #2: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregados Nro. 67 y Nro. 8.

Según la figura #2 precedente para un contenido de vacíos de 25%, obtenemos una resistencia a la compresión referencial de 150 kg/cm², sin embargo este valor es referencial puesto que ninguna de las gradaciones consideradas en el gráfico se asemeja a la obtenida de la cantera de la Victoria – Pátapo (Huso No. 67).

F'c referencial:	150 kg/cm²
-------------------------	------------------------------

Paso IV: Elección de la relación agua/cemento.

Los concretos permeables deben ser proporcionados con una relación agua-cemento relativamente baja (0.30-0.40). (ACI 522R-10)

- Si en algún caso la cantidad de agua es excesiva, esto conducirá al drenaje de la pasta y la obstrucción del sistema de poros, por ello la adición del agua debe ser monitoreada de cerca en la elaboración de un concreto permeable.
- De la misma forma un déficit insuficiente de agua en la elaboración de un concreto permeable estar tan húmedo que la pasta tiende a salir del agregado.

A/C:	0.35
-------------	-------------

Además tomando en cuenta resultados presentados por investigaciones referentes a la relación agua-cemento a/c en el concreto permeable destacan:

- Jacinto Aquino, con relación agua/cemento de 0.30 aumenta su fuerza de compresión, flexión independientemente del contenido de agregado fino. [18]
- Flores y Pacompia, usaron una relación agua/cemento 0.40, obteniendo mejor trabajabilidad en la elaboración de las muestras, como también resistencias a la compresión favorables. [15]

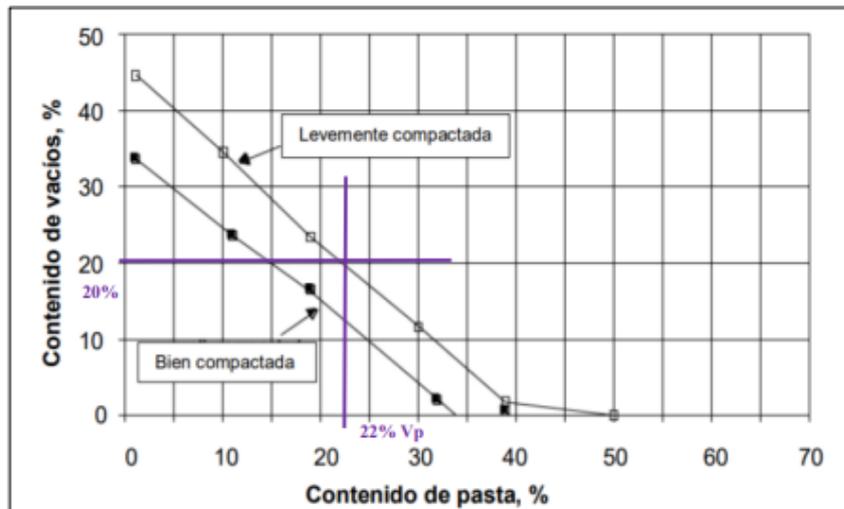
De esta manera la elección de la relación agua/cemento se fijó en **0.35**, un valor intermedio entre los resultados de diferentes de investigaciones, resaltando además que según meininger concluye que resistencias relativamente altas en el concreto permeable son posibles con una relación a/c de aproximadamente 0.40. [43]

Paso V: Cálculo de agua (Volumen de pasta= Volumen de Cemento + Volumen de Agua)

Para el tipo de compactación se optó por elegir el caso más crítico correspondiente a un grado de compactación ligera ya que nada nos garantiza que en la elaboración de un concreto permeable se pueda obtener la compactación adecuada, debido a la poca difusión del modo de compactación y la falta de otras maquinarias capaces de compactar este tipo de concreto.

Se resalta, además, que el número de capas y golpes por capa en la compactación del concreto permeable está definido en el apartado 4.2.2 (Compactación de un concreto permeable).

De acuerdo con el tipo de compactación aplicado y el porcentaje de vacíos, se puede obtener el porcentaje de pasta a partir de la figura #3, el cual es:



% Pasta inicial=	22 %
------------------	------

* **Cuando el agregado fino es usado:** el volumen de pasta se ve reducido en 2% por cada 10% de agregado fino del total de agregado calculado para un concreto permeable bien compactado y en un 1% por cada 10% del agregado fino.

Como se está utilizando un 10% de agregado fino del volumen total de agregados, y el tipo de compactación aplicado es "Ligeramente compactado", debemos reducir en 1% el volumen de pasta obtenido de la figura #3.

% Pasta final=	21 %
----------------	------

Partiendo de la siguiente ecuación expresado con la relación agua/cemento, tenemos:

$$V_p = \frac{c}{\gamma_c} + \frac{c * (\frac{a}{c})}{\gamma_a}$$

Donde:

-) Vp: Volumen de pasta (%).
-) c: Peso del cemento por m3 de mezcla (kg).
-) a: Peso del agua por m3 de mezcla (kg).
-) γc: Peso específico del cemento (kg/m3).
-) γa: Peso específico del agua (kg/m3).

De la tabla N°23 y N°24, se presentan los siguientes valores correspondientes a la densidad del cemento y la densidad del agua.

$$\begin{aligned} \gamma_c &= 3040 \text{ kg/m}^3 \\ \gamma_a &= 1000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Reemplazando el volumen de pasta final y la relación agua/cemento en la ecuación anterior tenemos:

$$\begin{aligned} 0.21 &= \frac{c}{3040} + \frac{c * 0.35}{1000} \\ 0.21 &= 0.000329 * c + 0.000350 * c \end{aligned}$$

Dando como resultado:

$$\begin{aligned} C &= 309.30 \text{ kg} \\ a &= 108.26 \text{ Lts} \end{aligned}$$

Paso VI: Volúmenes absolutos por m3 de concreto y Condiciones Secas.

A) Volúmenes absolutos por m3 de concreto.

C =	$\frac{309.30 \text{ kg}}{3040 \text{ kg/m}^3}$	=	0.102 m3 de concreto
Agua =	$\frac{108 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}$	=	0.108 m3 de concreto
Aire =	$\frac{20}{100}$	=	0.200 m3 de concreto
	$\sum total =$		0.410 m3 de concreto

PARCIAL

Como el total es 1m3 concreto tenemos:

$$AG(\text{Grueso}) + \text{PARCIAL} = 1$$

$$AG(\text{GRUESO}) = 0.590 \text{ m3 de concreto}$$

Considerando solo EL 10% del porcentaje de agregado fino tenemos:

$$Ag. (\text{Fino}) = 0.059 \text{ m3 de concreto}$$

Resultando el agregado grueso corregido:

$$Ag. (\text{Grueso}) = 0.531 \text{ m3 de concreto}$$

Ahora obteniendo el P.SECO. Ag. Fino:

$$P. \text{ SECO. Ag. Fino} = Ag. (\text{Fino}) \times PEM$$

P. SECO. Ag. Fino=	0.059	x	2662
P. SECO. Ag. Fino=	157.06		kg/m3

Ahora obteniendo el P.SECO. Ag. Grueso:

$$P. \text{ SECO. Ag. Grueso} = Ag. (\text{Grueso}) \times PEM$$

P. SECO. Ag. Grueso=	0.531	x	2735
P. SECO. Ag. Grueso=	1452.29		kg/m3

B) Condiciones Secas.

P. SECO. Ag. Fino=	157.06	kg/m3 concreto
P. SECO. Ag. Grueso=	1452.29	kg/m3 concreto
Agua=	108	lts
C=	309.30	kg
	7.28	bls/m3

Paso VII: Corrección por Humedad, Absorción y Aporte de Agua Efectiva

A) Corrección de humedad

$$PESO \text{ HÚMEDO AGREGADO} = PH = PS(1 + \%H)$$

P.H.(Fino)=	158.36	kg/m3 concreto
P.H.(Grueso)=	1457.22	kg/m3 concreto

B) Corrección por Absorción y Aporte de Agua Efectiva

$$\text{APORTE} = \text{AP} = \text{PS}(\%H - \%A)$$

Ap.(Fino)=	0.03	lts	
Ap.(Grueso)=	-0.44	lts	
Ap(TOTAL)=	-0.40	lts	
A. EFECTIVA=	A.DISEÑO-AP(TOTAL)		
A. EFECTIVA=	108.26	-	-0.40
A. EFECTIVA=	108.66	lts	

Paso VIII: Diseño de Mezcla por Condiciones Húmedas

P. HÚMEDO. Ag. Fino=	158.36	kg/m3 concreto
P. HÚMEDO. Ag. Grueso=	1457.22	kg/m3 concreto
AGUA=	108.66	lts
C=	309.30	kg
	7.28	bls/m3

Nueva relación agua -cemento

a/c=	0.351	lts/bls
------	--------------	---------

Paso IX: Dosificación en Peso

$$(C: \text{AG.Fino}: \text{AG.Grueso}) / (\text{AGUA})$$

1	0.51	4.71	0.35	lts/bls
----------	-------------	-------------	-------------	----------------

Paso X: Materiales para 1 probeta cilíndrica (Sin considerar desperdicio)

Materiales para 1 probeta de 6"x12" (15x30cm)

Volumen de probeta= 0.0053 m3

Usamos el paso VIII (Condiciones Húmedas)

C=	0.0053	x	309.30	=	1639.75 gr
AG. Fino=	0.0053	x	158.36	=	839.54 gr
AG. Grueso=	0.0053	x	1457.22	=	7725.38 gr
AGUA=	0.0053	x	108.66	=	576.05 mL

Materiales para 1 testigo -Slump 0"	
CEMENTO	1639.75 gr
AG.FINO	839.54 gr
AG.GRUESO	7725.38 gr
AGUA	576.05 mL

4.2.9.2. Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 10% DE PVM)

Para los diseños de mezcla con la sustitución de puzolana de vidrio molido (0.15mm) por metro cúbico de cemento por tanda, se repiten los pasos del 1 al 5 del diseño de mezcla anterior, por lo que a partir de este reemplazo porcentual se inicia desde el paso 6.

Paso VI: Volúmenes absolutos por m³ de concreto, Condiciones Secas y reemplazo porcentual del Vidrio por Cemento.

A) Volúmenes absolutos por m³ de concreto.

$$\begin{array}{rcl}
 C = & \frac{278.37 \text{ kg}}{3040 \text{ kg/m}^3} & = 0.092 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\
 \text{Agua} = & \frac{108 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} & = 0.108 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\
 \text{PVM 10\%} = & \frac{30.93 \text{ kg}}{2620.10 \text{ kg/m}^3} & = 0.012 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\
 \text{Aire} = & \frac{20}{100} & = 0.200 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\
 \sum \text{total} = & & \boxed{0.412 \text{ m}^3 \text{ de concreto}} \\
 & & \text{PARCIAL}
 \end{array}$$

Como el total es 1m³ concreto tenemos:

$$\text{AG(Grueso)} + \text{PARCIAL} = 1 \\
 \text{AG(GRUESO)} = \boxed{0.588 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Considerando solo EL 10% del porcentaje de agregado fino tenemos:

$$\text{Ag. (Fino)} = \boxed{0.059 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Resultando el agregado grueso corregido:

$$\text{Ag. (Grueso)} = \boxed{0.530 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Ahora obteniendo el P.SECCO. Ag. Fino:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{P. SECCO. Ag. Fino} & = & \text{Ag. (Fino)} \times \text{PEM} \\
 \text{P. SECCO. Ag. Fino} & = & 0.059 \times 2662 \\
 \text{P. SECCO. Ag. Fino} & = & \boxed{156.62 \text{ kg/m}^3}
 \end{array}$$

Ahora obteniendo el P.SECCO. Ag. Grueso:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{P. SECCO. Ag. Grueso} & = & \text{Ag. (Grueso)} \times \text{PEM} \\
 \text{P. SECCO. Ag. Grueso} & = & 0.530 \times 2735 \\
 \text{P. SECCO. Ag. Grueso} & = & \boxed{1448.27 \text{ kg/m}^3}
 \end{array}$$

B) Condiciones Secas.

P. SECCO. Ag. Fino=	156.62	kg/m ³ concreto
P. SECCO. Ag. Grueso=	1448.27	kg/m ³ concreto
Agua=	108	lts
PVM 10%=	30.93	kg
	0.73	bls/m ³
C=	309.30	kg
	7.28	bls/m ³

Paso VII: Corrección por Humedad, Absorción y Aporte de Agua Efectiva

A) Corrección de humedad

$$\text{PESO HÚMEDO AGREGADO} = PH = PS(1 + \%H)$$

P.H.(Fino)=	157.92	kg/m ³ concreto
P.H.(Grueso)=	1453.20	kg/m ³ concreto

B) Corrección por Absorción y Aporte de Agua Efectiva

$$\text{APORTE} = AP = PS(\%H - \%A)$$

Ap.(Fino)=	0.03	lts	
Ap.(Grueso)=	-0.43	lts	
Ap(TOTAL)=	-0.40	lts	
A. EFECTIVA=	A.DISEÑO-AP(TOTAL)		
A. EFECTIVA=	108.26	-	-0.40
A. EFECTIVA=	108.66	lts	

Paso VIII: Diseño de Mezcla por Condiciones Húmedas

P. HÚMEDO. Ag. Fino=	157.92	kg/m3 concreto
P. HÚMEDO. Ag. Grueso=	1453.20	kg/m3 concreto
AGUA=	108.66	lts
PVM 10%=	30.93	kg
	0.73	bls/m3
C=	278.37	kg
	7.28	bls/m3

Nueva relación agua -cemento

$$a/c = 0.351 \quad \text{lts/bls}$$

(El vidrio y el cemento trabajan como uno solo)

Paso IX: Dosificación en Peso

$$(C : AG.Fino : AG.Grueso : PVM) / (AGUA)$$

1	0.57	5.22	0.11	0.35	lts/bls
----------	-------------	-------------	-------------	-------------	---------

Paso X: Materiales para 1 probeta cilíndrica (Sin considerar desperdicio)

Materiales para 1 probeta de 6"x12" (15x30cm)

$$\text{Volumen de probeta} = 0.0053 \text{ m}^3$$

Usamos el paso VIII (Condiciones Húmedas)

C=	0.0053	x	278.37	=	1475.77 gr
AG. Fino=	0.0053	x	157.92	=	837.22 gr
AG. Grueso=	0.0053	x	1453.20	=	7704.03 gr
PVM 10%=	0.0053	x	30.93	=	163.97 gr
AGUA=	0.0053	x	108.66	=	576.05 mL

Materiales para 1 testigo -Slump 0"	
CEMENTO	1475.77 gr
AG.FINO	837.22 gr
AG.GRUESO	7704.03 gr
PVM 10%	163.97 gr
AGUA	576.05 mL

4.2.9.3. Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 15% DE PVM)

Para los diseños de mezcla con la sustitución de puzolana de vidrio molido (0.15mm) por metro cúbico de cemento por tanda, se repiten los pasos del 1 al 5 del diseño de mezcla anterior, por lo que a partir de este reemplazo porcentual se inicia desde el paso 6.

Paso VI: Volúmenes absolutos por m³ de concreto, Condiciones Secas y reemplazo porcentual del Vidrio por Cemento.

A) Volúmenes absolutos por m³ de concreto.

C =	$\frac{262.91 \text{ kg}}{3040 \text{ kg/m}^3}$	=	0.086 m ³ de concreto
Agua =	$\frac{108 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}$	=	0.108 m ³ de concreto
PVM 15% =	$\frac{46.40 \text{ kg}}{2620.10 \text{ kg/m}^3}$	=	0.018 m³ de concreto
Aire =	$\frac{20}{100}$	=	0.200 m ³ de concreto
	$\sum \text{total} =$		0.412 m ³ de concreto PARCIAL

Como el total es 1m³ concreto tenemos:

$$\text{AG(Grueso)} + \text{PARCIAL} = 1$$

$$\text{AG(GRUESO)} = \boxed{0.588 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Considerando solo EL 10% del porcentaje de agregado fino tenemos:

$$\text{Ag. (Fino)} = \boxed{0.059 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Resultando el agregado grueso corregido:

$$\text{Ag. (Grueso)} = \boxed{0.529 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Ahora obteniendo el P.SECCO. Ag. Fino:

$$\text{P. SECCO. Ag. Fino} = \text{Ag. (Fino)} \times \text{PEM}$$

P. SECCO. Ag. Fino=	0.059	x	2662
P. SECCO. Ag. Fino=	156.41		kg/m³

Ahora obteniendo el P.SECCO. Ag. Grueso:

$$\text{P. SECCO. Ag. Grueso} = \text{Ag. (Grueso)} \times \text{PEM}$$

P. SECCO. Ag. Grueso=	0.529	x	2735
P. SECCO. Ag. Grueso=	1446.26		kg/m³

B) Condiciones Secas.

P. SECCO. Ag. Fino=	156.41	kg/m ³ concreto
P. SECCO. Ag. Grueso=	1446.26	kg/m ³ concreto
Agua=	108	lts
PVM 15%=	46.40	kg
	1.09	bls/m ³
C=	309.30	kg
	7.28	bls/m ³

Paso VII: Corrección por Humedad, Absorción y Aporte de Agua Efectiva

A) Corrección de humedad

$$\text{PESO HÚMEDO AGREGADO} = PH = PS(1 + \%H)$$

P.H.(Fino)=	157.71	kg/m ³ concreto
P.H.(Grueso)=	1451.18	kg/m ³ concreto

B) Corrección por Absorción y Aporte de Agua Efectiva

$$APORTE=AP = PS(\%H - \%A)$$

Ap.(Fino)=	0.03 lts
Ap.(Grueso)=	<u>-0.43 lts</u>
Ap(TOTAL)=	-0.40 lts

A. EFECTIVA=	A.DISEÑO-AP(TOTAL)	
A. EFECTIVA=	108.26	-
A. EFECTIVA=	108.66 lts	-0.40

Paso VIII: Diseño de Mezcla por Condiciones Húmedas

P. HÚMEDO. Ag. Fino=	157.71	kg/m3 concreto
P. HÚMEDO. Ag. Grueso=	1451.18	kg/m3 concreto
AGUA=	108.66	lts
PVM 15%=	46.40	kg
	1.09	bls/m3
C=	262.91	kg
	7.28	bls/m3

Nueva relación agua -cemento

$$a/c= 0.351 \quad \text{lts/bls}$$

(El vidrio y el cemento trabajan como uno solo)

Paso IX: Dosificación en Peso

$$(C : AG.Fino : AG.Grueso : PVM) / (AGUA)$$

1	0.60	5.52	0.18	0.35	lts/bls
----------	-------------	-------------	-------------	-------------	----------------

Paso X: Materiales para 1 probeta cilíndrica (Sin considerar desperdicio)

Materiales para 1 probeta de 6"x12" (15x30cm)

$$\text{Volumen de probeta} = 0.0053 \text{ m}^3$$

Usamos el paso VIII (Condiciones Húmedas)

C=	0.0053	x	262.91	=	1393.78 gr
AG. Fino=	0.0053	x	157.71	=	836.06 gr
AG. Grueso=	0.0053	x	1451.18	=	7693.35 gr
PVM 15%=	0.0053	x	46.40	=	245.96 gr
AGUA=	0.0053	x	108.66	=	576.05 mL

Materiales para 1 testigo -Slump 0"	
CEMENTO	1393.78 gr
AG.FINO	836.06 gr
AG.GRUESO	7693.35 gr
PVM 15%	245.96 gr
AGUA	576.05 mL

4.2.9.4. Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 30% DE PVM)

Para los diseños de mezcla con la sustitución de puzolana de vidrio molido (0.15mm) por metro cúbico de cemento por tanda, se repiten los pasos del 1 al 5 del diseño de mezcla anterior, por lo que a partir de este reemplazo porcentual se inicia desde el paso 6.

Paso VI: Volúmenes absolutos por m³ de concreto, Condiciones Secas y reemplazo porcentual del Vidrio por Cemento.

A) Volúmenes absolutos por m³ de concreto.

C =	$\frac{216.51 \text{ kg}}{3040 \text{ kg/m}^3}$	=	0.071 m ³ de concreto
Agua =	$\frac{108 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}$	=	0.108 m ³ de concreto
PVM 30% =	$\frac{92.79 \text{ kg}}{2620.10 \text{ kg/m}^3}$	=	0.035 m³ de concreto
Aire =	$\frac{20}{100}$	=	0.200 m ³ de concreto
	$\sum total =$		0.415 m ³ de concreto PARCIAL

Como el total es 1m³ concreto tenemos:

$$AG(\text{Grueso}) + \text{PARCIAL} = 1$$

$$AG(\text{GRUESO}) = \boxed{0.585 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Considerando solo EL 10% del porcentaje de agregado fino tenemos:

$$Ag. (\text{Fino}) = \boxed{0.059 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Resultando el agregado grueso corregido:

$$Ag. (\text{Grueso}) = \boxed{0.527 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Ahora obteniendo el P.SECCO. Ag. Fino:

$$P. \text{ SECCO. Ag. Fino} = Ag. (\text{Fino}) \times PEM$$

P. SECCO. Ag. Fino=	0.059	x	2662
P. SECCO. Ag. Fino=		155.76	kg/m³

Ahora obteniendo el P.SECCO. Ag. Grueso:

$$P. \text{ SECCO. Ag. Grueso} = Ag. (\text{Grueso}) \times PEM$$

P. SECCO. Ag. Grueso=	0.527	x	2735
P. SECCO. Ag. Grueso=		1440.24	kg/m³

B) Condiciones Secas.

P. SECCO. Ag. Fino=	155.76	kg/m ³ concreto
P. SECCO. Ag. Grueso=	1440.24	kg/m ³ concreto
Agua=	108	lts
PVM 30% =	92.79	kg
	2.18	bls/m ³
C=	309.30	kg
	7.28	bls/m ³

Paso VII: Corrección por Humedad, Absorción y Aporte de Agua Efectiva

A) Corrección de humedad

$$PESO \text{ HÚMEDO AGREGADO} = PH = PS(1 + \%H)$$

P.H.(Fino)=	157.05	kg/m ³ concreto
P.H.(Grueso)=	1445.14	kg/m ³ concreto

B) Corrección por Absorción y Aporte de Agua Efectiva

$$APORTE=AP = PS(\%H - \%A)$$

Ap.(Fino)=	0.03 lts
Ap.(Grueso)=	<u>-0.43</u> lts
Ap(TOTAL)=	-0.40 lts

A. EFECTIVA=	A.DISEÑO-AP(TOTAL)	
A. EFECTIVA=	108.26	-
A. EFECTIVA=	108.66 lts	-0.40

Paso VIII: Diseño de Mezcla por Condiciones Húmedas

P. HÚMEDO. Ag. Fino=	157.05	kg/m3 concreto
P. HÚMEDO. Ag. Grueso=	1445.14	kg/m3 concreto
AGUA=	108.66	lts
PVM 30% =	92.79	kg
	2.18	bls/m3
C=	216.51	kg
	7.28	bls/m3

Nueva relación agua -cemento

$$a/c= \mathbf{0.351} \quad \text{lts/bls}$$

(El vidrio y el cemento trabajan como uno solo)

Paso IX: Dosificación en Peso

$$(C : AG.Fino : AG.Grueso : PVM) / (AGUA)$$

1	0.73	6.67	0.43	0.35	lts/bls
----------	-------------	-------------	-------------	-------------	----------------

Paso X: Materiales para 1 probeta cilíndrica (Sin considerar desperdicio)

Materiales para 1 probeta de 6"x12" (15x30cm)

$$\text{Volumen de probeta} = 0.0053 \text{ m}^3$$

Usamos el paso VIII (Condiciones Húmedas)

C=	0.0053	x	216.51	=	1147.82 gr
AG. Fino=	0.0053	x	157.05	=	832.58 gr
AG. Grueso=	0.0053	x	1445.14	=	7661.32 gr
PVM 30% =	0.0053	x	92.79	=	491.92 gr
AGUA=	0.0053	x	108.66	=	576.04 mL

Materiales para 1 testigo -Slump 0"	
CEMENTO	1147.82 gr
AG.FINO	832.58 gr
AG.GRUESO	7661.32 gr
PVM 30%	491.92 gr
AGUA	576.04 mL

4.2.9.5. Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 1% DE PVM)

Para los diseños de mezcla con la sustitución de puzolana de vidrio molido (0.15mm) por metro cúbico de cemento por tanda, se repiten los pasos del 1 al 5 del diseño de mezcla anterior, por lo que a partir de este reemplazo porcentual se inicia desde el paso 6.

Paso VI: Volúmenes absolutos por m³ de concreto, Condiciones Secas y reemplazo porcentual del Vidrio por Cemento.

A) Volúmenes absolutos por m³ de concreto.

$$\begin{array}{rcl}
 C = & \frac{306.21 \text{ kg}}{3040 \text{ kg/m}^3} & = 0.101 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\
 \text{Agua} = & \frac{108 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} & = 0.108 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\
 \text{PVM 1\%} = & \frac{3.09 \text{ kg}}{2620.10 \text{ kg/m}^3} & = 0.001 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\
 \text{Aire} = & \frac{20}{100} & = 0.200 \text{ m}^3 \text{ de concreto} \\
 \sum \text{ total} = & & \boxed{0.410 \text{ m}^3 \text{ de concreto}} \\
 & & \text{PARCIAL}
 \end{array}$$

Como el total es 1m³ concreto tenemos:

$$\text{AG(Gruoso)} + \text{PARCIAL} = 1 \\
 \text{AG(GRUOSO)} = \boxed{0.590 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Considerando solo EL 10% del porcentaje de agregado fino tenemos:

$$\text{Ag. (Fino)} = \boxed{0.059 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Resultando el agregado grueso corregido:

$$\text{Ag. (Gruoso)} = \boxed{0.531 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Ahora obteniendo el P.SECO. Ag. Fino:

$$\begin{array}{rcl}
 & \text{P. SECO. Ag. Fino} = \text{Ag. (Fino)} \times \text{PEM} & \\
 \text{P. SECO. Ag. Fino} = & 0.059 & \times & 2662 \\
 \hline
 \text{P. SECO. Ag. Fino} = & 157.01 & \text{kg/m}^3 &
 \end{array}$$

Ahora obteniendo el P.SECO. Ag. Gruoso:

$$\begin{array}{rcl}
 & \text{P. SECO. Ag. Gruoso} = \text{Ag. (Gruoso)} \times \text{PEM} & \\
 \text{P. SECO. Ag. Gruoso} = & 0.531 & \times & 2735 \\
 \hline
 \text{P. SECO. Ag. Gruoso} = & 1451.88 & \text{kg/m}^3 &
 \end{array}$$

B) Condiciones Secas.

P. SECO. Ag. Fino=	157.01	kg/m ³ concreto
P. SECO. Ag. Gruoso=	1451.88	kg/m ³ concreto
Agua=	108	lts
PVM 1% =	3.09	kg
	0.07	bls/m ³
C=	309.30	kg
	7.28	bls/m ³

Paso VII: Corrección por Humedad, Absorción y Aporte de Agua Efectiva

A) Corrección de humedad

$$\text{PESO HÚMEDO AGREGADO} = PH = PS(1 + \%H)$$

P.H.(Fino)=	158.32	kg/m ³ concreto
P.H.(Gruoso)=	1456.82	kg/m ³ concreto

B) Corrección por Absorción y Aporte de Agua Efectiva

$$\text{APORTE} = \text{AP} = \text{PS}(\%H - \%A)$$

Ap.(Fino)=	0.03 lts
Ap.(Grueso)=	<u>-0.44</u> lts
Ap(TOTAL)=	-0.40 lts

A. EFECTIVA=	A.DISEÑO-AP(TOTAL)	
A. EFECTIVA=	108.26	-
A. EFECTIVA=	108.66 lts	-0.40

Paso VIII: Diseño de Mezcla por Condiciones Húmedas

P. HÚMEDO. Ag. Fino=	158.32	kg/m ³ concreto
P. HÚMEDO. Ag. Grueso=	1456.82	kg/m ³ concreto
AGUA=	108.66	lts
PVM 1% =	3.09	kg
	0.07	bls/m ³
C=	306.21	kg
	7.28	bls/m ³

Nueva relación agua -cemento

$$\text{a/c} = \mathbf{0.351} \quad \text{lts/bls}$$

(El vidrio y el cemento trabajan como uno solo)

Paso IX: Dosificación en Peso

$$(C: \text{AG.Fino}: \text{AG.Grueso}: \text{PVM}) / (\text{AGUA})$$

1	0.52	4.76	0.01	0.35	lts/bls
----------	-------------	-------------	-------------	-------------	---------

Paso X: Materiales para 1 probeta cilíndrica (Sin considerar desperdicio)

Materiales para 1 probeta de 6"x12" (15x30cm)

$$\text{Volumen de probeta} = 0.0053 \text{ m}^3$$

Usamos el paso VIII (Condiciones Húmedas)

C=	0.0053	x	306.21	=	1623.35 gr
AG. Fino=	0.0053	x	158.32	=	839.31 gr
AG. Grueso=	0.0053	x	1456.82	=	7723.24 gr
PVM 1% =	0.0053	x	3.09	=	16.40 gr
AGUA=	0.0053	x	108.66	=	576.05 mL

Materiales para 1 testigo -Slump 0"	
CEMENTO	1623.35 gr
AG.FINO	839.31 gr
AG.GRUESO	7723.24 gr
PVM 1%	16.40 gr
AGUA	576.05 mL

4.2.9.6. Diseño de Mezcla (HUSO NO. 67 – 2% DE PVM)

Para los diseños de mezcla con la sustitución de puzolana de vidrio molido (0.15mm) por metro cúbico de cemento por tanda, se repiten los pasos del 1 al 5 del diseño de mezcla anterior, por lo que a partir de este reemplazo porcentual se inicia desde el paso 6.

Paso VI: Volúmenes absolutos por m³ de concreto, Condiciones Secas y reemplazo porcentual del Vidrio por Cemento.

A) Volúmenes absolutos por m³ de concreto.

C =	$\frac{303.12 \text{ kg}}{3040 \text{ kg/m}^3}$	=	0.100 m ³ de concreto
Agua =	$\frac{108 \text{ lt/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}$	=	0.108 m ³ de concreto
PVM 2% =	$\frac{6.19 \text{ kg}}{2620.10 \text{ kg/m}^3}$	=	0.002 m³ de concreto
Aire =	$\frac{20}{100}$	=	0.200 m ³ de concreto
	$\sum total =$		0.410 m ³ de concreto PARCIAL

Como el total es 1m³ concreto tenemos:

$$AG(\text{Grueso}) + \text{PARCIAL} = 1$$

$$AG(\text{GRUESO}) = \boxed{0.590 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Considerando solo EL 10% del porcentaje de agregado fino tenemos:

$$Ag. (\text{Fino}) = \boxed{0.059 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Resultando el agregado grueso corregido:

$$Ag. (\text{Grueso}) = \boxed{0.531 \text{ m}^3 \text{ de concreto}}$$

Ahora obteniendo el P.SECO. Ag. Fino:

$$P. \text{ SECO. Ag. Fino} = Ag. (\text{Fino}) \times PEM$$

P. SECO. Ag. Fino=	0.059	x	2662	
P. SECO. Ag. Fino=	156.97		kg/m³	

Ahora obteniendo el P.SECO. Ag. Grueso:

$$P. \text{ SECO. Ag. Grueso} = Ag. (\text{Grueso}) \times PEM$$

P. SECO. Ag. Grueso=	0.531	x	2735	
P. SECO. Ag. Grueso=	1451.48		kg/m³	

B) Condiciones Secas.

P. SECO. Ag. Fino=	156.97	kg/m ³ concreto
P. SECO. Ag. Grueso=	1451.48	kg/m ³ concreto
Agua=	108	lts
PVM 2%=	6.19	kg
	0.15	bls/m ³
C=	309.30	kg
	7.28	bls/m ³

Paso VII: Corrección por Humedad, Absorción y Aporte de Agua Efectiva

A) Corrección de humedad

$$PESO \text{ HÚMEDO AGREGADO} = PH = PS(1 + \%H)$$

P.H.(Fino)=	158.27	kg/m³ concreto
P.H.(Grueso)=	1456.42	kg/m³ concreto

B) Corrección por Absorción y Aporte de Agua Efectiva

$$\text{APORTE} = AP = PS(\%H - \%A)$$

Ap.(Fino)=	0.03 lts
Ap.(Grueso)=	-0.44 lts
Ap(TOTAL)=	-0.40 lts

A. EFECTIVA=	A.DISEÑO-AP(TOTAL)	
A. EFECTIVA=	108.26	-
A. EFECTIVA=	108.66 lts	-0.40

Paso VIII: Diseño de Mezcla por Condiciones Húmedas

P. HÚMEDO. Ag. Fino=	158.27	kg/m3 concreto
P. HÚMEDO. Ag. Grueso=	1456.42	kg/m3 concreto
AGUA=	108.66	lts
PVM 2% =	6.19	kg
	0.15	bls/m3
C=	303.12	kg
	7.28	bls/m3

Nueva relación agua -cemento

$$a/c = 0.351 \quad \text{lts/bls}$$

(El vidrio y el cemento trabajan como uno solo)

Paso IX: Dosificación en Peso

$$(C : AG. Fino : AG. Grueso : PVM) / (AGUA)$$

1	0.52	4.80	0.02	0.35	lts/bls
----------	-------------	-------------	-------------	-------------	----------------

Paso X: Materiales para 1 probeta cilíndrica (Sin considerar desperdicio)

Materiales para 1 probeta de 6"x12" (15x30cm)

$$\text{Volumen de probeta} = 0.0053 \text{ m}^3$$

Usamos el paso VIII (Condiciones Húmedas)

C=	0.0053	x	303.12	=	1606.95 gr
AG. Fino=	0.0053	x	158.27	=	839.08 gr
AG. Grueso=	0.0053	x	1456.42	=	7721.11 gr
PVM 2% =	0.0053	x	6.19	=	32.79 gr
AGUA=	0.0053	x	108.66	=	576.05 mL

Materiales para 1 testigo -Slump 0"	
CEMENTO	1606.95 gr
AG.FINO	839.08 gr
AG.GRUESO	7721.11 gr
PVM 2%	32.79 gr
AGUA	576.05 mL

4.2.10. Resumen de los Diseños de Mezcla de un Concreto Permeable

Culminado el diseño de mezcla paso a paso, se presenta la síntesis de los materiales por tanda de concreto permeable a usar por cada porcentaje de sustitución de puzolana de vidrio (0.15mm) y los materiales requeridos para una probeta de 6"x12" sin consideración de desperdicio.

Además, se procedió a resumir los parámetros iniciales externos, usados para el diseño de mezcla de un concreto permeable como también los datos obtenidos a partir de estos detallado en las siguientes tablas:

INDICADOR / SUSTITUCIÓN DE PUZOLANA	HUSO N°67 (CURVA NORMALIZADA)
PARÁMETROS INICIALES	0, 10, 15, 30, 1 y 2% PVM
Intensidad de lluvia de diseño (mm/hra)	91.6
PARÁMETROS EXTERNOS	0, 10, 15, 30, 1 y 2% PVM
Fuerza de Compresión Referencial (kg/cm ²)	150
Relación Agua/Cemento	0.35
Tipo de compactación	Ligeramente Compactado
Agregado Fino del total de agregados (%)	10
PARÁMETROS OBTENIDOS	0, 10, 15, 30, 1 y 2% PVM
Vacíos Teórico (%)	20
Volumen de pasta Final (%)	21

Fundamento: Elaboración propia.

Tabla N°28: Síntesis de los Parámetros Iniciales, Externos y Obtenidos de cada Grupo de Prueba.

CONDICIÓN / HUSO GRANULOMÉTRICO	HUSO N°67 (CURVA NORMALIZADA)					
	DISEÑO HÚMEDO	0% PVM	10% PVM	15% PVM	30% PVM	1% PVM
Cemento I MS (kg/m ³)	309.30	278.37	262.91	216.51	306.21	303.12
Agua (Lts/m ³)	108.66	108.66	108.66	108.66	108.66	108.66
Ag. Grueso (kg/m ³)	1457.22	1453.20	1451.18	1445.14	1456.82	1456.42
Ag. Fino (kg/m ³)	158.36	157.92	157.71	157.05	158.32	158.27
Puzolana de Vidrio - 0.15mm (kg/m ³)	-	30.93	46.40	92.79	3.09	6.19
Total (kg/m³)	2033.55	2029.08	2026.85	2020.15	2033.10	2032.65

Fundamento: Elaboración propia.

Tabla N°29: Síntesis de los materiales por tanda por metro cúbico de concreto de cada Grupo de Prueba.

CONDICIÓN / HUSO GRANULOMÉTRICO	HUSO N°67 (CURVA NORMALIZADA)					
	DISEÑO HÚMEDO	0% PVM	10% PVM	15% PVM	30% PVM	1% PVM
Cemento I MS (gr)	1639.75	1475.77	1393.78	1147.82	1623.35	1606.95
Agua (mL)	576.05	576.05	576.05	576.04	576.05	576.05
Ag. Grueso (gr)	7725.38	7704.03	7693.35	7661.32	7723.24	7721.11
Ag. Fino (gr)	839.54	837.22	836.06	832.58	839.31	839.08
Puzolana de Vidrio - 0.15mm (gr)	-	163.97	245.96	491.92	16.40	32.79
Total (gr)	10780.72	10757.04	10745.21	10709.69	10778.35	10775.99

Fundamento: Elaboración propia.

Tabla N°30: Síntesis de los materiales de Cada Grupo de Prueba para una muestra cilíndrica de 6"x12" sin desperdicio.

4.3. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Siguiendo con el proceso de la elaboración de las muestras de concreto permeable, se presenta en la siguiente tabla el resumen de los ensayos del Concreto Fresco realizados, en concordancia con su respectiva Norma Técnica Peruana y su Variante ASTM.

# De Ensayo	Nombre del Ensayo	Norma	
		NTP	ASTM
1	Medición del Asentamiento del Concreto Fresco con el Cono de Abrams	339.035	C143
2	Determinación de la Temperatura de mezclas de concreto	339.184	C1064
3	Determinación de Densidad y el Contenido de Vacíos del Concreto Permeable Fresco	339.230	C1688
4	Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en el Laboratorio	339.183	C192

Fundamento: Propia

Tabla N°31: Ensayos del Concreto en estado Fresco con su respectiva NTP y ASTM.

4.3.1. Medición del Asentamiento del Concreto Fresco con el Cono de Abrams - (NTP 339.035)

a) Definición

El siguiente ensayo tiene como finalidad determinar el asentamiento o comúnmente llamado “Slump” del concreto en estado fresco. [44]

Con este ensayo se busca determinar y a la vez corroborar el asentamiento o slump cero del concreto permeable.

b) Equipos y herramientas

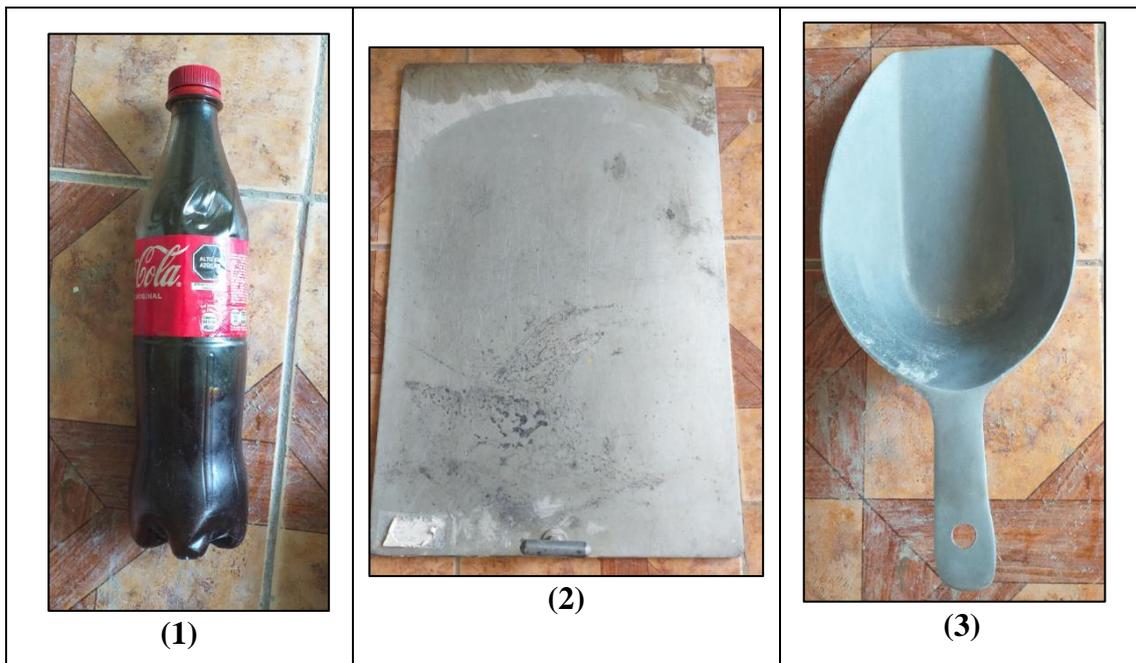
- ✓ Molde de metal no adherente con la pasta de cemento también conocidos como Cono de Abrams, deben tener un espesor mínimo de 1.5 mm. El molde debe tener forma de cono truncado, con un diámetro inferior de 20 cm (8 pulgadas), un diámetro superior de 10 cm (pulgadas) y una altura de 30 cm (12 pulgadas). Las tolerancias para el diámetro y la altura deben estar dentro de ± 3 cm y el interior debe ser relativamente liso y libre de protuberancias.

- ✓ Martillo de Próctor estándar de 5.5lb, con altura de caída de 12" libre de suciedad en la punta.
- ✓ Fondo metálico.
- ✓ Cucharón.
- ✓ Varilla de Acero Liso semiesférica de 5/8" de diámetro y 24" de longitud.
- ✓ Flexómetro de una longitud de al menos 1 metros, o de mayor longitud.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #90: Cono de Abrams.

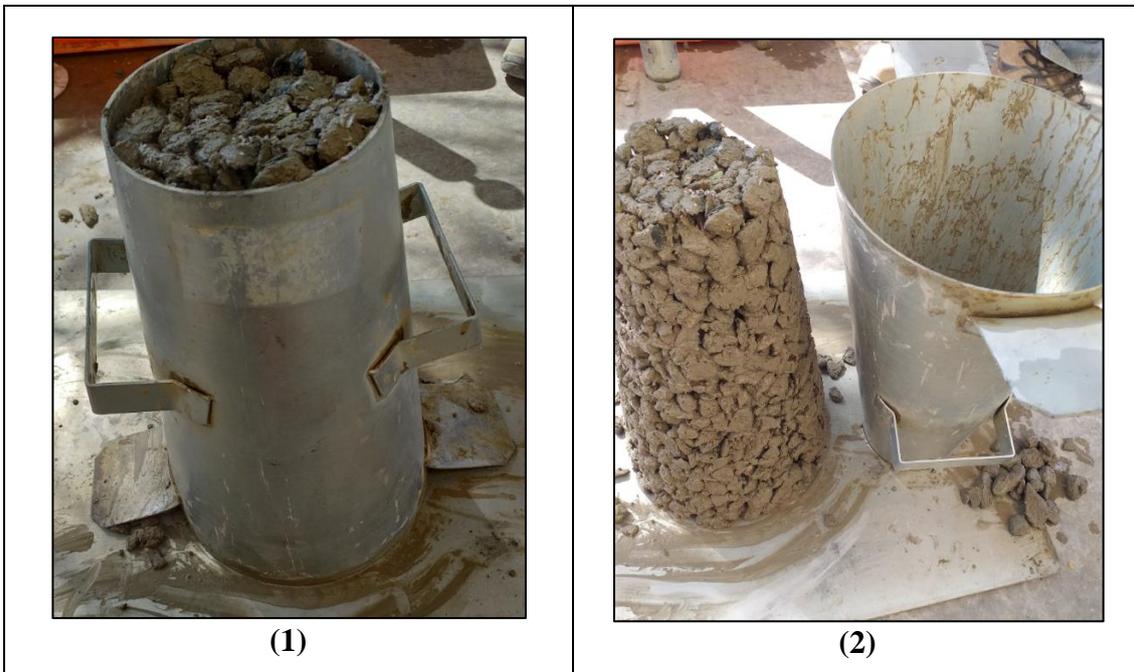


Fuente: Elaboración propia

Ilustración #91: (1) Grasa, (2) Fondo metálico y (3) Cucharón.

c) Procedimiento

- ✓ Engrase la superficie interna del cono Abrams para evitar que el concreto se pegue y humedezca la punta o la base de un martillo Proctor estándar para que al compactarse no se cree una masa de cemento atrapada en el interior.
- ✓ Fondo de una superficie plana de metal.
- ✓ Asegure el cono a la base o superficie con ambos pies en las aletas para que no se mueva mientras se llena.
- ✓ Vertimos concreto en la tercera parte del cono y compactamos la tercera capa en 15 golpes con un martillo Proctor estándar. La compactación se realiza en espiral y mantiene la fuerza con cada compactación.
- ✓ Repita el paso anterior para las dos capas restantes.
- ✓ Levante lentamente el cono verticalmente con movimientos en zigzag para aflojar suavemente la masa interna del cono de Abrams.
- ✓ Colocamos la varilla horizontalmente sobre el cono invertido para simular la superficie perpendicular a la inferior y medir.
- ✓ Medimos la distancia entre la altura del molde y el centro de la cara superior del concreto, al $\frac{1}{4}$ " o ($\frac{1}{2}$ cm) más cercano.
- ✓ El tiempo máximo de repetición debe ser de 2 minutos y medio.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #92: (1) Llenado Completo del Cono de Abrams, (2) Desmoldado del Cono y posterior medición



Slump 0" – Diseño de Mezcla con 0% PVM



Slump 1/2" – Diseño de Mezcla con 10% PVM



Slump 1/2" – Diseño de Mezcla con 15% PVM



Slump 0" – Diseño de Mezcla con 30% PVM

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #93: Medición del asentamiento de las muestras con 0%, 10%, 15% y 30% PVM



Proceso de homogenización de los materiales por tanda en la mezcla con 0% PVM



Proceso de homogenización de los materiales por tanda en la mezcla con 10% PVM



Proceso de homogenización de los materiales por tanda en la mezcla con 15% PVM



Proceso de homogenización de los materiales por tanda en la mezcla con 30% PVM



Proceso de homogenización de los materiales de la mezcla con 1% PVM



Proceso de homogenización de los materiales de la mezcla con 2% PVM

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #94: Homogenización de las mezclas con 0%, 10%, 15%, 30%, 1% y 2% de PVM

4.3.2. Determinación de la Temperatura de las Mezclas de Concreto – (NTP 339.184)

a) Definición

El siguiente ensayo tiene como finalidad determinar la temperatura del concreto en estado fresco. La importancia de este ensayo es uno de los modos que describe la norma para la aceptación del concreto. [45]

b) Equipo y herramientas

- ✓ Contenedor o recipiente: Estos deben estar hechos de material impermeable para evitar que el agua se filtre fuera de la mezcla de concreto. Sus dimensiones deberán permitir cubrir 7,5 cm en todas direcciones alrededor del termómetro con el que se mide la temperatura.
- ✓ Termómetro digital: Tiene un rango de operación de -50°C a 300°C , generando una temperatura con un cambio de 0.5°C , además debe permitir la inmersión en el concreto de por lo menos unos $5 \pm 2\text{cm}$.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #95: Termómetro digital

c) Procedimiento

- ✓ Una vez preparada la muestra de concreto sobre el recipiente o molde no absorbente, en un tiempo no máximo de 5 minutos se procede e insertar el termómetro el cual debe estar recubierto en todas sus direcciones en unos $5 \pm 2\text{cm}$ del mismo.
- ✓ Se debe procurar cerrar el contorno del termómetro o escoger una zona de inmersión donde se visualice que el termómetro esté ocultado unos $5 \pm 2\text{cm}$ dentro de la muestra, con la finalidad de evitar que la temperatura afecte la lectura de esta.

- ✓ Una vez inmerso correctamente esperamos unos 2 minutos aproximadamente o hasta que el termómetro se estabilice y podamos tomar la lectura.

	
<p>Temperatura de muestra con 0% PVM</p>	<p>Temperatura de muestra con 10% PVM</p>
	
<p>Temperatura de muestra con 15% PVM</p>	<p>Temperatura de muestra con 30% PVM</p>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #96: Temperatura de las muestras con 0%, 10%, 15% y 30% PVM

4.3.3. Determinación de Densidad y el Contenido de Vacíos del Concreto Permeable Fresco – (NTP 339.230)

a) Definición

La siguiente norma proporciona los pasos para determinar la deformación por vacío y la densidad del concreto permeable recién preparado con agregados con un tamaño máximo nominal inferior a 2,5 cm. Los datos obtenidos por esta prueba son la base para verificar las relaciones obtenidas durante el diseño de la mezcla. Sin embargo, los datos obtenidos por esta prueba varían según el método de consolidación utilizado. [46]

b) Equipos y herramientas

- ✓ Balanza de 30kg.
- ✓ Martillo de Próctor estándar con altura de caída de 12 pulgadas y masa de 5.5lb.
- ✓ Molde de acero u otro material impermeable con una capacidad mínima de 7 litros y una relación diámetro/altura de 0,75 a 1,25.
- ✓ Plancha plana rectangular más larga y ancha que el diámetro del recipiente contenedor en la que se utilizará con la finalidad de enrasar la muestra.
- ✓ Un cucharón para el muestreo representativo para evitar derrame de concreto durante el vertido.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #97: Martillo de Próctor Estándar.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #98: Molde impermeable de PVC y plancha metálica.

c) Procedimiento

- ✓ Se determina el peso del recipiente o molde impermeable.
- ✓ El concreto permeable es vaciado y compactado según las capas que se calcularon en el inciso 4.2.2.3 y 4.2.2.4 con el fin de comparar con mayor exactitud la densidad y contenido de vacíos en estado endurecido.
- ✓ Se enrasa la superficie del molde con la plancha metálica y se procede a pesar.

Peso de los Moldes Impermeables de PVC	Peso del Molde + Concreto	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #99: Peso de Molde y Peso de Molde con concreto permeable.

d) Cálculos

$$D = \frac{M_{r+c} - M_r}{V_r}$$

Fundamento: [46]

Ecuación #6: Densidad del Concreto Permeable Fresco

Donde:

- M_{r+c} : Masa del recipiente más concreto (kg).
- M_r : Masa del recipiente (kg).
- V_r : Volumen del recipiente (m³).
- D : Densidad del concreto permeable (kg/m³).

$$T = \frac{M_{T.conc.}}{V_{T.Conc.}}$$

Fundamento: [46]

Ecuación #7: Densidad Teórica del Concreto Permeable Fresco

Donde:

- $M_{T.Conc.}$: Masa total de todos los componentes del concreto permeable (kg).
- $V_{T.Conc.}$: Volumen total de todos los materiales del concreto permeable (m³).
- T : Densidad Teórica del concreto permeable (kg/m³).

$$U = \frac{T - D}{T}$$

Fundamento: [46]

Ecuación #8: Contenido de Vacíos Teórico del Concreto Permeable

Donde:

- T : Densidad Teórica del concreto permeable (kg/m³).
- D : Densidad del concreto permeable (kg/m³).
- U : Contenido de Vacíos Teórico (%).

4.3.4. Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto en Laboratorio – (NTP 339.183)

a) Definición

El siguiente ensayo tiene como finalidad establecer los procedimientos para elaborar y curar especímenes cilíndricos, prismáticos en sus diferentes dimensiones de muestras representativas de concreto. [41]

Se elaboraron especímenes con moldes cilíndricos de 6” de diámetro o 15cm con 12” de alto o 30cm, para la determinación de la resistencia a la compresión, tasa de infiltración y contenido de vacíos como se describe en la **Tabla #7** de esta investigación.

b) Equipos y herramientas

- ✓ Moldes cilíndricos impermeables de PVC o de acero, con 15cm de ancho y 30cm de alto.
- ✓ Aceite quemado o grasa para los moldes.
- ✓ Balanza de 30kg para peso de materiales.
- ✓ Trompo giratorio con capacidad de 130 litros; potencia de 0.8 Hp; diámetro de entrada del tambor de 14.5 pulgadas y velocidad de rotación del tambor de 35 giros/minuto.
- ✓ Probeta de plástico gradada en un Litro para el agua.
- ✓ Varilla de acero liso con punta semiesférica de 5/8” de diámetro y 24” de longitud para enrasar y/o nivelar.
- ✓ Martillo de Próctor Estándar de 5.5 lb de peso y altura de caída de 12 pulgadas.
- ✓ Materiales pesados para cada tanda de Diseño descrito en el **capítulo 4.2.9**.
- ✓ Cucharón.
- ✓ Guantes para obra.
- ✓ Guardapolvo.
- ✓ Calzado de seguridad.



Molde Impermeable de PVC Marrón y Anaranjado



Trompo giratorio de 130 Litros y 0.8Hp



Ag. Fino, Ag. Grueso, Cemento y PVM pesados para cada tanda de Diseño



Vidrio Molido de 0.15mm a utilizar en la elaboración del Diseño de las Muestras

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #100: Moldes, Trompo, Materiales por tanda pesados y PVM de 0.15mm

c) Procedimiento

Elaboración de los Especímenes

- ✓ Antes de aplicar la grasa, debemos asegurarnos de que los moldes y sus fondos estén limpios y sin protuberancias.
- ✓ Lubrique las superficies internas de los moldes con aceite quemado o grasa o un desmoldeante para evitar que el concreto se adhiera a ellos y facilitar la separación de las muestras.
- ✓ Colocar el molde sobre una superficie horizontal, lisa, dura, libre de vibraciones.
- ✓ Se vacía concreto en las probetas cilíndricas hasta 1/3 del molde y se compacta la capa con un martillo Proctor estándar como se indica en el capítulo 4.2.2.3 y 4.2.2.4, repartidas por toda la superficie en forma de espiral y manteniendo la misma intensidad en cada pasada.
- ✓ Repetimos los pasos anteriores hasta llenar cada probeta.
- ✓ Si hay exceso de concreto en la superficie superior de la muestra, alisamos con la varilla para un mejor acabado.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #101: Engrasado de los Moldes impermeables de PVM



Moldes cilíndricos de 6"x12" con concreto permeable – Diseño con 0%PVM



Moldes cilíndricos de 6"x12" con concreto permeable – Diseño con 10%PVM



Moldes cilíndricos de 6"x12" con concreto permeable – Diseño con 15%PVM



Moldes cilíndricos de 6"x12" con concreto permeable – Diseño con 30%PVM



Moldes cilíndricos de 6"x12" con concreto permeable – Diseño con 1 y 2%PVM

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #102: Muestras de Concreto permeable con los diseños de 0, 10, 15, 30, 1 y 2% de PVM

Curado de los Especímenes

- ✓ Los especímenes o muestras de concreto permeable una vez terminados de elaborarlos, deben ser colocados y cuidados durante un aproximado de 18 a 24 horas, en un ambiente donde no sea afectada por fuerzas externas que impidan su mal fraguado para su posterior desencofrado.
- ✓ Una vez desmoldado se sugiere colocar un etiquetado a cada muestra para poder llevar un control y orden bien sistematizado, debido a que son muchas muestras con diferentes porcentajes de puzolana de vidrio.
- ✓ Se procede a sumergirlos en una poza, piscina o tinas de curado con una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- ✓ El control de los tiempos de los ensayos del concreto en estado endurecido se contabiliza desde la fecha en la que han sido sumergidos.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #103: Etiquetado de las Muestras de Concreto permeable.



Primeros especímenes en las tinas de curado



Especímenes en la piscina de curado

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #104: Curado de las Muestras de Concreto permeable.

4.4. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

En esta etapa de la investigación se presenta la Tabla N°32, que contiene el resumen de los ensayos del Concreto en Estado Endurecido realizados en concordancia con su respectiva Norma Técnica Peruana y su Variante ASTM.

# De Ensayo	Nombre del Ensayo	Norma	
		NTP	ASTM
1	Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en Especímenes Cilíndricos	339.034	C39
2	Ensayo de la Tasa de Infiltración	ACI 522R-10	
3	Determinación de la Densidad y el Contenido de Vacíos del Concreto Permeable en estado Endurecido	339.238	C1754

Fundamento: Propia

Tabla N°32: Ensayos del Concreto en estado Endurecido con su respectiva NTP y ASTM.

4.4.1. Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en Especímenes Cilíndricos – (NTP 339.034)

a) Definición

El siguiente ensayo tiene como finalidad determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. [40]

b) Equipos y herramientas

- ✓ Prensa hidráulica calibrada.
- ✓ Platos de retención que contienen en su interior almohadillas de neopreno.
- ✓ Cartones cortados en forma de círculo, con diámetro de 15cm y espesor de medio centímetro aproximadamente. La finalidad de estos cartones es para no dañar una de las bases de la almohadilla de neopreno, ya que la muestra por ser un concreto permeable, presenta picos pequeños sobresalientes que pueden quedar incrustados en el neopreno.
- ✓ Muestras cilíndricas de concreto permeable.
- ✓ Vernier para la medición precisa de cada muestra de concreto.

	
<p align="center">Prensa Hidráulica Digital</p>	<p align="center">Vernier</p>
	
<p align="center">Carton para cara superior de la muestra</p>	<p align="center">Platos de retención con sus almohadillas de neopreno respectivas</p>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #105: Instrumentos para el Ensayo de Compresión de las muestras

c) Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes

Por lo general el ensayo a compresión se debe hacer inmediatamente después de haber sido extraídas de las pozas de curado (tina y piscina en este caso) evitando la pérdida de humedad.

Edad de ensayo	Tolerancia
24 horas	± 0.5 horas o 2.10%
3 días	± 2.0 horas o 2.28%
7 días	± 6.0 horas o 3.60%
14 días	± 14.0 horas o 3.40%
21 días	± 15.3 horas o 3.20%
28 días	± 20 horas o 3.00%
90 días	± 2 días o 2.20%

Fundamento: Propia

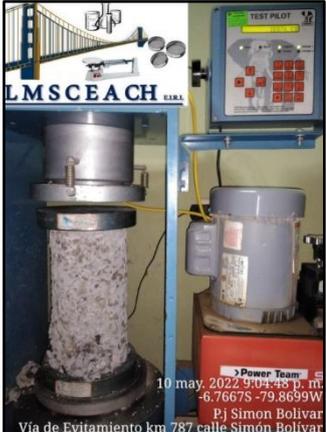
Tabla N°33: Tolerancias de edad de Ensayo de los Especímenes evaluados por Compresión

d) Procedimiento

- ✓ Las probetas para evaluar por ensayo de compresión en su respectiva fecha de rotura (7, 21, 28 días), debe ser removida de las pozas de curado para su secado, respetando las tolerancias permitidas según la normatividad como se detalla en la Tabla #33.
- ✓ Con el vernier tomamos 2 medidas del diámetro de la muestra a ensayar y trabajamos con el promedio.
- ✓ Antes de encender la prensa nos aseguramos que esté con todos sus cables bien colocados, y verificamos que el indicador esté en cero.
- ✓ Colocamos el primer platillo de retención en el extremo inferior de la muestra instalado en la prensa hidráulica.
- ✓ El molde de cartón lo ubicamos encima del extremo superior de la muestra, donde será tapada con el segundo platillo de retención.
- ✓ Se enciende la máquina y nos aseguramos de que la aplicación de la carga este en un rango de 0.25 Mpa/segundo hasta alcanzar la capacidad máxima de carga del espécimen cilíndrico.
- ✓ Registramos la carga máxima de rotura en kilogramos.
- ✓ Se procede a dividir la carga máxima en kilogramos, entre el área de contacto de la muestra (cm²).

A continuación, se detallan las roturas de las muestras con mayor carga máxima de cada diseño.

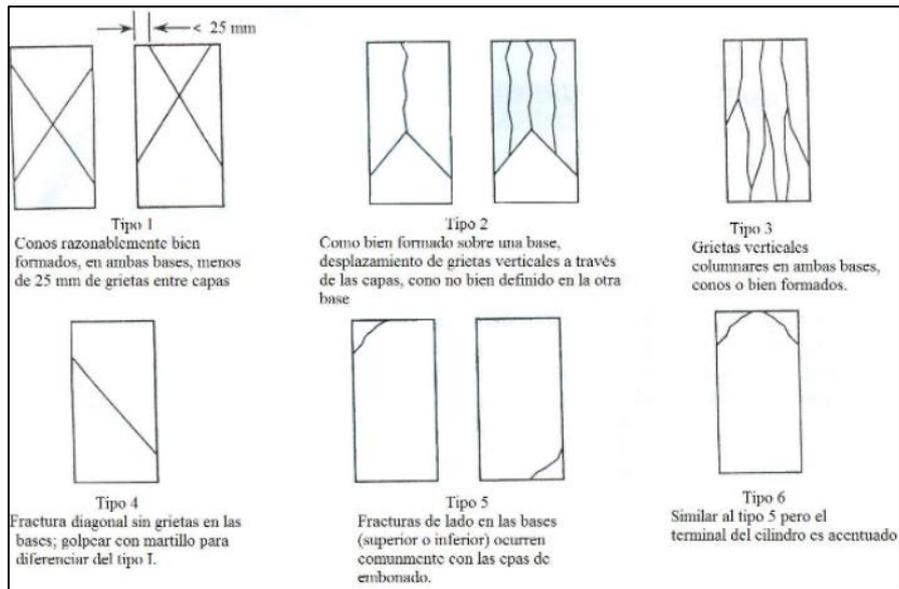
 <p>24 abr. 2022 7:08:49 p. m. 221 Calle Simón Bolívar Pj Simon Bolivar Chiclayo Lambayeque Laboratorio Mecánica de Suelos, Concreto y Emulsiones</p>	 <p>8 may. 2022 3:03:25 p. m. 17M 624882 9251906 Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>	 <p>15 may. 2022 5:19:57 p. m. -6.7668S -79.8699W Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>
<p>Rotura a los 7 días una muestra con 0%PVM</p>	<p>Rotura a los 21 días una muestra con 0%PVM</p>	<p>Rotura a los 28 días una muestra con 0%PVM</p>
 <p>24 abr. 2022 6:40:01 p. m. 205 Calle Simón Bolívar Pj Simon Bolivar Chiclayo Lambayeque Laboratorio Mecánica de Suelos, Concreto y Emulsiones</p>	 <p>8 may. 2022 3:28:51 p. m. 17M 624899 9251899 Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>	 <p>22 may. 2022 8:08:32 p. m. 17M 624889 9251884 Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>
<p>Rotura a los 7 días una muestra con 10%PVM</p>	<p>Rotura a los 21 días una muestra con 10%PVM</p>	<p>Rotura a los 28 días una muestra con 15%PVM</p>
 <p>17 may. 2022 8:47:45 p. m. -6.7666S -79.8699W Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>	 <p>15 may. 2022 5:57:16 p. m. -6.7666S -79.8700W Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>	 <p>22 may. 2022 7:43:45 p. m. 17M 624886 9251896 Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>
<p>Rotura a los 7 días una muestra con 15%PVM</p>	<p>Rotura a los 21 días una muestra con 15%PVM</p>	<p>Rotura a los 28 días una muestra con 30%PVM</p>

 <p>6 may. 2022 7:36:23 p. m. 17M 624877 9251910 Laboratorio Mecánica de Suelos, Concreto y Emulsiones.</p>	 <p>20 may. 2022 3:00:20 p. m. -6.7667S -79.8700W Pj Simon Bolivar calle Simón Bolívar</p>	
<p>Rotura a los 7 días una muestra con 30%PVM</p>	<p>Rotura a los 21 días una muestra con 30%PVM</p>	<p>Rotura a los 28 días una muestra con 30%PVM</p>
 <p>10 may. 2022 1:18:31 p. m. -6.7668S -79.8699W Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>	 <p>25 may. 2022 12:06:45 a. m. 17M 624884 9251901 Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>	
<p>Rotura a los 7 días una muestra con 1%PVM</p>	<p>Rotura a los 21 días una muestra con 1%PVM</p>	<p>Rotura a los 28 días una muestra con 1%PVM</p>
 <p>10 may. 2022 9:04:48 p. m. -6.7667S -79.8699W Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>	 <p>25 may. 2022 12:24:16 a. m. 17M 624894 9251899 Pj Simon Bolivar Vía de Evitamiento km 787 calle Simón Bolívar</p>	
<p>Rotura a los 7 días una muestra con 2%PVM</p>	<p>Rotura a los 21 días una muestra con 2%PVM</p>	<p>Rotura a los 28 días una muestra con 2%PVM</p>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #106: Ensayo de compresión de los especímenes

e) Tipos de Falla de los especímenes ensayados a compresión



Fuente: [40]

Ilustración #107: Tipos de falla de Muestras de Concreto Ensayadas a Compresión



Falla Columnar y Cono – M.#03 - 7 días de 0%PVM



Fractura diagonal y de lado – M#06 – 21 días de 0% PVM



**Fracturas de Lado – M.#08 - 28 días de
0%PVM**



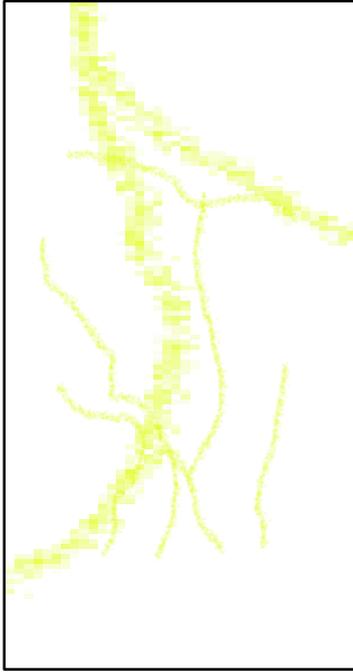
**Falla columnar – M#15 – 7 días de
10% PVM**



**Fractura Diagonal – M.#17 - 21 días de
10%PVM**



**Fractura de Lado – M.#20 - 28 días de
10%PVM**



**Falla Columnar, fractura de lado y
fractura diagonal – M.#26 - 7 días de
15%PVM**



**Falla Columnar – M#29 – 21 días de
15% PVM**



**Falla Columnar y de Cono – M.#32 -
28 días de 15%PVM**



**Falla Columnar – M.#38 - 7 días de
30%PVM**



**Fractura de Lado – M.#40 - 21 días de
30%PVM**



**Fractura de Cono – M#45 – 28 días de
30% PVM**



**Fractura de Cono y de Lado – M.#49 -
7 días de 1%PVM**



**Fractura de Cono– M.#52 - 21 días de
1%PVM**



**Falla de Lado, Columnar y Diagonal–
M.#55 - 28 días de 1%PVM**



**Falla de Lado – M#62 – 7 días de 2%
PVM**



**Falla Columnar y de Cono – M.#66 -
21 días de 2%PVM**



**Falla Columnar – M.#69- 28 días de
2%PVM**

Fuente: Elaboración propia

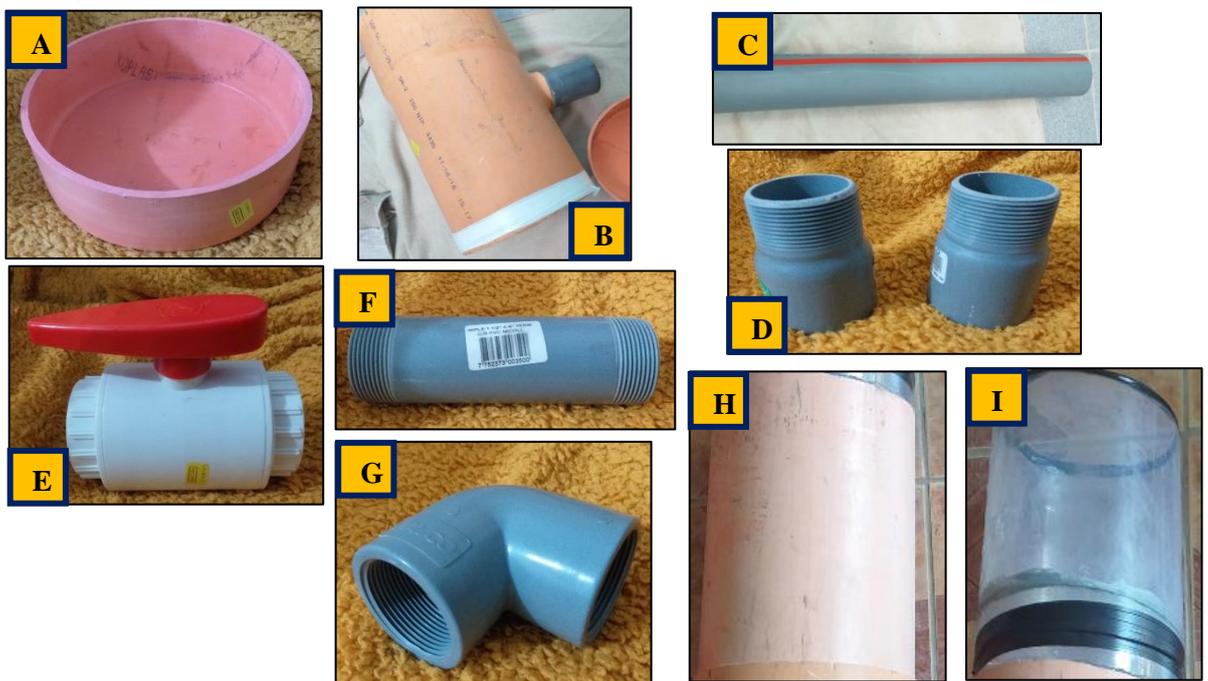
Ilustración #108: Identificación de los tipos de falla de los especímenes evaluados por compresión.

4.4.2. Ensayo de la Tasa de Percolación o infiltración (ACI 522R-10)

a) Definición

El siguiente ensayo tiene como finalidad determinar la tasa de infiltración de especímenes de concreto permeable a través del permeámetro de carga variable, verificando posteriormente si cumple con los parámetros definidos por el ACI 522R-10. [19]

b) Materiales empleados en la elaboración del permeámetro de carga variable.

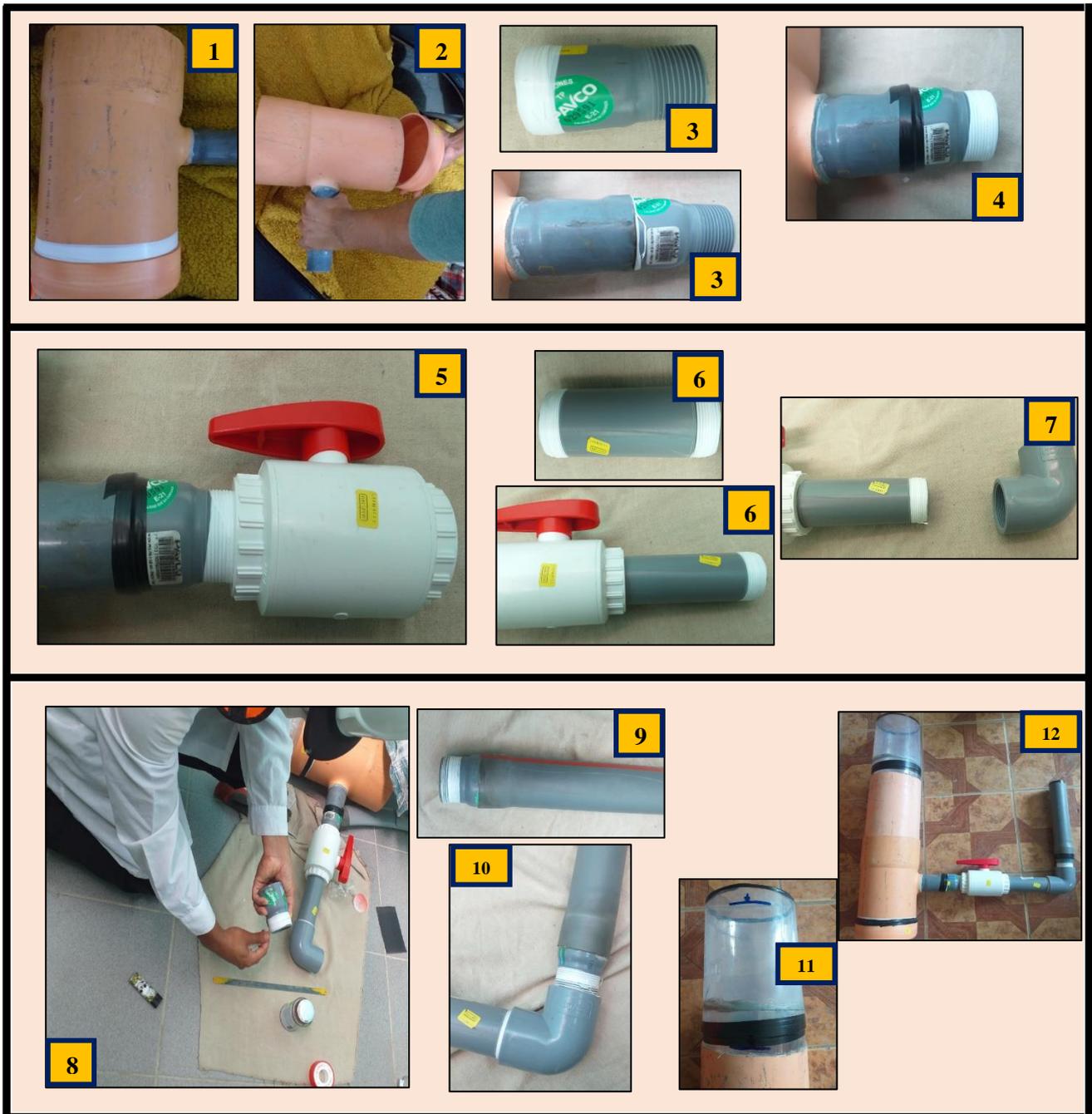


Fuente: Elaboración propia

Ilustración #109: Materiales empleados en la elaboración del permeámetro de carga variable

Nota: (A) Tapón de 6" (x1); (B) Tee de 6" a 2" entrada a presión (x1); (C) Tubo de 2" agua de 50cm o 60cm (x1); (D) Adaptador de 2" a 1 1/2" con entrada a presión y rosca tipo macho en la salida (x2); (E) Válvula de globo de 1 1/2" de entrada tipo hembra roscado en ambos extremos (x1); (F) Nipple de 1 1/2"x6" con rosca tipo macho en ambos extremos (x1); (G) Codo de 90° roscado en ambos lados con entrada tipo hembra (x1); (H) Tubo de 6" de desagüe de longitud de 30cm (x1); (I) Tubo de plástico casero (x1).

c) Proceso constructivo del Permeámetro de Carga Variable



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #110: Proceso constructivo del Permeámetro de Carga Variable

- ✚ **Paso #1:** El tapón de 6" se coloca pegamento o soldadura de PVC y a la tee de 6" a 2" se le forra con cinta teflón. La entrada de la tee de 6" tiene una abertura más ancha equivalente a 6.12".
- ✚ **Paso #2:** Se conecta la Tee de 6" a 2" con entrada a presión con el tapón de 6".

- ✚ **Paso #3:** La adaptación para la entrada de la tee de 2" se hizo con una adaptación chiza, colocando un tubo de 2" a presión, posteriormente se conectará con un adaptador de 2" a 1 1/2", con entrada a presión y rosca tipo macho en la salida.
- ✚ **Paso #4:** El adaptador de 2" a 1 1/2" se forra con cinta teflón en ambos extremos y dentro de la tubería chiza de 2" se le coloca pegamento de PVC. Posterior a esto se sella con cinta aislante negra.
- ✚ **Paso #5:** El adaptador de 2" a 1 1/2" se conecta su otro extremo de 1 1/2" con una válvula de globo de 1 1/2" de entrada tipo hembra roscado en ambos extremos.
- ✚ **Paso #6:** La válvula globo de 1 1/2" se conectará con un nipple de 1 1/2"x6" con rosca tipo macho en ambos extremos. Los extremos del nipple son forrados con cinta teflón.
- ✚ **Paso #7:** El extremo restante del nipple de 1 1/2"x6" se conectará a un codo de 90° roscado en ambos lados con entrada tipo hembra.
- ✚ **Paso #8:** Conectado el codo de 90°, se idealizará la salida del agua para nivelación con la entrada del circuito, con la finalidad de que cumpla la función de vasos comunicantes, por ello se adaptó un tubo de 2" a un adaptador de 2" a 1 1/2".
- ✚ **Paso #9:** Adaptador de 2" a 1 1/2" conectado con una tubería de 2" de aproximadamente 40cm mediante presión y pegamento de pvc.
- ✚ **Paso #10:** Adaptación realizada en el paso #9 terminada y posterior forrado con cinta aislante.
- ✚ **Paso #11:** Tubo de 6" de desagüe de longitud de 30cm aproximadamente, conectado a un tubo de plástico; la entrada de este último se realizó con presión hacia la tubería de 6". El sellado de ambas uniones se realizó minuciosamente con pegamento pvc, silicona y soldimix en conjunto para evitar cualquier tipo de fuga. Finalmente se selló con cinta teflón y cinta aislante encima de esta. Se resalta además que la conexión de esta tubería en conjunto, con el circuito anterior terminado hasta el paso #10 tiene entrada a **presión como se muestra en la tee de 6" a 2" del paso #1.**
- ✚ **Paso #12:** Circuito final terminado, gradado en el tubo de desagüe y plástico y posterior Nivel de Referencia colocado.

d) Procedimiento del ensayo de permeabilidad

	
<p>PASO 1: Las muestras a los 28 días de curado se procedieron ensayar, tomando sus medidas de diámetro promedio y longitud promedio de todas las muestras, y posterior cubrimiento con celofán para simular un flujo de caída simple.</p>	<p>PASO 2: Colocación de la muestra dentro del permeámetro de carga variable. Verificar que el permeámetro se encuentre nivelado correctamente.</p>
	
<p>PASO 3: Colocación del tubo de 6" de desagüe y plástico unidos y posterior marcación con medición del Nivel de Referencia, nivel de carga y nivel de descarga.</p>	<p>PASO 4: Vaciado del agua dentro del permeámetro con válvula globo cerrada.</p>
	
<p>PASO 5: Ya lleno al nivel de carga, se abre la válvula de globo y se empieza a contabilizar el tiempo a llegar al nivel de carga.</p>	<p>PASO 6: Retiro de las muestras ya ensayadas e el permeámetro para posterior ensayo de contenido de vacíos.</p>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #111: Proceso constructivo del Permeámetro de Carga Variable

e) Cálculos

Coeficiente de Permeabilidad

$$K = \frac{L \times a}{t \times A} * \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$$

Fundamento: [15]

Ecuación #9: Coeficiente de Permeabilidad o Conductividad Hidráulica

Donde:

- L: Longitud promedio de 3 medidas en una misma muestra (cm).
- a: Área de la tubería de carga o tubería de ensayo (cm²).
- A: Área de la muestra (con el diámetro promedio de dos lecturas en la base superior y 2 lecturas en la base inferior de cada muestra) (cm²).
- h1: Altura de carga antes del ensayo (cm).
- h2: Altura de descargar después del ensayo (cm).
- t: Tiempo de transición de h1 a h2 (seg.).
- K: Coeficiente de Permeabilidad (cm/s).

4.4.3. Determinación de la Densidad y el Contenido de Vacíos del Concreto Permeable en estado Endurecido – (NTP 339.238)

a) Definición

El siguiente ensayo tiene como finalidad determinar la densidad y el contenido de vacíos de especímenes de concreto permeable en estado endurecido.
[47]

b) Consideraciones de la Norma

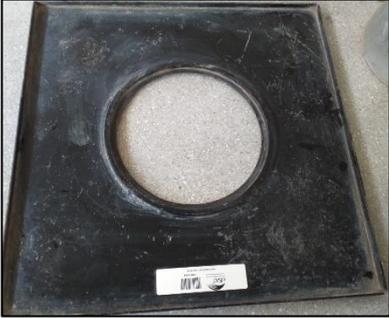
La Norma Técnica Peruana NTP 339.238 presenta algunas consideraciones que se deben de cumplir antes de realizar el ensayo, las cuales son:

- Esta prueba se aplica solo a mezclas de concreto permeable que contienen agregado grueso con un tamaño nominal máximo de 25 mm (1 pulgada) o menores.
- Este método de prueba es aplicable cilindros moldeados de concreto permeable como también a núcleos de especímenes.
- La densidad y el contenido de vacíos determinados por otros métodos de prueba pueden producir valores numéricos diferentes que pueden no ser comparables.
- Este método de prueba permite seleccionar uno de dos métodos de secado diferentes. Se debe considerar lo siguiente al elegir el método de secado A o B.
- **El método de secado A, que usa baja temperatura para determinar la masa seca constante de una muestra absorbente, usando una masa seca constante puede tomar hasta una semana o más.**
- **El método de secado B, usa temperaturas mucho más altas y, por lo tanto, se logra una masa seca constante a una velocidad mucho más rápida.**
- Las probetas del método de ensayo B no deben utilizarse para determinar otras propiedades del concreto permeable.

- Si es necesario determinar otras propiedades físicas de la muestra, como la resistencia o la permeabilidad, se utilizará el método de secado A para el ensayo.
- El método de prueba B puede producir una densidad correspondientemente más baja y, por lo tanto, un mayor contenido de vacíos en comparación con el método de secado A. Los resultados de los dos métodos de prueba deben tratarse por separado y no deben combinarse.
- Se ha demostrado que las pruebas repetidas de la misma muestra con el método de secado A producen resultados diferentes.

c) Equipos y herramientas

- ✓ Vernier.
- ✓ Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de $38^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ para el Método de secado “A” y de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ para el Método de secado “B”.
- ✓ Balanza de 30 kilogramos y canastilla enmallada.
- ✓ Plataforma de acero inoxidable o base de la balanza con un agujero en el centro para poder colocar el gancho de bajo pesada.
- ✓ Gancho de balanza para bajo pesada.
- ✓ Poza con su respectivo tapón, con unas dimensiones de ancho, largo y altura para poder sumergir la muestra y esta quede suspendida sin error alguno de fuga de agua por parte de la poza.
- ✓ Termómetro digital, el cual tiene un rango de operación de -50°C a 300°C , generando una temperatura con un cambio de 0.5°C .
- ✓ Mazo de caucho o martillo de goma pequeño de 0.6kg.

	
<p>Horno Graduado a $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($110 \text{ }^\circ\text{C}$)</p>	<p>Plataforma de acero inoxidable</p>
	
<p>Balanza de 30kg</p>	<p>Gancho de Balanza para bajopesada</p>
	
<p>Canastilla enmallada</p>	<p>Poza con su tapón, para sumergir muestras</p>
	
<p>Termómetro</p>	<p>Martillo de goma de 0.6kg</p>

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #112: Instrumentos utilizados en el ensayo de Contenido de Vacíos del Concreto Permeable Endurecido

d) Procedimiento

- ✓ Determinamos la longitud promedio de 3 medidas en una sola muestra cilíndrica con el uso del vernier.
- ✓ Determinamos el diámetro promedio de 4 medidas tomadas en una sola muestra cilíndrica (2 de la base superior y 2 la base inferior).
- ✓ Determinación de la masa seca constante de la probeta. Procedemos a secar la muestra utilizando uno de los dos métodos siguientes:
- ✓ **Método de secado A:** la muestra se seca en un horno a 38 ± 3 °C durante 24 ± 1 h. Luego se retira del horno y se determina la masa. Se regresa la muestra al horno por 24 ± 1 h y determine la masa nuevamente. Repita este procedimiento en incrementos de durante 24h hasta que la diferencia entre las siguientes dos determinaciones de masa sea inferior al $\pm 0,5$ %. La nomenclatura para registrar de esta masa seca es con la letra A.
- ✓ **Método de secado B:** la probeta se seca en un horno a 110 ± 5 °C durante 24 ± 1 h. Permita que la muestra se enfríe al aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 h o hasta que la Muestra se haya enfriado a una temperatura de procesamiento óptima (aproximadamente 50 °C) y determine su masa. Regresar la muestra al horno por dos horas y volver a tomar su peso después del tiempo de enfriamiento. Repita este procedimiento en incrementos de dos horas hasta que la diferencia entre las dos determinaciones de masa sea inferior a $\pm 0,5$ %. La nomenclatura para registrar de esta masa seca es con la letra A.
- ✓ Antes de sumergir la muestra, se prepara la canastilla enmallada, la cual debe estar unida a un gancho de acero conectado a la balanza. El gancho de bajopesada se conecta a la balanza mediante una entrada de tipo macho roscado, el cual solo con girar el gancho en la entrada de la balanza se adapta.
- ✓ Se prepara además la posa de sumersión de agua, el cual para poder llenarla a una altura de 55cm aproximadamente se procede a usar su tapón y abrir la llave.
- ✓ Una vez preparada la canastilla enmallada, la balanza con su gancho de bajopesada y la posa de sumersión, con ayuda de algunos elementos que brinden estabilidad y altura al ensayo, se procede a colocar la bandeja de

acero inoxidable y encima de esta la balanza con su gancho de bajopesada nivelada correctamente.

- ✓ Sumergimos primero la canastilla enmallada en la posa para determinar su peso sumergido correspondiente.
- ✓ Sumergimos la muestra de ensayo dentro de la canastilla en la posa y la dejamos reposar verticalmente durante 20 minutos aproximadamente, con la finalidad de que la muestra a ensayar se oxigene del todo en su interior.
- ✓ Con el martillo de goma, se golpea la muestra unas 10 veces mientras está bajo el agua, sumergiendo el mazo completamente en el agua para liberar burbujas de aire. Giramos la muestra ligeramente después de cada golpe de manera que sea distribuido uniformemente.
- ✓ Después de realizar los golpes, medimos la temperatura del agua en el cual se encuentra el conjunto sumergido.
- ✓ Realizados los pasos anteriores se procede a tomar lectura del peso sumergido en conjunto con una aproximación de 0.5 gramos.
- ✓ En los cálculos, restaremos el peso de la canastilla sumergida para así obtener “El peso de la Masa Sumergida”.



Diámetro promedio.



Longitud promedio.



Muestras húmedas colocadas al horno por 24 horas.



M#10 - M#11 - M#12

Retiro del horno y peso de muestras secas.



Desnivel armado con ayuda de otros instrumentos; nivelación y colocación del gancho de balanza.



Peso de la canastilla sumergida.



Calculo el tamaño del accesorio adicional al gancho; probeta sumergida y oxigenación de esta; peso de probeta sumergida con accesorio al gancho; toma de temperatura del conjunto.



Muestra #10 – Muestra #11 - Muestra #12

Peso de las muestras sumergidas + canastilla.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración #113: Procedimiento del Ensayo de Contenido de Vacíos del Concreto Permeable Endurecido

e) Cálculos

Densidad en Estado Endurecido

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \frac{K * C}{D^2 * L}$$

Fundamento: [62]

Ecuación #10: Densidad en Estado Endurecido

Donde:

- L: Longitud promedio de 3 medidas en una misma muestra (mm).
- A: Masa en seco de la muestra (gr).
- D: Diámetro de la muestra (con el promedio de dos lecturas en la base superior y 2 lecturas en la base inferior de cada muestra) (mm).
- K: valor adimensional de 1'274,240.

Contenido de Vacíos en Estado Endurecido

$$\text{Contenido de Vacíos (\%)} = \left[1 - \left(\frac{K \times (A - B)}{\delta_w \times L \times D^2} \right) \right] \times 100$$

Fundamento: [62]

Ecuación #11: Contenido de Vacíos en Estado Endurecido

Donde:

- B: Masa sumergida de la muestra (gr).
- δ_w : Densidad del agua a la temperatura de la poza (kg/m³).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis del Slump obtenido en las muestras

Se realizó el asentamiento por diseño (12 testigos), con ayuda del Cono de Abrams, obteniéndose los siguientes resultados.

% DE MUESTRA	NUMERACIÓN DE DESTIGOS	IDENTIFICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	SLUMP (CM)
0% PVM	#1 al #12	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 0% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	17/04/2022	0
10% PVM	#13 al #24	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 10% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	17/04/2022	1.27
15% PVM	#25 al #36	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 15% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	24/04/2022	1.27
30% PVM	#37 al #48	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 30% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	29/04/2022	0.00
1% PVM	#49 al #60	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 1% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	03/05/2022	1.27
2% PVM	#61 al #72	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 2% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	03/05/2022	0.00

Fundamento: Propia

Tabla N°34: Asentamiento de las muestras de Concreto Permeable

Los resultados de las muestras descritas en la tabla anterior fueron obtenidos por cada diseño de porcentaje realizado, presentando un asentamiento inferior o igual a 1/2", lo cual hace que las muestras sean consideradas como concretos no plásticos o concretos de Cero Slump de acuerdo con la NTP 339.035.

Los valores de asentamiento pertenecientes al diseño de 10%, 15% y 1% de PVM siendo menores o iguales a 1/2" fueron un poco más trabajables, evidenciándose la acomodación del concreto con mayor facilidad cuando se realizó la compactación de estas con martillo Proctor estándar. Se puede decir entonces que, según los datos obtenidos al aumentar vidrio molido, la trabajabilidad de la muestra se ve levemente incrementada.

La causa principal de los diseños con asentamiento igual a 1/2", es producto que este concreto contiene un 10% de arena del total de agregados, haciendo que el agregado grueso, siendo un material granular y de mayor tamaño pueda asentarse con mayor rapidez.

5.2. Análisis de la Temperatura obtenida en las muestras

Según la NTP 339.114, la temperatura requerida en los concretos empleados en ambientes con dimensiones menores a 30cm, aplicables para concretos permeables usados en aceras, pavimentos de bajo circulación, pases peatonales; es de 13°C para climas fríos y de 32°C para concretos en general. [48]

% DE MUESTRA	NUMERACIÓN DE DESTIGOS	IDENTIFICACIÓN	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)
0% PVM	#1 al #12	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 0% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	23.50
10% PVM	#13 al #24	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 10% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	24.30
15% PVM	#25 al #36	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 15% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	21.00
30% PVM	#37 al #48	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 30% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	22.20
1% PVM	#49 al #60	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 1% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	23.30
2% PVM	#61 al #72	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 2% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	23.30

Fundamento: Propia

Tabla N°35: Temperatura de las muestras de Concreto Permeable

La temperatura registrada en la tabla anterior pertenece al promedio de la temperatura obtenida de cada diseño de ensayo (12 muestras), encontrándose de esta forma dentro del rango de 13°C y 32°C, sin embargo, no se puede visualizar una correlación entre la temperatura y algunos de los componentes del concreto permeable incluido el vidrio.

En la práctica, el cemento Tipo I MS empleado en esta investigación genera poca elevación de la temperatura en relación con la temperatura ambiente a la que se elabora el concreto permeable.

5.3. Análisis del Contenido de Vacíos y Densidad teóricas de las muestras del concreto en estado fresco

La Norma NTP 339.083 (Ensayo para determinar el contenido de aire de mezcla del concreto fresco, por el método de presión), evalúa procedimientos para calcular el porcentaje de vacíos real del concreto en estado fresco, donde el método se basa en el cambio de volumen dentro de un volumen de prueba como resultado de una variación de presión en este concreto.

Sin embargo, en esta investigación se comparará el contenido de vacíos calculado y el teórico del concreto permeable fresco con el contenido de vacíos del concreto permeable en estado endurecido de cada una de las muestras definidas en la población para este ensayo.

Descripción	Dosificaciones por m ³ de concreto permeable						P.E.M.
	0% PVM	10% PVM	15% PVM	30% PVM	1% PVM	2% PVM	
Agregado Fino	158.36 kg	157.92 kg	157.71 kg	157.05 kg	158.32 kg	158.27 kg	2662 kg/m ³
Agregado Grueso	1457.22 kg	1453.20 kg	1451.18 kg	1445.14 kg	1456.82 kg	1456.42 kg	2735 kg/m ³
Agua	108.66 L	108.66 L	108.66 L	108.66 L	108.66 L	108.66 L	1000 kg/m ³
Vidrio Molido 0.15mm	-	30.93 kg	46.40 kg	92.79 kg	3.09 kg	6.19 kg	2620 kg/m ³
Cemento	309.30 kg	278.37 kg	262.91 kg	216.51 kg	306.21 kg	303.12 kg	3040 kg/m ³
Total	2033.55 kg	2029.08 kg	2026.85 kg	2020.15 kg	2033.10 kg	2032.65 kg	
Volúmenes Absolutos (sin aire)	0.8027 m³	0.8027 m³	0.8027 m³	0.8027 m³	0.8027 m³	0.8027 m³	
Densidad Teórica (T) – Incluye 5% Desperdicio	2660.05 kg/m³	2654.24 kg/m³	2651.33 kg/m³	2642.60 kg/m³	2659.47 kg/m³	2658.89 kg/m³	

Fundamento: Propia

Tabla N°36: Proporciones de los Diseños de Mezcla

Para el cálculo de la densidad y contenido de vacíos teórico se usaron las **Ecuaciones #6, #7 y #8** descrito en el apartado **4.3.3.** y los Pesos unitarios reales de cada probeta de 6"x12" fueron obtenidos en el diseño de mezcla respectivo con cada porcentaje de puzolana de vidrio considerado.

Elemento	Mr+c (kg)	Mr (kg)	Vr (m3)	D	T	U	Contenido de Vacíos Inicial (%)
				Densidad Calculada (kg/m3)	Densidad Teórica (kg/m3)	Contenido de Vacíos Teórico (%)	
Muestra Patrón #10	10.771	0.284	0.0053	1978.14	2660.05	25.6%	20%
Muestra Patrón #11	10.815	0.284	0.0053	1986.44	2660.05	25.3%	20%
Muestra Patrón #12	10.798	0.284	0.0053	1983.24	2660.05	25.4%	20%
PVM 10% - #22	10.949	0.284	0.0053	2011.72	2654.24	24.2%	20%
PVM 10% - #23	11.316	0.284	0.0053	2080.94	2654.24	21.6%	20%
PVM 10% - #24	11.139	0.284	0.0053	2047.56	2654.24	22.9%	20%
PVM 15% - #34	11.026	0.284	0.0053	2026.24	2651.33	23.6%	20%
PVM 15% - #35	10.961	0.405	0.0053	1991.16	2651.33	24.9%	20%
PVM 15% - #36	10.885	0.405	0.0053	1976.82	2651.33	25.4%	20%
PVM 30% - #46	11.452	0.284	0.0053	2106.60	2642.60	20.3%	20%
PVM 30% - #47	11.801	0.405	0.0053	2149.61	2642.60	18.7%	20%
PVM 30% - #48	11.988	0.405	0.0053	2184.88	2642.60	17.3%	20%
PVM 1% - #58	11.162	0.284	0.0053	2051.90	2659.47	22.8%	20%
PVM 1% - #59	11.171	0.405	0.0053	2030.77	2659.47	23.6%	20%
PVM 1% - #60	11.316	0.405	0.0053	2058.12	2659.47	22.6%	20%
PVM 2% - #70	10.980	0.284	0.0053	2017.57	2658.89	24.1%	20%
PVM 2% - #71	10.982	0.284	0.0053	2017.94	2658.89	24.1%	20%
PVM 2% - #72	11.043	0.284	0.0053	2029.45	2658.89	23.7%	20%

Fundamento: Propia

Tabla N°37: Densidad calculada, densidad teórica, contenido de vacíos teórico y contenido de vacíos iniciales de las 18 muestras evaluadas.

Para el diseño de mezcla inicial de las muestras, el porcentaje de vacíos teórico fue del **20%** para todas las muestras de concreto permeable en sus diferentes porcentajes de sustitución del vidrio.

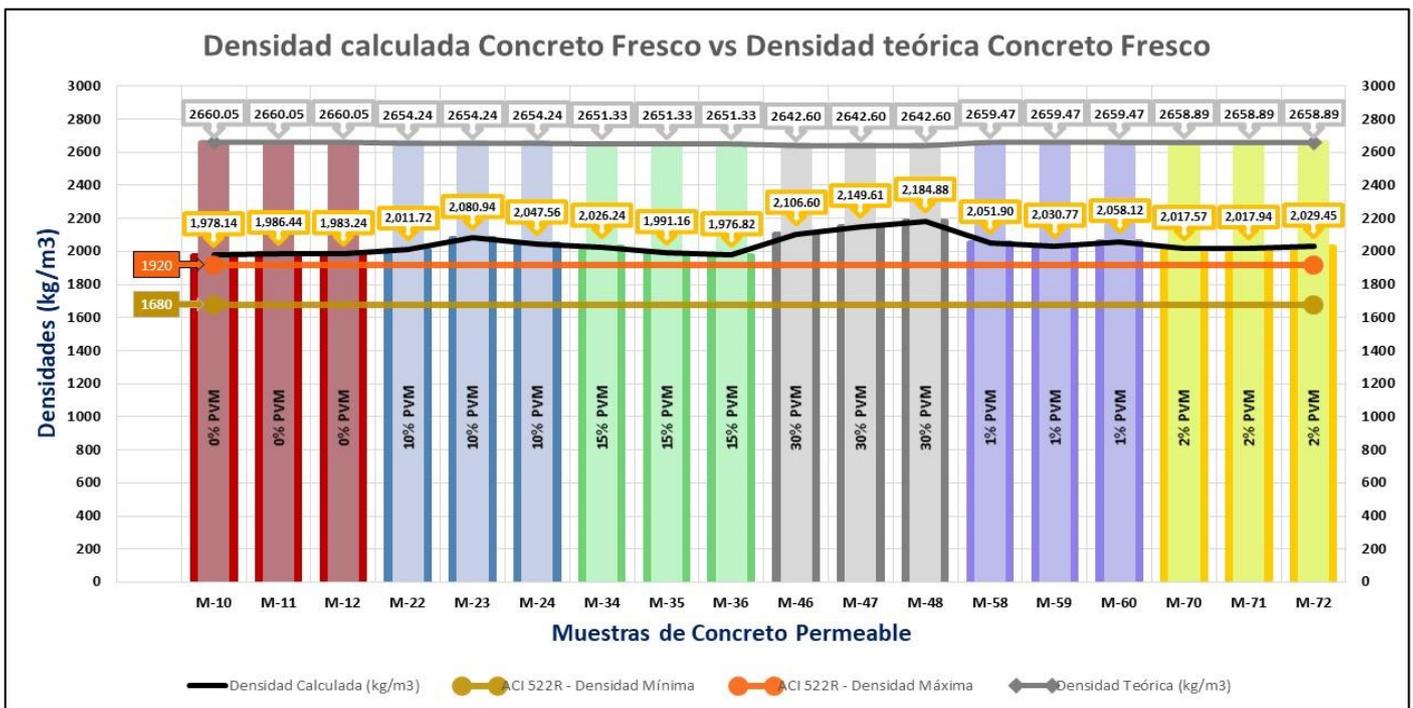
Si bien es cierto la Norma Técnica Peruana NTP 339.230, nos indica determinar la densidad y el contenido de vacíos teórico del concreto permeable en estado fresco, para poder comparar cuanta variación ocurre con respecto al porcentaje de vacíos definido inicialmente.

La norma ACI 522R-10 brinda porcentajes de vacíos según la tasa de infiltración o intensidad de lluvia de diseño analizada previamente, esto no demuestra que en la aplicación de la elaboración de las muestras quede totalmente verificada, ya que las propiedades de los materiales de los agregados de la ciudad de Chiclayo juegan un rol importante en la elaboración de las muestras comparados con los agregados usados en la norma ACI 522R-10.

Por otro lado, la Norma **NTP 339.230** señala un rango de densidades del **concreto permeable entre 1750 kg/m³ y 2000 kg/m³**, en tanto que la Norma ACI

522R-10 indica que según sus investigaciones se encuentra entre 1680 kg/m³ y 1920 kg/m³. Según Meininger 1988, en sus estudios evaluados a los diferentes grados de compactación en relación con la densidad obtenida, define 3 niveles de compactación en el cual detalla los rangos de las densidades que se obtienen en cada nivel por tipo de compactación, siendo así:

- ✓ Nivel ligero, cuya densidad oscila entre 1714 kg/m³ a 1778 kg/m³, para especímenes con esfuerzo de compresión entre 69 y 96 kg/cm². [43]
- ✓ Nivel medio, cuya densidad oscila entre 1778 kg/m³ a 1826 kg/m³, para especímenes con esfuerzo de compresión entre 98 y 109 kg/cm². [43]
- ✓ Nivel Pesado, cuya densidad oscila entre 1922 kg/m³ y 1954 kg/m³, para especímenes con esfuerzo de compresión entre 148 y 174 kg/cm². [43]



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #114: Densidad calculada. VS. Densidad Teórica de las 18 muestras de Concreto Permeable Fresco

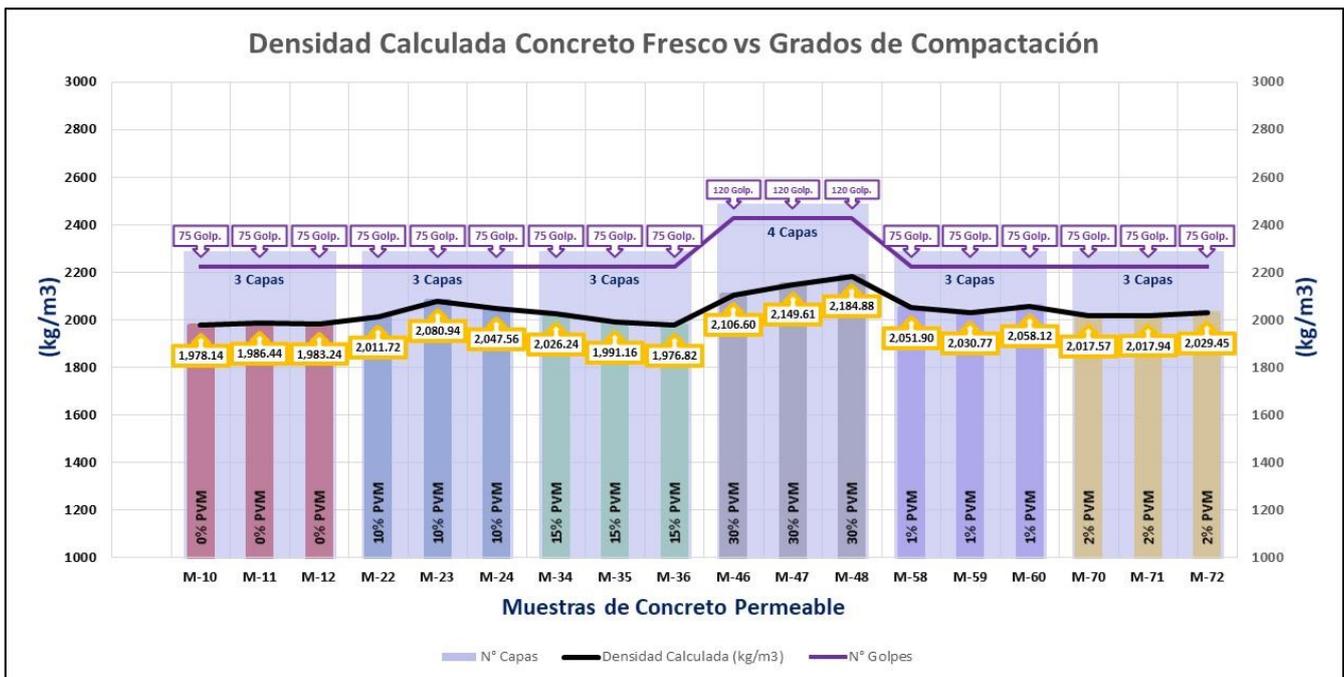
Como se observa en la ilustración #114, las muestras de densidad teórica están por encima de la aceptación de los parámetros mínimos de la Norma ACI 522R-10, y esto se debe a que los cálculos realizados para la densidad teórica no intervenga la compactación ni el volumen absoluto de los vacíos definido inicialmente en los diseños, ya que como se sabe la relación masa sobre volumen equivale a la

densidad; mientras no se analice con compactación como se hace en la práctica la masa será elevada, y por ende sin consideración de vacíos el volumen disminuye, siendo así que la densidad aumenta. Por ello la NTP 339.083 describe procedimientos para calcularlo con el fin de determinar su contenido de vacíos inicial, analizando si esta difiere del valor inicial.

Siendo así que los valores de la densidad teórica de las muestras varían de 2642.60 kg/m³ a 2660.05 kg/m³

En la densidad calculada se obtienen valores casi cercanos a la máxima densidad permitida para un concreto permeable según la ACI 522R-10 y no son muy elevados a comparación con la densidad teórica. La explicación del porqué aún sigue sin estar en el rango de la normativa, se debe al grado de compactación aplicado según lo descrito en el capítulo 4.2.2. (“Compactación de un Concreto Permeable”) y además que existe variación debido a que es una aproximación de lo real ejecutado en la práctica.

Como se observa en las muestras M-10, M-22, M-36, M-46, M-59, M-70; referentes a los valores mínimos de densidad calculada en la práctica, difieren una de la otra según el nivel de compactación y número de golpes por capa aplicados, una mejor apreciación se puede divisar en la ilustración #115 que se presenta a continuación:



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #115: Densidad calculada. VS. Grados de Compactación

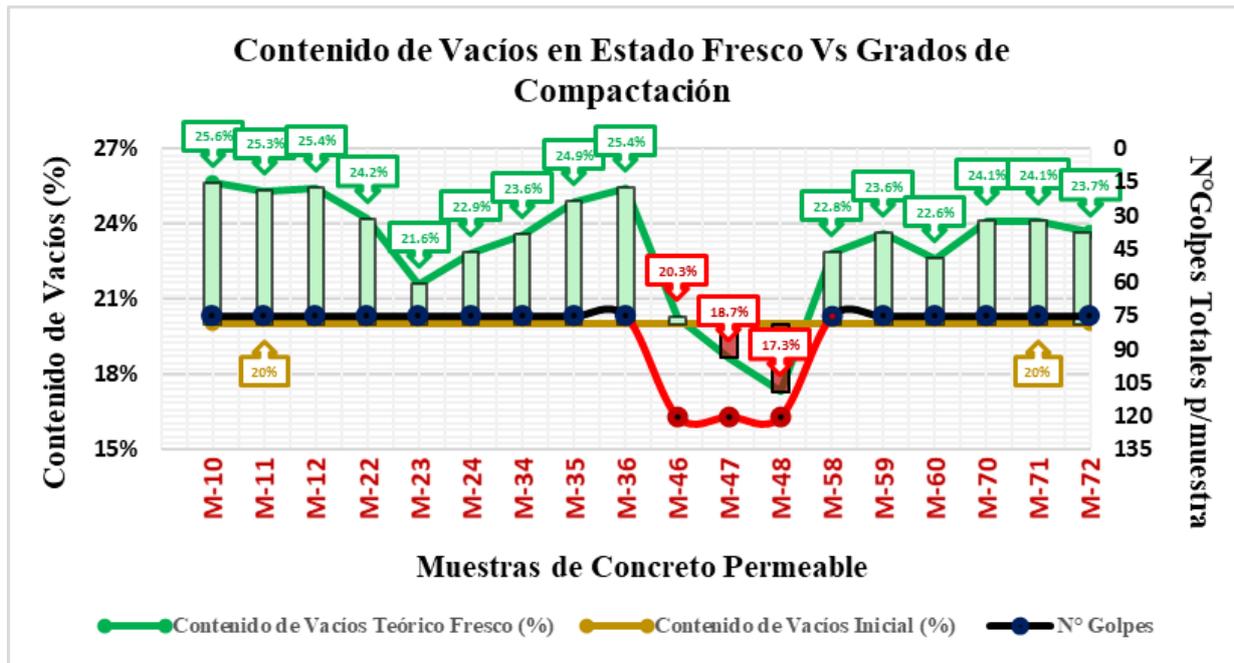
Se observa un incremento de densidad calculada en las muestras M-46, M-47 y M-48 cuando el nivel de compactación fue de 4 capas, con 30 golpes en cada una de estas.

Mientras tanto que la diferencia máxima de densidades calculadas obtenidas entre las muestras M-10, M-11 sin sustitución de la puzolana de vidrio fue de 8 kg/m³; para las muestras M-22, M-23 con sustitución del 10% de puzolana de vidrio fue de 70 kg/m³; para las muestras M-34, M-36 con sustitución del 15% de vidrio fue de 56 kg/m³; para las muestras M-46, M-48 con sustitución del 30% de vidrio fue de 70 kg/m³; para las muestras M-59, M-60 con sustitución del 1% de vidrio fue de 28 kg/m³; para las muestras M-70, M-72 con sustitución del 2% de vidrio fue de 12 kg/m³.

Por otro lado la diferencia mínima de densidades calculadas obtenidas entre las muestras M-11, M-12 sin sustitución de la puzolana de vidrio fue de 5 kg/m³; para las muestras M-23, M-24 con sustitución del 10% de puzolana de vidrio fue de 33 kg/m³; para las muestras M-35, M-36 con sustitución del 15% de vidrio fue de 15 kg/m³; para las muestras M-47, M-48 con sustitución del 30% de vidrio fue de 35 kg/m³; para las muestras M-58, M-59 con sustitución del 1% de vidrio fue de 21 kg/m³; para las muestras M-70, M-71 con sustitución del 2% de vidrio fue de 0.5 kg/m³.

Como se describe y se detalla en la ilustración #115, al sustituir vidrio en la mezcla, la densidad calculada presenta un ligero aumento con respecto a las muestras sin sustitución de vidrio, lo que se traduce como una mejor acomodación de los agregados generando menos vacíos y por ende menos permeabilidad.

En la siguiente ilustración se compara el contenido de vacíos teórico con el definido inicialmente según su grado de compactación aplicado en cada muestra.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #116: Variación del Contenido de Vacíos en Estado Fresco con el Grado de Compactación aplicado

Se detalla que el contenido de vacíos del concreto en estado fresco calculado de las muestras realizadas en la práctica en relación con el contenido de vacíos definido inicialmente para el diseño (20%), varían hasta un máximo del 5.6% (referencial a la muestra M-10). Mientras que las muestras M-46, M-47, M-48 pertenecientes a las muestras con 30% de sustitución de puzolana de vidrio, tienden una disminución por debajo del 20% debido al grado de compactación aplicado en estas; a mayor grado de compactación menos porcentaje de vacíos.

El porcentaje de vacíos referentes a las muestras con sustitución del vidrio en comparación con las muestras sin vidrio (M-10, M-11, M-12) tienden una ligera caída de vacíos, siendo más notable en las muestras con sustitución del 10%, 15% y 1%.

La variación máxima de las muestras con 10% de puzolana de vidrio, varía en 4% de contenido de vacíos con respecto a la muestra patrón; en 2% para el 15% de sustitución de vidrio y en un 3% para el 1% de sustitución.

5.4. Análisis de la resistencia a la compresión del concreto en Estado Endurecido

Se realizó el ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas de 6"x12" de concreto permeable en los porcentajes de sustitución del 0%, 10%, 15%, 30%, 1% y 2% de puzolana de vidrio reciclado de 0.15mm. Estas muestras se evaluaron en la prensa hidráulica según lo explicado en la Norma Técnica Peruana NTP 339.034 y también explicado en el capítulo 4.4.1. de esta investigación. A continuación, se muestra un resumen del esfuerzo soportado de cada uno de los especímenes ensayados.

DÍAS	ESPECIFICACIÓN	ETIQUETA	F'C (kg/cm2)	PROMEDIO (kg/cm2)	
7	PATRON (0% PVM)	Patron #1	77.62	96.81	
7		Patron #2	123.24		
7		Patron #3	89.57		
21		PATRON (0% PVM)	Patron #4	140.87	136.31
21			Patron #5	131.84	
21			Patron #6	136.21	
28		PATRON (0% PVM)	Patron #7	192.56	168.72
28			Patron #8	151.59	
28			Patron #9	162.02	
7	10% PVM	PVM 10%-#13	60.54	61.74	
7		PVM 10%-#14	61.25		
7		PVM 10%-#15	63.42		
21		10% PVM	PVM 10%-#16	118.71	106.32
21			PVM 10%-#17	95.50	
21			PVM 10%-#18	104.75	
28		10% PVM	PVM 10%-#19	160.95	155.00
28			PVM 10%-#20	141.85	
28			PVM 10%-#21	162.21	
7	15% PVM	PVM 15%-#25	52.14	52.47	
7		PVM 15%-#26	54.33		
7		PVM 15%-#27	50.94		
21		15% PVM	PVM 15%-#28	79.23	74.43
21			PVM 15%-#29	76.16	
21			PVM 15%-#30	67.89	
28		15% PVM	PVM 15%-#31	96.38	95.77
28			PVM 15%-#32	105.56	
28			PVM 15%-#33	85.38	
7	30% PVM	PVM 30%-#37	73.98	78.90	
7		PVM 30%-#38	75.79		
7		PVM 30%-#39	86.94		
21		30% PVM	PVM 30%-#40	125.36	125.07
21			PVM 30%-#41	124.25	
21			PVM 30%-#42	125.61	
28		30% PVM	PVM 30%-#40	158.60	162.96
28			PVM 30%-#41	143.59	
28			PVM 30%-#42	186.69	

7	1% PVM	PVM 1%-#49	99.30	93.12	
7		PVM 1%-#50	91.01		
7		PVM 1%-#51	89.05		
21		1% PVM	PVM 1%-#52	132.94	135.71
21			PVM 1%-#53	138.68	
21			PVM 1%-#54	135.52	
28		1% PVM	PVM 1%-#55	142.72	155.07
28			PVM 1%-#56	151.93	
28			PVM 1%-#57	170.56	
7	2% PVM	PVM 2%-#61	81.18	89.79	
7		PVM 2%-#62	85.79		
7		PVM 2%-#63	102.40		
21		2% PVM	PVM 2%-#64	133.76	137.44
21			PVM 2%-#65	136.63	
21			PVM 2%-#66	141.92	
28		2% PVM	PVM 2%-#67	171.78	168.06
28			PVM 2%-#68	181.66	
28			PVM 2%-#69	150.75	

Fundamento: Propia

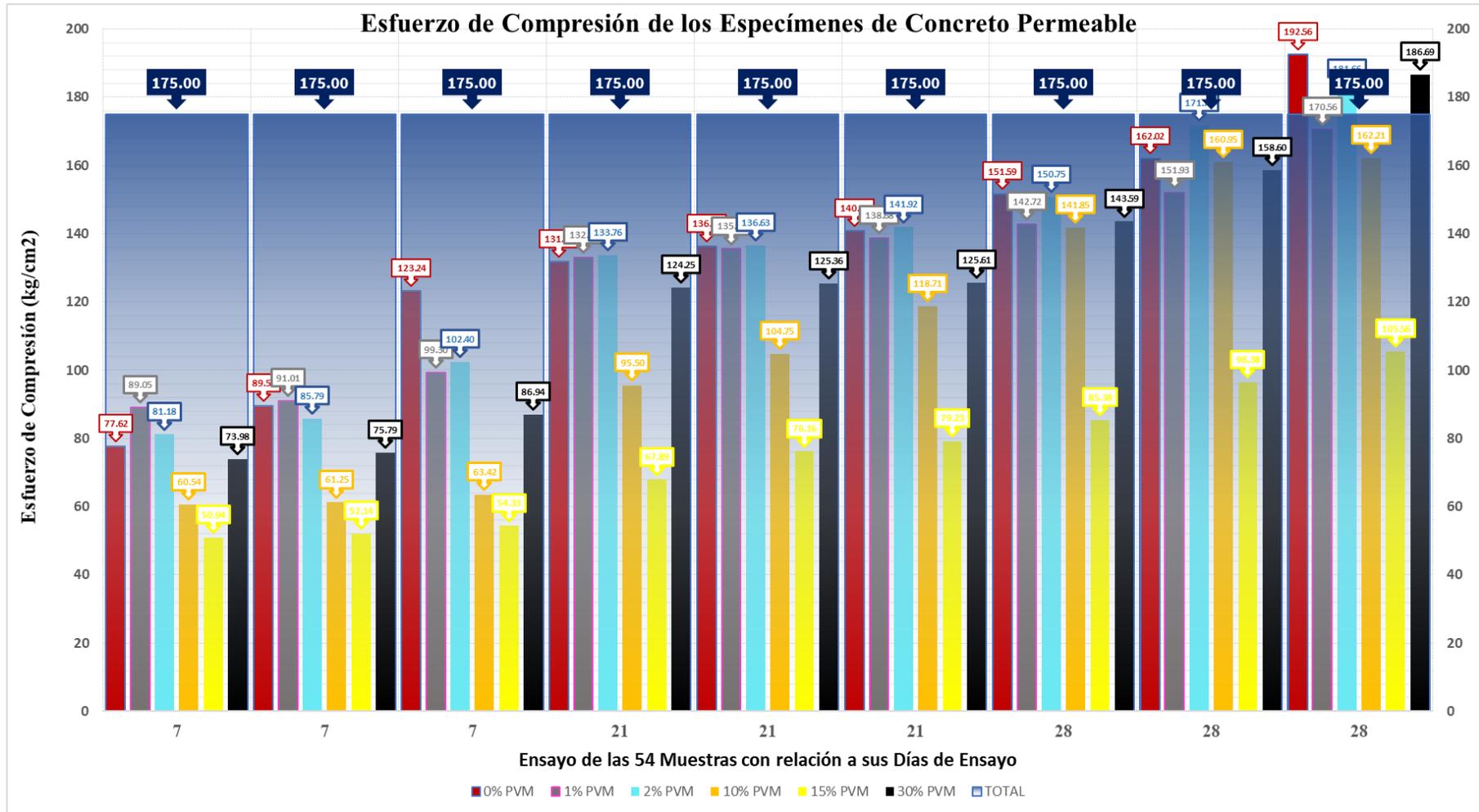
Tabla N°38: Especímenes de Concreto Permeable con su respectivo Esfuerzo de Compresión

Se presenta en la siguiente tabla el resumen de la Tabla #38 de las probetas promedio obtenidas para cada porcentaje, resaltando además que para la muestra patrón y la muestra con el 2% de puzolana, se les hizo el promedio de dos muestras con mayor esfuerzo de compresión correspondiente solo a los 28 días de ensayo.

Edad de Ensayo	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm ²)					
	0% PVM	1% PVM	2% PVM	10% PVM	15% PVM	30% PVM
7 DÍAS	96.81	93.12	89.79	61.74	52.47	78.90
21 DÍAS	136.31	135.71	137.44	106.32	74.43	125.07
28 DÍAS	177.29	155.07	176.72	155.00	95.77	162.96

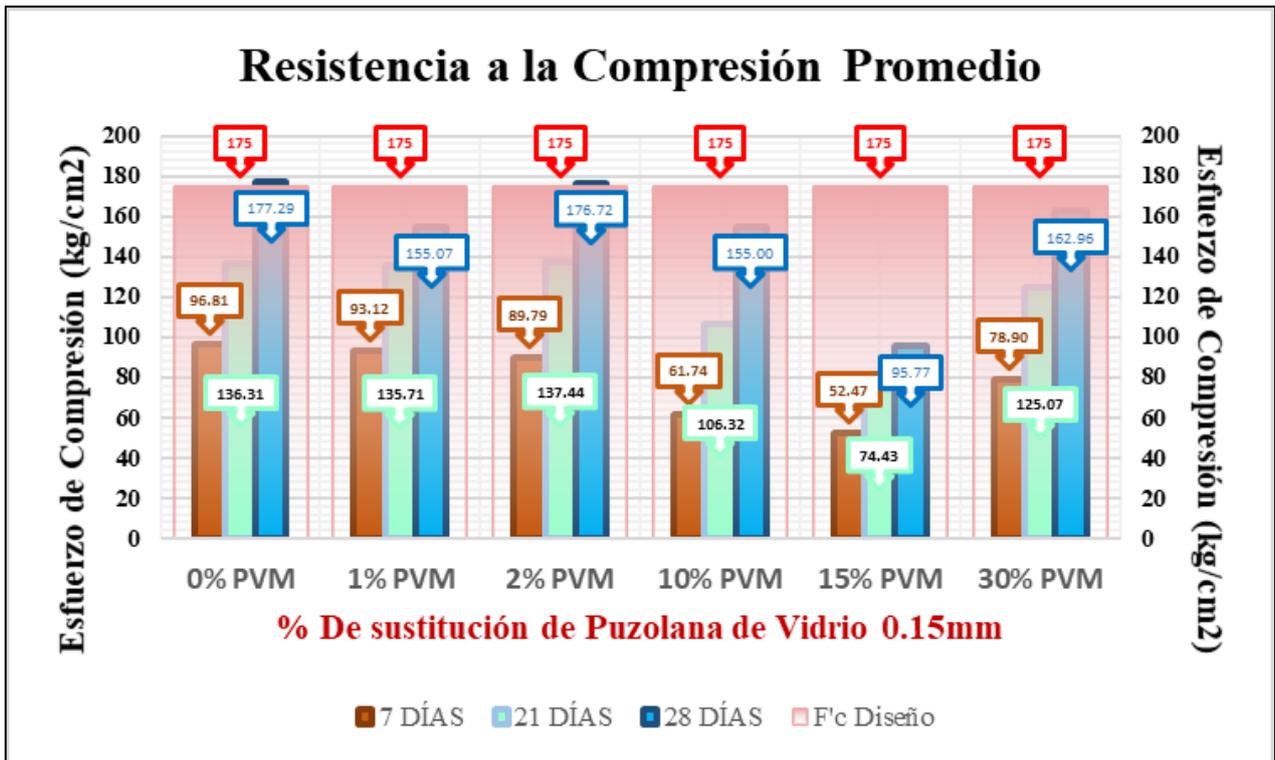
Fundamento: Propia

Tabla N°39: Resumen de la Resistencia a Compresión de las muestras promedio en relación con su edad de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #117: Esfuerzo de Compresión de los 54 Especímenes de Concreto Permeable en relación con su Edad de Ensayo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #118: Esfuerzo de Compresión promedio

Como se puede apreciar en la Tabla #39 y la ilustración #118, la resistencia a la compresión más baja obtenida en todos los días de prueba corresponde el porcentaje del 15% de sustitución de puzolana de vidrio, sin embargo, al incrementar la fuerza de compactación definida por el número de golpes aplicada en las muestras con el 30% de sustitución de vidrio, se genera un aumento considerable con respecto a cuando se le sustituye el 15%.

El error más común visto en las roturas presentadas en el capítulo 4.4.1. para los porcentajes del 15% de puzolana es de tipo “fractura de lado”, observándose que el vidrio mezclado con la pasta de cemento no se ve adherida al 100% en estas muestras producto de la compactación ineficiente ocurrido en la práctica. Se puede decir que, al compactar la capa inicial, la distribución de la fuerza aplicada con el martillo Proctor no acomodó los componentes mezclados en las muestras.

Considerando además que en la acomodación del concreto permeable, el agregado grueso cumple un rol importante en la composición de este, siendo así que el agregado de 3/4" usado para las muestras presentaba algunos tamaños superiores o inferiores a este tamaño, haciendo que finalizada la compactación de la primera capa la interconexión de sus áridos produzca un vacío mayor en las esquinas o los

lados de esta capa, generando una ineficiente interconectividad entre los componentes del concreto haciendo que al ensayarlos por compresión, la capa se desprenda a fuerzas inferiores a la del concreto sin sustitución.

Podemos decir entonces, que a medida que se le sustituye diferentes porcentajes de vidrio, la relación a la compresión **disminuye ligeramente a los 7 días de ser evaluados para todos los porcentajes respectivos de sustitución.**

En los 21 días de ensayadas las muestras, se observa un aumento del esfuerzo compresión con respecto al concreto permeable patrón cuando se le sustituye el 2% de puzolana, mientras que cuando se le sustituye el 1% se comporta casi idénticamente que el concreto permeable sin sustitución. Por otro lado, a los 21 días los porcentajes del 10% y 15% de sustitución tienen una bajada de 30 kg/cm² y 62 kg/cm² respectivamente, mientras que cuando se le sustituyo el 30% de puzolana de vidrio tuvo una reducción de 11 kg/cm², superando a los porcentajes del 10% y 15% que se compactaron a 3 capas de 25 golpes por capa.

A los 28 días de ensayadas las muestras, el aumento del esfuerzo de compresión cuando se le sustituye el 2% de puzolana de vidrio se ve incrementada y casi similar al concreto patrón. Mientras que para los porcentajes del 1% y 10% que comportan de manera similar, tienen una reducción de 22 kg/cm² de esfuerzo de compresión con respecto al concreto permeable patrón. De otro modo, cuando se le sustituyó el 30% de puzolana tuvo una reducción de 15 kg/cm² de esfuerzo de compresión, superando a los porcentajes del 1%, 10% y 15%.

5.5. Análisis del Contenido de Vacíos y Densidad del Concreto en Estado endurecido

Según Meininger 1988, en sus estudios evaluados a los diferentes grados de compactación en relación con la densidad obtenida a los 28 días, define 3 niveles de compactación en el cual detalla los rangos de las densidades que se obtienen en cada nivel por tipo de compactación, siendo así:

- ✓ Nivel ligero, cuya densidad oscila entre 1714 kg/m³ a 1778 kg/m³, para especímenes con esfuerzo de compresión entre 69 y 96 kg/cm². [43]
- ✓ Nivel medio, cuya densidad oscila entre 1778 kg/m³ a 1826 kg/m³, para especímenes con esfuerzo de compresión entre 98 y 109 kg/cm². [43]

Nivel Pesado, cuya densidad oscila entre 1922 kg/m³ y 1954 kg/m³, para especímenes con esfuerzo de compresión entre 148 y 174 kg/cm². [43]

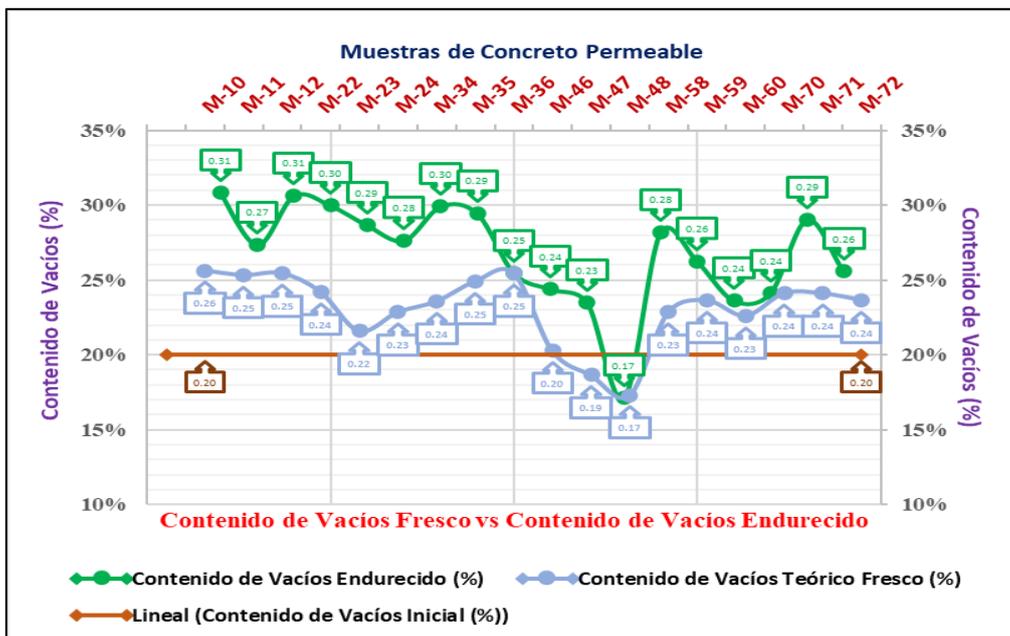
En este ensayo se optó por usar el método de secado “B” explicado en el capítulo 4.4.3. de esta investigación, debido a su rapidez para la obtención de resultados.

En la siguiente tabla se muestra una comparativa del contenido de vacíos definido al iniciar las muestras, con el contenido de vacíos calculado en estado fresco y el contenido de vacíos obtenido en estado endurecido a los 28 días, de igual forma con sus densidades respectivas.

Elemento	Densidad Calculada Fresco (kg/m ³)	Densidad Endurecido (kg/m ³)	Contenido de Vacíos Inicial (%)	Contenido de Vacíos Teórico Fresco (%)	Contenido de Vacíos Endurecido (%)
M-10	1978.14	1798.94	20.00	25.64	30.81
M-11	1986.44	1854.08	20.00	25.32	27.35
M-12	1983.24	1801.96	20.00	25.44	30.64
M-22	2011.72	1795.98	20.00	24.21	29.97
M-23	2080.94	1810.36	20.00	21.60	28.65
M-24	2047.56	1831.53	20.00	22.86	27.65
M-34	2026.24	1782.21	20.00	23.58	29.92
M-35	1991.16	1796.42	20.00	24.90	29.45
M-36	1976.82	1613.48	20.00	25.44	25.47
M-46	2106.60	1905.34	20.00	20.28	24.39
M-47	2149.61	1924.52	20.00	18.66	23.50
M-48	2184.88	2015.51	20.00	17.32	17.12
M-58	2051.90	1908.78	20.00	22.85	28.19
M-59	2030.77	1871.43	20.00	23.64	26.25
M-60	2058.12	1918.41	20.00	22.61	23.63
M-70	2017.57	1927.59	20.00	24.12	24.13
M-71	2017.94	1799.26	20.00	24.11	29.04
M-72	2029.45	1884.78	20.00	23.67	25.58

Fundamento: Propia

Tabla N°40: Densidad y Contenido de vacíos en Estado fresco y Endurecido



Fuente: Elaboración propia

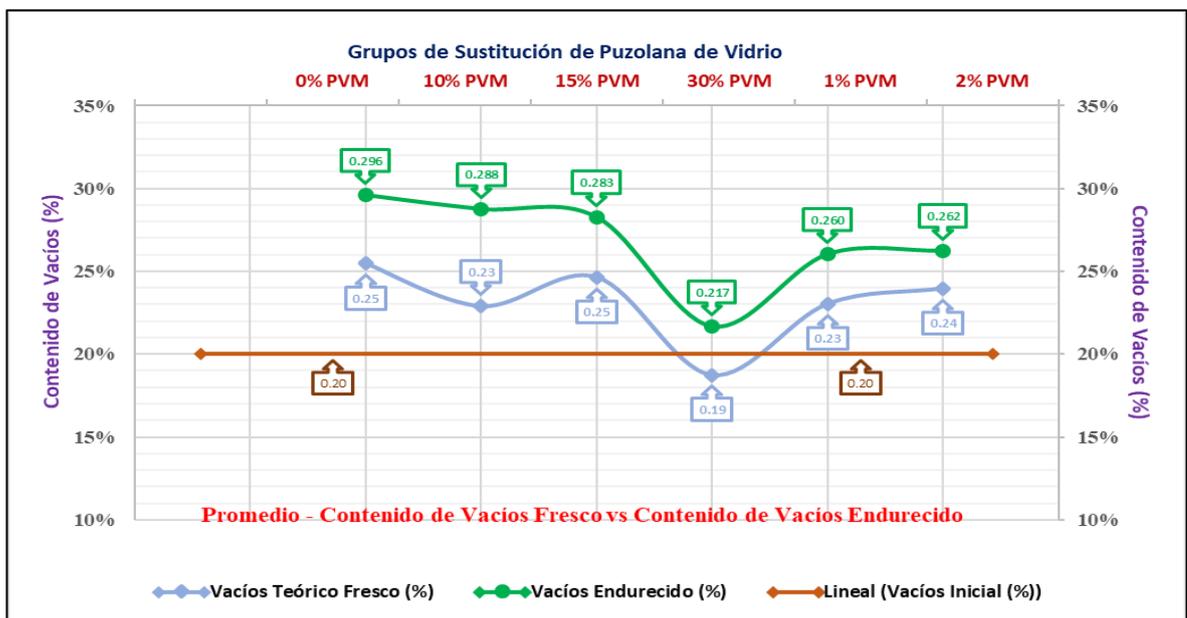
Ilustración #119: Contenido de Vacíos del Concreto Permeable en estado Fresco y Endurecido

Se presenta además el promedio de las densidades calculadas, contenido de vacíos teórico fresco y contenido de vacíos endurecido por grupo de sustitución de puzolana de vidrio elaborado.

Elemento	Densidad Calculada Fresco (kg/m3)	Densidad Endurecido (kg/m3)	Contenido de Vacíos Inicial (%)	Contenido de Vacíos Teórico Fresco (%)	Contenido de Vacíos Endurecido (%)
0% PVM	1982.61	1818.33	0.20	0.25	0.296
10% PVM	2046.74	1812.63	0.20	0.23	0.288
15% PVM	1998.07	1730.70	0.20	0.25	0.283
30% PVM	2147.03	1948.46	0.20	0.19	0.217
1% PVM	2046.93	1904.71	0.20	0.23	0.260
2% PVM	2021.65	1870.54	0.20	0.24	0.262

Fundamento: Propia

Tabla N°41: Densidad, Contenido de vacíos fresco y Endurecido promedio de los grupos de muestras según Sustitución de Puzolana de Vidrio



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #120: Promedio de muestras por grupo de sustitución del Contenido de Vacíos del Concreto Permeable en estado Fresco y Endurecido

Si observamos la Tabla #40 y la ilustración #119, todas las muestras analizadas en estado endurecido presentaron menor densidad con respecto a la densidad calculada, de otro modo el contenido de vacíos en estado endurecido se vio incrementado, sin embargo, la comparación entre la densidad calculada y la densidad en estado endurecido tiene una relación de variación promedio

aproximado de 150 kg/m³. El contenido de vacíos obtenido en estado endurecido varía con respecto al contenido de vacíos teórico debido al grado de compactación aplicado en la práctica, teniendo en cuenta que cada espécimen fue elaborado de diferente forma y otras razones que ameritan estos valores son los diámetros del agregado grueso, como también de los finos que se diferencian cuando el cálculo de contenido en estado fresco se calcula teóricamente.

La identificación de los grupos de mezcla por su densidad obtenida a los 28 días según el nivel de compactación descrita por Meininger, resulta de un nivel Ligero para el 15% de sustitución; nivel Medio para el 0% y 10% de sustitución; y nivel pesado para el 1%, 2%, 30% de sustitución de puzolana de vidrio reciclado. Se debe aclarar que los valores pueden ser variables debido a la utilización de los agregados utilizados por Meininger.

Además, la densidad en estado endurecido del grupo con sustitución de 15% de puzolana de vidrio observada en la Tabla #41, tiene coherencia con el grado de compactación aplicado, ya que es la que menor valor tiene, producto de la ineficiente energía aplicada al elaborar estas mezclas, de igual forma el contenido de vacíos en este grupo se mantiene ligeramente constante con el concreto patrón y cuando se sustituye por el 10% de puzolana de vidrio.

Sin embargo, en la Tabla #41 y la ilustración #120, se tiene una mejor apreciación en el incremento del contenido de vacíos en estado endurecido, asimilando la forma de curvatura igual que la del contenido de vacíos teórico. Se deduce también de estos gráficos que el contenido de vacíos en estado endurecido tiene una variación gradual descendente de aproximadamente el 1% cuando se le sustituye puzolana de vidrio en los porcentajes del 10%, 15%, 1% y 2% comparado con el concreto permeable patrón.

Por otro lado, se ve una disminución de un 8% de contenido de vacíos cuando se le sustituye por 30% de puzolana de vidrio con respecto al concreto permeable patrón, debido al grado de compactación aplicado en este grupo de prueba.

Concluyendo que la reducción de la masa y por ello su densidad de las muestras se debe al secado de las probetas, que ocasiona en su interior un agrietamiento de contracción del concreto permeable aumentado finalmente el volumen de vacíos.

La norma NTP 339.238 establece un valor de 1.76% de coeficiente de variación para el cálculo de las densidades y de 5.78% de coeficiente de variación para el cálculo de vacíos del concreto permeable que se evaluaron por el Método de Secado “B”, en el cual de Tabla #40 el máximo coeficiente de variación de densidad fue de 1.70 perteneciente al grupo del concreto permeable patrón, y de 5.03 % de coeficiente máximo de variación de vacíos de dos muestras similares perteneciente al grupo de concreto con sustitución del 1% de puzolana de vidrio, ubicándose ambos resultados dentro del rango de la Norma.

5.6. Análisis de la Permeabilidad y requisitos del concreto permeable

Para determinar la tasa de infiltración de los especímenes de estudio, se empleó el permeámetro de carga variable como demanda la Norma ACI 522R-10.

El ensayo tuvo como finalidad superar la tasa de infiltración de diseño correspondiente a 91.6 mm/h (0.00254 cm/s) calculada en el capítulo 4.4.2.

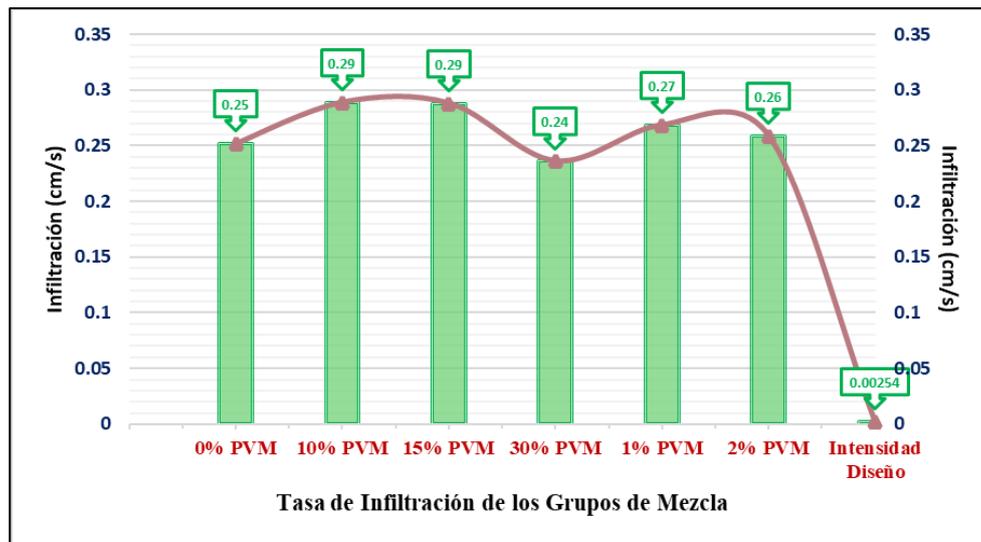
Del mismo modo, la norma ACI 522R-10 menciona tasas de infiltración de un concreto permeable en el rango de 0.20 a 0.54 cm/s para contenido de vacíos pertenecientes entre el 15% al 35%.

Se presenta a continuación las tasas de infiltración obtenidas para los 6 grupos respectivos de diseño de mezcla realizados a la edad de los 28 días.

Elemento	Tasa de Infiltración (cm/s)	Tasa de Infiltración (L/m ² /s)
0% PVM	0.25	2.52
10% PVM	0.29	2.89
15% PVM	0.29	2.88
30% PVM	0.24	2.36
1% PVM	0.27	2.69
2% PVM	0.26	2.59
Intensidad Diseño	0.00254	0.0254

Fundamento: Propia

Tabla N°42: Tasa de Infiltración promedio por grupo de Mezcla de los Especímenes



Fuente: Elaboración propia

Ilustración #121: Tasa de infiltración promedio de los Grupos de Mezcla

infiltración mínima obtenida fue de 0.24cm/s, correspondiente a la sustitución del 30% de puzolana de vidrio, siendo **93 veces superior a la intensidad de lluvia de diseño requerida.**

Se deduce además que al sustituir vidrio en los porcentajes del 10%, 15%, 1% y 2% aumenta su permeabilidad del sistema comparados con el concreto patrón.

Para todos los grupos de mezcla se aplicó un nivel de compactación del tipo “Pesado” debido al uso del martillo de Proctor, sin embargo, la diferencia entre el porcentaje del 30% con los demás porcentajes, es la cantidad de golpes por capa y el número de capas, siendo este un factor importante en el comportamiento de la tasa de infiltración, concluyendo así que el compactado aplicado al sustituir un porcentaje del 30% de vidrio, no tiene una variación considerable con respecto al patrón.

Se aprecia entonces que el vidrio le otorga permeabilidad al concreto permeable, sin embargo, se deduce de la ilustración #120, que cuando se garantizan contenidos de vacíos superiores al 20%, la permeabilidad no tiene limitancia alguna con el concreto permeable.

Por otro lado, la ACI 522R-10 no define una desviación estándar máxima para el cálculo del coeficiente de permeabilidad, sin embargo, con las investigaciones realizadas por Guizado y Curi, determina una desviación estándar máxima de

0.34 cm/s en su diseño de mezcla “G” para el ensayo de permeabilidad, de la misma forma Jacinto, obtiene una desviación estándar de 0.010 cm/s en la Mezcla M-13 en el ensayo de permeabilidad.

La desviación estándar máxima obtenida en esta investigación para las muestras de concreto permeable fue de 0.057cm/s y la mínima de 0.013 cm/s, cercanos a los obtenidos por Guizado y Curi, Jacinto, esperando que sirvan como punto de partida para futuras investigaciones de este tema.

5.7. Evaluación Económica de los diseños de mezcla Evaluados

Para este estudio se realizó un análisis respectivo del costo por m³ de un concreto permeable de resistencia a la compresión de f'c 175 kg/cm², con un concreto permeable con la sustitución de puzolana de vidrio reciclado de 0.15mm, empleado para ciclovías, veredas y pases peatonales según la Norma CE010 Pavimento Urbano.

Se determinó el Costo Unitario por kilogramo de puzolana de vidrio en un tamaño de grano de 0.15mm, el proceso de la obtención se detalla en el capítulo 4.1.3. de esta investigación. Además, que los rendimientos obtenidos por el autor para los diferentes tipos de grano sirvan como punto de partida si se desea investigar el costo por kilo de puzolana según su tamaño a adquirir.

Se resalta además que el costo de la mano de obra, materiales y equipos fueron actualizados a la fecha 06/2022, teniéndose así

Partida N°	A					PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO TAMIZ #50 - 0.30mm
	Rendimiento:	7	kg/Día		Operario:	S/.3.40
	Jorn. Laboral:	8	Horas			
PRECIOS DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS NO INCLUYEN IGV - TIPO DE CAMBIO S./3.75						
					Total:	S/.5.78
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio parcial S/.	
Mano de Obra					3.89	
Operario	hh	1.00	1.1429	3.40	3.89	
Materiales					0.00	
Botellas de vidrio	Kg	-	40.0000	0.00	0.00	
Equipos y herramientas					1.89	
DESGASTE DE HERRAMIENTAS	%M.O		2%	3.89	0.08	
Máquina de los Ángeles	hm	0.06250	0.0714	25.42	1.82	

Partida N°	B					PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO TAMIZ #100 - 0.15mm		
	Rendimiento:	4	kg/Día			Operario:	S/.3.40	
	Jorn. Laboral:	8	Horas					
PRECIOS DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS NO INCLUYEN IGV - TIPO DE CAMBIO S./3.75							Total:	S/.10.11
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio parcial S/.			
Mano de Obra					6.80			
Operario	hh	1.00	2.0000	3.40	6.80			
Materiales					0.00			
Botellas de vidrio	Kg	-	40.0000	0.00	0.00			
Equipos y herramientas					3.31			
DESGASTE DE HERRAMIENTAS	%M.O		2%	6.80	0.14			
Máquina de los Ángeles	hm	0.06250	0.1250	25.42	3.18			

Partida N°	C					PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO TAMIZ #200 - 0.075mm		
	Rendimiento:	2	kg/Día			Operario:	S/.3.40	
	Jorn. Laboral:	8	Horas					
PRECIOS DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS NO INCLUYEN IGV - TIPO DE CAMBIO S./3.75							Total:	S/.20.23
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio parcial S/.			
Mano de Obra					13.60			
Operario	hh	1.00	4.0000	3.40	13.60			
Materiales					0.00			
Botellas de vidrio	Kg	-	40.0000	0.00	0.00			
Equipos y herramientas					6.63			
DESGASTE DE HERRAMIENTAS	%M.O		2%	13.60	0.27			
Máquina de los Ángeles	hm	0.06250	0.2500	25.42	6.36			

Fundamento: Propia

Tabla N°43: Costo Unitario de la puzolana de Vidrio reciclado en sus diferentes tamaños.

5.7.1. Diseños o grupos de mezcla que cumplieron la hipótesis planteada

Se procedió a calcular el Costo Unitario del Concreto Permeable en Pavimentos de 175 kg/cm² con el 0% y 1% de sustitución de puzolana de vidrio por resistir la resistencia mínima requerida, donde los precios de los materiales como la piedra chancada de 3/4", el agregado fino, el cemento, agua, mano de obra y equipos fueron obtenidos de la Revista "CONSTRUCTIVO-AÑO 24-EDICIÓN 155/ABRIL-MAYO 2022".

Partida N°	1	CONCRETO PERMEABLE F'c 175 KG/CM2				
Especificaciones	Con 0% de Sustitución de Vidrio molido 0.15mm por Cemento y Piedra Chancada de 3/4"					
Rendimiento:	10	m3/Día				Operario: S/23.94
Jorn. Laboral:	8	Horas				Oficial: S/18.89
						Peón: S/17.08
PRECIOS DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS NO INCLUYEN IGV - TIPO DE CAMBIO S./3.75						
					Total:	S/346.51
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio parcial S/.	
Mano de Obra						
Operario	hh	1.00	0.8000	23.94	19.15	
Oficial	hh	1.00	0.8000	18.89	15.11	
Peón	hh	7.00	5.6000	17.08	95.65	
Materiales						
Arena gruesa	m3	-	0.0625	29.66	1.85	
Piedra chancada de 1/2"	m3	-	0.5594	55.08	30.81	
Agua	m3	-	0.1141	7.60	0.87	
Vidrio Molido 0.15mm	kg	-	-	-	0.00	
Cemento Portland Tipo I	bls	-	7.6416	19.41	148.32	
Equipos y herramientas						
DESGASTE DE HERRAMIENTAS	%M.O		5%	129.91	6.50	
Mezcladora 16p3 (18 HP)	hm	0.90	0.7200	18.45	13.28	
Rodillo Manual de 2.5 HP	hm	0.50	0.4000	37.40	14.96	

Fundamento: Propia

Tabla N°44: Costo del Concreto Permeable en Pavimentos de 175 kg/cm² (0% PVM)

Partida N°	6	CONCRETO PERMEABLE F'c 175 KG/CM2				
Especificaciones	Con 2% de Sustitución de Vidrio molido 0.15mm por Cemento y Piedra Chancada de 3/4"					
Rendimiento:	10	m3/Día				Operario: S/23.94
Jorn. Laboral:	8	Horas				Oficial: S/18.89
						Peón: S/17.08
PRECIOS DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS NO INCLUYEN IGV - TIPO DE CAMBIO S./3.75						
					Total:	S/412.22
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio parcial S/.	
Mano de Obra						
Operario	hh	1.00	0.8000	23.94	19.15	
Oficial	hh	1.00	0.8000	18.89	15.11	
Peón	hh	7.00	5.6000	17.08	95.65	
Materiales						
Arena gruesa	m3	-	0.0624	29.66	1.85	
Piedra chancada de 1/2"	m3	-	0.5591	55.08	30.80	
Agua	m3	-	0.1141	7.60	0.87	
Vidrio Molido 0.15mm	kg	-	6.50	10.11	65.73	
Cemento Portland Tipo I	bls	-	7.6416	19.41	148.32	
Equipos y herramientas						
DESGASTE DE HERRAMIENTAS	%M.O		5%	129.91	6.50	
Mezcladora 16p3 (18 HP)	hm	0.90	0.7200	18.45	13.28	
Rodillo Manual de 2.5 HP	hm	0.50	0.4000	37.40	14.96	

Fundamento: Propia

Tabla N°45: Costo del Concreto Permeable en Pavimentos de 175 kg/cm² (2% PVM)

Utilizar el 2% de sustitución de puzolana de vidrio 0.15mm por peso de cemento, **produce un costo adicional de S./65.71 por metro cúbico** respecto al concreto permeable patrón, comportándose como un material cementicio, con una variación ligera de disminución a la compresión de 0.57 kg/cm² equivalente al 0.32% en comparación con el concreto permeable patrón.

Como parte de la comparativa se presenta adicionalmente el análisis de un concreto convencional para resistencia de 175 kg/cm² y 210 kg/cm², con piedra de 3/4" y asentamiento de 4". Cabe resaltar que las proporciones por metro cúbico, rendimientos y cuadrillas necesarias se justifican del libro de Costos y Presupuestos de Edificaciones "Capeco".

Partida N°	7 CONCRETO F'C 175 KG/CM2 CON PIEDRA DE 3/4" Y ASENTAMIENTO DE 4"				
Rendimiento: 10 m3/Día Jorn. Laboral: 8 Horas			Operario: S/.23.94 Oficial: S/.18.89 Peón: S/.17.08		
PRECIOS DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS NO INCLUYEN IGV - TIPO DE CAMBIO S./3.75					
					Total: S/.365.79
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio parcial S/.
Mano de Obra					
Operario	hh	1.00	0.800	23.94	19.15
Oficial	hh	1.00	0.800	18.89	15.11
Peón	hh	7.00	5.600	17.08	95.65
Materiales					
Arena gruesa	m3	-	0.490	29.66	14.53
Piedra chancada de 1/2"	m3	-	0.610	55.08	33.60
Agua	m3	-	0.184	7.60	1.40
Cemento Portland Tipo I	bls	-	8.400	19.41	163.04
Equipos y herramientas					
DESGASTE DE HERRAMIENTAS	%M.O		5%	129.91	6.50
Mezcladora 16p3 (18 HP)	hm	0.90	0.720	18.45	13.28
Vibrador 5 HP	hm	0.38	0.300	11.76	3.53

Fundamento: Propia

Tabla N°46: Costo de concreto en Pavimentos de 175 kg/cm²

Se concluye entonces que la utilización de concreto permeable produce un ahorro de **S./19.18 por metro cúbico** para resistencias referentes a 175 kg/cm².

Partida N°	8 CONCRETO F'c 210 KG/CM2 CON PIEDRA DE 3/4" Y ASENTAMIENTO DE 4"					
Rendimiento:	10	m3/Día				
Jorn. Laboral:	8	Horas				
			Operario:	S/.23.94		
			Oficial:	S/.18.89		
			Peón:	S/.17.08		
PRECIOS DE MATERIALES Y HERRAMIENTAS NO INCLUYEN IGV - TIPO DE CAMBIO S./3.75						
					Total:	S/.390.19
Descripción	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio parcial S/.	
Mano de Obra						
Operario	hh	1.00	0.800	23.94	19.15	
Oficial	hh	1.00	0.800	18.89	15.11	
Peón	hh	7.00	5.600	17.08	95.65	
Materiales						
Arena gruesa	m3	-	0.480	29.66	14.24	
Piedra chancada de 1/2"	m3	-	0.600	55.08	33.05	
Agua	m3	-	0.185	7.60	1.41	
Cemento Portland Tipo I	bls	-	9.700	19.41	188.28	
Equipos y herramientas						
DESGASTE DE HERRAMIENTAS	%M.O		5%	129.91	6.50	
Mezcladora 16p3 (18 HP)	hm	0.90	0.720	18.45	13.28	
Vibrador 5 HP	hm	0.38	0.300	11.76	3.53	

Fundamento: Propia

Tabla N°47: Costo de concreto en Pavimentos de 210 kg/cm2

Se concluye entonces que la utilización de concreto permeable produce un ahorro de **S./43.68 por metro cúbico** para resistencias referentes a 210 kg/cm2.

Estos valores de ahorro en ambos casos comparados para concreto en pavimentos de 175 y 210 kg/cm2 varían ya que en el concreto permeable se usan menos cantidades de bolsas por metro cúbico.

5.7.2. Diseños o grupos de mezcla que no cumplieron la hipótesis planteada y su selección para distintos usos

Se presenta en la siguiente tabla el resumen de las propiedades del concreto permeable ensayado a los 28 días, con su respectivo costo de los materiales por metro cúbico para los diferentes diseños de uso a describir.

Grupo Evaluado	T (°C)	Slump (cm.)	Dns. (kg/m3)	Cont. V. (%)	Tasa Inf. (cm/s)	F'c (kg/cm2)	Costo por m3
0% PVM	23.5	0.00	1818.33	0.30	0.25	177.29	S/ 181.86
1% PVM	24.3	1.27	1812.63	0.29	0.29	155.07	S/ 220.49
2% PVM	21	0.00	1730.70	0.28	0.29	176.72	S/ 259.25
10% PVM	22.2	1.27	1948.46	0.22	0.24	155.00	S/ 733.21
15% PVM	23.3	1.27	1904.71	0.27	0.27	95.77	S/ 761.98
30% PVM	23.3	0.00	1870.54	0.26	0.26	162.96	S/ 1,506.62

Fundamento: Propia

Tabla N°48: Resumen de las propiedades y costos de las muestras de estudio

Los grupos con sombreado de color rojo son aquellos que no cumplen lo requerido en la Normatividad para Pavimento Urbano CE010, mientras que los grupos sombreados con verde claro son aquellos que si cumplieron lo especificado.

Siendo así que el grupo de mezcla con el 0% PVM y el de 1% PVM cumplen los requisitos mínimos para ser empleados en veredas, ciclovías, pases peatonales. Si bien la diferencia de precios de materiales por m³ es de S./ 77.39, siendo el vidrio el que aumenta considerablemente el precio de este grupo de prueba.

Si bien el precio unitario de la puzolana de vidrio de 0.15mm obtenido en esta investigación es de **S./10.11 por kilo**, superando completamente al costo por kilo del cemento portland en 15 veces aproximadamente. El costo elevado de este material se debe a que la producción ejecutada en reciclaje para la obtención de la puzolana en tamaños menores a 0.30mm es muy dificultosa, sin embargo, como indica la revista “Concreto en Latinoamérica” en su apartado de puzolanas referentes al vidrio, que se le realizó una molienda altamente abrasiva de grandes volúmenes de botellas de vidrio, lo cual desgasta la mayor parte de cualquier material de etiquetas o residuos de alimentos en un tamaño resultante de hasta 0.044 mm (#325) en un tiempo considerable; concluyendo así que si se da una molienda en masa, su precio por kilogramo se ve disminuido en una gran diferencia según lo calculado en la presente investigación y con mejores acercamientos al tamaño del grano de cemento. La revista además indica que ejecutan a la fecha dos puentes en la Île-des-Soeurs, Montréal, QC, Canadá, de concreto con un 10% de la sustitución del cemento por PVM Tipo GS (arena de vidrio), ahorrando un total aproximado de 44 toneladas de cemento.

Los grupos de mezcla del 1%, 10% y 30% de sustitución de puzolana pueden ser aplicados como veredas de bajo tránsito donde el requerimiento promedio de resistencia es de 140 kg/cm².

Mientras que para el grupo de mezcla del 15% de sustitución de puzolana puede ser empleado en pases peatonales que permiten el acceso a áreas circundantes de árboles y jardines cuyo requerimiento promedio de resistencia es de superior a los 50 kg/cm².

Como se aclaró en párrafos anteriores, si la producción de vidrio en masa se realiza para aplicarlas en sustitución en obras grandes se ahorraría gran parte económica reflejada en la disminución de compra de toneladas de cemento.

5.8. Comparación de la efectividad de la puzolana de vidrio frente a otros materiales reciclados

Para el estudio de comparación de nuestros resultados, se realizó una recopilación de investigaciones recientes sobre el diseño de un concreto permeable con diferentes tipos de componentes o estudios del comportamiento de este frente a ciertas características propias de cada investigación. El análisis comparativo de las investigaciones se ha elaborado solo con edades de ensayos finales equivalente a los 28 días. Los indicadores considerados para cada una de las investigaciones sintetizadas son:

- ❖ Material de estudio de cada investigación,
- ❖ Si ese material lo sustituye o lo adiciona.
- ❖ ¿Si lo sustituye, por qué elemento de los componentes del concreto permeable lo hace?
- ❖ ¿Si lo adiciona, por qué elemento de los componentes del concreto permeable lo hace?
- ❖ Cuanto porcentaje de finos decide usar.
- ❖ Qué relación agua/cemento escoge.
- ❖ Que tamaño de agregado grueso usa.
- ❖ Qué tipo de compactación elige y en qué forma elabora sus muestras (# capas y #golpes por capa).
- ❖ Con que valores de contenido de vacíos inicia.
- ❖ Cuál es su esfuerzo de compresión a diseñar.
- ❖ Sus propiedades fundamentales en estado endurecido, tales como su densidad, contenido de vacíos, tasa de infiltración y compresión.

Con relación a cada uno de estos indicadores se elaboró la siguiente Tabla #49, presentada a continuación.

TESIS	CITA	MATERIAL EN ESTUDIO	EDAD DE ENSAYO	%SUSTITUCIÓN O ADICIÓN	¿CÓMO SE INCORPORA?	
Pereyra Valdera	PROPIO	Puzolana de Vidrio reciclado 0.15mm	28 DIAS	PATRÓN	Polvo	Sustitución
		Puzolana de Vidrio reciclado 0.15mm	28 DIAS	1%	Polvo	Sustitución
		Puzolana de Vidrio reciclado 0.15mm	28 DIAS	2%	Polvo	Sustitución
		Puzolana de Vidrio reciclado 0.15mm	28 DIAS	10%	Polvo	Sustitución
		Puzolana de Vidrio reciclado 0.15mm	28 DIAS	15%	Polvo	Sustitución
		Puzolana de Vidrio reciclado 0.15mm	28 DIAS	30%	Polvo	Sustitución
Bautista Pereda	[49]	Comportamiento	28 DIAS	-	-	-
Guizado Barrios y Curi Grados	[42]	Comportamiento	28 DIAS	-	-	-
Príncipe Ramos	[24]	Comportamiento	28 DIAS	-	-	-
Ramírez Sánchez	[50]	Comportamiento	28 DIAS	-	-	-
Gutiérrez Teodor	[51]	Puzolana de Vidrio reciclado 0.075mm y Conchas de abanico 1:3	28 DIAS	20%	Polvo	Sustitución
		Puzolana de Vidrio reciclado 0.075mm y Conchas de abanico 1:3	28 DIAS	40%	Polvo	Sustitución
Cruz Días y Arana Pari	[52]	Aditivo Superplastificante MasterRheobuild 1003 de la marca BASF	28 DIAS	1.20%	Líquido	Sustitución
Flores Quispe y Pacompia Calcina	[15]	Plástico de Polipropileno (PP) - 3mm x 30mm	28 DIAS	0.05%	Tiras	Adición
Castillo Castillo y Trujillo de la Cruz	[16]	Plástico de polietileno de baja densidad - 4 mm x 20mm	28 DIAS	0.075%	Tiras	Adición
Jacinto Aquino	[18]	Aditivo SiKaCem Plastificante	28 DIAS	500 mL	Líquido	Adición

TESIS	% Finos/Agregado	RELACIÓN A/C	HUSO	TIPO DE COMPACTACIÓN	#CAPAS	#GOLPES/CAPA	DENSIDAD (KG/M3)
Pereyra Valdera	10%	0.350	Nro. 67	Martillo de Proctor Estándar	3	25	1818.33
	10%	0.350	Nro. 67	Martillo de Proctor Estándar	3	25	1904.71
	10%	0.350	Nro. 67	Martillo de Próctor Estándar	3	25	1870.54
	10%	0.350	Nro. 67	Martillo de Próctor Estándar	3	25	1812.63
	10%	0.350	Nro. 67	Martillo de Próctor Estándar	3	25	1730.7
	10%	0.350	Nro. 67	Martillo de Próctor Estándar	4	30	1948.46
Bautista Pereda	10%	0.270	Nro. 67	Varilla Lisa 5/16"	3	25	2149.50
Guizado Barrios y Curi Grados	10%	0.270	Nro. 08	Martillo de Proctor Estándar	3	17	2087.00
Príncipe Ramos	0%	0.400	Nro. 08	Martillo de Proctor Estándar	3	5	-
Ramírez Sánchez	15%	0.400	Nro. 07	Sin compactar	-	-	-
Gutiérrez Teodor	0%	0.350	Nro. 07	Varilla Lisa 5/16"	3	5	-
	0%	0.350	Nro. 07	Varilla Lisa 5/16"	3	5	-
Cruz Días y Arana Pari	0%	0.266	Nro. 08	Martillo de Proctor Estándar	3	9	1944.00
Flores Quispe y Pacompia Calcina	10%	0.400	Nro. 08	Martillo de Proctor Estándar	4	10	1931.67
Castillo Castillo y Trujillo de la Cruz	10%	0.350	Nro. 67	Varilla Lisa 5/16"	3	25	-
Jacinto Aquino	20%	0.300	Nro. 67	Martillo de Próctor Estándar	3	16	1971.00

TESIS	% VACÍOS TEÓRICO INICIAL	% VACÍOS ENDURECIDO	TASA DE INFILTRACIÓN (CM/S)	ESFUERZO DE DISEÑO (KG/CM2)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG/CM2)
Pereyra Valdera	20%	29.60%	0.250	175	177.29
	20%	26.00%	0.270	175	155.07
	20%	26.20%	0.260	175	176.72
	20%	28.80%	0.290	175	155.00
	20%	28.30%	0.290	175	95.77
	20%	21.70%	0.240	175	162.96
Bautista Pereda	10%	16.76%	0.200	175	177.98
Guizado Barrios y Curi Grados	15%	27.50%	0.700	175	221.50
Príncipe Ramos	20%	-	3.094	175	155.63
Ramírez Sanchez	20%	17.51%	0.617	175	153.58
Gutiérrez Teodor	15%	-	1.790	175	161.81
	15%	-	1.670	175	158.05
Cruz Días y Arana Pari	15%	20.50%	0.330	175	260.03
Flores Quispe y Pacompia Calcina	15%	17.02%	0.463	175	191.02
Castillo Castillo y Trujillo de la Cruz	17.4%	18.72%	0.507	175	179.83
Jacinto Aquino	24.29%	24.29%	0.200	175	213.7

Fundamento: Propia

Tabla N°49: Resultados de las pruebas experimentales realizadas al concreto permeable de 9 investigaciones

Comparación con las investigaciones entre Príncipe y Ramírez

La resistencia a la compresión a los 28 días cuando se le sustituye un 30% de puzolana de vidrio al concreto permeable corresponde a 162.96 kg/cm², siendo mayor a las investigaciones realizadas por Príncipe Ramos de un valor de 155.63 kg/cm² y por Ramírez Sánchez con un valor de 153.58 kg/cm². Tanto Príncipe como Ramírez usan una relación agua cemento de 0.40, y un agregado de 3/8" y 1/2" respectivamente, sin embargo, el tipo de compactación usada es con poca energía de compactación comparada a la usada en esta investigación para este porcentaje. Además, según la ilustración #12 (Relación agua cemento vs. esfuerzo de compresión según tipo de agregado), usar una relación agua/cemento de 0.40 y agregados de 3/8" otorga mejor resistencia que un agregado de 3/4" debido a su acomodación del concreto permeable.

Sin embargo, Príncipe, no utiliza agregado fino en sus diseños, por lo que obtiene una permeabilidad muy elevada equivalente a 3.094 cm/s, estando fuera del rango de la norma (0.20 cm/s a 0.54cm/s).

Tanto Príncipe como Ramírez, usan un contenido de vacíos inicial del 20% y una relación agua/cemento de 0.40, diferenciándose en la utilización del agregado fino, donde Ramírez utiliza un 15% del total de agregados y en el grado de compactación. Príncipe usa el martillo de Próctor mientras que Ramírez no utiliza ninguna compactación, obteniendo casi los mismos resultados en resistencia a la compresión. Por otro lado, Ramírez usando el 15% de agregado fino obtiene un valor de permeabilidad cerca del rango requerido.

En esta investigación obtenemos coeficientes de permeabilidad aceptables en todos los grupos de prueba elaborado con 10% de finos, **concluyendo entonces que, si se quiere mejorar la permeabilidad de manera significativa con resistencias a la compresión bajas, se debe de usar agregado fino con un porcentaje inferior al 10%.**

Además, que el vidrio se comporta muy bien con la pasta y buenos resultados tanto de compresión como de permeabilidad sin variación de los vacíos definidos inicialmente, si su grado de compactación sobrepasa los 1.69 kgf/cm².

Comparación con la investigación de Gutiérrez Teodor

Los resultados del esfuerzo de compresión cuando se le sustituye 1% y 10% de puzolana de vidrio son de 155.07 y 155 kg/cm² respectivamente, muy cercanos a los obtenidos por Gutiérrez cuando sustituye un 20% de cemento de la mezcla por conchas de abanico con puzolana de vidrio de 0.075mm en relación 1:3, obteniendo 161.81 y cuando sustituye un 40% de cemento de la mezcla por conchas de abanico con puzolana de vidrio de 0.075mm en relación 1:3 obtiene 158.05 kg/cm².

Estos últimos valores son superados cuando se le sustituye un 30% de puzolana de vidrio de 0.30mm cuando la energía de compactación es de 1.69 kg/cm², dando un valor de compresión de 162.96 kg/cm².

Además, Gutiérrez no usa finos, y por ello no supera la resistencia mínima requerida para un pavimento urbano según la CE010, por otro lado, obtiene una permeabilidad que supera la requerida por la Norma ACI 522R que se describe por la no utilización de finos. Adicionalmente Gutiérrez no usa una compactación con martillo Proctor, sino solo varillado, eh aquí otro punto clave del porqué no sobrepasó la resistencia mínima requerida para un pavimento urbano cuando se le sustituye por puzolana de vidrio en conjunto con otro material orgánico de composición silícea.

Deduciendo entonces que la puzolana de vidrio aporta resistencia considerable en el concreto permeable cuando se le aplica en su compactación una energía igual o superior a 1.69 kg/cm².

Comparación con la investigación de Flores y Pacompia; Castillo y Trujillo de la Cruz

El plástico de polipropileno adicionados en tiras de 3mmx30mm por Flores y Pacompia, resaltan buenas resistencias a la compresión equivalentes a 191 kg/cm² cuando se le adiciona en un 0.05% del peso del concreto. Obteniendo además un Contenido de vacíos y permeabilidad dentro de la normativa del ACI522R.

En comparación con la puzolana de vidrio de 0.15mm, la sustitución mejora las capacidades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable si su nivel de compactación es “pesada”. Siendo así que la adición de vidrio en un concreto

convencional en reemplazo del fino o cemento mejora las propiedades de resistencia a la compresión y a la flexión. [14]

Castillo y Trujillo de la Cruz, investigan incluir en el concreto permeable otro tipo de plástico, siendo polietileno de baja densidad en tiras de 4mmx20mm, obteniendo una resistencia a la compresión de 179.83 kg/cm² cuando se le adiciona un 0.075% de relación al peso del cemento.

El contenido de vacío de ambas investigaciones no varía considerablemente, habiendo empleado diferentes tipos de agregado. La diferencia es explicada por la compactación ejecutada en ambos, mientras que Flores compactó sus muestras en 4 capas con 10 golpes del martillo Proctor por capa, Castillo usó la varilla lisa en 3 capas con 25 golpes por capa. Concluyendo que la adición de porcentaje mínimos de plásticos de polipropileno y polietileno de baja densidad, aportan resistencias superiores al concreto permeable, cuando a este se le sustituye por puzolana de vidrio de 0.15mm.

Comparación con la investigación de Guizado y Curi

Si bien Guizado utiliza el contenido de vacíos mínimo de 15% establecido por la Norma ACI522R, obtiene un porcentaje de vacíos en estado endurecido equivalente a 27.50% y un esfuerzo de compresión de 221.50 kg/cm², además utiliza agregados de 3/8", deduciendo que ese esfuerzo de compresión es representativo dentro de las gráficas otorgadas por el ACI522R (agregado de 3/8" y compactación ligera bordea los 210 kg/cm²).

La compactación usada en nuestra investigación en todos los grupos de prueba exceptuando cuando se sustituye el 30% de PVM, fue de 3 capas con 25 golpes por capa, obteniendo un contenido de vacíos máximo de 29.60% correspondiente al concreto permeable patrón, siendo este valor un 9.6% mayor que el definido inicialmente, en comparación con el obtenido de Guizado y Curi que tiene una variación del 12.5% con respecto a su contenido de vacíos inicial.

Finalmente deducimos que solo 4 investigaciones cuyos valores de permeabilidad son de 0.70 cm/s para Guizado y Curi, 3.094 cm/s para Príncipe, 0.617 cm/s para Ramírez, de 1.79 cm/s y 1.67 cm/s para Gutierrez no están dentro del rango que establece la Norma ACI522R de 0.20 cm/s a 0.54 cm/s.

VI. CONCLUSIONES

- ✓ El tamaño del grano de la puzolana de vidrio reciclado para la sustitución de los diferentes grupos de diseño de concreto permeable es de 0.15mm, cuya densidad calculada por el método de Le Chatelier, considerando que la puzolana actuó como sustituto del cemento portland, resultó de 2.62 gr/cm³ según la Norma Técnica Peruana NTP 334.005 (Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad del Cemento Portland).
- ✓ La densidad de la puzolana de vidrio reciclado de 0.15mm obtenida es muy cercana a la que determinó la Revista “Concreto en Latinoamérica – Sección Puzolanas – Vidrio reciclado” con un valor de gravedad específica “SG” equivalente a 2.60.
- ✓ La Reacción Álcali sílice (RAS) se ve desestimada en el concreto permeable, ya que el tamaño de grano utilizado fue de 0.15mm (tamiz pasante #100), en consideración con lo recomendado de la Revista “Concreto en Latinoamérica” (*mientras el tamaño del grano de la puzolana de vidrio sea inferior a 300 micras, la reacción álcali-sílice produce un riesgo insignificante*).
- ✓ Todos los grupos de muestra se elaboraron con un contenido de vacíos inicial del 20%; una relación agua/cemento de 0.35; agregado de Huso Granulométrico Nro. 67; un porcentaje del 10% de fino por peso de agregados; y una tasa de infiltración o intensidad de lluvia de diseño equivalente a 91.6 mm/hora, considerando en este último parámetro un factor de colmatación igual a 10.
- ✓ El tipo de Compactación usado según la Norma ACI 522R, fue para todos los grupos de ensayo “Ligeramente Compactado”, con una energía de compactación equivalente a 1.05 kgf/cm² para las muestras elaboradas con el 0%, 10%, 15%, 1% y 2% y de 1.69 kgf/cm² para las muestras elaboradas con el 30% de sustitución de puzolana de vidrio reciclado de 0.15mm.
- ✓ La resistencia a la compresión a los 7 días fue 96.81 kg/cm², 93.12 kg/cm², 89.79 kg/cm², 61.74 kg/cm², 52.47 kg/cm², 78.90 kg/cm² para los grupos del 0%, 1%, 2%, 10%, 15%, 30% respectivamente.
- ✓ La resistencia a la compresión a los 21 días se mantiene ligeramente constante en los grupos de mezcla correspondientes al 0%, 1% y 2% de sustitución de puzolana de vidrio, con un valor de 136.31 kg/cm², 135.72 kg/cm², 137.44 kg/cm² respectivamente, mientras que al sustituir puzolana en los grupos del

- 10%, 15% y 30% los valores descienden en 30 kg/cm², 61.88 kg/cm² y 11.24 kg/cm² correspondientemente comparados a los 21 días con el concreto patrón.
- ✓ **La resistencia a la compresión a los 28 días fue favorable para los grupos de muestras evaluados con el 0% y 2%** de sustitución de puzolana de vidrio reciclado equivalente a 177.29 kg/cm² y 176.72 respectivamente, mientras que para los grupos del 1% y 10 % se asemejan en valor de esfuerzo con un valor entero de 155 kg/cm².
 - ✓ El grupo con sustitución del 30% obtiene un valor cercano a la resistencia de diseño equivalente a 162.96 kg/cm² a los 28 días, lo que se deduce que después de ese tiempo llegará o sobrepasará la resistencia requerida.
 - ✓ El resultado a los 28 días de sustituir por el 15% de puzolana, se ve disminuido en la mitad de la resistencia adquirida en el concreto patrón, deduciendo un ineficiente grado de compactación en este grupo de mezcla.
 - ✓ En esta investigación obtenemos coeficientes de permeabilidad aceptables en todos los grupos de prueba dentro del rango que determina el ACI 522R de 0.20 cm/s a 0.54 cm/s, elaborado con 10% de finos.
 - ✓ Los porcentajes de vacíos de todos los grupos de mezcla, evaluados a los 28 días se encuentran dentro del rango determinado por la norma ACI 522R de 18% a 35%, teniendo un máximo de vacíos de 29.6% perteneciente al concreto permeable patrón y un mínimo de 21.7% correspondiente al concreto permeable con 30% de sustitución de puzolana.
 - ✓ Se puede deducir que el requerimiento de permeabilidad cuando se usa agregado de 3/4" no es un factor determinante, debido a que el coeficiente de permeabilidad mínima obtenida fue de 0.24cm/s, correspondiente a la sustitución del 30% de puzolana de vidrio, siendo 93 veces superior a la intensidad de lluvia de diseño requerida.
 - ✓ La identificación de los grupos de mezcla por su densidad obtenida a los 28 días según el nivel de compactación descrita por Meininger, resulta de un nivel Ligero para el 15% de sustitución; nivel Medio para el 0% y 10% de sustitución; y nivel pesado para el 1%, 2%, 30% de sustitución de puzolana de vidrio reciclado.
 - ✓ El vidrio se comporta muy bien con la pasta y buenos resultados tanto de compresión como de permeabilidad sin variación de los vacíos definidos inicialmente, si su energía de compactación sobrepasa los 1.69 kgf/cm².

- ✓ El precio unitario de la puzolana de vidrio de 0.15mm obtenido en esta investigación es de **S./10.11 por kilo**, superando completamente al costo por kilo del cemento portland en 15 veces aproximadamente.
- ✓ El empleo del concreto poroso genera un ahorro **de S./19.18 por metro cúbico** para esfuerzos de compresión referentes a concretos porosos para pavimentos de 175 kg/cm².
- ✓ El empleo del concreto poroso genera un ahorro **de S./43.68 por metro cúbico** para esfuerzos de compresión referentes a concretos porosos para pavimentos de 210 kg/cm².
- ✓ El plástico de polipropileno adicionados en tiras de 3mmx30mm por Flores y Pacompia, resaltan buenas resistencias a la compresión equivalentes a 191 kg/cm² cuando se le adiciona en un 0.05% del peso del concreto obteniendo además un Contenido de vacíos y permeabilidad dentro de la normativa del ACI522R en comparación con la puzolana de vidrio de 0.15mm, donde la sustitución mejora las capacidades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable si su nivel de compactación es “pesada”.
- ✓ Se deduce que de las 9 investigaciones comparadas, solo 4 de estas no están dentro del rango que establece la Norma ACI522R de 0.20 cm/s a 0.54 cm/s cuyos valores de permeabilidad son de 0.70 cm/s para Guizado y Curi, 3.094 cm/s para Príncipe, 0.617 cm/s para Ramírez, de 1.79 cm/s y 1.67 cm/s para Gutiérrez.

VII. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda emplear en la sustitución un tamaño del grano de vidrio de 75 micras o menor, y una compactación superior a 1.05 kgf/cm² para que no haya problemas de fallas locales en la mezcla con la pasta al utilizar porcentajes de sustitución de puzolana entre el 10% y 15%.
- ✓ Se recomienda utilizar agregado fino en porcentajes inferior al 10% si se quiere mejorar la permeabilidad de manera significativa con resistencias a la compresión bajas.
- ✓ Se recomienda que al elaborar las muestras de concreto permeable, los tiempos de llenado y compactación por capa se deben de hacer en la brevedad posible de la terminación secuencial de cada una de estas, y teniendo en cuenta que la mezcladora a usar debe estar en rotación cuando se culmine de vaciar una capa y se deje de lado la mezcladora.
- ✓ Se recomienda utilizar el grupo de mezcla con el 0% PVM y el de 1% PVM para ser empleados en veredas, ciclovías, pases peatonales que cumplen con el esfuerzo mínimo de compresión de 175 kg/cm².
- ✓ Se recomienda utilizar el grupo de mezcla con el 1%, 10% y 30% de sustitución de puzolana para ser empleados como veredas de bajo tránsito donde el requerimiento promedio de resistencia es de 140 kg/cm².
- ✓ Se recomienda utilizar el grupo de mezcla con el 15% de sustitución de puzolana para ser empleado en pases peatonales que permiten el acceso a áreas circundantes de árboles y jardines cuyo requerimiento promedio de resistencia es de superior a los 50 kg/cm².
- ✓ Se recomienda utilizar una molienda en masa, para que su precio por kilogramo se vea disminuido en una gran diferencia según lo calculado en la presente investigación y con mejores acercamientos al tamaño del grano de cemento.
- ✓ Según la comparación con las 9 investigaciones y demás fuentes usadas en esta investigación, se recomienda evaluar diferentes grados de compactación para un concreto permeable ya que influye de manera notoria en las propiedades mecánicas e hidráulicas de este tipo de concreto y es un punto muy poco estudiado.

VIII. REFERENCIAS

- [1] M. Rodríguez y M. Ruiz, «Evaluación del desempeño de un hormigón con incorporación de vidrio reciclado finamente molido en reemplazo de cemento mediante ensayos de laboratorio,» *REVISTA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES*, vol. 3, n° 2, p. 8, 30 Octubre 2016.
- [2] OEFA, «Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental,» 2018.
- [3] REQUE, «MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE REQUE,» Chiclayo, 2021.
- [4] D. R. Arbulú Regalado y J. L. Delgado Sotero, «PROPUESTA DE UN PLAN DE CLAUSURA PARA EL BOTADERO "PAMPAS DE REQUE" PARA PROTEGER EL AMBIENTE, SEGURIDAD Y SALUD A LA POBLACIÓN ALEDAÑA, REQUE 2019,» CHICLAYO, 2019.
- [5] SIGERSOL, «Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos,» 2018.
- [6] ANDINA, *Lluvias intensas en Reque dejan más de 250 damnificados y 50 casas colapsadas*, 17 03 2017.
- [7] M. A. Trezza y V. F. Rahhal, «Comportamiento del residuo de vidrio molido en cementos mezcla: Estudio comparativo con microsilice,» 2018.
- [8] M. A. Abu Haloud, «Effect of Using Glass Powder as Partial Cement Replacement on Physical and Mechanical Behavior of Concrete,» ISRAEL, 2018.
- [9] N. Tamanna, «Use of waste glass as aggregate and cement replacement in concrete.,» AUSTRALIA, 2020.
- [10] E. Gonzales Tapia, «Flexural Load Capacity of Heat-treated Concrete Mixed with Recycled Glass Aggregate and Glass Pozzolan,» UNITED STATES, 2020.
- [11] L. A. Palacios Martínez, «Determinación del Comportamiento del Concreto en Estado Fresco y Endurecido, Utilizando Vidrio Molido como Sustituto Parcial del Agregado Fino,» GUATEMALA, 2019.
- [12] J. A. Poma Ariza, «Análisis Y Diseño Para La Elaboración De Concreto $f'c=210$ KG/CM² Adicionando Vidrio Reciclado Molido como Agregado Fino según la norma ACI 211,» LIMA, 2019.

- [13] J. A. Coronado Montes y Á. D. Maguiña Ramírez, «Efecto de la fibra de vidrio en las propiedades físico-mecánicas del concreto permeable para su empleo en el Jr. Huascarán,» Huaraz, 2019.
- [14] A. Paredes Bendezú, «Análisis de la Resistencia a la Compresión del Concreto $F'c=210$ kg/cm con Adición de Vidrio Reciclado Molido,» TARAPOTO-PERÚ, 2019.
- [15] C. E. Flores Quispe y I. A. Pacompia Calcina, «DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE TIRAS DE PLÁSTICO PARA PAVIMENTOS $f'c$ 175 kg/cm² EN LA CIUDAD DE PUNO,» Puno, 2015.
- [16] L. M. Castillo Castillo y E. Trujillo De la Cruz, «ELABORACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE CON ADICIÓN DE MATERIAL PLÁSTICO RECICLADO PARA PAVIMENTACIÓN EN EL DISTRITO DE PARIACOTO-ANCASH,» Chimbote, 2019.
- [17] C. E. Córdova Sánchez, «Análisis del Concreto Simple Utilizando Vidrio Pulverizado Como Adición para Concreto de Alta Resistencia con Agregados de la Ciudad de Chiclayo,» CHICLAYO, 2018.
- [18] J. E. Jacinto Aquino, «Diseño de Mezcla de Concreto Permeable Utilizando Diferentes Porcentajes de Agregado Fino y Aditivos en la Ciudad de Chiclayo,» CHICLAYO, 2021.
- [19] «ACI 522R - CONCRETO PERMEABLE,» ASSOCIATION INSTITUTE CONCRETE (ACI).
- [20] E. Pasquel Carbajal, de *TOPICOS DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO EN EL PERU*, LIMA, CAPITULO DE INGENIERIA CIVIL - CONSEJO DEPARTAMENTAL DE LIMA, 1992-1993.
- [21] F. Abando Castillo , «Tecnología del Concreto,» p. 87.
- [22] M. M. Esquerre Garcia y H. W. Silva Silv, «Propuesta de diseño de pavimento drenante para la captación de agua de lluvias en zonas urbanas del norte del Perú,» Lima, UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, 2019.
- [23] «EL FENOMENO EL NIÑO 1997-1998, MEMORIA, RETOS Y SOLUCIONES,» vol. 5, PERU, Corporación Andina de Fomento, 1997-1998.
- [24] M. A. Príncipe Ramos, «Comportamiento del concreto permeable con 20% de vacíos utilizando agregado grueso de tres canteras - Huaraz,» Huaraz, 2018.
- [25] N. Neithalah, «Development and Characterization of Acoustically Efficient Cementitious Materials,» West Lafayette, 2004.

- [26] E. Rivva Lopez, de *Naturaleza y Materiales del concreto*, LIMA, CAPITULO PERUANO ACI, 2000.
- [27] T. López y A. Martínez, «El mundo mágico del vidrio».
- [28] «Concreto en Latinoamérica,» vol. 1, nº 2, Noviembre 2020.
- [29] J. G. Hachi Quintana y J. D. Rodriguez Mejía , «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA RECICLAR ENVASES PLÁSTICOS DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET), EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL,» Guayaquil, 2010.
- [30] INDECOPI, «AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.010* , p. 12, 2011.
- [31] INDECOPI, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.185* , p. 13, 2013.
- [32] INDECOPI, «Determinación de la Resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles - (Modificado),» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.019 - 2002*, p. 11, 2014.
- [33] INDECOPI, «AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregadofino, grueso y global.,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.012*, p. 15, 2013.
- [34] INDECOPI, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.021*, p. 8, 2013.
- [35] INDECOPI, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.022*, p. 20, 2013.
- [36] INDECOPI, «CEMENTOS. Méto d ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 334.005* , p. 7, 2011.
- [37] INDECOPI, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados.,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 400.017*, p. 14, 2011.
- [38] SENAMHI, «EL EVENTO EL NIÑO-OSCILACION SUR 1997 - 1998:SU IMPACTO EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE (PERU),» Lambayeque, 2004.

- [39] M. D. T. Y. C. (MTC), «MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE,» p. 222.
- [40] INDECOPI, «Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.034*, p. 19, 2015.
- [41] INDECOPI, «Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.183*, p. 24, 2013.
- [42] A. X. Guizado Barrios y E. R. P. Curi Grados, «Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú,» 2017.
- [43] R. C. Meininger, «No-Fines Pervious Concrete for Paving,» vol. 10, pp. 20-27, Agosto 1988.
- [44] INDECOPI, «Método de ensayo para la medición del asentamiento o slump del concreto con el Cono de Abrams,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.035*, p. 9, 2009.
- [45] INDECOPI, «Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.184*, p. 5, 2002.
- [46] INDECOPI, «Método de ensayo para determinar la densidad y el contenido de vacíos del concreto permeable fresco,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.230*, p. 9, 2010.
- [47] INDECOPI, «Método de ensayo para determinar la densidad y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.238*, 2018.
- [48] INDECOPI, «Concreto Premezclado,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.114*, p. 34, 2012.
- [49] A. J. Bautista Pereda, «DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO PERMEABLE PARA LA EVACUACIÓN DE AGUA PLUVIALES SEGÚN LA NORMA ACI 522r-10,» Lima - Perú, 2018.
- [50] J. A. Ramírez Sanchez, «Resistencia de concreto permeable $f'c=175$ kg/cm² con adición de 10%, 15% y 20% de agregado fino – Huaraz,» Huaraz, 2018.
- [51] V. S. Gutierrez Teodor, «Resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto permeable sustituyendo 20 Y 40% de cemento por vidrio molido y conchas de abanico,» Huaraz, 2019.

- [52] F. H. Cruz Díaz y C. F. Arana Pari, «Evaluación de la resistencia mecánica de un concreto permeable ordinario frente a concretos permeables elaborados con un aditivo superplastificante y relaciones a/c menores, para su uso en pavimentos urbanos; Arequipa - 2021,» Arequipa, 2021.
- [53] M. A. LÉCTOR LAFITTE y E. J. VILLARREAL BRAGÁN, «UTILIZACIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS DE RECICLAJE COMO ADICIÓN EN LA ELABORACION DE CONCRETO EN LA CIUDAD DE NUEVO CHIMBOTE,» CHIMBOTE, 2017.
- [54] A. F. Zúñiga Díaz, «Evaluación del tereftarato de polietileno (PET) como agregado en la elaboración de mortero para ladrillos y concreto,» Bogotá, 2015.
- [55] J. R. Pinedo Pérez, «Estudio de resistencia a la compresión del concreto $F'c= 210\text{kg/cm}^2$, con la adición de plástico reciclado (PET), en la ciudad de Tarapoto, 2018,» Tarapoto, 2018.
- [56] Y. J. Aquino Castro, «Estudio comparativo de la influencia del plástico (PET) en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto reciclado y concreto convencional,» Trujillo, 2019.
- [57] P. E. Márquez Herrera, «ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO CON ADICIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA,» Arequipa, 2019.
- [58] C. K. Br. Parra Nauca, «Aplicación del plástico reciclable en la mezcla de concreto $f'c=210\text{ kg/cm}^2$ para verificar su influencia en la resistencia a compresión,» Chiclayo, 2019.
- [59] C. A. Reyna Pari, «REUTILIZACIÓN DE PLÁSTICO PET, PAPEL Y BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR, COMO MATERIA PRIMA EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO ECOLÓGICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO,» Trujillo, 2016.
- [60] D. Pérez Ramos, «ESTUDIO EXPERIMENTAL DE CONCRETOS PERMEABLES CON AGREGADOS ANDESÍTICOS,» Agosto 2009.
- [61] J. J. Perez Gordillo, «“INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS DE UN CONCRETO PERMEABLE, TRUJILLO 2017”,» 2017.
- [62] INDECOPI, «Método de ensayo para determinar la resistencia a la degradación del concreto permeable por impacto y abrasión,» *NORMA TÉCNICA PERUANA NTP 339.239*, 2018.

IX. ANEXOS

ANEXO #01: CERTIFICADO DE ENSAYO DE HUMEDAD PARA EL AGREGADO FINO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO
E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 339.185 - 2013 / ASTM C-566

Título : (AGREGADOS). Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Cantera: DISTRITO DE LA VICTORIA PÁTAPO

Muestra: ARENA GRUESA

DESCRIPCIÓN	Muestra #1	Muestra #2
Peso de la muestra Húmeda	500.10 gr	500.10 gr
Peso de la muestra Seca	496.00 gr	495.92 gr
Contenido de Humedad	0.83 %	0.84 %
Contenido de Humedad Promedio	0.83 %	


 JOERGE ANIBAL TOMAPASCA PANTA
 TEG. DE SUELOS Y PAVIMENTOS


 DESIGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

LMSCEACH E.I.R.L.

ANEXO #02: CERTIFICADO DE ENSAYO DE HUMEDAD PARA EL AGREGADO GRUESO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO
E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 339.185 - 2013 / ASTM C-566

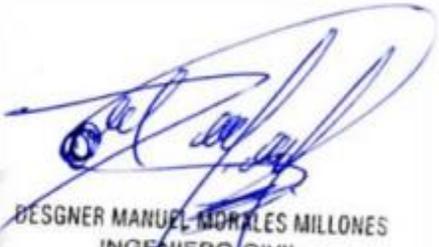
Título : (AGREGADOS). Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Cantera: DISTRITO DE LA VICTORIA PÁTAPO

Muestra: PIEDRA CHANCADA DE 3/4"

DESCRIPCIÓN	Muestra #1	Muestra #2
Peso de la muestra Húmeda	501.00 gr	501.00 gr
Peso de la muestra Seca	500.00 gr	499.97 gr
Contenido de Humedad	0.20 %	0.21 %
Contenido de Humedad Promedio	0.20 %	

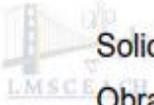

 JORGE ANIBAL TOMAPASCA PARTA.
 TEG. DE SUELOS Y PAVIMENTOS.


 DESGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

LMSCEACH E.I.R.L.

**ANEXO #03: CERTIFICADO DE ENSAYO DE PESO UNITARIO
SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO
E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO
 DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO
 PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE
 REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 400.017 - 2011 / ASTM C-29

Título : AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el Peso Unitario del Agregado

Cantera: DISTRITO DE LA VICTORIA PÁTAPO

Muestra: ARENA GRUESA

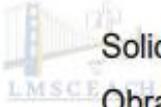
DESCRIPCIÓN	Dato
Peso Unitario Suelto Húmedo	1582 kg/m3
Peso Unitario Compactado Húmedo	1759 kg/m3


 JORGE ANIBAL TOMAPASCA PANTA
 T.E.C. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

 DESGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898


**ANEXO #04: CERTIFICADO DE ENSAYO DE PESO UNITARIO
SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO
E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO
 DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO
 PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE
 REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 400.017 - 2011 / ASTM C-29

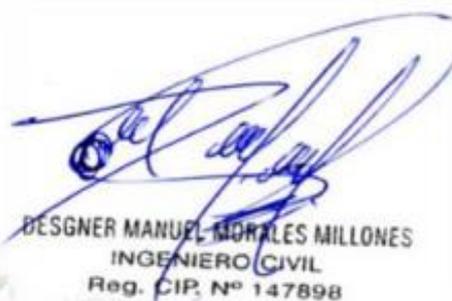
Título : AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el Peso Unitario del Agregado

Cantera: DISTRITO DE LA VICTORIA PÁTAPO

Muestra: PIEDRA CHANCADA DE 3/4"

DESCRIPCIÓN	Dato
Peso Unitario Suelto Húmedo	1437 kg/m³
Peso Unitario Compactado Húmedo	1559 kg/m³

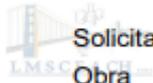

 JORGE ANIBAL TOMAPASCA PANTA.
 T.E.C. DE SUELOS Y PAVIMENTOS


 DESIGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

LMSCEACH E.I.R.L.

ANEXO #05: CERTIFICADO DE ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 400.012 - 2013 / ASTM C-136

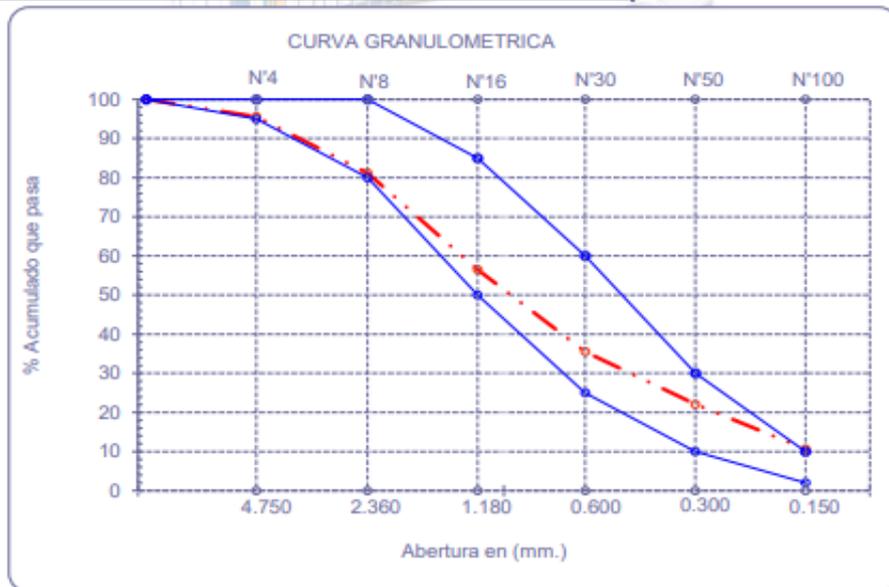
Título : Análisis Granulométrico del agregado por Tamizado del Agregado Fino

Cantera: DISTRITO DE LA VICTORIA PÁTAPO

Muestra: ARENA GRUESA

P. Inicial S. 499.9 gr

Malla Pulg.	(mm.)	Peso Ret. (gr.)	(% Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
						Lim. Sup.	Lim. Inf.
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	22	4.4	4.4	95.6	95	100
Nº 08	2.360	72.1	14.4	18.8	81.2	80	100
Nº 16	1.180	123.5	24.7	43.5	56.5	50	85
Nº 30	0.600	104.6	20.9	64.5	35.5	25	60
Nº 50	0.300	67.3	13.5	77.9	22.1	10	30
Nº 100	0.150	57.2	11.4	89.4	10.6	2	10
Fondo		53.2	10.6	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.985			




 JORGE ANIBAL TOMAPASCA PARTA
 TEG. DE SUELOS Y PAVIMENTOS


 DESIGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

ANEXO #06: CERTIFICADO DE ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 400.012 - 2013 / ASTM C-136

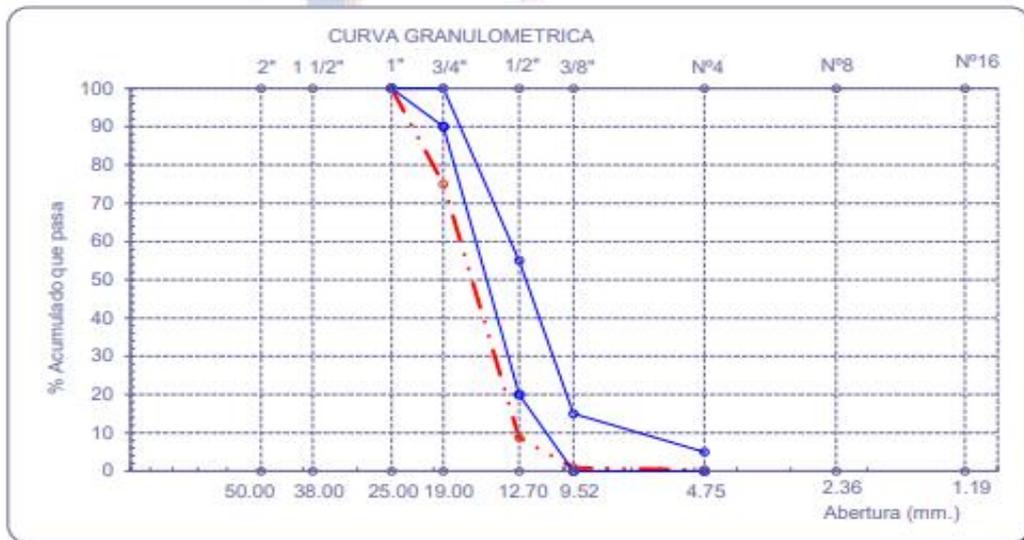
Título : Análisis Granulométrico del agregado por Tamizado del Agregado Grueso

Cantera: DISTRITO DE LA VICTORIA PÁTAPO

Muestra: PIEDRA CHANCADA DE 3/4"

P. Inicial S. 2001.3 gr

Malla		Peso Ret. (gr.)	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones	
Pulg.	(mm.)					Lim. Sup.	Lim. Inf.
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	500.5	25.0	25.0	75.0	100.0	90.0
1/2"	12.70	1326.0	66.3	91.3	8.7	-	-
3/8"	9.52	157.0	7.8	99.1	0.9	20.0	55.0
Nº 04	4.75	11.0	0.5	99.7	0.3	10.0	0.0
Nº 08	2.36	6.0	0.3	100.0	0.0	5.0	0.0
Nº 16	1.19	0.0	0.0	100.0	0.0	-	-
Fondo		0.8	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1"	25.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	19.00			



[Signature]
 JOSE ANIBAL TOMAPASCA PANTA,
 T.E.C. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

[Signature]
 DESGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. Nº 147898

ANEXO #07: CERTIFICADO DE ENSAYO DE DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO
E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 400.022 - 2013 / ASTM C-128

Título : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

Cantera: DISTRITO DE LA VICTORIA PÁTAPO

Muestra: ARENA GRUESA

DESCRIPCIÓN	Dato
Peso específico de la Arena	2.662 gr/cm³
Peso específico de la arena Sat. Sup. Seca	2.684 gr/cm ³
Peso específico Aparente	2.721 gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	0.81%


 JORGE ANIBAL TOMAPASCA PANTA.
 TEG. DE SUELOS Y PAVIMENTOS


 DESGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

LMSCEACH E.I.R.L.

ANEXO #08: CERTIFICADO DE ENSAYO DE DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO
E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 400.021 - 2013 / ASTM C-127

Título : AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

Cantera: DISTRITO DE LA VICTORIA PÁTAPO

Muestra: PIEDRA CHANCADA DE 3/4"

DESCRIPCIÓN	Dato
Peso específico de la grava	2.735 gr/cm³
Peso específico de la grava Sat. Sup. Seca	2.745 gr/cm ³
Peso específico Aparente	2.762 gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	0.37%


 JORGE ANIBAL TOMAFASCA PANTA.
 T.E.C. DE SUELOS Y PAVIMENTOS


 DESGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

LMSCEACH E.I.R.L.

ANEXO #09: CERTIFICADO DE ENSAYO GRANULOMÉTRICO DE LA PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO



Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Pimentel – Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswyceirl@gmail.com

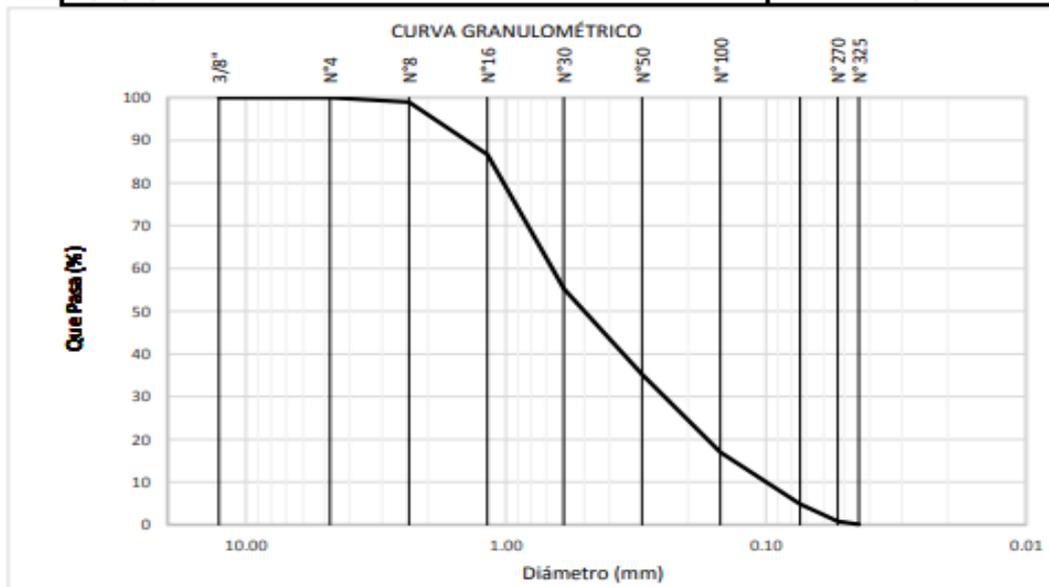
Solicitante : PEREYRA VALDERA FRANCISCO ANTONIO
Proyecto / Obra : Tesis "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021"
Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Pimentel, Depart. Lambayeque.
Fecha de apertura : 05 abril 2022
ENSAYO : AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino. Grueso y global.
NORMA : N.T.P. 400.012
Muestra Vidrio molido

Malla		% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa Acumulado
Pulg.	(mm.)			
1/2"	12.700	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.520	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.360	1.09	1.09	98.91
Nº 16	1.180	12.31	13.40	86.60
Nº 30	0.600	31.39	44.78	55.22
Nº 50	0.300	19.99	64.77	35.23
Nº 100	0.150	18.23	83.00	17.00
Nº 200 (*)	0.074	12.12	95.12	4.88
Nº 270 (*)	0.053	4.06	99.18	0.82
Nº 325 (*)	0.044	0.73	99.91	0.09

(*) Tamices auxiliares.

MÓDULO DE FINEZA

2.07



Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.

WILSON OLAYA AGUILAR
TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS

Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

**ANEXO #10: CERTIFICADO DE ENSAYO LE CHATELIER – PARA
DETERMINAR LA DENSIDAD DE LA PUZOLANA DE VIDRIO
RECICLADO**



Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo – Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswyceirl@gmail.com

Solicitante : PEREYRA VALDERA FRANCISCO ANTONIO
 Proyecto : **Tesis "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE
ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE
VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y
CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021"**
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Pimentel, Depart. Lambayeque.
 Fecha de emisión : 05 abril 2022
 ENSAYO : CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad
del cemento Pórtland.
 NORMA : NTP 334.005
 Muestra **Vidrio molido y tamizado por la malla #100**

Masa de vidrio molido tamizado por #100	(gr)	60
Vol.inicial kerosene	(ml)	0.7
Vol.final desplazado kerosene	(ml)	23.6
Densidad vidrio molido tamizado por #100	(g/ml)	2.62

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



WILSON OLAYA AGUILAR
 TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



Miguel Angel Ruiz Perales
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 246904

**ANEXO #11: CERTIFICADO LA MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO
POR EL CONO DE ABRAMS DE LOS GRUPOS DE MEZCLA**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO
E.I.R.L.

Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA

Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "

Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE

Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 339.035 - 2009 / ASTM C-143

Título : CONCRETO. Método de ensayo normalizado para medición del Asentamiento del concreto con el Cono de Abrams.

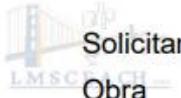
Grupos de Muestra	#Testigos	IDENTIFICACIÓN	Fecha de Ensayo	Slump (cm)
0% PVM	#1 al #12	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 0% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	17/04/2022	0.00
10% PVM	#13 al #24	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 10% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	17/04/2022	1.27
15% PVM	#25 al #36	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 15% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	24/04/2022	1.27
30% PVM	#37 al #48	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 30% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	29/04/2022	0.00
1% PVM	#49 al #60	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 1% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	03/05/2022	1.27
2% PVM	#61 al #72	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 2% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	03/05/2022	0.00


 JORGE ANSAL TOMAPASCA PANTA
 TEG. DE SUELOS Y PAVIMENTOS


 DESIGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

**ANEXO #12: CERTIFICADO LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA
DE LOS GRUPOS DE MEZCLA**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO
E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO
 DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO
 PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE
 REQUE-CHICLAYO 2021 "
 Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 339.184 - 2002 / ASTM C-1064

Título : CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de
 Mezclas de Concreto

Grupos de Muestra	#Testigos	IDENTIFICACIÓN	Temperatura Promedio (°C)
0% PVM	#1 al #12	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 0% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	23.50
10% PVM	#13 al #24	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 10% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	24.30
15% PVM	#25 al #36	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 15% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	21.00
30% PVM	#37 al #48	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 30% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	22.20
1% PVM	#49 al #60	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 1% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	23.30
2% PVM	#61 al #72	Vidrio reciclado tamizado por malla #100 en un 2% de reemplazo del cemento; Filtración requerida de 91.6 mm/hra; a/c=0.35; Agregado de Huso nro. 67; Agregado fino al 10% del total de agregado.	23.30


 JORGE ANIBAL TOMAFASCA PANTA.
 TEG. DE SUELOS Y PAVIMENTOS


 DESGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP, N° 147898

ANEXO #13: CERTIFICADO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (PARTE 1)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO E.I.R.L.



Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA

Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO REICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "

Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE

Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra	Denominación o descripción del vaciado	Fecha de	Fecha de	Días	Falla	f _c	f _c promedio	f _c Diseño
01	Muestra #1 Patrón 0% PVM	17/04/2022	24/04/2022	7	d	77.62	96.81	175
02	Muestra #2 Patrón 0% PVM	17/04/2022	24/04/2022	7	e	123.24		175
03	Muestra #3 Patrón 0% PVM	17/04/2022	24/04/2022	7	a y e	89.57		175
04	Muestra #4 Patrón 0% PVM	17/04/2022	08/05/2022	21	f	140.87	136.31	175
05	Muestra #5 Patrón 0% PVM	17/04/2022	08/05/2022	21	d, e y f	131.84		175
06	Muestra #6 Patrón 0% PVM	17/04/2022	08/05/2022	21	d y f	136.21		175
07	Muestra #7 Patrón 0% PVM	17/04/2022	15/05/2022	28	d	192.56	168.72	175
08	Muestra #8 Patrón 0% PVM	17/04/2022	15/05/2022	28	d	151.59		175
09	Muestra #9 Patrón 0% PVM	17/04/2022	15/05/2022	28	d	162.02		175
10	Muestra #13 - 10% PVM	17/04/2022	24/04/2022	7	e	60.54	61.74	175
11	Muestra #14 - 10% PVM	17/04/2022	24/04/2022	7	d, e y f	61.25		175
12	Muestra #15 - 10% PVM	17/04/2022	24/04/2022	7	e	63.42		175
13	Muestra #16 - 10% PVM	17/04/2022	08/05/2022	21	d	118.71	106.32	175
14	Muestra #17 - 10% PVM	17/04/2022	08/05/2022	21	f	95.50		175
15	Muestra #18 - 10% PVM	17/04/2022	08/05/2022	21	d	104.75		175
16	Muestra #19 - 10% PVM	24/04/2022	22/05/2022	28	d, e y f	160.95	155.00	175
17	Muestra #20 - 10% PVM	24/04/2022	22/05/2022	28	d	141.84		175
18	Muestra #21 - 10% PVM	24/04/2022	22/05/2022	28	d	162.21		175
19	Muestra #25 - 15% PVM	24/04/2022	01/05/2022	7	d	52.14	52.47	175
20	Muestra #26 - 15% PVM	24/04/2022	01/05/2022	7	d, e y f	54.33		175
21	Muestra #27 - 15% PVM	24/04/2022	01/05/2022	7	d	50.94		175
22	Muestra #28 - 15% PVM	24/04/2022	15/05/2022	21	d	79.23	74.43	175
23	Muestra #29 - 15% PVM	24/04/2022	15/05/2022	21	e	76.16		175
24	Muestra #30 - 15% PVM	24/04/2022	15/05/2022	21	d	67.89		175
25	Muestra #31 - 15% PVM	24/04/2022	22/05/2022	28	e	96.38	95.77	175
26	Muestra #32 - 15% PVM	24/04/2022	22/05/2022	28	a y e	105.56		175
27	Muestra #33 - 15% PVM	24/04/2022	22/05/2022	28	d, e y f	85.38		175

OBSERVACIONES :

a = Fractura cono b = Fractura cono y separación c = Fractura cono y corte
d = Fractura corte e = Fractura columnar f = Fractura diagonal
* = Muestra fuera de norma

JOSÉ OSVALDO TOMAFARCA PARRA
INGENIERO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DESIGNER MANUEL MORALES MILLONES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: N° 147898

**ANEXO #14: CERTIFICADO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
(PARTE 2)**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS CHICLAYO E.I.R.L.

Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA

Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "

Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE

Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra	Denominación o descripción del vaciado	Fecha de	Fecha de	Dias	Falla	f _c	f _c promedio	f _c Diseño
28	Muestra #37 - 30% PVM	29/04/2022	06/05/2022	7	e	73.98	78.90	175
29	Muestra #38 - 30% PVM	29/04/2022	06/05/2022	7	e	75.79		175
30	Muestra #39 - 30% PVM	29/04/2022	06/05/2022	7	e	86.94		175
31	Muestra #40 - 30% PVM	29/04/2022	20/05/2022	21	d	125.36	125.07	175
32	Muestra #41 - 30% PVM	29/04/2022	20/05/2022	21	d	124.25		175
33	Muestra #42 - 30% PVM	29/04/2022	20/05/2022	21	d	125.60		175
34	Muestra #43 - 30% PVM	29/04/2022	27/05/2022	28	e	158.60	162.96	175
35	Muestra #44 - 30% PVM	29/04/2022	27/05/2022	28	d	143.59		175
36	Muestra #45 - 30% PVM	29/04/2022	27/05/2022	28	a y e	186.69		175
37	Muestra #49 - 1% PVM	03/05/2022	10/05/2022	7	a y d	99.30	93.12	175
38	Muestra #50 - 1% PVM	03/05/2022	10/05/2022	7	e	91.01		175
39	Muestra #51 - 1% PVM	03/05/2022	10/05/2022	7	e	89.05		175
40	Muestra #52 - 1% PVM	03/05/2022	24/05/2022	21	a	132.94	135.71	175
41	Muestra #53 - 1% PVM	03/05/2022	24/05/2022	21	d	138.68		175
42	Muestra #54 - 1% PVM	03/05/2022	24/05/2022	21	d	135.52		175
43	Muestra #55 - 1% PVM	03/05/2022	31/05/2022	28	d, e y f	142.72	155.07	175
44	Muestra #56 - 1% PVM	03/05/2022	31/05/2022	28	d, e y f	151.93		175
45	Muestra #57 - 1% PVM	03/05/2022	31/05/2022	28	d	170.56		175
46	Muestra #61 - 2% PVM	03/05/2022	10/05/2022	7	e	81.18	89.79	175
47	Muestra #62 - 2% PVM	03/05/2022	10/05/2022	7	d	85.79		175
48	Muestra #63 - 2% PVM	03/05/2022	10/05/2022	7	d	102.40		175
49	Muestra #64 - 2% PVM	03/05/2022	24/05/2022	21	e	133.76	137.44	175
50	Muestra #65 - 2% PVM	03/05/2022	24/05/2022	21	d	136.63		175
51	Muestra #66 - 2% PVM	03/05/2022	24/05/2022	21	a y e	141.92		175
52	Muestra #67 - 2% PVM	04/05/2022	01/06/2022	28	d, e y f	171.78	168.06	175
53	Muestra #68 - 2% PVM	04/05/2022	01/06/2022	28	d, e y f	181.66		175
54	Muestra #69 - 2% PVM	04/05/2022	01/06/2022	28	e	150.75		175

OBSERVACIONES :

a = Fractura cono b = Fractura cono y separación c = Fractura cono y corte
d = Fractura corte e = Fractura columnar f = Fractura diagonal
* = Muestra fuera de norma


FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 147898


DESIGNER MANUEL MORALES MILLONES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 147898

ANEXO #15: CERTIFICADO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN DE LAS MUESTRAS

**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, EMULSIONES Y ASFALTOS
CHICLAYO E.I.R.L.**

Solicitante : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021 "
Lugar : DISTRITO DE PIMENTEL -CHICLAYO-LAMBAYEQUE
Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Código : ACI - 522R

Título : Método para determinar el Coeficiente de Permeabilidad en Concretos Porosos

Elemento	Edad (Días)	a (cm2)	A (cm2)	L (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	t (seg.)	K (cm/s)	Desviación Estándar (cm/s)
Muestra Patrón #10	28	183.85	181.28	30.14	55	36	53.17	0.244	0.019
Muestra Patrón #11	28	183.85	181.94	30.29	56	37	46.31	0.274	
Muestra Patrón #12	28	183.85	181.28	29.85	56	37	52.67	0.238	
PVM 10% - #22	28	183.85	179.73	29.55	56.5	37.5	43.11	0.287	0.010
PVM 10% - #23	28	183.85	181.40	30.03	56	37	45.15	0.279	
PVM 10% - #24	28	183.85	181.58	29.64	56	37	41.45	0.300	
PVM 15% - #34	28	183.85	180.56	29.84	56	37	47.29	0.266	0.057
PVM 15% - #35	28	183.85	179.08	30.05	56	37	52.14	0.245	
PVM 15% - #36	28	183.85	142.08	30.15	56	37	45.85	0.353	
PVM 30% - #46	28	183.85	179.49	30.52	56	37	55.16	0.235	0.013
PVM 30% - #47	28	183.85	180.03	30.30	56	37	51.22	0.250	
PVM 30% - #48	28	183.85	181.76	30.28	56	37	56.71	0.224	
PVM 1% - #58	28	183.85	183.85	30.22	56	37	44.04	0.284	0.015
PVM 1% - #59	28	183.85	180.56	30.08	56	37	47.67	0.266	
PVM 1% - #60	28	183.85	181.46	29.92	56	37	49.20	0.255	
PVM 2% - #70	28	183.85	182.06	30.23	56	37	52.16	0.243	0.021
PVM 2% - #71	28	183.85	178.31	29.80	56	37	50.59	0.252	
PVM 2% - #72	28	183.85	176.77	30.47	56	37	46.41	0.283	

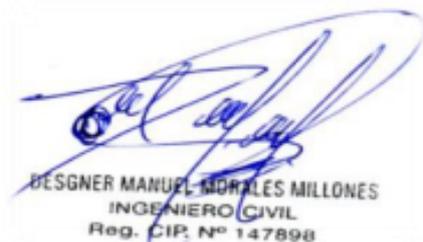
Donde:

- L: Longitud promedio de 3 medidas en una misma muestra (cm).
- a: Área de la tubería de carga o tubería de ensayo (cm²).
- A: Área de la muestra (con el diámetro promedio de dos lecturas en la base superior y 2 lecturas en la base inferior de cada muestra) (cm²).
- h1: Altura de carga antes del ensayo (cm).
- h2: Altura de descargar después del ensayo (cm).
- t: Tiempo de transición de h1 a h2 (seg.).
- K: Coeficiente de Permeabilidad (cm/s).

Coeficiente de Permeabilidad

$$K = \frac{L \times a}{t \times A} \cdot \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$


 JORGE ARIVAL TOMAPASCA PANTA.
 TEG. DE SUELOS Y PAVIMENTOS


 DESIGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

ANEXO #16: CERTIFICADO DEL CONTENIDO DE VACÍOS EN ESTADO ENDURECIDO DE LAS MUESTRAS



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS

Tesista : FRANCISCO ANTONIO PEREYRA VALDERA
 Atención : LABORATORIO DE MATERIALES Y MECÁNICA DE SUELOS
 Obra : "EVALUACIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE ADICIONANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE PUZOLANA DE VIDRIO RECICLADO PARA SU APLICACIÓN EN VEREDAS Y CICLOVÍAS EN EL DISTRITO DE REQUE-CHICLAYO 2021"
 Lugar : DISTRITO CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
 Fecha de emisión : Chiclayo 03 de Junio 2022

Norma : N.T.P. 339.238 - 2018 / ASTM C-1754

Título : (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido.

Elemento	Edad (Días)	Método Secado	D (mm)	L (mm)	A (gr)	Densidad (kg/m ³)	Densidad prom. (kg/m ³)	Coef. Var. (%)	Temperatura del Agua (°C)	δW (kg/m ³)	B (gr)	Vacios (%)	Vacios prom. (%)	Coef. Var. (%)
Muestra Patrón #10	28	Tipo B	151.90	300.23	9780	1798.94	1818.33	1.70	25.5	997.00	6030	30.81%	29.60%	0.40 *
Muestra Patrón #11	28	Tipo B	152.23	298.33	10060	1854.08			25.5	997.00	6130	27.35%		
Muestra Patrón #12	28	Tipo B	151.53	299.33	9720	1801.96	1812.63	0.99 *	25.5	997.00	5990	30.64%	28.76%	4.05
PVM 10% - #22	28	Tipo B	151.17	298.20	9540	1795.98			25.3	997.40	5830	29.97%		
PVM 10% - #23	28	Tipo B	152.03	299.03	9820	1810.36	1730.70	0.56 *	25.3	997.40	5960	28.65%	28.28%	1.13 *
PVM 10% - #24	28	Tipo B	151.83	292.80	9670	1831.53			25.3	997.40	5860	27.65%		
PVM 15% - #34	28	Tipo B	152.17	297.67	9640	1782.21	1948.46	0.71 *	24.7	997.21	5860	29.92%	21.67%	2.62 *
PVM 15% - #35	28	Tipo B	153.13	304.30	10060	1796.42			24.7	997.21	6120	29.45%		
PVM 15% - #36	28	Tipo B	144.10	299.70	7880	1613.48	1870.54	1.57 *	24.7	997.21	4250	25.47%	26.25%	4.13 *
PVM 30% - #46	28	Tipo B	150.73	302.00	10260	1905.34			25.0	997.13	6200	24.39%		
PVM 30% - #47	28	Tipo B	152.07	299.78	10470	1924.52	1909.89	0.79 *	25.0	997.13	6320	23.50%	26.03%	5.03 *
PVM 30% - #48	28	Tipo B	152.87	302.20	11170	2015.51			25.0	997.13	6590	17.12%		
PVM 1% - #58	28	Tipo B	152.50	299.97	10620	1939.83	1870.54	1.57 *	25.0	997.13	6700	28.19%	26.25%	4.13 *
PVM 1% - #59	28	Tipo B	152.33	298.70	10180	1871.43			25.0	997.13	6180	26.25%		
PVM 1% - #60	28	Tipo B	151.37	302.37	10430	1918.41	1870.54	1.57 *	25.0	997.13	6290	23.63%	26.25%	4.13 *
PVM 2% - #70	28	Tipo B	151.00	299.20	10320	1927.59			25.5	997.00	6270	24.13%		
PVM 2% - #71	28	Tipo B	153.40	293.13	9740	1799.26	1870.54	1.57 *	25.5	997.00	5910	29.04%	26.25%	4.13 *
PVM 2% - #72	28	Tipo B	152.67	302.83	10440	1884.78			25.5	997.00	6330	25.58%		

Donde:

- L: Longitud promedio de 3 medidas en una misma muestra (mm).
- A: Masa en seco de la muestra (gr).
- D: Diámetro de la muestra (con el promedio de dos lecturas en la base superior y 2 lecturas en la base inferior de cada muestra) (mm).
- K: valor adimensional de 1'274,240.
- B: Masa sumergida de la muestra (gr).
- δw: Densidad del agua a la temperatura de la poza (kg/m³).

Densidad del Concreto Endurecido

$$Densidad (kg/m^3) = \frac{K \times C}{D^2 \times L}$$

Contenido de Vacíos del Concreto Endurecido

$$Contenido de Vacíos (%) = \left[1 - \left(\frac{K \times (A - B)}{\delta_w \times L \times D^2} \right) \right] \times 100$$

Francisco Antonio Pereyra Valdera
 TÉCNICO DE LABORATORIO

**ANEXO #17: CERTIFICADO DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO
PORTLAND TIPO I MS PACASMAYO**



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002 -
Versión 01

CEMENTO ANTISALITRE MS

Cemento Portland Tipo MS

Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157

Pacasmayo, 01 de julio del 2013

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	5	NO ESPECIFICA
Expansión en Autoclave	%	0.13	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3800	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.3	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	3.04	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3 días	MPa (kg/cm ²)	20.5 (210)	Mínimo 11.0 (Mínimo 112)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (kg/cm ²)	28.4 (290)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm ²)	37.0 (377)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	178	Mínimo 45
Fraguado Final	min	318	Máximo 420
Expansión Barra de Mortero a 14 días	%	0.010	Máximo 0.020
Expansión por Sulfato a 6 meses	%	0.06	Máximo 0.10
Calor de hidratación a 7 días (*)	kcal/kg	66	Máximo 70