

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto permeable sustituyendo 20 Y 40% de cemento por vidrio molido y conchas de abanico

Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil

Autor

Gutierrez Teodor, Victor Steven

Asesor

Castañeda Gamboa, Rogelio Fermin

Huaraz – Perú

2019

PALABRAS CLAVE

Tema	Concreto Permeable
Especialidad	Tecnología del Concreto

KEY WORDS

Theme	Permeable Concrete
Speciality	Concrete technology

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Programa	Ingeniería civil
Línea de Investigación	Construcción y Gestión de la Construcción
OCDE	2. Ingeniería y Tecnología 2.2. Ingeniería civil Ingeniería de la Construcción
Sub Línea o Campo de Investigación	Material de la Construcción Tecnología de la Construcción y procesos constructivos

**Resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto
permeable sustituyendo
20 y 40% de cemento por vidrio molido y conchas de
abanico**

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito determinar la resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto permeable sustituyendo 20 y 40% del cemento por vidrio molido (VM) y conchas de abanico (CA). Para dicho propósito se recolecto vidrios y conchas de abanico, que fueron molidos y activados térmicamente respectivamente, dando como resultado elementos puzolánicos, luego se determinó el Potencial de Hidrógeno (pH) de los materiales y sus combinaciones, seguidamente se determinó la relación agua cemento por el método ACI 522R-10. Para el diseño del concreto permeable se consideró agregado grueso de TMN 1/2", 15% de vacíos, relación a/c elegida fue 0.35, y para el diseño experimental se sustituyó en 20 y 40% el peso del cemento por la combinación de VM y CA en proporción 1:3, luego se fabricaron para los tres diseños de concreto permeable un total de 36 probetas, de las cuales 27 probetas fueron para el ensayo de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado y 9 probetas para el ensayo de permeabilidad.

Confirmando que las probetas experimentales con sustitución del 20% y 40% del cemento por VM y CA, alcanzaron una mayor resistencia a la compresión a los 28 días, obteniendo 113.67% y 111.03% respectivamente en comparación al concreto permeable patrón, comprobando que las sustituciones del cemento por VM y CA de manera conjunta en relación 1:3 tienen una potenciación en sus propiedades y elevan la resistencia del concreto. Asimismo, se determinó el coeficiente de permeabilidad, obteniendo para la sustitución del 20% y 40% del cemento por VM y CA un 96.81% y 90.31% respectivamente, del concreto permeable patrón.

ABSTRACT

The purpose of the investigation was to determine the compressive strength and permeability of a permeable concrete by replacing 20 and 40% of the cement with ground glass (GG) and fan shells (FS). For this purpose, glasses and fan shells were collected, which were ground and thermally activated respectively, resulting in pozzolanic elements, then the Hydrogen Potential (hP) of the materials and their combinations, then it was determined the cement / water ratio by the ACI 522R-10 method. For the design of the permeable concrete, a coarse aggregate of TMN 1/2 ”, 15% of voids was considered, a / c ratio was 0.35, and for the experimental design the weight of the cement was replaced in 20 and 40% by the combination of GG and FS in a 1: 3 ratio, then a total of 36 specimens were manufactured for the three permeable concrete designs, of which 27 specimens were for compression resistance testing at 7, 14 and 28 days of curing and 9 test pieces for the permeability test.

Confirming that the experimental specimens with replacement of 20% and 40% of the cement by GG and FS, achieved a higher compression resistance at 28 days, obtaining 113.67% and 111.03% respectively compared to the permeable standard concrete, verifying that the substitutions of cement by GG and FS of jointly in relation 1: 3 have an enhancement in their properties and increase the strength of concrete. Likewise, the coefficient of permeability was determined, obtaining for the replacement of 20% and 40% of the cement by GG and FS 96.81% and 90.31% respectively, of the permeable standard concrete.

ÍNDICE GENERAL

Contenido

Palabras clave – Key word – Línea de investigación	i
Título	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice	v
I. INTRODUCCIÓN	01
II. METODOLOGÍA	43
III. RESULTADOS	60
IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	77
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
VII. ANEXOS Y APÉNDICES	89

Índice de Figuras

Figura 1: La estructura vacía del concreto permeable permite el paso fácil de agua de lluvia.	11
Figura 2: Estructura interna del concreto permeable	16
Figura 3: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión.	17
Figura 4: Resistencia a la compresión a los 28 días vs Peso Unitario	17
Figura 5: Relación entre resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua y cemento	18
Figura 6: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la flexión para el concreto permeable	19
Figura 7: Relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión para el concreto permeable	19
Figura 8: Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación	20
Figura 9: Grafica de la Producción de conchas de abanico por regiones	32
Figura 10: Grafica de la Cosecha Nacional de conchas de abanico.	32
Figura 11. Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (e) con demasiada agua.	37
Figura 12: Grafico de la Intensidad de precipitaciones (lluvias) en ciudad de Huaraz	40
Figura 13: Contenido de vacíos vs Filtración requerida	53
Figura 14: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregado N°08 y N°67	54
Figura 15: Relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de pasta para tamaño de agregado N°7	55
Figura 16: Bosquejo de Tipos de fracturas	57
Figura 17: Permeámetro de carga Variable	58
Figura 18. Esquema para el ensayo de permeabilidad	59
Figura 19: Grafica del Análisis Termo gravimétrico de las cenizas de conchas de abanico	60
Figura 20: Grafico de la Curva Calorimétrica DTA de las conchas de abanico	60
Figura 21: Grafico del Espectro de fluorescencia de Rayos X dispersiva de energía (FRXDE) - vidrio molido	62
Figura 22: Grafico del Espectro de fluorescencia de Rayos X dispersiva de energía (FRXDE) - concha de abanico	63
Figura 23: Gráfico de la Resistencia a la compresión promedio 7 días de curado - Concreto permeable patrón y experimental	69
Figura 24: Grafica de la Resistencia a la compresión promedio 14 días de curado - Concreto permeable patrón y experimental	71

Figura 25: Grafica de la Resistencia a la compresión promedio 28 días de curado - Concreto permeable patrón y experimental.	72
Figura 26: Grafica de la Resistencia a la compresión promedio 28 días de curado - Concreto permeable patrón y experimental.	73
Figura 27: Grafico de Tendencia de la Resistencia a la compresión promedio a los 7, 14 y 28 días de curado - Concreto permeable patrón y experimental	73
Figura 28: Grafico de la Permeabilidad a los 28 días de curado – Concreto permeable patrón y experimental.	75
Figura 29: Grafico de la Relación entre la Resistencia a la compresión y Permeabilidad 28 días de curado.	75

Índice de Tablas

Tabla 1: Composición de la materia prima para la fabricación del Cemento Portland	24
Tabla 2: Cantidades típicas de Óxidos para la elaboración del Cemento Portland.	24
Tabla 3: Producción del Cemento Portland en el Perú	25
Tabla 4: Composición química del Vidrio	26
Tabla 5: Cantidades Máximas permitidas de elementos	33
Tabla 6: Rangos típicos de las cantidades de los materiales en el concreto permeable	35
Tabla 7. Valores efectivos de b/bo	38
Tabla 8: Intensidad de precipitaciones (lluvias) en ciudad de Huaraz	40
Tabla 9: Variable Dependiente	41
Tabla 10: Variable Independiente	41
Tabla 11: Diseño de bloque completo al azar - Resistencia a la Compresión	45
Tabla 12: Diseño de bloque completo al azar - Permeabilidad	46
Tabla 13: Técnicas e instrumentos de investigación	47
Tabla 14: Coordenadas UTM de la cantera de agregados Tacllán	48
Tabla 15: Coordenadas UTM de la Zona de recolección de envases de vidrio	51
Tabla 16: Coordenadas UTM del botadero de Conchas de Abanico - Tangay Bajo	52
Tabla 17: Composición elemental de una muestra de vidrio molido en % de masa	61
Tabla 18: Composición elemental de una muestra de ceniza de concha de abanico en % de masa	62
Tabla 19: Comparación de la composición del cemento portland tipo 1 y la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico R-1:3	63
Tabla 20: Análisis de pH de las muestras individuales	64
Tabla 21: Análisis de pH de la combinación de las muestras en 20 y 40%	64

Tabla 22: Propiedades de los Materiales necesarias para el diseño de mezclas	64
Tabla 23: Características a considerar para el diseño de mezclas	65
Tabla 24: Relación a/c para el diseño de mezcla de concreto permeable	65
Tabla 25: Pesos y cantidades de material para el diseño de mezclas del concreto permeable patrón por unidad de volumen	65
Tabla 26: Volúmenes de los recipientes para la fabricación de concreto permeable patrón	66
Tabla 27: Cantidad de material empleado para la fabricación de concreto permeable patrón	66
Tabla 28. Pesos y cantidades de material para el diseño de mezclas del concreto permeable experimental con sustitución de 20% del cemento	66
Tabla 29: Volúmenes de los recipientes para la fabricación de concreto permeable experimental con sustitución de 20% del cemento	67
Tabla 30: Cantidad de material empleado para la fabricación de concreto permeable experimental con sustitución de 20% del cemento	67
Tabla 31: Pesos y cantidades de material para el diseño de mezclas del concreto permeable experimental con sustitución de 40% del cemento	67
Tabla 32: Volúmenes de los recipientes para la fabricación de concreto permeable experimental con sustitución de 40% del cemento	68
Tabla 33: Cantidad de material empleado para la fabricación de concreto permeable experimental con sustitución de 40% del cemento	68
Tabla 34: Resistencia a la compresión 7 días de curado - Concreto permeable patrón	68
Tabla 35: Resistencia a la compresión 7 días de curado - Concreto permeable experimental con sustitución de 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico	69
Tabla 36: Resistencia a la compresión 7 días de curado - Concreto permeable experimental con sustitución de 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico	69
Tabla 37: Resistencia a la compresión 14 días de curado - Concreto permeable patrón	70
Tabla 38: Resistencia a la compresión 14 días de curado - Concreto permeable experimental con sustitución de 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico	70
Tabla 39: Resistencia a la compresión 14 días de curado - Concreto permeable experimental con sustitución de 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico	70
Tabla 40: Resistencia a la compresión 28 días de curado - Concreto permeable patrón	71

Tabla 41: Resistencia a la compresión 28 días de curado - Concreto permeable experimental con sustitución de 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico	71
Tabla 42: Resistencia a la compresión 28 días de curado - Concreto permeable experimental con sustitución de 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico	72
Tabla 43: Resistencia a la compresión promedio 7, 14 y 18 días de curado - Concreto permeable patrón y experimental	72
Tabla 44: Permeabilidad - Concreto permeable patrón a los 28 días de curado	74
Tabla 45: Permeabilidad - Concreto Permeable experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de cocha de abanico a los 28 días de curado	74
Tabla 46: Permeabilidad - Concreto Permeable experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de cocha de abanico a los 28 días de curado	74
Tabla 47: Resultados - Resistencia a la compresión y Permeabilidad a los 28 días de curado	75
Tabla 48: Cálculo prueba ANOVA (verificación de las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de las probetas de concreto permeable)	76

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se denomina “RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO”, cuyo régimen de investigación es libre, que servirá como trabajo de investigación en la escuela de ingeniería Civil, sede Huaraz de nuestra Universidad “San Pedro”.

Este trabajo consistió principalmente en la fabricación de probetas de concreto permeable patrón y experimental, siendo analizados mediante ensayos de laboratorio, obteniendo así la resistencia a la compresión y permeabilidad, para la elaboración de las probetas experimentales se sustituyó en 20 y 40% en peso del cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico en relación 1:3 respectivamente.

Esta investigación aporta un diseño alternativo de concreto permeable que podrá servir para la elaboración de nuevas estructuras que permitan el paso del agua a través de su matriz consiguiendo que el agua filtre naturalmente, y de esta manera prevenir problemas relacionados con las lluvias en estructuras impermeables, las cuales generan escorrentía superficial trayendo consigo inundaciones, contaminación y muchas veces pérdidas económicas.

Para disminuir los efectos relacionados a los problemas en la evacuación de aguas pluviales y de escurrimiento superficial, en los últimos años se ha desarrollado a nivel mundial un modo alternativo de diseñar pavimentos, construyendo estructuras que permitan el paso del agua a través de la capa superficial hacia el interior de la estructura, evitando así la acumulación de agua en su superficie y el escurrimiento superficial aguas abajo, condiciones que generan los pavimentos impermeables (U.S. EPA, 1999).

Para los antecedentes se abordó algunos trabajos de investigación con más relevancia, así como el de García (2011), en su tesis para master: “Control de Escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación a climas mediterráneos”, realizada en la Universidad Politécnica de Valencia, España, manifiesta que el pavimentos

permeables se engloban dentro de las técnicas de drenaje urbano sostenible cuyo objetivo principal es el fomento de la retención y la infiltración de las escorrentías en el origen del sistema, llegando a la conclusión que en las situaciones más desfavorables (suelos impermeables), será necesario considerar un drenaje adicional para conseguir eficiencias superiores al 80%. En este caso, la capacidad del drenaje será superior a 0,1 l/s/ha. Técnicamente a partir de este valor, ligeros incrementos de la capacidad de drenaje del dren, mejoran la eficiencia completamente. En general, un pavimento permeable que contemple un drenaje adicional con una capacidad de desagüe superior a 0,1 l/s/ha, se comportará eficientemente independientemente del espesor de la sub-base. En este caso, la elección de dicho espesor recaerá con mayor peso atendiendo a criterios estructurales; Particularmente, en cuencas del tamaño entre 0,4 ha y 1 ha, es recomendable considerar caudales de drenaje superiores a 1 l/s/ha. Mientras que en pequeñas cuencas (de tamaño inferior a 0,4 ha), se aconseja una ratio de caudales de drenaje comprendido entre 0,1 l/s/ha y 1 l/s/ha. Finalmente, para concluir este trabajo, el análisis del funcionamiento hidráulico realizado sobre el pavimento permeable ejecutado en Benaguacil, pone de manifiesto que aún en climas mediterráneos, con características propias como las lluvias torrenciales, este tipo de estructuras proporcionan resultados favorables para la gestión de la escorrentía en el origen del sistema.

Moujir y Castañeda (2014), en su tesis: “Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos”, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia 2014, relaciona el concreto poroso tipo I que contribuye a la disminución de escorrentía superficial, según los resultados de los ensayos realizados y la información que se recolecto para la elaboración, el concreto poroso tipo I se puede utilizar para una estructura de concreto como capa de rodadura en tráfico ligero o liviano, implementándose en estacionamientos, ciclo vías, andenes, entre otras, el concreto tipo I, contribuye con la disminución de escorrentía superficial, ya que la gran cantidad de poros que contiene le otorga la propiedad mecánica de la permeabilidad, el agregado grueso de ½ pulgada en la mezcla del concreto tipo I, le permite una mejor manejabilidad a la mezcla, de aquí se infiere que para estos concretos lo ideal es utilizar agregados gruesos con tamaños máximos inferiores, la resistencia promedio a la compresión y a la flexión

de la mezcla Tipo I con Finos y mezcla Tipo II sin finos es 7.71% y 3.0% respectivamente, la presencia de finos brinda una mayor cohesión a la pasta que llena intersticios del agregado grueso. El porcentaje de vacíos de la mezcla tipo II sin finos, es mayor que la mezcla tipo I con finos, esto se debe a que la pasta de la mezcla tipo I, por defecto de los finos, brinda mayor cohesión entre partículas y disminuye el volumen de vacíos, por el contrario, la pasta de la mezcla Tipo II es más fluida y solo recubre la superficie del agregado, dejando un volumen mayor de vacíos en la estructura de la mezcla, el módulo de rotura de la mezcla tipo I con finos, es 3.0% mayor que la mezcla tipo II sin finos, el asentamiento de la mezcla tipo I con finos es menor que la mezcla tipo II sin finos, esto se debe a la fluidez de la pasta y a la cohesión entre partículas de la mezcla.

Benites (2014), en su tesis titulada "Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chemaplast", realizado en la Universidad Nacional de Cajamarca, tuvo como objetivo determinar si las propiedades de permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto permeable elaborado con agregados propios de Cajamarca como son los de la cantera río Jequetepeque ubicada en Chilete y un aditivo tipo A, siendo dicha investigación de tipo aplicada, con diseño de investigación de nivel experimental. Para el diseño de mezclas se tomó el valor medio recomendado de la relación agua/cemento, con un porcentaje de vacíos del 20% de vacíos y con el valor medio de un aditivo tipo A según su hoja técnica. El autor concluyó argumentando que la resistencia a la compresión del concreto permeable a una edad de 28 días de curado fue de 7.556MPa, la cual se encuentra dentro del rango de 2.8Mpa y 28Mpa que define la norma ACI 522R-10, asimismo se llegó a un coeficiente de permeabilidad es de 0.321 cm/s la cual se encuentra dentro del rango que normalmente posee el concreto permeable según la norma antes mencionada.

Barahona, Martínez y Zelaya (2013), en su trabajo de investigación titulada "Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la zona Oriental de El Salvador", de la Universidad de El Salvador, realizada en la ciudad de San Miguel – El Salvador –

Centro América, tuvo como objetivo realizar un estudio del comportamiento del concreto permeable en función del tipo de agregado grueso. Para ello elaboro 3 diseños de concreto permeable por Cada Cantera en porcentajes de vacíos de 15%, 20% y 25%. Obteniendo resultados según las pruebas ejecutadas que el concreto con más resistencia a la compresión resultó ser de la cantera el Carmen con un porcentaje al 15% de vacíos llegando a una resistencia de $f'c=146.46\text{kg/cm}^2$. Cabe indicar que se muestra un quiebre en la curva de la resistencia a la compresión a los 14 días, ya que obtuvo una resistencia de alrededor del 90% en todas sus pruebas, respecto a las resistencias obtenidas a los 28 días. Asimismo, se puede observar que a mayor porcentaje de vació como el 20% y 25%, las resistencias a la compresión disminuyen produciendo el aumento de permeabilidad del concreto, siendo el caso de la cantera Pedrera que con un contenido de vació de 25% obtuvo un coeficiente de permeabilidad de 30.04mm/s siendo superior en comparación a los otros diseños. Asimismo, Según el análisis cualitativo que se ejecutó por medio de puntajes el concreto más eficiente fue el concreto de la cantera el Carmen con un porcentaje de vacíos del 15%.

Nassar (2016), en su investigación titulada: "Resistencia y durabilidad del concreto adicionando vidrio reciclado molido como reemplazo parcial del cemento", en la Universidad de Michigan en Estados Unidos, realizo una evaluación sobre la calidad de hormigón cuando en su composición se adiciona vidrio molido pulverizado en tamaño promedio de $13\mu\text{m}$, investigó en cuanto a su resistencia mecánica, resistencia ante la presencia de agua y durabilidad, empleando para cada proceso las normas ASTM. El porcentaje de vidrio empleado va desde el 15 al 23%, cuyos resultados han sido considerablemente positivos, obteniéndose un hormigón compatible con el de composición normal, los resultados demuestran que la adición de vidrio mejora la absorción de humedad y la resistencia dando mayor durabilidad, otra característica mejorada ha sido la resistencia a la abrasión y resistencia a largo plazo con un contenido de 20% de vidrio pulverizado, comprobado en el ensayo de muestras de pavimentos y bordillos, ejecutados con procesos convencionales y controlados durante dos años.

Julián (2018), en su artículo titulado: "La concha de abanico como material

multifuncional en la purificación del agua", realizado en la Universidad San Pedro, Facultad de Ingeniería, de la ciudad de Chimbote, determino la temperatura y tiempo de calcinación de los residuos calcáreos de la concha de abanico, siendo este de 800°C durante 1 hora con 30 minutos, asimismo manifiesta que la muestra fue molida en mortero y luego lo tamizo para obtener partículas menores a 76µm. Seguidamente mediante los ensayos de Florescencia de Rayos X (FRX) y Difracción de Rayos X (DRX) logro caracterizar el polvo activado de los residuos calcáreos de la concha de abanico, logrando obtener un 97.743% de contenido de óxido de calcio de alta cristalinidad y pureza; también midió el pH del polvo activado que registro un valor de 12.

Guevara (2013), en su tesis titulada "Desarrollo de nuevos materiales cementantes utilizando residuos vitreos, mediante la activación mecano-química", realizado en la Universidad Autónoma de Nuevo León, México, tuvo como objetivo desarrollar nuevos materiales alternativos con idóneas propiedades cementantes, utilizando desechos inorgánicos, mediante un proceso de activación, como es la molienda mecano-química alcalina, para dicho objetivo caracterizo los nuevos materiales alternativos mediante el ensayos de Florescencia de Rayos X (FRX) logrando obtener para el vidrio molido un 72.50% de óxido de silicio (SiO₂), 12.82% de óxido de sodio (Na₂O), 11.90% de óxido de calcio (CaO) y un 2.47% de óxido de aluminio (Al₂O₂). También se caracterizó la ceniza volante obteniendo un 60% de óxido de silicio (SiO₂), 27.28% de óxido de aluminio (Al₂O₂), 4.07% de óxido de hierro (Fe₂O₃) y 2.47% de óxido de calcio (CaO), entre otros componentes de menor porcentaje. Luego realizo 5 diseños, el primero (M1) con 99% de vidrio y 1% de yeso; el segundo (M2) con 70% de vidrio, 29.7% de cenizas volantes y 0.3% de yeso; el tercero (M3) con 50% de vidrio, 49.5% de cenizas volantes y 0.5% de yeso; el cuarto (M4) con 30% de vidrio, 69.3% de cenizas volantes y 0.7% de yeso; por ultimo el quinto diseño (M5) con 99% de cenizas volantes y 1% de yeso. Logrando obtener mayor resistencia a la compresión en los diseños M1 y M4 de 142.76kg/cm², seguidas por los diseños M2 y M3 que obtuvieron un 122.36kg/cm², y por último siendo la de más baja resistencia la M5 con 101.97kg/cm².

Walhoff (2016), en su investigación de tesis titulada: "Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto y costos de fabricación, comparado con el concreto convencional, Barranca 2016", realizada en la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo de la Ciudad de Huaraz, teniendo como objetivo evaluar la resistencia a la compresión de una mezcla de concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ sustituyendo 5%, 10%, 15% del cemento Portland por vidrio molido, estableciendo que a los 28 días la resistencia a la compresión del concreto con sustitución de 10% y 15% del cemento es mayor que la resistencia del concreto convencional, pero además que el concreto con sustitución del 5% del cemento por vidrio molido tiene una mayor resistencia a compresión significativa con respecto a las sustituciones del 10% y 15%, del mismo modo supera a la resistencia del concreto convencional, dando un parámetro de remplazo de cemento por vidrio molido que de acuerdo con esta investigación es como máximo remplazar 5% de vidrio molido por cemento. Asimismo, determino que no existe influencia significativa en costos de fabricación al emplear vidrio molido con 5%, 10% y 15% el precio levemente aumente en un 1.52%, 3.04 %, 4.56% que el concreto convencional.

Catalán (2013), en su tesis titulada "Estudio de la influencia que tiene el vidrio en hormigones de diversos grados de resistencia (H15, H20 y H30)", realizada en la Universidad Austral de Chile, teniendo como objetivo principal determinar el comportamiento mecánico de probetas de hormigón con distintas dosis de vidrio molido, llegando a obtener resultados los cuales demuestran la inalterabilidad en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido al adicionar vidrio, determino que con la adición de 10% de vidrio molido tuvo un incremento en la resistencia en comparación al concreto convencional, mientras que con la adición del 20% de vidrio molido estuvo por debajo de la resistencia del concreto convencional.

Flores y Mazza (2014), en su tesis titulada "Utilización de residuos de conchas de abanico como mejoramiento en las propiedades resistentes del concreto", realizada en la Universidad del Santa, Nuevo Chimbote, tuvo como objetivo principal determinar la resistencia a compresión de las mezclas de concreto con adición de diferentes proporciones de residuos calcáreos calcinados de conchas de abanico (RCCA) y

compararlas con la resistencia de una mezcla convencional; siendo dicha investigación de tipo experimental. Concluyeron que para un diseño de $f'c=175\text{kg/cm}^2$, con adición de RCCA al 5, 10 y 15% mejora las propiedades resistentes en comparación a la mezcla de concreto convencional (patrón), siendo superiores a la resistencia ideal en 7.70% 5.84% y 5.37% respectivamente. Asimismo, para el diseño de $f'c=210\text{kg/cm}^2$, con adición de RCCA al 5 y 10% mejoran las propiedades resistentes en comparación a la mezcla de concreto convencional (patrón), siendo superiores a la resistencia ideal en 9.48% y 2.06% respectivamente.

Molina, Moragues y Gálvez (2008), en el artículo titulado: "La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento pórtland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ión cloruro y del dióxido de carbono", realizada en la Universidad Politécnica de Madrid, Indican que, las cenizas volantes pueden mejorar las características del hormigón, ya que contribuye con la resistencia a compresión a edades tan tempranas como a los 28 días. Además, señalan que las cenizas volantes ofrecen un impacto positivo como sustituto parcial del cemento portland, porque al reducir el cemento en las mezclas de hormigón, se estaría disminuyendo también con la contaminación generada en su producción.

Castillo y Trujillo (2019), en su tesis titulada "Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto Ancash", realizada en la Universidad Nacional del Santa, Chimbote – Perú, Obtuvieron un quiebre en la curva de resistencia a la compresión a los 14 días, ya que lograron resistencias comprendidas entre los 86% a 90% de la resistencias obtenida a los 28 días, obteniendo un curado aceptable ya que esta próxima a la resistencia optima.

Esta investigación estuvo fundamentada en la tecnología de concreto, en la búsqueda constante de nuevos métodos de construcción que reduzcan el impacto sobre nuestro ambiente, haciendo que cada vez más se investigue sobre nuevos materiales tipo ecológico, es así que para esta investigación se utilizaron materiales puzolánicos como son el vidrio molido y las cenizas de conchas de abanico para sustituir parcialmente al cemento portland tipo 1. Asimismo, se busca que los procesos de

construcción sean responsables con el ambiente y ocupen recursos de manera eficiente durante el tiempo de vida de la construcción, la utilización de concreto permeable usa los principios básicos del concreto, de igual manera acapara las investigaciones en su diseño y análisis tanto a nivel mundial, nacional y local.

La justificación de la presente investigación, de acuerdo a los recientes acontecimientos climáticos en el país en estos últimos años, nos hace considerar como alternativa el uso de concretos permeables, ya que ayudaría a combatir el aumento de escorrentía superficial, el colapso de los sistemas de drenajes pluviales, inundaciones, la contaminación, entre otros daños.

La información adquirida y procesada servirá de sustento para ésta y otras investigaciones similares, siendo un aporte importante, considerando que la ingeniería debe de estar orientada a la aplicación de tecnologías ecológicas, así mismo a la búsqueda de materiales alternativos, como es la sustitución parcial del cemento por vidrio molido y conchas de abanico para la elaboración de un concreto permeable, buscando que los proyectos sean sostenibles y no generen un impacto ambiental negativo.

Este proyecto tiene sostenibilidad en base a que hoy en día el vidrio es uno de los más vendidos y producidos en el mundo, con una demanda anual estimada de 35 millones de TM. Así mismo la producción de conchas de abanico en el Perú actualmente viene generando una acumulación anual de 25 mil toneladas de residuos.

Este proyecto tiene como base hacer uso del vidrio molido (SiO_2) y conchas de abanico calcinadas (CaO), para sustituir al cemento porcentualmente en la fabricación del concreto permeable, es fundamental que tenga las mismas características del cemento, el cual está compuesto con mayor porcentaje de 80% de CaO y 20% de SiO_2 , y para conseguir dicho resultado se trabajara proporcionalmente estos dos materiales en relación 1:3.

La importancia de este trabajo de investigación es brindar todo el conocimiento para la fabricación de un concreto permeable resistente y permeable.

Así mismo el aporte científico de esta investigación, es que se llegue a aplicar estos

conocimientos en las futuras construcciones, ya que este concreto sería capaz de evacuar el agua por su matriz hacia acuíferos, dando un gran beneficio al medio ambiente.

La investigación se justifica de manera social, ya que busca dar una solución aplicando los resultados del uso de nuevos materiales alternativos para la fabricación del concreto permeable, orientada a resolver los problemas de la sociedad, en el campo de la ingeniería civil.

El planteamiento del problema de la presente investigación se pone en manifiesto en las siguientes líneas.

En las últimas décadas el uso indiscriminado de estructuras impermeables en áreas urbanas, incrementa notablemente el volumen y caudal de escurrimiento superficial, aumentando los riesgos de posibles inundaciones en los sectores más bajos de las zonas urbanas, desfavoreciendo y disminuyendo la capacidad de filtración natural del agua.

Muchos países como EEUU, México, Inglaterra, Francia y Japón, han optado por medidas correctivas para evitar el aumento de la escorrentía superficial mediante la tecnología de concreto permeable aplicado en pavimentos, veredas, calles peatonales, parqueos, es decir en toda superficie que sea posible, consiguiendo buenos resultados ya que el agua de lluvia no solo puede infiltrarse en el suelo natural sino que mediante tuberías o geomembranas el agua de lluvia puede ser dirigida a almacenes temporales donde se le puede dar un tratamiento para evitar que sean contaminadas y luego de pasada la tormenta arrojar el agua a los cauces naturales o incluso utilizar el agua para el riego de jardines, en industria, etc.

A inicios del año 2017 el Perú fue golpeado duramente por los efectos del cambio climático, con el devastador paso del Fenómeno del Niño Costero, las intensas lluvias que se presentaron en varias ciudades del país, demostraron una vez más no se cuenta con una infraestructura de drenaje urbano que sea eficiente y adecuado para poder combatir los fenómenos climáticos de gran magnitud.

La ciudad de Huaraz no es ajena a esta realidad pues estos últimos años se vienen

presentando graves problemas de inundaciones en las calles principales de la ciudad a causa de las prolongadas e intensas lluvias. Asimismo la ciudad cuenta con un sistema de drenaje de evacuación de aguas pluviales y cloacales, pero estas colapsan debido a que la ciudad no cuenta con drenajes eficientes y en el periodo de lluvias que tienen una duración de 7.4 meses, iniciando el 29 de setiembre hasta el 11 de mayo, siendo marzo el mes con más lluvias comprendidas en 166mm/s, generando escurrimiento superficial e inundaciones, los que a su vez provocan problemas con las propiedades y/o viviendas que muchas veces ocasionan pérdidas económicas, también provoca inconvenientes para el normal desplazamiento a las personas y los vehículos. La escorrentía que se genera en las calles se debe a la impermeabilización de los mismo, no permitiendo que el agua siga su ciclo natural. Desde siempre se han realizado obras de instalaciones de sistemas de drenaje pluvia como alcantarillados, para contrarrestar dicho problema, pero este sistema presenta fallas ya que no da una solución definitiva para el manejo adecuado de la escorrentía superficial.

En el Perú no existe una norma sobre el concreto permeable, ya que es una tecnología relativamente nueva, además de no contar con las investigaciones suficientes, en cuanto a su aplicación es muy limitada. Entonces, en la búsqueda de dar solución a los problemas generados por las inundaciones, las cuales producen escorrentías superficiales a causa de la impermeabilización de los suelos, por preservar el ambiente y mejorar la calidad de la construcción, esta investigación proporciona una alternativa de solución para el control de agua pluviales a través del uso y/o aplicación del concreto permeable, ya que logra infiltrar el agua a través de su matriz, permitiendo tener un mejor control de las aguas proveniente de las lluvias y de esta manera se tendría un óptimo sistema de drenaje.

Por lo expuesto se **formula el problema** de la investigación ¿Cuál será la resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto permeable sustituyendo 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico?

De las bibliografías consultadas se pudo revisar diversas definiciones que serán útiles para el desarrollo de esta investigación como conceptualizadas en las siguientes líneas.

Concreto permeable

El concreto permeable es un material de estructura abierta con revenimiento o Slump cero, la composición de su estructura de diseño de mezcla está basado en cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivo y agua, como resultado final se muestra como un material endurecido, resistente y con poros interconectados que permiten el paso del agua, que varía de tamaño la abertura en un rango de 2 a 8mm. El porcentaje de vacíos debe de estar en un rango de 15 a 35%, la resistencia a la compresión en un rango de 2.8 a 28 Mpa. La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del agregado y la densidad de la mezcla, variando el coeficiente de permeabilidad entre los valores de 0.14 a 1.22cm/s (ACI 522R, 2010).



Figura 1: *La estructura vacía del concreto permeable permite el paso fácil de agua de lluvia.*
Fuente: (Pérez 2009).

La aplicación del concreto permeable en un pavimento puede sustituir el pavimento convencional en áreas de estacionamiento, áreas con tráfico ligero, y los hombros de las calles de rodaje del aeropuerto, siempre y cuando las calidades, los subsuelos, las características del drenaje y las condiciones del agua subterránea sean adecuados. Las pendientes deben ser planas o muy suaves. Los suelos deben tener tasas de permeabilidad verificadas en el campo de más de 1.3 centímetros por hora, y debe haber una distancia mínima de 1,2 metros desde el fondo del sistema hasta el lecho rocoso o la capa freática. (U.S. EPA, 1999).

Entre la amplia gama de aplicaciones para el concreto permeable se tienen:

- Vialidades de tráfico ligero.
- Áreas de estacionamiento.
- Andadores, banquetas y ciclo vías.
- Patios y jardines.
- Capas rígidas de drenaje bajo áreas exteriores.
- Aplicaciones en muros estructurales en donde se requieren características de peso ligero o de mejor aislamiento térmico, o ambos.
- Pavimentos, muros y pisos en donde se desean mejores características de absorción acústica.
- Capas de base para las calles urbanas, carreteras municipales, caminos particulares y aeropuertos.
- Zonas de lavado de autos.
- Lechos de sedimentos en plantas para el tratamiento de aguas negras.
- Estructuras de playas y muros marinos (escolleras, rompeolas, etc.).
- Terraplenes de puentes.
- Capas de superficie de losas deportivas.

La norma ACI 522R-10 “Reporte en concreto permeable” recomienda la colocación del concreto permeable en áreas de alta permeabilidad, suelo natural con una gran conductividad hidráulica. Además, las áreas no deberán tener pendientes mayores al 5%. En general, en todas estas aplicaciones se utiliza concreto permeable sin refuerzo, por el alto riesgo de corrosión del acero de refuerzo debido a la estructura porosa de este material.

Ventajas según U.S. EPA (1999), además de las diversas aplicaciones mencionadas, la utilización de concreto permeable en pisos y pavimentos conlleva grandes ventajas, siendo sus beneficios no solo económicos y estructurales, sino también ecológicos; como, por ejemplo:

Las ventajas de usar pavimento poroso incluyen:

- Tratamiento del agua para la eliminación de contaminantes.
- Menor necesidad de alcantarillados.
- Mejora de la seguridad vial gracias a una mejor resistencia al deslizamiento (mayor fricción).
- Recarga a los acuíferos locales.
- Contribuye con ciclo hidrológico del agua en las ciudades, permitiendo la filtración de agua pluvial en los mantos acuíferos.
- Permite el control de la contaminación de las aguas pluviales, impidiendo que se mezclen con los desagües.
- Son filtrados los agentes contaminantes que pueden contaminar las aguas subterráneas y dañar ecosistemas.
- Control de escurrimiento.
- No genera islas de calor como el asfalto y concreto hidráulico ya que posee entre 15 a 35% de vacíos.
- Evita encharcamientos e inundaciones.
- Disminuye los gradientes térmicos (reflexión mínima de la luz).
- Brinda una mejor calidad de los servicios vehiculares y peatonales durante las lluvias.
- Su peso volumétrico es un 20% a 25% menor que el concreto convencional.
- El índice de fisuras en el concreto permeable es 25% menor, como consecuencia de la baja retracción por el porcentaje de vacíos contenidos en comparación con un concreto convencional.

El uso de pavimento poroso puede estar restringido en regiones frías, regiones áridas o regiones con altos índices de erosión eólica y áreas de acuíferos de fuente única. El uso de pavimento poroso es altamente restringido, requiriendo suelos profundamente permeables, tráfico restringido y usos de la tierra adyacentes. (U.S. EPA, 1999).

Las desventajas según U.S. EPA (1999), algunas desventajas específicas del

pavimento poroso incluyen las siguientes:

- Se carecen de experiencia con esta tecnología.
- Se obstruye si se instala o mantiene inadecuadamente.
- El pavimento poroso tiene una alta tasa de fracaso.
- Existe algún riesgo de contaminación de las aguas subterráneas, dependiendo de las condiciones del suelo y de la susceptibilidad del acuífero.
- El combustible puede salir de los vehículos y los productos químicos tóxicos pueden lixiviar desde el asfalto y/o la superficie del aglutinante. Los sistemas de pavimento poroso no están diseñados para tratar estos contaminantes.
- Algunos códigos de construcción pueden no permitir su instalación.
- Las condiciones anaerobias pueden desarrollarse en suelos subyacentes si los suelos no pueden secarse entre los eventos de tormenta. Esto puede impedir la descomposición microbiana.

El éxito de la utilización del concreto permeable en pisos y pavimentos ha sido variado, en algunas áreas los sistemas de pavimento de concreto permeable se han aplicado exitosamente, mientras que en otros no. En general las fallas de estos sistemas son atribuibles a la inexperiencia en la construcción de este tipo de pavimentos, a una compactación del suelo más alta de la especificada y al diseño inapropiado según el lugar de aplicación de este material. Por tanto, el en aras de que un pavimento permeable sea exitoso el comité ACI 522R-06, recomienda:

- Verificar la permeabilidad de los suelos, la tasa de filtración debe ser mínimamente de 13mm/hr con una capa de suelo de 1.2 m a más. Facilitando así la infiltración del agua y la recarga de las aguas freáticas, aunque no filtran toda el agua pluvial de las tormentas excepcionalmente grandes.
- Evitar el escurrimiento de agua y el ingreso de maquinaria pesada en las áreas de concreto permeable. El pavimento de concreto permeable no debe ser puesto en servicio hasta que toda la tierra removida con pendiente hacia el pavimento permeable sea estabilizada por vegetación. A fin de evitar la colmatación del

sistema son esenciales los controles de erosión y de sedimentación durante las actividades de construcción.

- Que el tránsito vehicular durante la etapa de construcción sea dirigido hacia afuera del área del pavimento permeable para evitar la compactación de las capas del suelo subyacente y la pérdida de la capacidad de filtración.
- El mantenimiento debe realizarse en forma periódica.

Las Propiedades del Concreto Permeable depende mucho de los materiales que se utilice, asimismo del diseño de mezclas y proceso constructivo; generalmente de su contenido de material cementante (c), la relación agua-cemento (a/c), el nivel de compactación, la gradación del agregado y su calidad.

Los aspectos del concreto permeable en estado seco que se llevan a cabo son: Peso Unitario, revenimiento (Slump) y contenido de vacíos, especificadas a continuación.

El peso unitario (peso volumétrico, densidad o masa unitaria) del concreto permeable en estado fresco se encuentra entre el 70% y 85% de una mezcla fresca de concreto convencional, el peso por metro cubico oscilando entre 1,600 a 2,000 kg/m³, todo esto dependerá del porcentaje de vacíos que se consideró para el diseño.

El revenimiento o asentamiento (slump) generalmente es usado para medir la consistencia de una mezcla de concreto fresco. Cuanto mayor sea este, implica que más húmeda es la mezcla, el procedimiento de la realización de este ensayo esta descrito en la norma ASTM C143. Sin embargo, la mezcla del concreto permeable se caracteriza por ser de “cero slump” y al ser medido generalmente se obtienen valores de 0 a 1 cm.

El contenido de vacíos (porosidad) se calcula como porcentaje de aire, y está directamente relacionado con el peso unitario de una mezcla dada de concreto permeable. El contenido de vacíos es altamente dependiente de varios factores: gradación del agregado, el contenido de material cementante, la relación agua-cemento (a/c) y el nivel de compactación.

La energía de compactación aplicada en la elaboración de un concreto permeable influye de sobremanera en el porcentaje de vacíos y por consiguiente en su peso

volumétrico. En una serie de pruebas de laboratorio (Meininger, 1988), para una sola mezcla de concreto permeable, compactado con ocho niveles diferentes de esfuerzo, los valores de peso de unidades producidas, variaban desde 1680-1920 kg/m³.

Si la magnitud de porosidad incrementa, la resistencia a la compresión que desarrolla un concreto permeable disminuye, en cambio si la porosidad disminuye la resistencia aumenta. Estudios han demostrado que el porcentaje de vacíos para concretos permeables se encuentran entre 14% a 31%. Utilizándose en general un porcentaje de vacíos entre 15% a 25% para obtener resistencias mayores a 140 kg/cm². En la Figura 2 se muestra la estructura interna del concreto permeable.



Figura 2: Estructura interna del concreto permeable
Fuente: Flores y Pacompia, 2015.

Las propiedades del concreto permeable en estado endurecido que se evalúan son: Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, permeabilidad, absorción acústica, durabilidad, resistencia a los sulfatos y resistencia a la abrasión, las cuales son conceptualizadas a continuación.

La resistencia a la compresión, puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga axial. Esta se determina de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C39.

La resistencia a la compresión que desarrolla el concreto permeable está fuertemente afectada por el esfuerzo de compactación durante la colocación. En la figura 3, Meininger muestra la relación entre la resistencia a la compresión del concreto permeable y el contenido de vacíos. La figura se basa en los resultados de una serie de

ensayos de laboratorio, considerando dos tamaños de agregado grueso para un esfuerzo de compactación.

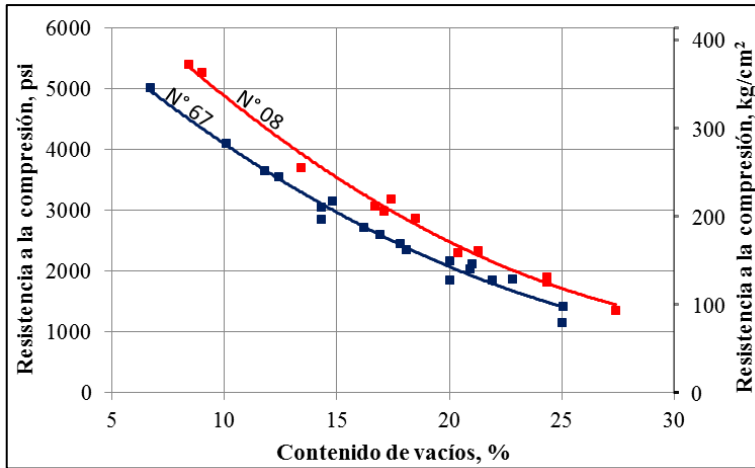


Figura 3: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión.
Fuente: Flores y Pacompia, 2015.

En la Figura 4, Mulligan muestra una relación entre la resistencia a la compresión del concreto permeable y el peso de la unidad. La figura se basa en otra serie de pruebas de laboratorio donde fue utilizado un tamaño de agregado grueso y un esfuerzo de compactación, variándose la relación de agua-cemento (a/c).

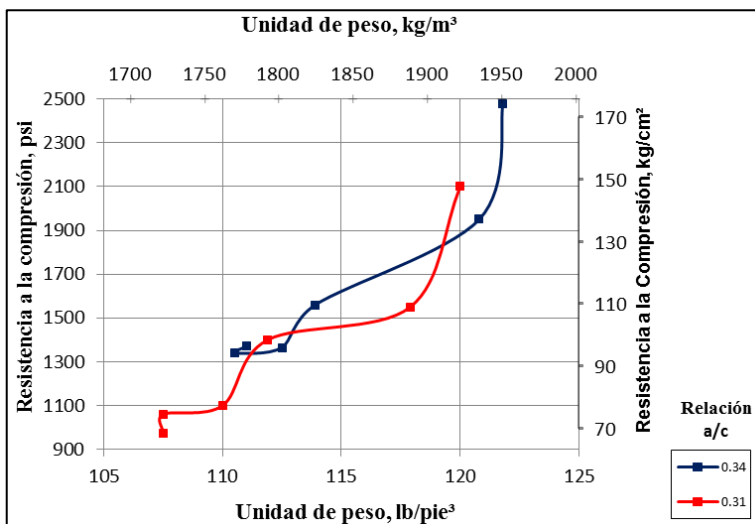


Figura 4: Resistencia a la compresión a los 28 días vs Peso Unitario.
Fuente: Flores y Pacompia, 2015.

La figura 5, muestra las resistencias a la compresión relativamente altas del concreto permeable son posibles, con relaciones agua-cemento (a/c) aproximadamente de 0.4, y con gradaciones de agregado grueso de menor tamaño.

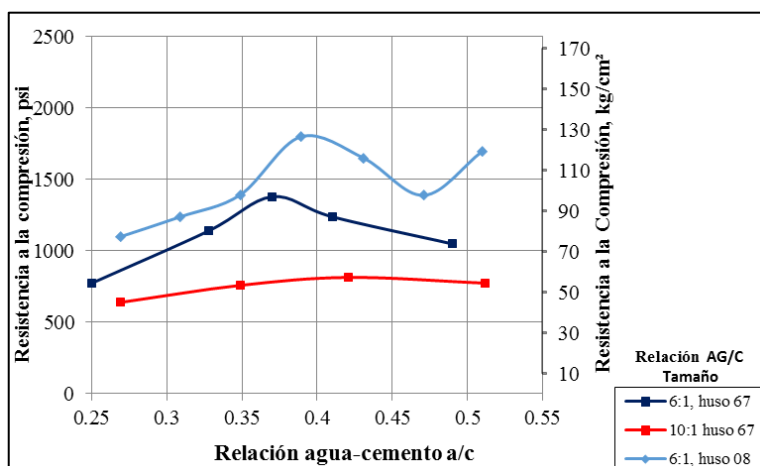


Figura 5: Relación entre resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua y cemento.
Fuente: Flores y Pacompia, 2015.

Los valores típicos de resistencias a la compresión, según antecedentes se encuentran al alrededor de 175 kg/cm². La resistencia a la compresión en campo está sujeta a la calidad de los materiales empleados, técnicas de colocación y condiciones ambientales, de manera similar a cualquier tipo de concreto. Para mejorar la resistencia a la compresión del concreto permeable, se debe tener en cuenta: La resistencia de la pasta, y la cohesión entre el agregado y la pasta. Siendo posible con la utilización de agregados gruesos con menores tamaños y usando aditivos y/o materiales adicionales en la mezcla.

La resistencia a la flexión, es una de las características técnicas más importantes que presenta el concreto permeable, debido a que su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico convencional, normalmente es 30% de la resistencia a la compresión, es decir, relativamente más alta que en el concreto convencional (Pérez, 2009). La resistencia a la compresión la cual es más fácil de medir que la resistencia a la flexión, se puede usar como un índice de la resistencia a la flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados.

En la figura 6, Meininger muestra la relación entre la resistencia a la flexión del concreto permeable y el contenido de vacíos basado en muestras de vigas ensayadas en la misma serie de pruebas de laboratorio descritos para la figura 3. Aunque estos resultados se basan en un número limitado de muestras, comparando los datos de la

figura 3, se puede observar que existe una relación entre la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto permeable.

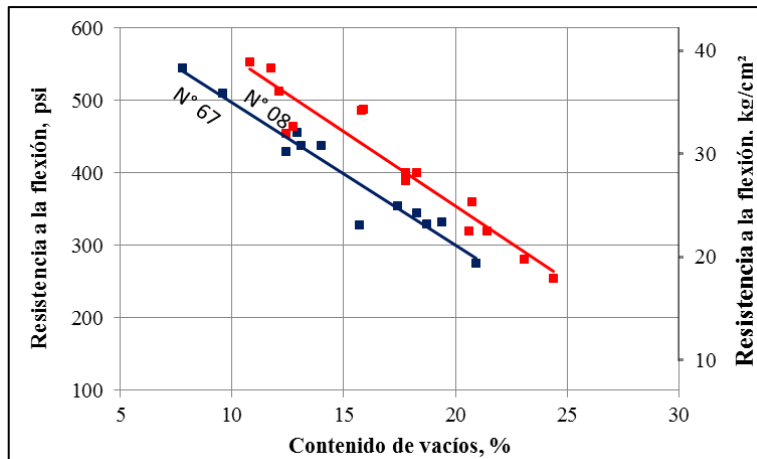


Figura 6: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la flexión para el concreto permeable. Fuente: Flores y Pacompia, 2015.

La Figura 7, Meininger muestra esta relación.

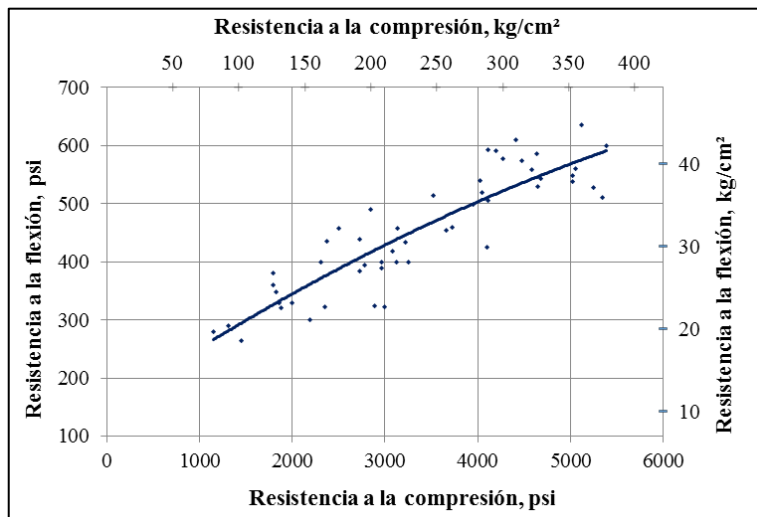


Figura 7: Relación entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión para el concreto permeable. Fuente: Flores y Pacompia, 2015.

La resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm² y 40 kg/cm². Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión, principalmente el grado de compactación, porosidad, y la relación agregado-cemento (AG/C).

La permeabilidad, es una de las características más importantes del concreto permeable

es su capacidad para filtrar agua a través de su matriz, y su magnitud es medida por la tasa de filtración. La tasa de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos. Las pruebas han demostrado (Meininger, 1988) que se requiere un mínimo contenido de vacíos de aire de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa. La Figura 8, Meininger muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que las tasas de filtración aumentan a medida que el contenido de vacíos aumenta y en consecuencia, la resistencia a la compresión disminuye, el reto en la dosificación de mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de percolación y una resistencia a la compresión aceptables.

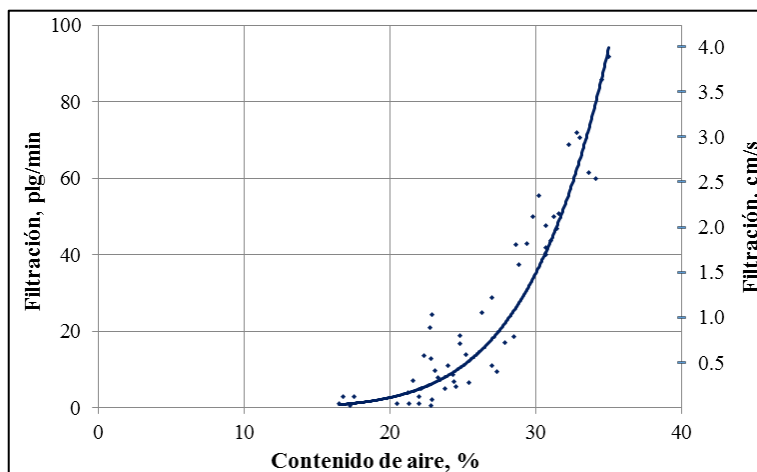


Figura 8: Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación.
Fuente: Flores y Pacompia, 2015.

La capacidad de filtración del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.2 a 0.54 cm/s. Para que se pueda asegurar el flujo del agua es recomendable al menos el 15% del contenido de vacíos (Meininger, 1988).

El concreto permeable es altamente eficaz en la absorción acústica, este material puede ser empleado para la reducción del ruido generado por la interacción entre el neumático y el pavimento de concreto. La reducción del ruido se debe a la combinación de la menor generación de este y una mayor absorción de sonido. Los pavimentos permeables alteran la generación de ruido, reduciendo el bombeo del aire entre el neumático y la superficie del pavimento. Además, absorben el sonido a través de la fricción interna entre el moviendo de las moléculas de aire y las paredes de los poros.

El coeficiente de absorción “a” es una medida de la capacidad de un material de para absorber el sonido. Un material con un coeficiente de absorción de 1,0 indica un material puramente absorbente, mientras que un material con un coeficiente de absorción de 0 indica que el material es puramente reflectante. El concreto convencional, por ejemplo, tiene típicamente un coeficiente de absorción de 0,03 a 0,05 (Neithalath, Weiss & Olek, 2005). El concreto permeable tiene típicamente un intervalo de absorción de 0,1 (para mezclas con mal desempeño) a casi 1,0 (para mezclas con volumen óptimo de poros). El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas sonoras que inciden, y por lo tanto, es importante seleccionar un espesor de concreto permeable adecuado a fin de minimizar sonidos de la frecuencia deseada (ACI 522R, 2010).

La durabilidad del concreto permeable, se refiere a la vida útil bajo las condiciones ambientales dadas. Los efectos físicos que influyen negativamente en la durabilidad del concreto incluyen la exposición a temperaturas extremas y los productos químicos, tales como sulfatos y ácidos. No se han realizado investigaciones sobre la resistencia de concreto permeable al ataque agresivo por los sulfatos o agua ácida; la durabilidad del concreto permeable bajo condiciones de congelación – descongelación, tampoco está bien documentada. (ACI 522R, 2010).

Resistencia a la congelación y deshielo, se desea que el concreto permeable empleado en pavimentos cumpla con su vida útil y necesite poco mantenimiento. La durabilidad que presente el concreto permeable debería permitirle resistir las condiciones y solicitaciones tomadas en cuenta al momento de diseñarlos. La influencia de los ciclos de hielo y deshielo mientras el concreto esté saturado, es principalmente el agente más destructivo.

Cuando el agua se congela, se expande en aproximadamente un 9%. El crecimiento de cristales de hielo expandidos desplaza el agua. Si los microporos en la pasta están saturados o casi saturados durante el proceso de congelación, entonces la presión hidrostática se acumula cuando la congelación progresa (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanesi, 2004).

Las pruebas en condiciones de congelación y descongelación indican poca durabilidad

si toda la estructura de vacíos del concreto permeable se encuentra llena con agua. Ciclos de congelación lento (un ciclo por día – ASTM C 666), permiten que el agua presente en el concreto permeable drene, mejorando la durabilidad del mismo. Se debe tener precaución, cuando se utiliza el concreto permeable en condiciones en las que su estructura esté saturada completamente antes de que pueda producirse una helada. Las pruebas indican que la incorporación de aire en la pasta de cemento puede mejorar la durabilidad del concreto permeable ante la congelación y descongelación. (ACI 522R, 2010).

Para que el concreto permeable mejore su resistencia a los procesos de hielo y deshielo el ACI 522R-10 recomienda:

- Utilizar bases granulares sin finos de espesores de capa de 20 a 60cm por debajo del concreto permeable.
- El concreto permeable que está parcialmente saturado debería tener suficientes huecos para el desplazamiento del agua, obteniendo así una buena resistencia a la congelación y deshielo.
- Garantizar el rápido drenado para evitar la saturación.

La resistencia a los sulfatos, muchos sulfatos presentes en el suelo y en el agua pueden atacar y destruir un concreto permeable o convencional que no fue adecuadamente diseñado. Los sulfatos (por ejemplo, sulfato de calcio, sulfato de sodio y sulfato de magnesio) pueden atacar un concreto pues éstos reaccionan con los compuestos hidratados en la pasta de cemento. La utilización de concreto permeable en áreas donde existan alto contenido de sulfatos y agua contaminada puede ser posible siempre y cuando se encuentren aislado de estos.

La colocación del concreto permeable sobre una base de 15 cm. Con tamaño máximo de agregados de 25 mm proporciona una base para el pavimento, almacenamiento de las aguas de lluvia, y aislamiento para el concreto permeable.

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto permeable deberá tener una alta resistencia a abrasión. Asimismo, los resultados prueban e indican que la resistencia a la abrasión

está relacionada principalmente con la resistencia a la compresión del concreto. Un concreto con mayor resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que el concreto con menor resistencia a la compresión (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanessi, 2004).

Debido a que en el concreto permeable tiene una textura áspera y presenta una estructura abierta, la abrasión y desintegración de las partículas de agregados puede conllevar a un problema en su estructura (Tennis, Leming & Akers, 2004).

El tipo de agregado y el acabado realizado en la superficie del concreto permeable tienen gran influencia. Los agregados duros presentan mayor resistencia a la abrasión que los agregados blandos y una superficie con una terminación alisada presenta mejor comportamiento que otra que cuyo acabado es irregular. En general en los pavimentos de concreto permeable que han sido puestos en servicio, a las pocas semanas, éstos tendrán menor cantidad de agregados sobre su superficie, debido a que son desprendidas de superficie por el tráfico al que fue expuesta. Después de pocas semanas, la desintegración disminuye considerablemente, obteniendo una superficie del pavimento más estable. Para ello es necesario realizar una buena compactación y tener en cuenta una adecuada técnica de curado para poder reducir la desintegración de la superficie. (Pérez, 2009).

Los materiales que intervienen en la fabricación de concreto permeable no son indistintos a los utilizados para un concreto convencional, con la diferencia que la utilización de agregado fino está limitada casi en su totalidad.

El cemento Portland, cumple con los requerimientos de las normas ASTM C150, C595, o C1157, es utilizado como el aglomerante principal para la elaboración del concreto, pudiendo usarse otros materiales suplementarios como la ceniza volante, el cemento de escoria y el humo de sílice, los cuales deben satisfacer los requisitos de las normas ASTM C618, C989 y C1240, normas que señalan que las cantidades de los materiales suplementarios en el concreto pueden variar porcentualmente al peso del cemento, de 5 a 65%, entre el 20 y 70% y en el rango de 5 a 12% respectivamente (ACI 522R, 2010).

La materia prima utilizada para la elaboración del cemento, principalmente proviene de la roca caliza, areniscas y arcillas. La siguiente tabla muestra las materias primas con las que se elabora el cemento y sus composiciones químicas.

Tabla 1: *Composición de la materia prima para la fabricación del Cemento Portland.*

Valores	Procedencia usual	Componente químico
95%	Rocas Calizas	Oxido de Calcio (CaO)
	Areniscas	Oxido de Sílice (SiO ₂)
	Arcillas	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)
	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita	Oxido de Fierro (Fe ₂ O ₃)
5%	Otros minerales	Oxido de Magnesio, Sodio, Potasio, Titanio, Azufre, Fósforo y Magnesio.

Fuente: Elaboración propia según (Rodríguez 2008).

Para la elaboración del cemento, cuantitativamente el más importante es el Óxido de Calcio (CaO), seguido por el Óxido de Sílice (SiO₂), por muy debajo tenemos al Oxido de Aluminio (Al₂O₃) y finalmente el Óxido Férrico (Fe₂O₃), entre otros minerales. En la siguiente Tabla 2 se muestran los óxidos que componen el cemento con sus respectivos rangos porcentuales.

Tabla 2: *Cantidades típicas de Óxidos para la elaboración del Cemento Portland.*

Óxidos	Cantidad (%)
CaO	61 - 67
SiO ₂	20 - 27
Al ₂ O ₃	4 - 7
Fe ₂ O ₃	2 - 4
SO ₃	1 - 3
MgO	1 - 5
K ₂ O y Na ₂ O	0.25 - 1.5

Fuente: Elaboración propia según (Rodríguez 2008).

Existen en el Perú 8 tipos de cemento y 20 productos diferentes según se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: *Producción del Cemento Portland en el Perú.*

Fabricante	Ubicación de la fábrica	Tipo de concreto que producen
Concreto Lima S.A. (46%)	Lima	Tipo I (Sol I) Tipo IP (Super Cemento Atlas), Tipo II (Sol II)
Cemento Andino S.A. (19%)	Tarma – Junín	Tipo I (Andino I), Tipo II (Andino II), Tipo V (Andino V), Tipo IPM (Andino IPM)
Yura S.A. (14%)	Yura – Arequipa	Tipo I (Yura I), Tipo IP (Yura IP), Tipo IPM (Yura IPM), Cemento de Albañilería – Marca “estuco Flex”.
Cemento Pacasmayo S.A. (13%)	Pacasmayo – La Libertad	Tipo I (Pacasmayo I), Tipo II (Pacasmayo II), Tipo V (Pacasmayo V), Tipo MS (Pacasmayo IMS), Tipo IP (Pacasmayo IP), Tipo ICo (Pacasmayo ICo).
Cemento Sur S.A. (5%)	Juliaca – Puno	Tipo I (Rumi I), Tipo II (Rumi II), Tipo V (Rumi V), Tipo IPM (Inti).
Cementos Selva S.A. (1%)	Pucallpa - Ucayali	Tipo I, Tipo ICo, Tipo II, Tipo V, Tipo IP.

Fuente: Elaboración propia según (Rodríguez 2008).

En la NTP 334.009, se reconocen 6 tipos de cementos estándar. El Tipo I que es de uso general que no requiere propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo, el Tipo II que también es de uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos, el Tipo II (MH) que también es de uso general, específicamente cuando se desea moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos, el de Tipo III que es para ser usado cuando se requiere altas resistencias iniciales, el Tipo IV que se utiliza cuando se desea bajo calor de hidratación y por último el Tipo V que se utiliza cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Además, en la NTP 334.090, para los tipos de cementos adicionados menciona, los Cementos adicionados binarios que son cemento adicionado hidráulico que contiene Cemento Portland y cemento de escoria, o cemento Portland y puzolana, también los Cementos adicionados ternarios que contiene cemento Portland combinado con dos puzolanas diferentes, o cemento Portland con cemento escoria y una puzolana, una puzolana y una caliza o cemento de escoria y una caliza.

Vidrio

Gutiérrez (2003), define al vidrio como otro de los materiales cerámicos usados comúnmente en la construcción, es un material compacto, homogéneo, transparente y muy resistente a la acción de los agentes atmosféricos. En general, los vidrios y cristales son mezclas de silicatos de sodio y potasio con pequeñas cantidades de magnesio, aluminio y óxido de hierro.

El componente principal del vidrio es la sílice, obtenida a partir de arena, pedernal o cuarzo, desde el punto de vista estructural el vidrio está constituido por:

Tabla 4: *Composición química del Vidrio.*

Composición química del vidrio	
Elemento	%
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)	0.7%
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.3%

Fuente: Elaboración propia según (Arciniegas y Fonseca, 2004)

Rincón (2008), sostiene que además de estos componentes básicos, los productos vítreos incorporan otros óxidos que cumplen diversas funciones secundarias, así como: afinantes, colorantes, decolorantes, o pacificantes, fluidificantes, catalizadores, o nucleantes de la cristalización.

Para la fabricación del vidrio Catalán (2013), indica que se usa como materia prima arena silícea (arcillas) y una mezcla de óxidos metálicos secos pulverizados o granulados, puesto que las arcillas son productos geológicos del envejecimiento de la corteza terrestre, es un material muy abundante en la naturaleza.

Las propiedades físicas del vidrio según Catalán (2013) argumenta depende de la composición, ya que algunos vidrios funden a temperaturas muy bajas, como 500°C, mientras que otros necesitan 1650°C, aunque por lo general, al presentar un elevado contenido de sílice, la temperatura final de fusión es más cercana a este último valor. En cuanto a resistencia mecánica, presenta normalmente una resistencia a la tracción

entre 3.000 y 5.500N/cm², aunque puede llegar a sobrepasar los 70.000 N/cm² si el vidrio ha recibido un tratamiento especial. El vidrio es un mal conductor de calor y electricidad, por lo que resulta práctico para el aislamiento térmico y eléctrico.

Para el reciclado y reutilización del vidrio Catalán (2013), sostiene que la reutilización, frente al reciclaje, desde un punto de vista ambiental, tiene más ventajas, debido al ahorro de energía que supone utilizar más veces un mismo envase para luego reciclarlo, que darle un solo uso. Los envases de vidrio se pueden reutilizar, siguiendo un circuito distinto al de los envases de un solo uso.

Hay dos tipos de envases de vidrios: los retornables y los no retornables, ambos complementarios. Los dos pueden ser reciclados indefinidamente para conseguir nuevos envases con las mismas características al original. Un envase retornable se devuelve al envasador, el cual lo higieniza y lo rellena de nuevo.

Este ciclo puede repetirse hasta 20 ó 30 veces, en función del contenido y de la resistencia del vidrio. En el proceso de fabricación del vidrio se utiliza más cantidad de material del necesario, para dotarles de mayor resistencia y poder hacer más rotaciones, antes de que finalice su ciclo de vida y puedan ser reciclados.

Si el envase no es retornable, no puede seguir este proceso; no obstante, puede ser reciclado, volviendo al fabricante que lo utilizará como materia prima para elaborar uno nuevo.

El vidrio es un material totalmente reciclable y no hay límite en la cantidad de veces que puede ser reprocesado. Al reciclarlo no se pierden las propiedades del material y se ahorra una cantidad de energía de alrededor del 30% con respecto al proceso de fabricación de vidrio nuevo.

El vidrio como materia prima de cementantes alternativos, Guevara (2013), sostiene que el uso de vidrio reciclado en la fabricación de vidrio reduce el consumo de energía y de materias primas, además de reducir el desgaste de la maquinaria. El vidrio es, sin lugar a dudas, un material frágil que, a su vez, posee cierta dureza. Éste se fabrica en un reactor de fusión, en donde se calienta una mezcla de arenas silíceas (arcillas) y óxidos metálicos secos pulverizados o granulados.

En particular, de acuerdo con la norma ASTM C618 y la composición química requerida, el vidrio sódico-cálcico consiste en aproximadamente el 72% de SiO₂, un 14% de Na₂O y un 9% de CaO y puede ser clasificado como puzolana natural tipo N. El vidrio molido es un material similar a la ceniza volante, que lo hace atractivo para ser considerado como materia prima para la fabricación de materiales cementantes alternativos. En contraste con los cementos de escoria de alto horno, los cementos de ceniza volante requieren altas concentraciones alcalinas y altas temperaturas de curado para obtener propiedades mecánicas resistentes a la compresión.

En los últimos años, el vidrio ha sido utilizado como agregado de concreto y en la fabricación de cemento, ayudando a la reducción de bancos de este material y a las regulaciones ambientales, además de disminuir un poco los costos de fabricación de concreto con este material. De hecho, el uso combinado de otros materiales cementantes complementarios, tales como la ceniza volante, la escoria de alto horno, el meta-caolín, etc., también han sido empleados y con ello se ha logrado disminuir la expansión de la reacción álcali-agregado.

Aunque existe una gran preocupación por determinar el efecto que ocasionarán los álcalis del vidrio al concreto, el vidrio de residuo se ha utilizado primero como remplazo de agregado ya sea fino o grueso para la fabricación de mampostería. Con ello, las propiedades del vidrio se vuelven comparables en términos de composición química, de resistencia y durabilidad y de tamaño, lo que significa tener un procesamiento de menor costo. Por ello surge el interés en este trabajo, ya que se utilizó vidrio reciclado, pero no sólo como agregado de concreto, sino más bien como materia prima para la fabricación de un material cementante. Es decir, se buscó activar el vidrio mediante molienda mecánica-química alcalina para que pueda presentar propiedades cementantes.

Ventajas del reciclado del vidrio:

- La fusión de los materiales se consigue a temperaturas más bajas, lo que se traduce en un ahorro de energía con respecto a la fabricación de vidrio nuevo.
- Se ahorran alrededor de 1200kg de materias primas por cada tonelada de vidrio

usado.

- Ahorro de energía al no tener que extraer materias primas
- Reducción de la erosión producida al extraer las materias primas necesarias para su fabricación
- Disminuye el número de residuos urbanos que van a vertedero y por tanto costos asociados de recolección, disposición y tratamiento

MDI (2016), indica que actualmente el distrito de independencia de la Provincia de Huaraz cuenta con una planta de tratamiento de residuos sólidos, dentro de los residuos sólidos reaprovechables de esta planta de tratamiento encontramos el vidrio con más de 14 toneladas al mes. Este material puede reciclarse para la fabricación de nuevos envases y vajilla, aunque la dificultad para transportar el vidrio de desecho desde el sitio donde se genera hacia las cristalerías que lo reciclan, sugiere la posibilidad de buscar disposiciones alternativas para este material.

Conchas de abanico (*Argopecten purpuratus*)

Flores y Mazza (2014), manifiesta que la concha de abanico es un molusco cuyas valvas tienen forma de abanico, la misma que está compuesta en su gran mayoría por carbonato de calcio (CaCO_3) en un 99% y 1% de material orgánico multifuncional, y podría ser adecuado como materia prima para la producción de cementos alternativos. Se produce en zonas arenosas, algosas y de manglares, sobre fondo de roca, guijarro y grava. Se compone del tallo o callo, que es un músculo de color blanco, y de la gónada, también conocido como coral que es de color rojo. En el Perú existen numerosos bancos naturales de esta especie, tales como los de Bahía de Sechura y lobos de Tierra en Piura, Bahía de Samanco y el Dorado en Chimbote, Bahía de Guaynuna en Casma y Bahía de Independencia y Paracas en Pisco. Se encuentran en aguas costeras entre 3 a 30 m, con fondos variables; fondo blando, arena endurecida, de conchuela con algas y cascajo, las Conchas de abanico vive normalmente en bahías protegidas del oleaje a temperatura entre 14 a 20°C esta especie requiere de agua bien oxigenada y con una salinidad de 34.4 a 34.9 por mil incluyendo este parámetro en el desarrollo, alimentación y reproducción.

El cultivo de concha de abanico, es una actividad acuícola que viene adquiriendo una gran importancia. En los últimos años, esta especie se ha constituido en el principal producto de exportación de la acuicultura peruana, siendo los destinos tradicionales Francia y USA. La "concha de abanico" se viene cultivando, principalmente mediante la técnica de cultivo suspendido, a lo largo de la costa peruana; siendo las principales regiones en donde se ha desarrollado con mayor intensidad el cultivo de esta especie son Ancash, Piura e Ica. Como toda actividad humana, este cultivo también origina una serie de impactos ambientales (positivos y negativos), los mismos que puede beneficiar o perjudicar al ambiente en el cual se desarrolla la actividad.

Uribe, Lodeiros, Pico y Etchepare (2001), indican que el cultivo de bivalvos y en general las grandes agregaciones de organismos bentónicos, pueden provocar un significativo impacto en los nutrientes y también en el ciclo de energía de los ecosistemas marinos. Por otro lado, los beneficios positivos de la acuicultura, y en particular del cultivo de "concha de abanico", si se han documentado, siendo los más destacados la generación de empleo y divisas, además de contribuir con el desarrollo en zonas rurales y de aportar a la seguridad alimentaria. Un aspecto importante de cualquier actividad humana es la sustentabilidad. Este principio aplicado a la acuicultura se soporta en la tecnología de cultivo, en los aspectos sociales y económicos de la actividad, y sobre todo en el impacto ambiental. Al respecto, se recomienda que para desarrollar una acuicultura sustentable se debe: seleccionar especies aceptables social y económicamente, establecer una apropiada tecnología base para cada región y operaciones de cultivo que no impacten al medio. El cultivo de "concha de abanico" es una actividad importante para el desarrollo regional; no obstante, está creciendo de forma no adecuada, sin garantizar su sustentabilidad. Creemos que identificando adecuadamente los impactos negativos que genera la actividad del cultivo de "concha de abanico", nos permitirá identificar y formular políticas para promover el desarrollo sostenible de esta actividad.

El impacto negativo según Flores y Mazza (2014), indican que el cultivo de "concha de abanico" viene generando una serie de impactos ambientales negativos en el ecosistema de la bahía de Samanco, esta se ve potenciado por prácticas insostenibles

entre las cuales se incluyen:

Disposición de los desechos en lugares no apropiados. Una de las prácticas más comunes en los maricultores es el arrojamiento de los desechos en las mismas zonas de cultivo. Esto acarrea el incremento de la materia orgánica y por ende del sedimento lo que eventualmente podría impactar negativamente al mismo cultivo.

La bahía de Samanco, tiene playas (Dorado, caleta Colorada, Atahualpa, Vesique) que son visitadas, principalmente durante la época de verano (enero-marzo), por la población de la ciudad de Chimbote. Estos visitantes acuden a las playas en busca de esparcimiento. En este sentido, el cultivo de "concha de abanico" genera un impacto ambiental negativo en el paisaje, debido a la disposición de la infraestructura de cultivo (líneas, catamaranes, almacenes, etc). Esto ha generado el incremento de las moscas y de los malos olores, perjudicando la calidad natural de las playas.

La producción en el Perú. Flores y Mazza (2014), indican que en el Perú se pueden encontrar las conchas de abanico desde Paita hasta Ilo. Sin embargo, la cosecha de conchas de abanico está fuertemente concentrada en las regiones de Piura y Ancash.

La concesión mínima para que un proyecto de cultivo de conchas de abanico sea rentable está entre 80 y 100 Has de cultivo. En marzo del 2011, existían aproximadamente 60 empresas dedicadas a la producción de conchas de abanico en unas dos mil hectáreas, quedando disponible aún unas cinco mil hectáreas para el desarrollo de la acuicultura entre Piura y Samanco en Chimbote

Hasta septiembre del año 2013 se habían cosechado 45,284 toneladas de conchas de abanico, cantidad 165.10% superior a lo cosechado en el mismo periodo el año anterior, de esta manera a fines del año 2013 se habría revertido la caída de la cosecha de conchas de abanico ocurrida el año 2012. El fuerte salto de la cosecha registrado el año 2010 explicado íntegramente por la cosecha de la región Piura que paso de 3,967 a 44,581 Toneladas métricas el año 2010. La cosecha de la región Ancash en dicho año fue de 12,003 TM, el año anterior dicha región había alcanzado a cosechar 12,936 TM.

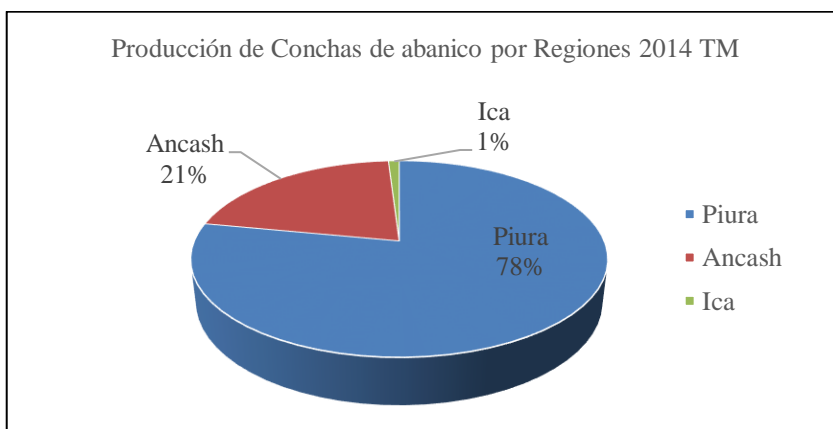


Figura 9: *Grafica de la Producción de conchas de abanico por regiones.*

Fuente: Elaboración propia según el Ministerio de la Producción, Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2014.

Como se puede observar gráfico, la caída de la cosecha Nacional de conchas de abanico ocurrida en el año 2014, caída que fue del 18.61%, reduciendo de 67,694TM que se tuvo en el 2013 a 55,096TM en el año 2014. La caída de la cosecha el año 2014, es explicada por la fuerte caída de la cosecha en la Región Piura, teniendo una caída de 23.84% llenado a cosecharse 42,807TM, esta caída se compensa con el aumento parcial del 8.19% en la región Ancash.



Figura 10: *Grafica de la Cosecha Nacional de conchas de abanico.*

Fuente: Elaboración propia según el Ministerio de la Producción, Anuario Estadístico Pesquero y Acuicola 2014.

Agua para mezclas de concreto y curado

El agua de concreto utilizada en la preparación de la mezcla y para el curado de concreto debe ser aquella que cumpla lo establecido en la NTP 339.088. Debe ser de preferencia agua potable y no debe emplear aguas ácidas, con cal, minerales o carbón, ni ser aguas provenientes de relaves, ni con contenido de residuos minerales o industriales, tampoco aguas con contenido de sulfatos mayores a 1%, ni aguas con algas o materia orgánica, humus o desagües, ni tampoco agua con azúcar o sus derivados. Las aguas deben estar libres de cantidades significativas de sales de sodio o potasio disueltas.

Las aguas naturales no potable, se pueden usar toda vez que éstas se encuentren limpias y libres de contenido perjudicial de aceite, ácido, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias nocivas al concreto y acero de refuerzo. Las proporciones se basan en los ensayos de resistencia en compresión y son similares a muestras de agua potable, para ese propósito la calidad del agua debe cumplir estos estándares:

Tabla 5: *Cantidades Máximas permitidas de elementos.*

Elementos	Cantidades Máximas permitidas
Cloruro	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	1500 ppm
PH	Mayor a 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia Orgánica	10 ppm

Fuente: Elaboración propia según Digesa - Minsa.

En el caso de hacer uso del agua de mar es recomendable que la mezcla contenga cemento mínimo de 350kg/m³; una relación agua/cemento máximo de 0.5; consistencia plástica y recubrimiento al acero de refuerzo no menor de 70mm. Y se prohíbe el uso de la misma en concreto pre esforzado concreto con resistencia mayor de 175kg/cm² a los 28 días, concretos donde están embebidos aluminio o de fierro galvanizado, concretos vaciados en climas cálidos, concretos con acabado superficial importantes, concretos expuestos y concretos cara vista.

Agregados

Pérez (2009), define que el concreto permeable en su estructura que no contiene agregado fino, o tal vez muy poco; y el agregado grueso utilizado debe ser de tamaño uniforme y con granulometrías que están entre los 3/4 y 3/8 de pulgada lo que vendría a ser 19 y 9.5mm, respectivamente. Los agregados redondeados y triturados, tanto los normales como los de peso ligero, han sido usados para la fabricación de concreto permeable y deben satisfacer los requisitos de ASTM D448 y C33.

La calidad de los agregados para la elaboración del concreto permeable es igual de importante que en el concreto convencional ya que se deben evitar las partículas escamosas o alargadas; el agregado grueso debe ser duro, limpio y libre de recubrimientos (ACI 522R, 2010).

Aditivos

Los aditivos sirven para mejorar las propiedades y características del concreto permeable y dependiendo de su tipo, influye en el estado fresco y/o endurecido del concreto.

Los aditivos reductores de agua (de alto o mediano rango) se utilizan dependiendo de la relación agua-cemento (a/c) y deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C494.

Los aditivos retardantes son utilizados para la estabilización y el control de la hidratación del cemento, debido a esto, son usados comúnmente cuando se trata de mezclas rígidas como el concreto permeable y sobre todo en aplicaciones en climas cálidos. También pueden actuar como lubricantes, esto ayuda a la descarga del concreto desde la mezcladora, así como también mejora el manejo.

Los aditivos aceleradores se pueden utilizar cuando el concreto permeable se implementa en ambientes fríos.

Los aditivos incorporadores de aire no son frecuentemente usados en el diseño de un concreto permeable, pero son utilizados en ambientes susceptibles al hielo y deshielo. También tienen que cumplir los requerimientos de la norma ASTM C260 (ACI 522R, 2010).

Diseño de mezcla

El procedimiento de diseño del concreto poroso o permeable difiere mucho con relación al concreto convencional ya que este se basa en la relación agua/cemento o la resistencia del concreto, en cambio en el concreto permeable lo más importante es el porcentaje de vacíos y el volumen de pasta, ya que el porcentaje de vacíos determinara la velocidad de infiltración en consecuencia la permeabilidad del concreto poroso, en cambio el volumen de pasta asegura la adherencia entre las partículas del agregado grueso (Calderón, Charca y Yanqui, 2013).

El concreto permeable no se especifica o acepta en base a la resistencia, un punto aún más importante para el éxito por ejemplo de un pavimento permeable es el contenido de vacíos. La aceptación se basa normalmente en la densidad (peso unitario) del pavimento en el sitio. Una tolerancia aceptable es de más o menos 5lb/cu.ft. (80 kg/m³) de la densidad de diseño. Esto debe ser verificado a través de mediciones de campo. La densidad fresca del concreto permeable se mide utilizando el método "Jigging" descrito en la norma ASTM C 29.

Se ha encontrado como aceptable un amplio rango de valores de cemento, dependiendo de la aplicación específica. Los aditivos químicos, además de afectar la relación a/c, se usan para influir en la trabajabilidad y los tiempos de fraguado, para mejorar las varias características del concreto permeable, y para mejorar la durabilidad a largo plazo (Pérez, 2009).

Tabla 6: Rangos típicos de las cantidades de los materiales en el concreto permeable.

Parámetro	Rango
Materiales cementantes, kg/m ³	270 a 415
Agregado, kg/m ³	1190 a 1480
Relación Agua – cemento, en peso	0.26 a 0.45
Relación Agregado – cemento, en peso	4 a 4.5:1
Relación de agregado fino – agregado grueso, en peso	0 a 1:1

Fuente: Elaboración propia según (Pérez, 2009)

La Relación agua/cemento (a/c), la importancia del agua resulta de gran magnitud, ya que ella y su relación con el cemento están altamente ligados a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde usualmente conforme más

agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad, lo cual presenta grandes beneficios para la mano de obra; no obstante, también comienza a disminuir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre (Guevara, Hidalgo, Pizarro, Rodríguez, Rojas y Segura, 2011).

En el concreto permeable la dosis de agua utilizada tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Utilizando una cantidad insuficiente de agua dará como resultado una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento dejando expuesto al agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial. Se supone que la trabajabilidad del concreto permeable es satisfactoria si se usa suficiente agua de mezclado para impartir a la mezcla una apariencia de un metal mojado. Al comprimir y soltar un puñado de la mezcla, se deberá tener como resultado una mezcla que no se desmorona, ni presenta huecos, y no debe fluir la pasta de cemento separándose de las partículas del agregado. La consistencia correcta usualmente se obtiene a través de un proceso de prueba e inspección, lo que asegura que cada mezcla contenga la pasta de cemento suficiente para cubrir las partículas gruesas con una delgada capa brillante, dándole un resplandor metálico. La relación a/c es una consideración muy importante para el desarrollo de la resistencia y la estructura de vacíos del concreto (Pérez 2009).



Figura 11. Muestras de concreto permeable con diferentes cantidades de agua: (a) con poca agua, (b) adecuada cantidad de agua, (e) con demasiada agua.

Fuente: (Pérez, 2019)

La relación agregado-cemento típica varía entre 4:1 a 4.5:1, pero ésta depende fundamentalmente del tipo de agregado. Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga y durabilidad.

Las pruebas de peso unitario seco - compactado de agregado grueso (b/b_0) hecho por la National Aggregates Association - National Ready Mixed Concrete Association (NAA - NRMCA) muestra que el peso unitario seco-compactado del agregado grueso determinado de acuerdo con la norma ASTM C29 puede usarse en el proporcionamiento del concreto permeable. Así:

(b/b_0) : Volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

b : Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

b_0 : Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de agregado grueso.

El valor b/b_0 automáticamente se compensa por los efectos de las diferentes formas de las partículas de los agregados, la graduación o tamaño, y el peso específico. Además, para un rango de agregados de tamaño máximo nominal normalmente usados

para concreto permeable (3/8" a 3/4") los valores b/bo son muy similares (ACI 211.3R, 1998). La Tabla 7 muestra los valores de b/bo para agregado grueso de tamaños No. 8 (3/8") y No. 67 (3/4") para un contenido de agregado fino de 0%, 10%, y 20% del total de agregado.

Tabla 7. Valores efectivos de b/bo

Porcentaje de agregado Fino (%)	b/bo	
	No. 8(3/8")	No. 67 (3/4")
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.83	0.86

Fuente: Elaboración propia (Pérez 2009).

Análisis hidrológico-hidráulico en pavimentos permeables

El análisis de desempeño de los pavimentos permeables desde el punto de vista hidrológico e hidráulico es realizado con base a los datos cuantitativos de los fenómenos inmersos al balance hídrico, los cuales son recaudados por los dispositivos de monitoreo. Tales fenómenos como son la precipitación, escorrentía superficial, infiltración y evaporación; y se dividen en variables de entrada, variables de salida y de almacenamiento. (Barahona et al.,2013).

El dimensionamiento de infraestructuras como los pavimentos permeables debe tener como punto de partida la caracterización del régimen pluviométrico de la zona de aplicación de los mismos.

Habitualmente, los métodos hidrológicos de diseño adoptan criterios de extremos vinculados a períodos de retorno para la definición de los parámetros de diseño (caudales de pico de avenida fundamentalmente). (García, 2011).

El diseño hidrológico e hidráulico del pavimento permeable debe tener en cuenta cuatro aspectos esenciales: Primero estimar las características de filtración de la capa de pavimento, segundo determinar el volumen de almacenamiento (proporcionado por los poros de la sub base) para alcanzar tasas de rendimiento adecuadas, tercero estimar la necesidad, y en su caso cuantificar la capacidad del drenaje longitudinal adicional y por último cuarto analizar la respuesta del pavimento ante eventos extremos de precipitación. (García, 2011).

La capacidad de infiltración de la propia capa de pavimento no suele ser un factor

limitante en el diseño de éstos, pues suele ser al menos un orden de magnitud superior a las máximas intensidades de lluvia esperables. Sin embargo, esta tasa se reduciría y estabilizaría con el tiempo debido a la colmatación, por lo que se suele recomendar en el diseño adoptar en este valor un factor de seguridad de 10. (García, 2011).

La hidrología es la ciencia que investiga y estudia las propiedades y la distribución espacial y temporal del agua presente en la atmósfera y en la corteza terrestre. Esto incluye las precipitaciones, escorrentía, la humedad en el suelo y la evapotranspiración. En cuanto a los pavimentos permeables, los estudios hidrológicos son fundamentales para un correcto dimensionamiento de los mismos y un adecuado diseño de mezclas del concreto permeable utilizado en ellos, específicamente en la determinación del volumen de almacenamiento de los pavimentos permeables y contenido de vacíos de diseño del concreto permeable.

La información hidrológica utilizada fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Los datos caracterizados corresponden a los de la estación meteorológica Huaraz ubicada en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por lo que se adoptan como representativos para realizar el diseño de concretos permeable que serán utilizados en pavimentos de la ciudad de Huaraz.

Precipitación, Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de su precipitación, registrando su altura. Los aparatos de medición, se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros (generalmente con lecturas cada 24 horas) y pluviógrafos (que registran la altura de lluvia en función del tiempo, permitiendo determinar la intensidad de la precipitación).

Registro de lluvias en la ciudad de Huaraz

La temporada de lluvias en la ciudad de Huaraz dura 7.4 meses, iniciando el 29 de setiembre hasta el 11 de mayo, siendo marzo el mes con más lluvias en el año

comprendida en 166mm/mes. Asimismo, el periodo sin lluvias dura 4.6 comprendidas desde el 11 de mayo al 29 de setiembre, siendo agosto el mes con menos lluvias en el año con tan solo 3mm/mes.

Tabla 8: *Intensidad de precipitaciones (lluvias) en ciudad de Huaraz.*

Mes	Precipitación (Lluvia) mm/mes
Enero	119
Febrero	143
Marzo	166
Abril	108
Mayo	27
Junio	4
Julio	4
Agosto	3
Setiembre	22
Octubre	77
Noviembre	70
Diciembre	125

Fuente: Elaborado según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

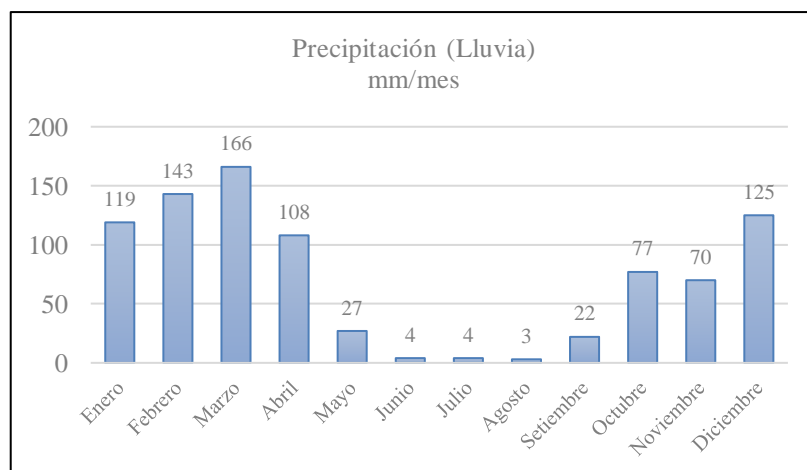


Figura 12: *Grafico de la Intensidad de precipitaciones (lluvias) en ciudad de Huaraz.*

Fuente: Elaborado según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

La Infiltración, La velocidad con la que el agua es absorbida en el suelo se denomina la tasa de infiltración. Ésta mide la cantidad de tiempo que le toma a la tierra absorber un cierto volumen de agua. Se suele medir en (mm/s).

La tasa de infiltración en los sistemas de pavimentos permeable se considera como la diferencia entre la precipitación y la variación del volumen de agua almacenado en el

concreto permeable.

Operacionalización de las Variables, se determinaron variables dependiente e independiente, representadas de la siguiente manera:

Variable Dependiente, Resistencia a la Compresión y Coeficiente de Permeabilidad.

Tabla 9: *Variable Dependiente.*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Resistencia a la Compresión de un concreto permeable	Es la máxima medida de resistencia a la compresión que ofrece un espécimen de concreto permeable a una carga axial.	Es el esfuerzo máximo que puede soportar una probeta de concreto permeable bajo una carga axial capaz de cumplir con las condiciones indicadas en la Norma ACI 522, la cual se encuentra en el rango de 2.8 a 28 Mpa.	Kg/cm ² .
Coeficiente de Permeabilidad del concreto permeable	Es la velocidad máxima de flujo para filtrar el agua a través de la matriz del concreto permeable (Pérez, 2015).	Es la velocidad máxima de filtración de agua a través de una matriz capaz de cumplir con las condiciones indicadas en la Norma ACI 522R-10, la cual se encuentra en el rango de 0.14 y 1.22 cm/s	cm/s.

Fuente: Elaboración propia.

Variable Independiente, Sustitución del 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Tabla 10: *Variable Independiente.*

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Sustitución del 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.	De acuerdo con la composición química del residuo de vidrio, éste principalmente está compuesta por SiO ₂ , adecuado como materia prima para la producción de cemento. Asimismo, las conchas de abanico al calcinarse a una temperatura de 800° C, se obtuvo el CaO adecuada para la producción de cemento.	Sustitución de un porcentaje de cemento por la combinación de vidrio molido y conchas de abanico en el diseño de mezclas de un concreto permeable.	Sustitución 20%: 5% de vidrio molido. 15% de conchas de abanico. Sustitución 40%: 10% de vidrio molido. 30% de conchas de abanico.

Fuente: Elaboración propia.

Se planteo la siguiente **Hipótesis:** La sustitución del 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico, mejoraría la resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto permeable en la ciudad de Huaraz.

El **Objetivo General** de la presente investigación es: Analizar la resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto permeable sustituyendo 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico. Y como **Objetivos Específicos:**

Determinar el grado de calcinación de las conchas de abanico mediante el Análisis Térmico Diferencial (DTA).

Determinar la composición de óxido por método de Fluorescencia de Rayos X del vidrio molido y cenizas de conchas de abanico;

Determinar el grado de alcalinidad (PH) del vidrio molido, cenizas de conchas de abanico y sus combinaciones.

Determinar la relación agua/cemento de las probetas de concreto permeable patrón y experimental.

Determinar y comparar la resistencia a la compresión de las probetas de concreto permeable patrón y experimental a los 7, 14 y 28 días de curado y por ultimo

Determinar y comparar el coeficiente de permeabilidad de las probetas de concreto permeable patrón y experimental a los 28 días de curado.

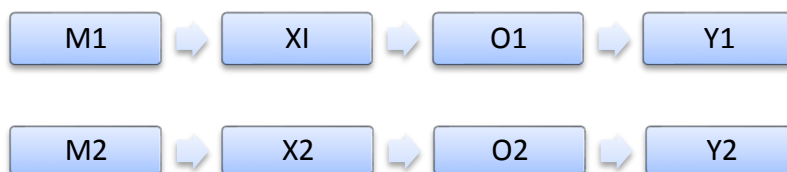
II. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El tipo y diseño de investigación, según el proceso fue una investigación Aplicada, porque la investigación está orientada a lograr un nuevo conocimiento destinado a procurar soluciones, a fin de conocer la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto permeable al sustituir 20 y 40% del cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico en relación 1:3 respectivamente.

En coherencia con el fin de la ciencia, fue una investigación explicativa, porque los datos de la investigación se obtuvieron mediante la observación de fenómenos condicionados por el investigador. Se utilizó la experimentación.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que estudio las variables y sus indicadores objetivamente midiendo y registrando sus valores respuesta en los instrumentos de recolección de datos (guías de observación). La hipótesis planteada se comprobó por medios matemáticos y estadísticos que constituye la base alrededor de la cual se diseña todo el experimento.

Es un diseño experimental, porque es un proceso en el cual estudiaremos el diseño convencional del concreto permeable en comparación con el nuevo diseño elaborado con la sustitución del 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico en relación 1:3 respectivamente. El estudio en su mayor parte se concentró en las pruebas realizadas en el Laboratorio de Suelos, donde se estuvo en contacto con los ensayos realizados obteniendo resultados de acuerdo a lo planeado en los objetivos.



Donde:

M1: Grupo control (probetas con diseño de mezcla convencional).

X1: Diseño de mezclas convencional.

O1: Observaciones obtenidas por dicha muestra (resultados anotados en la guía de

observación – diseño de mezcla convencional)

Y1: Resistencia a la compresión y permeabilidad convencional (Variable dependiente)

M2: Grupo Experimental (probetas con diseño de mezcla, aplicando la sustitución del cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico).

X2: Diseño de mezclas, aplicando la sustitución del cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

O2: Observaciones obtenidas por dicha muestra (resultados anotados en la guía de observación – diseño de mezcla aplicando la sustitución del cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico)

Y2: Resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto aplicando la sustitución del cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico (Variable dependiente)

La investigación se apoyó en pruebas, ensayos, repetición, laboratorios especializados. La mayor parte del estudio, se realizó en el laboratorio, se realizó la observación y debate de los resultados obtenidos.

La investigación estuvo orientada al nivel “Experimental” ya que se trató de buscar un material que ofrezca mayor durabilidad y resistencia al proceso de diseño a la resistencia a la compresión elaborado sustituyendo cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.




























Siendo la Unidad Experimental las probetas de concreto patrón y las probetas experimentales con sustitución del 20 y 40% del cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas conchas de abanico en relación 1:3 respectivamente.

Es un diseño de bloque completo al azar, por lo tanto, en este caso se trabajó con 3 probetas de concreto permeable por cada muestra, especificado de la siguiente manera.

Para la resistencia a la compresión se fabricaron 27 probetas de forma cilíndrica, con un diámetro de 15cm y una altura de 30cm, de las cuales 9 probetas no tuvieron sustitución o también denominado patrón, y 18 probetas fueron de diseño experimental con sustitución de 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas

de conchas de abanico en relación 1:3 respectivamente. Para la prueba se ensayaron 3 probetas por cada alternativa de concreto permeable, haciendo un total de 9 probetas, a edades de 7, 14 y 28 días de curado, es decir que a la edad de 7 días se sometieron a la prueba de compresión 9 probetas, asimismo a la edad de 14 días se sometieron a la prueba de compresión 9 probetas y por último a la edad de 28 días de curado se sometieron a la prueba de compresión las 9 probetas restantes.










Tabla 11: *Diseño de bloque completo al azar – Resistencia a la Compresión.*

Edades (días)	Resistencia a la compresión - Concreto Permeable								
	Patrón			Sust. 20%			Sust. 40%		
7									
14									
28									

Fuente: Elaboración propia.

Para la permeabilidad se fabricó 9 probetas de forma cilíndrica, con un diámetro de 10cm y una altura de 15cm, de las cuales 3 probetas no tuvieron sustitución o también denominada patrón, y 6 fueron de diseño experimental con sustitución de 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico en relación 1:3 respectivamente. Para la prueba de permeabilidad del concreto, se ensayaron a los 28 días de curado, con un permeámetro artesanal que se elaboró siguiendo las normas que rigen al concreto permeable.

Tabla 12: *Diseño de bloque completo al azar – Permeabilidad.*

Edades (días)	Permeabilidad - Concreto Permeable								
	Patrón			Sust. 20%			Sust. 40%		
28									

Fuente: Elaboración propia.

Población y muestra. La población estuvo conformada por el conjunto de probetas

cilíndricas de concreto permeable patrón y experimental, con diseño de mezcla y que fueron elaboradas en las instalaciones del laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro.

Para la muestra se consideró la misma cantidad que la población, consto de 36 probetas cilíndricas de concreto permeable, de los cuales 27 fueron para el ensayo de resistencia a la compresión y 9 para el ensayo de permeabilidad.

Para la fabricación de las unidades de estudio (probetas de concreto permeable), se utilizaron los siguientes componentes y/o materiales.

Agregado grueso (piedra chancada) TMN 1/2”, obtenido de la cantera Tacllán de la ciudad de Huaraz.

Vidrio, se recolecto envases de vidrio de la zona llamada Barranquito de la ciudad de Huaraz.

Conchas de abanico, recolectadas del sector de Tangay bajo, del Distrito de Nuevo Chimbote.

Los materiales empleados en esta investigación fueron trasladados en sacos de polietileno al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro.

Además, se utilizó el Cemento Portland Tipo I de la marca “Sol”.

Las **técnicas e instrumentos de investigación**, se aplicó como técnica la observación ya que la percepción del material debe ser registrada en forma cuidadosa y experta. Todo lo observado se anotó lo antes posible.

Para ello se utilizó como instrumento una guía de observación resumen porque nos permitió elaborar sistemas de organización y clasificación de la información de los diversos ensayos.

Tabla 13: *Técnicas e instrumentos de investigación.*

Técnica	Instrumento
Observación	Guía de observación Resumen.
	Fichas técnicas del laboratorio de los ensayos a realizar.

Fuente: Elaboración propia.

Se elaboraron guías de observación, para tomar datos recolectados en el laboratorio.

Las guías fueron tomadas respecto a todos los ensayos realizados en laboratorio como fueron:

- Contenido de humedad del agregado
- Peso unitario del agregado.
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso
- Ensayo de Florescencia de Rayos X.
- Determinación del PH de las muestras
- Diseño de mezclas
- Resistencia a la compresión
- Permeabilidad.

Para el **proceso y análisis de los datos**, Se presentó una solicitud al laboratorio de suelos de la Universidad San pedro para facilitar el acceso a dicho establecimiento.

Se utilizo un registro de apuntes, mediante fichas, acompañado de un registro fotográfico para ver el desarrollo de las pruebas.

Se realizó el diseño de mezclas según el método ACI 522R-10 para concretos permeables.

Se elaboró las probetas de concreto permeable patrón y experimental con sustitución de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico, según el método ACI 522R-10.

Se procedió con los ensayos a compresión de las probetas de concreto permeable patrón y experimental a los 7, 14 y 28 días de curado. Asimismo, se realizó el ensayo de permeabilidad a los 28 días de curado del concreto permeable patrón y experimental, finalmente se observó y se anotó los resultados obtenidos en dichos ensayos.

Para la **recolección, proceso y análisis de datos**, primero se obtuvo el agregado grueso (piedra chancada) de TMN 1/2", de la cantera Tacllán, que está ubicada en la

carretera Huaraz – Lima, al Sur de la ciudad de Huaraz, a unos 850 metros del puente Tacllán, se llenó en 6 sacos de polipropileno y luego se trasladó al laboratorio de suelos de la Universidad San Pedro.

Tabla 14: Coordenadas UTM de la cantera de agregados Tacllán.

Coordenadas UTM: Zona 18 L

Cantera	Este (X)	Norte (Y)	Elevación
Tacllán	221612	8943643	3,047 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia

Ya con las muestras en el laboratorio se procedió inicialmente a realizar el ensayo de contenido de humedad del agregado grueso (piedra chancada) TMN 1/2", la que dió como resultado la cantidad de agua que contiene dicho agregado, cuando la cantidad se expresa como porcentaje de la muestra seca, se denomina porcentaje de humedad pudiendo ser mayor o menor que el porcentaje de absorción. Los agregados generalmente se encuentran húmedos y varían con el estado del tiempo, razón por la cual se debe determinar frecuentemente el contenido de humedad, para luego corregir las proporciones de una mezcla.

Este ensayo fue realizado acorde al ASTM D2216-71, en el laboratorio de mecánica de suelos y ensayos de materiales de la Universidad San Pedro, para calcular este valor se utilizó una balanza electrónica digital con precisión del 0.1%, recipientes adecuado para colocar la muestra de ensayo y por último un horno eléctrico capaz de mantener una temperatura de 105 a 110°C.

Se siguió el siguiente procedimiento, primero se tomó una muestra de agregado grueso húmedo con un peso aproximado de 2800 gramos y se colocó en 03 recipientes previamente tarados; luego se registró los pesos de las muestras, consiguiendo así el peso del material húmedo; seguidamente las muestras fueron colocadas en el horno por un lapso de tiempo de 24 horas a una temperatura de 100 a 105°C, pasado este tiempo la muestra es enfriada a temperatura ambiente; y por último, se volvió a pesar las muestras obteniendo el peso del material seco.

$$\text{Contenido de Humedad} = \frac{C}{E} \times 100$$

Donde:

A: Peso del recipiente + material húmedo

B: Peso del recipiente + material seco

C=(A-B): Peso del agua

D: Peso del recipiente

E=(B-D): Peso del material seco

El ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso, fue realizado acorde a la NTP 400.021 y ASTM C127, en el laboratorio de mecánica de suelos y ensayos de materiales de la Universidad San Pedro. Para calcular este valor se utilizó una balanza, recipiente con agua, canastilla, horno eléctrico y recipientes para contener las muestras.

Se procedió con la primera parte de este ensayo, el cual consistió con el cuarteo seleccionando aproximadamente 2500g del agregado grueso, para esta investigación se utilizó piedra chancada de TMN de 1/2"; luego el agregado seleccionado es saturado sumergiéndolo en agua durante 24 horas, después de sacarlo del agua se procedió a secarlo con un paño absorbente la superficie del agregado hasta hacer desaparecer toda la película de agua visible; después se procedió a pesar la muestra en tres recipientes ya tarados obteniendo de esta manera el peso del material saturado con superficie seca; en la segunda parte del ensayo, se colocó de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre para determinar el peso sumergido de las tres muestras en agua; y por último, se secaron las tres muestras en el horno a una temperatura de 100 a 105°C, seguidamente se retiró la muestra, una vez enfriadas a temperatura ambiente se prosigo a pesar las muestras del agregado grueso.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{D}{C}$$

$$\text{Peso específico aparente (s. s. s)} = \frac{A}{C}$$

$$\text{Peso específico nominal} = \frac{D}{E}$$

$$\text{Absorción} = \frac{A - D}{D} \times 100$$

Dónde:

A: Peso del material saturado superficialmente seco (aire).

B: Peso del material saturado superficialmente seco (agua).

C = (A-B): Volumen de masa + Volumen de vacíos.

D: Peso del material seco en el horno.

E = C – (A – D): Volumen de masa.

El ensayo de Peso Unitario fue realizado acorde al ASTM C29, en el laboratorio de mecánica de suelos y ensayos de materiales de la Universidad San Pedro, para el cálculo de este valor conocido también como peso volumétrico se utilizó una balanza electrónica digital, varilla compactadora de acero de 60 cm de largo con extremos semiesféricos de 5/8" de diámetro, regla de acero, recipiente cilíndrico de volumetría adecuada hecha de un metal suficientemente rígido para condiciones duras de trabajo.

Se procedió tendiendo sobre los costales al aire libre el agregado grueso por un día o 24 horas antes de dar inicio al ensayo, culminando de transcurrir este tiempo se procedió a calcular el peso unitario suelto, el cual consistió en verter el material al recipiente cilíndrico de volumen de 2,776 cm³ desde una altura de 25cm. una vez lleno el recipiente se procedió a reglarlo para que todo el material quede al ras del recipiente, seguidamente se procedió a pesar el material suelto más el peso molde, este proceso se repitió tres veces consecutivas; seguidamente se calculó el peso unitario compactado, el cual consiste en verter en tres capas el material al recipiente cilíndrico de volumen de 2,776 cm³, cada capa se compacto con la barra de acero, dando 25 golpes por cada capa, una vez lleno el recipiente procedemos a reglarlo para que todo el material quede al ras del recipiente, seguidamente se procedió a pesar el material compactado más el molde, este proceso se repitió también tres veces consecutivas; finalmente se sacó el promedio a los resultados, obteniendo el peso unitario suelto y

peso unitario compactado de la muestra de agregado grueso de TMN 1/2".

$$\text{Peso Unitario} = \frac{C}{D} \times 100$$

Donde:

A: Peso de molde + muestra

B: Peso del molde

C=(A-B): Peso del material

D: Volumen del recipiente

El vidrio fue recolectado de los negocios aledaños al Jr. José de la Mar Cdra. 3 de la zona llamada Barranquito de la ciudad de Huaraz, se recolecto botellas enteras de gaseosas y licores (cervezas, ron y de vinos en su mayoría), tuvieron que ser envases enteros por seguridad, el tratamiento inicial es el lavado para eliminar cualquier impureza que este adherido al embace, culminado este proceso se inició con el proceso para obtener el vidrio molido, para ello se quebraron las botella con un martillo hasta obtener granos pequeños, luego se hizo uso de un molino manual de granos para obtener partículas más pequeñas, luego se tamizo por la malla N°200, alcanzando así tamaños menores a los 75µm.

Tabla 15: Coordenadas UTM de la Zona de recolección de envases de vidrio.

Coordenadas UTM: Zona 18 L

Cantera	Este (X)	Norte (Y)	Elevación
Jr. José De La Mar Cdra. 3	222481.75	8945803.74	3,052 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia

Los desperdicios de conchas de abanico, fueron recolectados del botadero ubicado en la Zona de Tangay Bajo del distrito de Nuevo Chimbote, Provincia del Santa, Región Ancash, al Noreste de la Av. José Pardo con el Pje. 9 de Octubre y a una distancia aproximada de 3.5km, Se recogió en sacos de polipropileno para luego ser trasladados a la ciudad de Huaraz, asimismo se procedió con la limpieza utilizando agua y un cepillo de acero para quitar elementos ajenos a las valvas.

Tabla 16: *Coordenadas UTM del botadero de Conchas de Abanico - Tangay Bajo.*

Coordenadas UTM: Zona 17 L			
Cantera	Este (X)	Norte (Y)	Elevación
Tangay Bajo	771760.67	8994077.29	55 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el análisis térmico diferencial (DTA) a la muestra de conchas de abanico, para obtener la temperatura adecuada de calcinación, asimismo el análisis térmico gravimétrico indico que a los 700°C se da inicio a la descomposición acelerada y perdida de material de aproximadamente 38% de su masa inicial. El análisis calorimétrico muestra que a la temperatura de 760°C se da el inicio al intenso pico de absorción térmica que llega a los 890°C el punto más bajo, siendo esta la temperatura de cambio estructural y de las características del material, el ensayo se realizó en el Laboratorio de Polímeros de la UNT.

Con el análisis de los resultados del DTA, se procedió a la calcinación de las conchas de abanico en la mufla a una temperatura de 800°C por un periodo de 4 horas, el quemado se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas de la UNASAM.

Asimismo se determinó el pH del cemento, vidrio molido y cenizas de conchas de abanico, para lo cual se necesitó 1g de cada muestra; también se determinó el pH de la muestra con sustitución de 20%, para dicho propósito se tomó 80% de cemento tipo 1 + 5% de vidrio molido + 15% de cenizas de conchas de abanico y por último se determinó el pH de la muestra con sustitución del 40%, para lo cual se tomó un 60% de cemento tipo 1 + 10% de vidrio molido + 30% de cenizas de conchas de abanico, el ensayo se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos y Aguas de la UNASAM.

Para determinar la composición química del vidrio molido y de las cenizas conchas de abanico, se realizó el ensayo de Florescencia de Rayos X, logrando de esta manera obtener el contenido y porcentajes de óxidos de las muestras, el ensayo se realizó en el Laboratorio de Arqueometría de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Mayos de San Marcos. Para dicho propósito se utilizó un espectrómetro de FRXDE, de marca Amptek con ánodo de oro, de voltaje de operación de 30kv y una corriente de 15µA. Los espectros se acumularon en intervalos de 300s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°, distancia muestra a fuente de

rayos -X de 4cm y distancia de muestra a detector de 2cm aproximadamente. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 5440cts/s para el vidrio molido y para las cenizas de conchas de abanico 7380cts/s.

Una vez ya habiendo obtenido las características de los materiales a ser empleados para la elaboración del concreto permeable, se procedió a realizar el diseño de mezclas, para ello fue necesario inicialmente elegir el porcentaje de vacíos que varía de 15 a 35% según la Norma ACI 522R, para esta investigación se eligió 15% de vacíos.

La siguiente figura muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable.

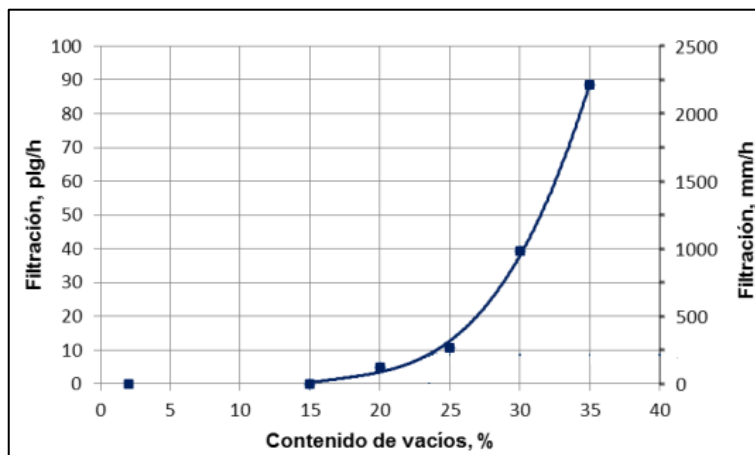


Figura 13: *Contenido de vacíos vs Filtración requerida.*
Fuente: ACI 522R, 2010

Luego de determinar el porcentaje de vacíos, se puede suponer la resistencia a la compresión de acuerdo a la siguiente gráfica, en la cual se observa los valores de resistencia a la compresión desarrollada a los 28 días de curado, por testigos de concreto permeable elaborados con agregado grueso de tamaños estándar N°08 y N°67.

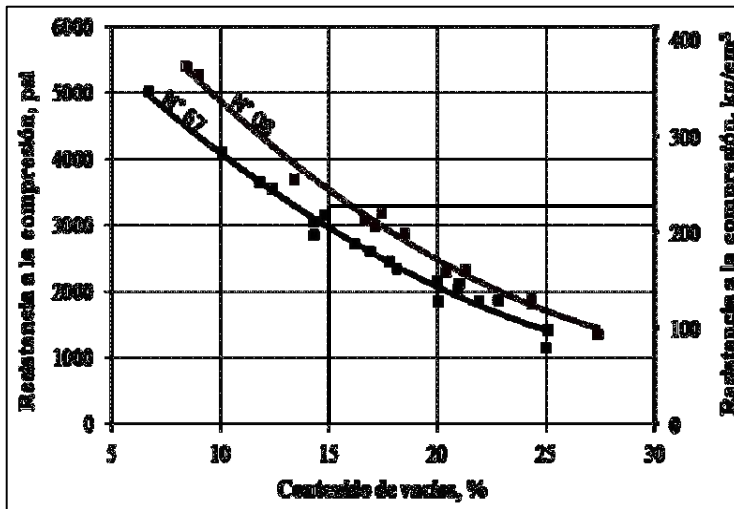


Figura 14: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días para tamaños de agregado N°08 y N°67.

Fuente: Adaptado según ACI 522R, 2010

Según la figura, para esta investigación se eligió un 15% de vacíos.

Luego de haber verificado la resistencia a la compresión referencial, se procedió a calcular el volumen de pasta de acuerdo a las Normas ACI 522R-10 y ACI 211.3R-02, en el cual se referencia que a partir del porcentaje de vacíos que se eligió anteriormente se puede obtener el porcentaje de volumen de pasta en la mezcla de concreto permeable.

En la Figura 15 se muestra la relación entre el contenido de vacíos y la cantidad necesaria de volumen de pasta para el concreto permeable, en esta investigación el TMN de agregado es de 1/2" HUSO N°7.

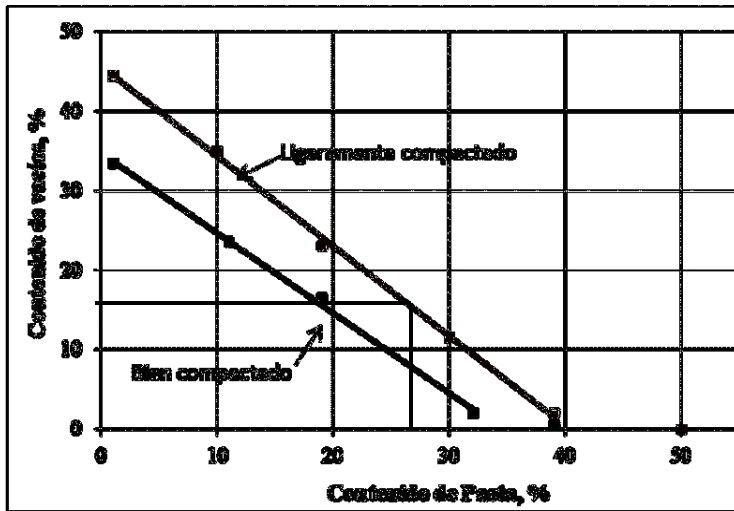


Figura 15: Relación entre el porcentaje de vacíos y el contenido de pasta para tamaño de agregado N°7.

Fuente: Adaptado según ACI 522R, 2010

Como se puede observar en la figura se observa que se tiene 02 curvas, las cuales definen el tipo de compactación, bien compactado (disminuye el volumen de pasta) o ligeramente compactado (aumenta el volumen de pasta), que se tendrá en cuenta durante la elaboración de probetas, para esta investigación se eligió la curva ligeramente compactada, dando como el valor para el contenido de pasta 28%.

Una vez determinado el volumen de pasta necesario, se determinaron los pesos de cemento y agua por metro cubico de mezcla, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Vp = Vc + Va$$

Donde:

Vp: Volumen de pasta

Vc: Volumen de cemento

Va: Volumen de agua

La cual se expresa de la siguiente manera:

$$Vp = \frac{c}{P.E.c} + \frac{a}{P.E.a}$$

Donde:

c: Peso del cemento por m³ de mezcla

a: Peso del agua por m³ de mezcla

P.E.c: Peso específico del cemento

P.E.a: Peso específico del agua

Se considero que el peso específico para cemento 3.15g/cm^3 y el peso específico para el agua 1g/cm^3 , reemplazando en la expresión se obtiene:

$$Vp = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{a}{1.00 \times 1000}$$

Con la relación a/c en la expresión obtenemos:

$$Vp = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{\frac{a}{c} \times c}{1.00 \times 1000}$$

Reemplazando el volumen de pasta (Vp), y la relación agua cemento (a/c) que esta comprendida en el rango de 0.26 a 0.45, se eligió para esta investigación la relación a/c el valor de 0.35. Se obtiene la siguiente expresión.

$$0.28 = \frac{c}{3.15 \times 1000} + \frac{0.35 \times c}{1.00 \times 1000}$$

La prueba de resistencia a la compresión de cilindros de concreto permeable realizado en el laboratorio de mecánica de suelos de la USP, tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto tomando como base lo establecido en las Normas ASTM C-39 y NPT 339.035. Para este ensayo se utilizó una prensa hidráulica y platos de retención con almohadillas de neopreno.

Con anterioridad antes de dar inicio al laboratorio, se elaboraron 27 probetas cilíndricas de concreto permeable, 09 muestras por cada alternativa de diseño, las cuales contaban con diámetro de 15cm y una altura de 30cm; los ensayos se realizaron a cada 7, 14 y 28 días de curado, previamente antes del ensayo se sacaron del cilindro de agua 09 probetas de concreto, 03 probetas por cada alternativa de diseño de concreto, para que se sequen a temperatura ambiente durante un tiempo estimado de 6 horas.

Se procedió inicialmente con el laboratorio colocando el espécimen de concreto dentro de la prensa hidráulica con los respectivos platos de retención en la parte superior e

inferior de la muestra, se procuró que este bien colocada; se verifico que la lectura inicie desde cero y se procedió a accionar la prensa hidráulica dando inicio al ensayo; se aplicó la carga hasta la fractura; se registró la carga máxima (P) soportada, dato que la prensa da en kilogramos; asimismo, se procedió al cálculo de la resistencia en kg/cm^2 , dividiéndolo el valor de kilogramos entre el área del espécimen; también se registró los tipos de fallas o fracturas del espécimen de concreto permeable, tal como se muestra en la Figura 16, solo se encontraron algunas fallas en esta investigación.

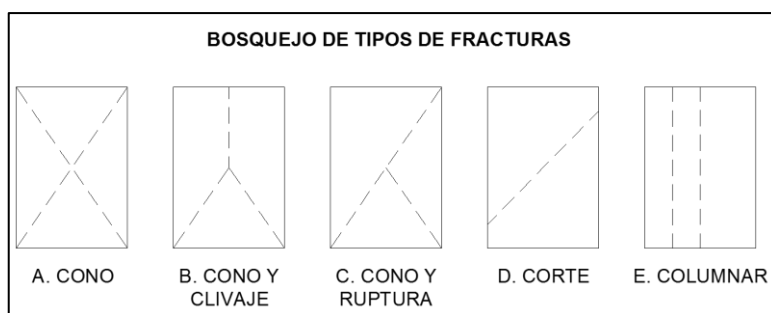


Figura 16: *Bosquejo de Tipos de fracturas.*
Fuente: Elaboración propia.

El ensayo de permeabilidad es una de las características más importantes del concreto permeable, ya que es la capacidad que tiene el concreto para filtrar el agua a través de la matriz, este ensayo fue realizado en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad San Pedro, el ensayo está dado por la norma ACI 522R-10. El objetivo es verificar la permeabilidad de carga variable a los 28 días de curado, tomando como base lo descrito en el ACI 522R-10. Asimismo, el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de (0.14 a 1.22 cm/s). Para dicho propósito se utilizó un permeámetro de carga variable y un reloj y/o cronometro.

Con anterioridad, antes de dar inicio al laboratorio, se elaboraron 09 probetas cilíndricas de concreto permeable, 03 muestras por cada alternativa de diseño, las cuales contaban con diámetro de 10cm y una altura de 15cm.

A los 28 días de curado, se procedió con el ensayo respectivo, colocando la muestra en el equipo (permeámetro), sellado con jebe y abrazaderas de sujeción de tal manera que este no se permita fuga de agua; cuando la muestra este saturada y el flujo establecido, se toma la altura de columna de agua H1 (para este ensayo H1=30cm); luego se abre la válvula de PVC tipo bola, para permitir la descarga y se inicia el conteo

del tiempo “t” que demora en pasar de H1 a H2; y por último, con los datos obtenidos se procedió a calcular el coeficiente de permeabilidad.

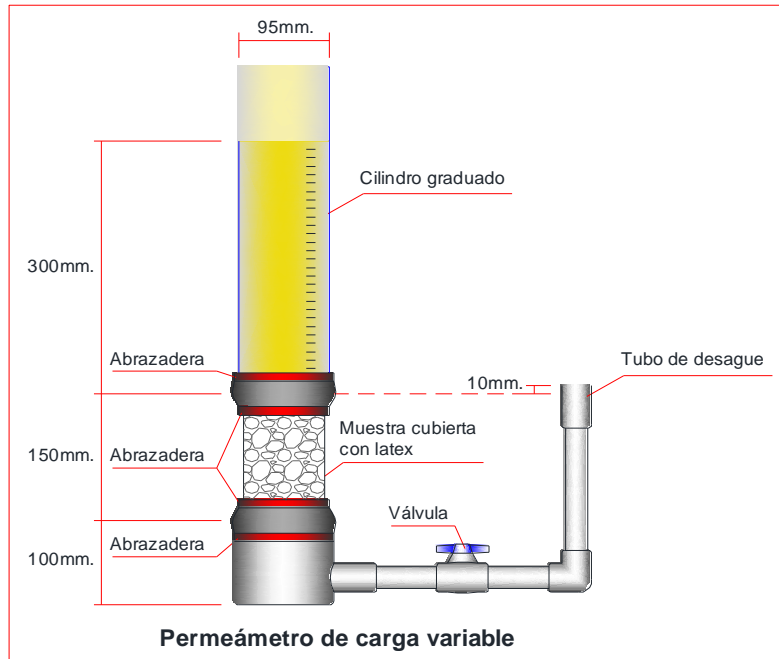


Figura 17: *Permeámetro de carga Variable.*
Fuente: Elaboración propia según ACI 522R-10

Para determinar el coeficiente de permeabilidad se utilizó de la ley de Darcy:

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{H1}{H2}$$

Donde:

K : Coeficiente de permeabilidad.

L : Longitud de la muestra.

A : Área de la muestra.

a : Área del cilindro graduado.

t : Tiempo que demora en pasar de H1 a H2.

H1 : Altura de agua medida desde la parte superior de la muestra.

H2 : Altura de tubería de salida de agua con respecto al nivel de referencia (1cm).

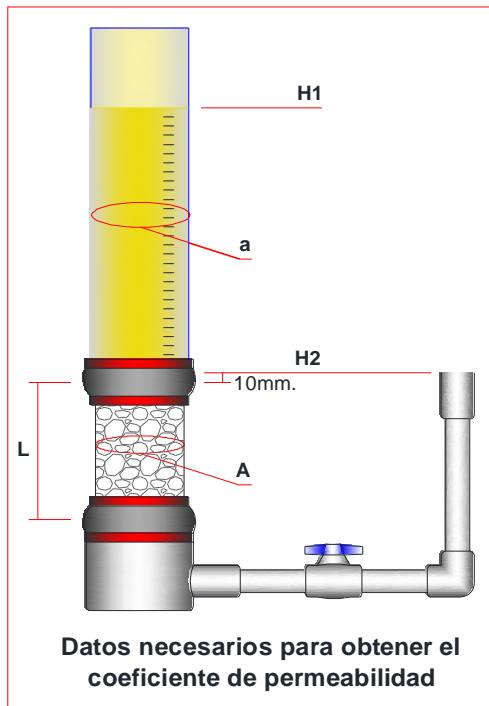


Figura 18. Esquema para el ensayo de permeabilidad.
 Fuente: Elaboración propia según ACI 522R-06.

Luego de ejecutar las pruebas experimentales, se registró dicha información de forma manual. Asimismo, se procesó la información utilizando Software estadístico SPSS V25 y el programa para cálculos EXCEL V2016 para Sistema Operativo Windows, además de una computadora de última generación que permitió obtener rápidamente cuadros estadísticos, gráficos, estadísticos, listos para ser presentados y analizados.

Se analizaron los datos mediante tablas, gráficos, porcentajes, promedios, varianzas y la prueba de hipótesis con el método ANOVA (ANalysis Of VAriance).

III. RESULTADOS

Análisis Térmico Diferencial (DTA)

Según el análisis Termogravimétrico de la Figura 19, muestra una muy leve caída del material, indicando buena estabilidad térmica hasta alcanzar los 700°C, temperatura que marca el inicio para la descomposición acelerada y la pérdida de material hasta caer bruscamente hasta la temperatura de ensayo máxima, y se evidencia una pérdida total de aproximadamente 38% de su masa inicial.

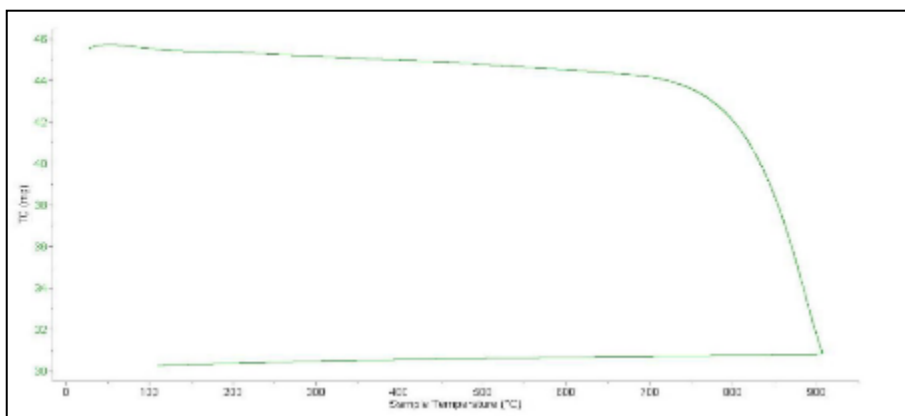


Figura 19: Gráfica del Análisis Termogravimétrico de las cenizas de conchas de abanico. Fuente: Laboratorio de polímeros de la UNT.

De acuerdo al análisis calorimétrico, se muestra en la Figura 20 unas ligeras bandas endotérmicas a 110°C y 210°C, posteriormente se muestra un intenso pico de absorción térmica a 890°C que es una temperatura de cambio estructural y de las características del material. El equipo utilizado fue: Analizador térmico simultáneo TG, DTA, DSC cap. Max. 1600°C SetSys Evolución.

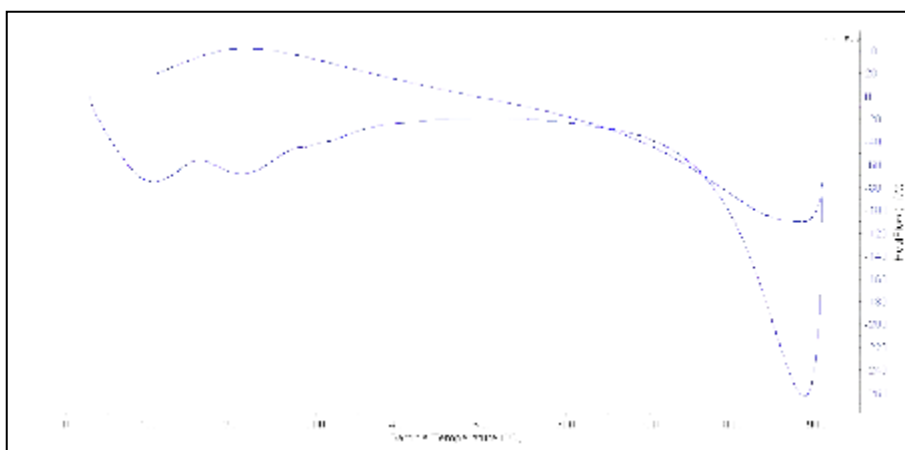


Figura 20: Gráfico de la Curva Calorimétrica DTA de las conchas de abanico. Fuente: Laboratorio de polímeros de la UNT.

Incineración para la obtención de cenizas de conchas de abanico

Se obtuvo ceniza propiamente dicha en el Horno Mufla a una temperatura de 800°C por 4 horas promedio.

Fluorescencia de Rayos X

Se obtuvieron los siguientes resultados de la caracterización del vidrio molido.

Tabla 17: Composición elemental de una muestra de vidrio molido en % de masa.

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al ₂ O ₃	2.882	3.898
SiO ₂	57.614	77.925
SO ₂	0.275	0.372
ClO ₂	0.014	0.019
K ₂ O	0.532	0.719
CaO	11.765	15.913
TiO	0.119	0.161
V ₂ O ₅	0.009	0.013
Cr ₂ O ₃	0.005	0.006
MnO	0.02	0.028
Fe ₂ O ₃	0.562	0.76
Ni ₂ O ₃	0.003	0.004
CuO	0.006	0.008
ZnO	0.023	0.031
As ₂ O ₃	0.016	0.021
SrO	0.018	0.025
ZrO ₂	0.024	0.032
CeO ₂	0.049	0.066
Total	73.935	100

Fuente: Informe N° 111-LAQ/2018 Análisis FRXDE Fac. Ciencias Físicas UNMSM.

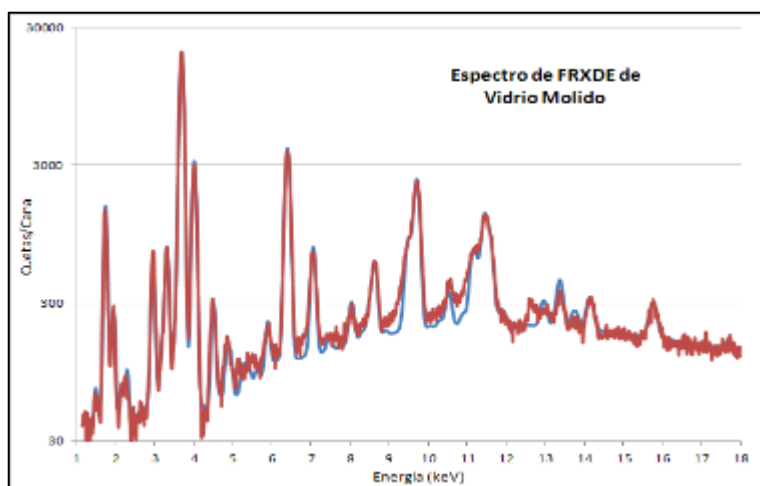


Figura 21: Gráfico del Espectro de fluorescencia de Rayos X dispersiva de energía (FRXDE) – vidrio molido.

Fuente: Informe N° 111-LAQ/2018 Análisis FRXDE Fac. Ciencias Físicas UNMSM.

Se obtuvieron los siguientes resultados de la caracterización de las cenizas de concha de abanico.

Tabla 18: Composición elemental de una muestra de ceniza de concha de abanico en % de masa.

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al ₂ O ₃	4.107	5.186
SiO ₂	2.699	3.408
SO ₂	0.904	1.141
ClO ₂	0.008	0.01
K ₂ O	0.012	0.016
CaO	71.169	89.863
TiO	0.022	0.028
Cr ₂ O ₃	0.005	0.006
Fe ₂ O ₃	0.058	0.074
Ni ₂ O ₃	0.006	0.008
CuO	0.004	0.005
ZnO	0.003	0.004
As ₂ O ₃	0.016	0.02
Rb ₂ O	0.005	0.006
SrO	0.172	0.218
ZrO ₂	0.006	0.008

Total 79.198 100

Fuente: Informe N° 110-LAQ/2018 Análisis FRXDE Fac. Ciencias Físicas UNMSM.

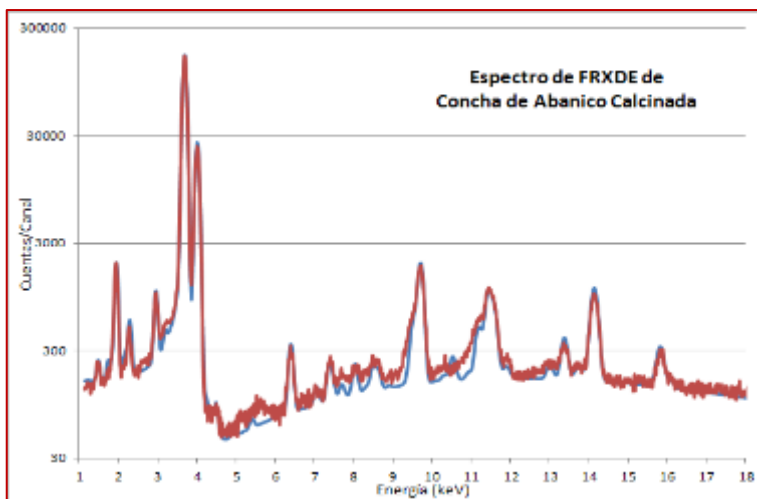


Figura 22: Gráfico del Espectro de fluorescencia de Rayos X dispersiva de energía (FRXDE) – concha de abanico.

Fuente: Informe N°110-LAQ/2018 Análisis FRXDE Fac. Ciencias Físicas UNMSM.

Comparación de la composición química

Habiendo obtenido los resultados de Fluorescencia de Rayos X de las dos muestras que se ensayaron, se procedió al análisis y se hizo la comparativa de los componentes del cemento portland tipo 1 con la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico en relación 1:3 respectivamente.

Tabla 19: Comparación de la composición del cemento portland tipo 1 y la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico R-1:3.

Nombre	Composición Química	Cemento Portland tipo 1 (%)	Vidrio molido (VM) %	Cenizas de conchas de abanico (CCA) %	VM+CCA Relación 1:3 (%)
Óxido de calcio	CaO	61 - 67	15.91	89.86	71.38
Óxido de silicio	SiO ₂	20 - 27	77.93	3.14	22.04
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	4 - 7	3.90	5.19	4.86
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	2 - 4	0.96	0.07	0.25
Óxido de azufre	SO ₃	1 - 3	-	-	-
Óxido de magnesio	MgO	1 - 5	-	-	-
Óxido de potasio	K ₂ O	0.25 - 1.5	0.72	0.02	0.19
Óxido de sodio	Na ₂ O		-	-	
Total Comp. Cementante (%)		100	99.22	98.55	98.71

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de pH

Se determinó el pH de los materiales a emplear en la fabricación de concreto permeable.

Tabla 20: *Análisis de pH de las muestras individuales.*

Análisis de pH de los materiales	
Muestra	pH
Cemento	12.15
Conchas de abanico	11.89
Vidrio molido	9.60

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos – facultad de ciencias Agrarias de la UNASAM.

Asimismo, se determinó el pH del cemento más la combinación del vidrio molido y cenizas de concha de abanico en 20 y 40%, en relación 1:3 respectivamente.

Tabla 21: *Análisis de pH de la combinación de las muestras en 20 y 40%.*

Análisis de pH de los materiales	
Muestras	pH
Cemento + 20%(5% de vidrio molido + 15% de conchas de abanico)	12.07
Cemento + 40%(10% de vidrio molido + 30% de conchas de abanico)	11.96

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos – facultad de ciencias Agrarias de la UNASAM.

Diseño de mezclas

Para la dosificación del concreto permeable es necesario tener en cuenta las propiedades de los materiales, presentadas en la Tabla 30.

Tabla 22: *Propiedades de los Materiales necesarias para el diseño de mezclas.*

Materiales	Cantera/ Procedencia	Propiedades de los Materiales				
		TMN (")	Peso Esp. (g/cm ³)	PUC (g/cm ³)	Abs (%)	Hum (%)
Agregado	Taclán	1/2"	2.58	1.49	1.03	2.56
Cemento	Sol		3.15			
Agua	Potable		1			

Fuente: Elaboración propia.

Se tuvieron en consideración las siguientes características para el diseño de mezclas

Tabla 23: *Características a considerar para el diseño de mezclas.*

Características para el Diseño de Mezclas	
Contenido de Vacíos (VP)	15%
Volumen de Pasta (VP)	28%
Relación agua/cemento (a/c)	0.35
Volumen Seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/b ₀)	0.99

Fuente: Elaboración propia.

Se consiguió determinar la relación a/c para el diseño de mezclas, siguiendo todas las etapas y parámetros dados por la Norma ACI 522R-10, para el concreto permeable patrón y experimental.

Tabla 24: *Relación a/c para el diseño de mezcla de concreto permeable.*

Determinación Relación a/c	
Materiales	Corregido por Humedad
Cemento	1
Agregado Grueso	3.51
Relación a/c	0.30

Fuente: Elaboración propia.

Se determino los pesos y cantidades por unidad de volumen para la elaboración del concreto permeable patrón.

Tabla 25: *Pesos y cantidades de material para el diseño de mezclas del concreto permeable patrón por unidad de volumen.*

Diseño de Mezcla concreto permeable patrón		
Materiales	Pesos (kg)	Cantidades
Cemento	419.50	1
Agregado Grueso	1470.97	3.51
Agua (lt)	124.93	12.66

Fuente: Elaboración propia.

Se hallo los volúmenes de los envases necesarios para la fabricación de probetas de concreto permeable patrón, las cuales se componen de 09 envases para el ensayo de Resistencia a la Compresión y 03 para el ensayo de permeabilidad, tal como se muestra en la tabla 34.

Tabla 26: *Volúmenes de los recipientes para la fabricación de concreto permeable patrón.*

Volúmenes de probetas empleadas				
Probetas	Diámetro	Altura	Cantidad	Volumen
Resistencia a Compresión	0.15	0.30	9	0.04771
Permeabilidad	0.10	0.15	3	0.00353

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron las cantidades necesarias de material a emplearse para la fabricación de probetas de concreto permeable patrón.

Tabla 27: *Cantidad de material empleado para la fabricación de concreto permeable patrón.*

Cantidad de material empleado		
Materiales	Resistencia a la Compresión Pesos (kg)	Permeabilidad Pesos (kg)
Cemento	20.02	1.48
Agregado Grueso	70.18	5.20
Agua (lt)	5.96	0.44

Fuente: Elaboración propia.

Se determino los pesos y cantidades por unidad de volumen para la elaboración del concreto permeable experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Tabla 28. *Pesos y cantidades de material para el diseño de mezclas del concreto permeable experimental con sustitución de 20% del cemento.*

Diseño de Mezcla concreto permeable experimental		
Materiales	Pesos (kg)	Cantidades
Cemento	335.60	0.8
Vidrio Molido	20.98	0.05
Cenizas de Conchas de abanico	62.93	0.15
Agregado Grueso	1470.97	3.51
Agua (lt)	124.93	12.66

Fuente: Elaboración propia.

Se hallo los volúmenes de los envases necesarios para la fabricación de probetas de concreto permeable experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico, las cuales se componen de 09 envases para el ensayo de Resistencia a la Compresión y 03 para el ensayo de permeabilidad, tal como se muestra en la Tabla 37.

Tabla 29: *Volúmenes de los recipientes para la fabricación de concreto permeable experimental con sustitución de 20% del cemento.*

Volúmenes de probetas empleadas				
Probetas	Diámetro	Altura	Cantidad	Volumen
Resistencia a Compresión	0.15	0.30	9	0.04771
Permeabilidad	0.10	0.15	3	0.00353

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron las cantidades necesarias de material a emplearse para la fabricación de probetas de concreto permeable experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Tabla 30: *Cantidad de material empleado para la fabricación de concreto permeable experimental con sustitución de 20% del cemento.*

Cantidad de material empleado		
Materiales	Resistencia a la Compresión Pesos (kg)	Permeabilidad Pesos (kg)
Cemento	16.01	1.19
Vidrio Molido	1.00	0.07
Cenizas de Conchas de abanico	3.00	0.22
Agregado Grueso	70.18	5.20
Agua (lt)	5.96	0.44

Fuente: Elaboración propia.

Se determino los pesos y cantidades por unidad de volumen para la elaboración del concreto permeable experimental con sustitución del 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Tabla 31: *Pesos y cantidades de material para el diseño de mezclas del concreto permeable experimental con sustitución de 40% del cemento.*

Diseño de Mezcla Concreto Permeable experimental con sustitución de 40% del cemento		
Materiales	Pesos (kg)	Cantidades
Cemento	251.70	0.6
Vidrio Molido	41.95	0.1
Cenizas de Conchas de abanico	125.85	0.3
Agregado Grueso	1470.97	3.51
Agua (lt)	124.93	12.66

Fuente: Elaboración propia.

Se hallo los volúmenes de los envases necesarios para la fabricación de probetas de concreto permeable experimental con sustitución del 40% de cemento por la

combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico, las cuales se componen de 09 envases para el ensayo de Resistencia a la Compresión y 03 para el ensayo de permeabilidad, tal como se muestra en la Tabla 40.

Tabla 32: *Volúmenes de los recipientes para la fabricación de concreto permeable experimental con sustitución de 40% del cemento.*

Volúmenes de probetas empleadas				
Probetas	Diámetro	Altura	Cantidad	Volumen
Resistencia a Compresión	0.15	0.30	9	0.04771
Permeabilidad	0.10	0.15	3	0.00353

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvieron las cantidades necesarias de material a emplearse para la fabricación de probetas de concreto permeable experimental con sustitución del 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Tabla 33: Cantidad de material empleado para la fabricación de concreto permeable *experimental con sustitución de 40% del cemento.*

Cantidad de material empleado		
Materiales	Resistencia a la Compresión Pesos (kg)	Permeabilidad Pesos (kg)
Cemento	12.01	0.89
Vidrio Molido	2.00	0.15
Cenizas de Conchas de abanico	6.00	0.44
Agregado Grueso	70.18	5.20
Agua (lt)	5.96	0.44

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión para los primeros 7 días de curado.

Tabla 34: *Resistencia a la compresión 7 días de curado – Concreto permeable patrón.*

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
7	P-01	15	30	176.71	21110	119.46
	P-02	15	30	176.71	21020	118.95
	P-03	15	30	176.71	20030	113.35
					Promedio =	117.25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: Resistencia a la compresión 7 días de curado – Concreto permeable experimental con sustitución de 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
7	PE20%-01	15	30	176.71	23880	135.13
	PE20%-02	15	30	176.71	22110	125.12
	PE40%-03	15	30	176.71	24000	135.81
Promedio =						132.02

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36: Resistencia a la compresión 7 días de curado – Concreto permeable experimental con sustitución de 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
7	PE40%-01	15	30	176.71	21290	120.48
	PE40%-02	15	30	176.71	21570	122.06
	PE40%-03	15	30	176.71	20410	115.50
Promedio =						119.34

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión promedio de cada muestra de concreto permeable patrón y experimental, a los 7 días de curado,

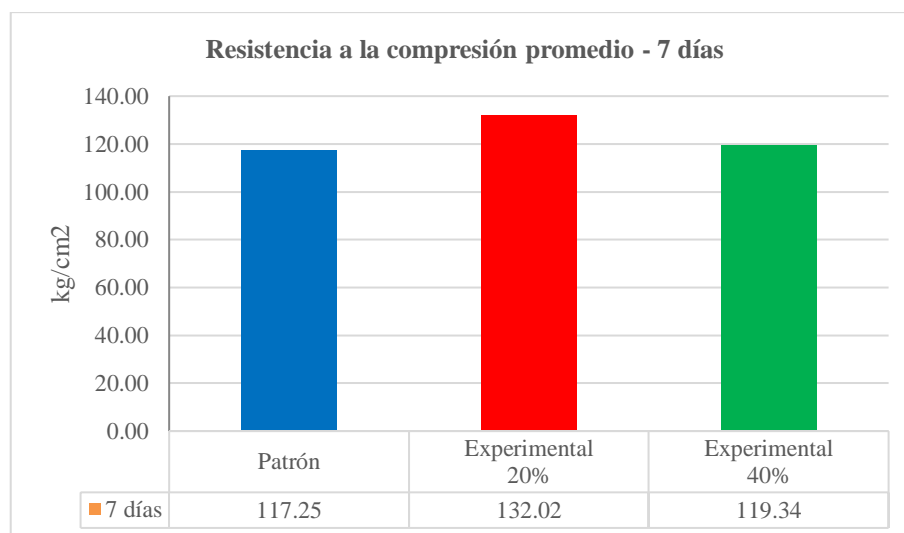


Figura 23: Gráfico de la Resistencia a la compresión promedio 7 días de curado – Concreto permeable patrón y experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión a los 14 días de curado.

Tabla 37: *Resistencia a la compresión 14 días de curado – Concreto permeable patrón.*

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
14	P-04	15	30	176.71	24720	139.89
	P-05	15	30	176.71	23430	132.59
	P-06	15	30	176.71	23950	135.53
					Promedio =	136.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38: *Resistencia a la compresión 14 días de curado – Concreto permeable experimental con sustitución de 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.*

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
14	PE20%-04	15	30	176.71	28160	159.35
	PE20%-05	15	30	176.71	27730	156.92
	PE20%-06	15	30	176.71	27080	153.24
					Promedio =	156.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39: *Resistencia a la compresión 14 días de curado – Concreto permeable experimental con sustitución de 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.*

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
14	PE40%-04	15	30	176.71	27500	155.62
	PE40%-05	15	30	176.71	28030	158.62
	PE40%-06	15	30	176.71	26960	152.56
					Promedio =	155.60

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión promedio de cada muestra de concreto permeable patrón y experimental, a los 14 días de curado,

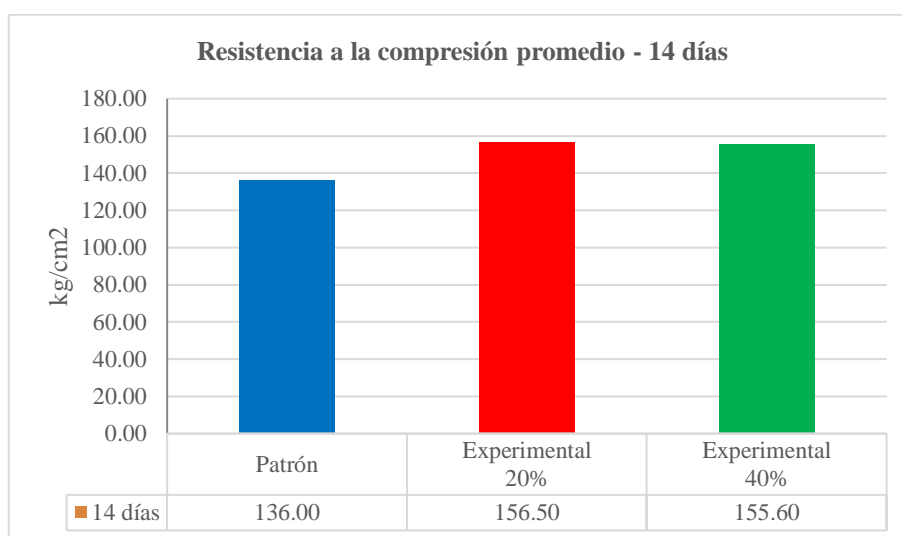


Figura 24: Gráfica de la Resistencia a la compresión promedio 14 días de curado – Concreto permeable patrón y experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

Tabla 40: Resistencia a la compresión 28 días de curado – Concreto permeable patrón.

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
28	P-07	15	30	176.71	24750	140.06
	P-08	15	30	176.71	25380	143.62
	P-09	15	30	176.71	25330	143.34
Promedio =						142.34

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41: Resistencia a la compresión 28 días de curado – Concreto permeable experimental con sustitución de 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
28	PE20%-07	15	30	176.71	28540	161.50
	PE20%-08	15	30	176.71	29510	166.99
	PE20%-09	15	30	176.71	27730	156.92
Promedio =						161.81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42: Resistencia a la compresión 28 días de curado – Concreto permeable experimental con sustitución de 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico.

Curado (días)	Ensayo	Diámetro (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	Resistencia (kg/cm ²)
28	PE40%-07	15	30	176.71	27770	157.15
	PE40%-08	15	30	176.71	27400	155.05
	PE40%-09	15	30	176.71	28620	161.96
Promedio =						158.05

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión promedio de cada muestra de concreto permeable patrón y experimental, a los 28 días de curado,

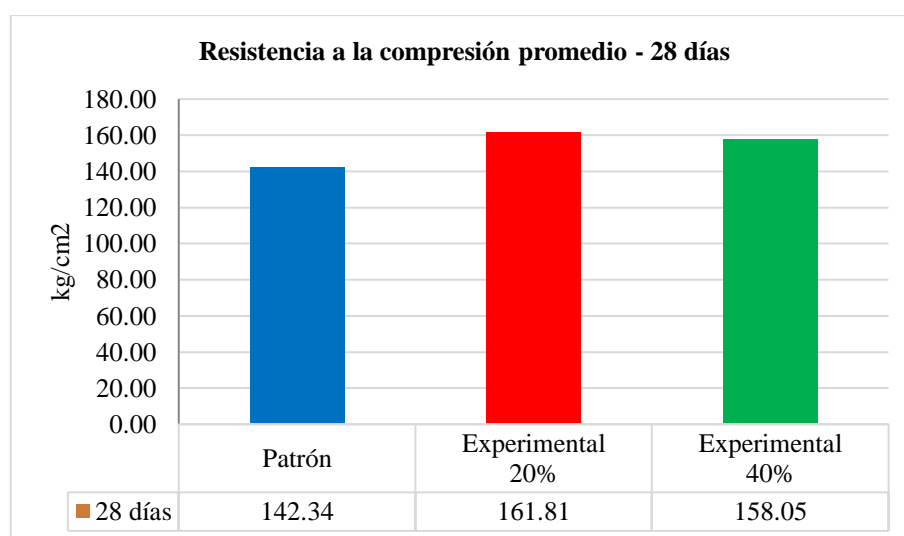


Figura 25: Grafica de la Resistencia a la compresión promedio 28 días de curado – Concreto permeable patrón y experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia a la compresión promedio de cada muestra de concreto permeable patrón y experimental, para los 7, 14 y 28 días de curado,

Tabla 43: Resistencia a la compresión promedio 7, 14 y 18 días de curado – Concreto permeable patrón y experimental.

Curado (días)	Resistencia a la compresión		
	Patrón	Experimental 20%	Experimental 40%
7	117.25	132.02	119.34
14	136.00	156.50	155.60
28	142.34	161.81	158.05

Fuente: Elaboración propia.

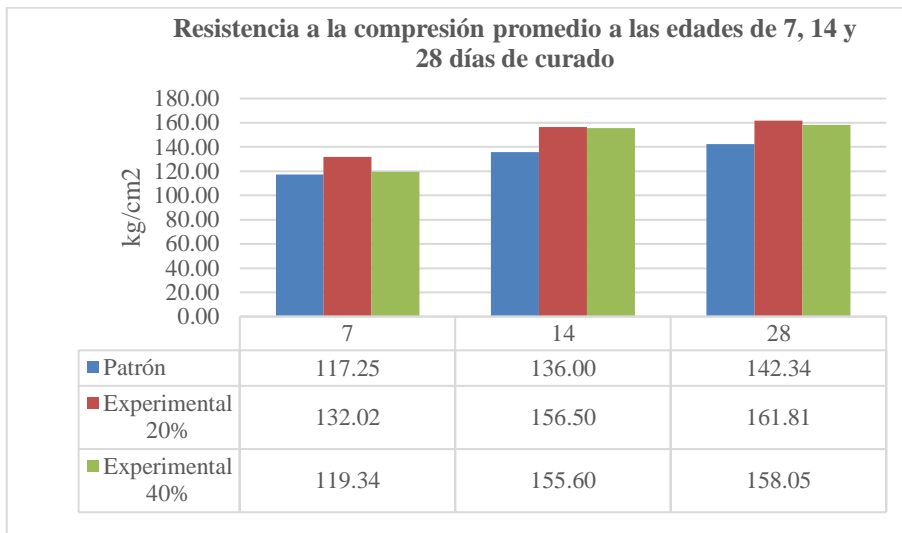


Figura 26: *Grafica de la Resistencia a la compresión promedio 28 días de curado – Concreto permeable patrón y experimental.*

Fuente: Elaboración propia.

Tendencia de las resistencias a la compresión promedio de cada muestra de concreto permeable patrón y experimental, para los 7, 14 y 28 días de curado,

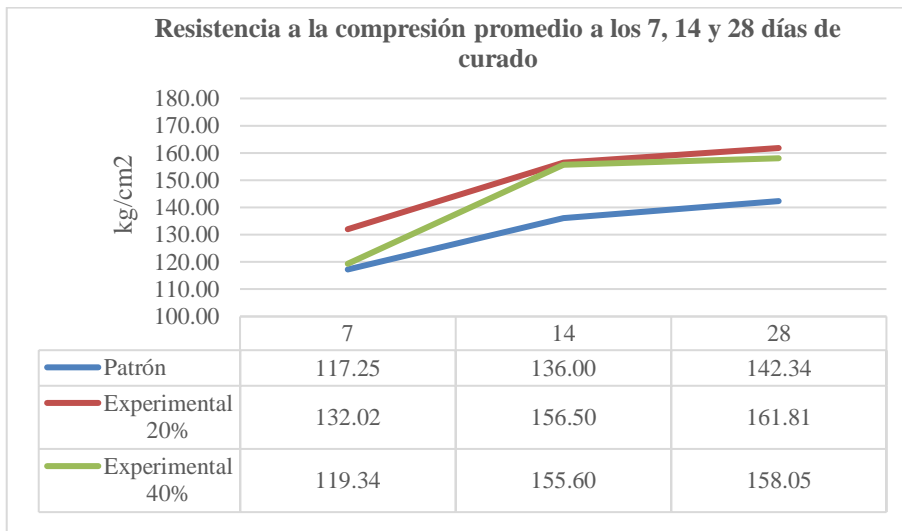


Figura 27: *Grafico de Tendencia de la Resistencia a la compresión promedio a los 7, 14 y 28 días de curado – Concreto permeable patrón y experimental.*

Fuente: Elaboración propia.

Permeabilidad

Resultados de permeabilidad obtenidos para el concreto permeable Patrón a los 28 días de curado.

Tabla 44: *Permeabilidad – Concreto permeable patrón a los 28 días de curado.*

d (cm)	D (cm)	a (cm ²)	A (cm ²)	H1 (cm)	H2 (cm)	t2-t1 (seg)	L (cm)	K (cm/seg)
10.10	10	80.12	78.54	30	1	29.84	15	1.74
10.10	10	80.12	78.54	30	1	26.65	15	1.95
10.10	10	80.12	78.54	30	1	28.16	15	1.85
Promedio (k)								1.85

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de permeabilidad obtenidos para el concreto permeable Experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de cochas de abanico a los 28 días de curado.

Tabla 45: *Permeabilidad – Concreto Permeable experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de cocha de abanico a los 28 días de curado.*

d (cm)	D (cm)	a (cm ²)	A (cm ²)	H1 (cm)	H2 (cm)	t2-t1 (seg)	L (cm)	K (cm/seg)
10.10	10	80.12	78.54	30	1	28.78	15	1.81
10.10	10	80.12	78.54	30	1	30.32	15	1.72
10.10	10	80.12	78.54	30	1	28.23	15	1.84
Promedio (k)								1.79

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de permeabilidad obtenidos para el concreto permeable experimental con sustitución del 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de cochas de abanico a los 28 días de curado.

Tabla 46: *Permeabilidad – Concreto Permeable experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de cocha de abanico a los 28 días de curado.*

d (cm)	D (cm)	a (cm ²)	A (cm ²)	H1 (cm)	H2 (cm)	t2-t1 (seg)	L (cm)	K (cm/seg)
10.10	10	80.12	78.54	30	1	30.84	15	1.69
10.10	10	80.12	78.54	30	1	30.01	15	1.73
10.10	10	80.12	78.54	30	1	32.86	15	1.58
Promedio (k)								1.67

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente grafico se muestra el promedio de los resultados del ensayo de permeabilidad, de cada diseño de concreto permeable.

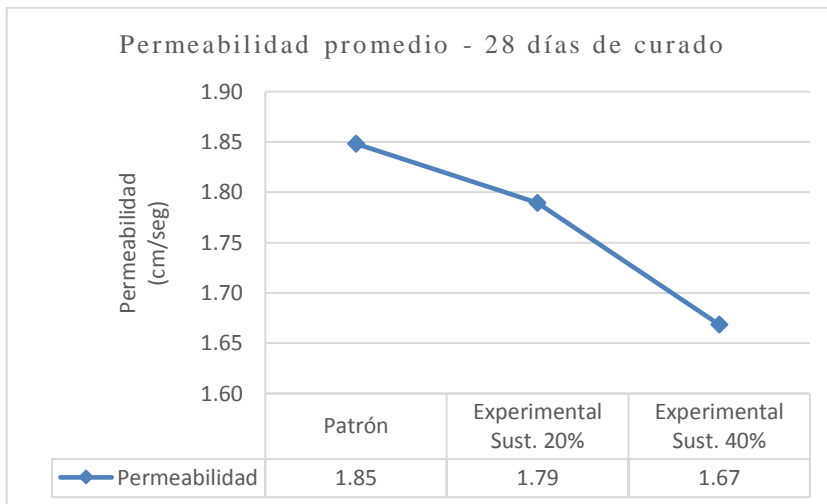


Figura 28: Grafico de la Permeabilidad a los 28 días de curado – Concreto permeable patrón y experimental.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener la relación que existe entre la resistencia a la compresión y permeabilidad, se tomaron los resultados de los ensayos a compresión a los 28 días, ya que a esa edad el concreto llega a su máxima resistencia, asimismo se tomaron los resultados obtenidos del ensayo de permeabilidad.

Tabla 47: Resultados - Resistencia a la compresión y Permeabilidad a los 28 días de curado.

Resistencia a la compresión y Permeabilidad a los 28 días de curado		
Diseño de concreto permeable	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Permeabilidad (cm/seg)
Patrón	1.85	142.34
Experimental Sust. 20%	1.79	161.81
Experimental Sust. 40%	1.67	158.05

Fuente: Elaboración propia.

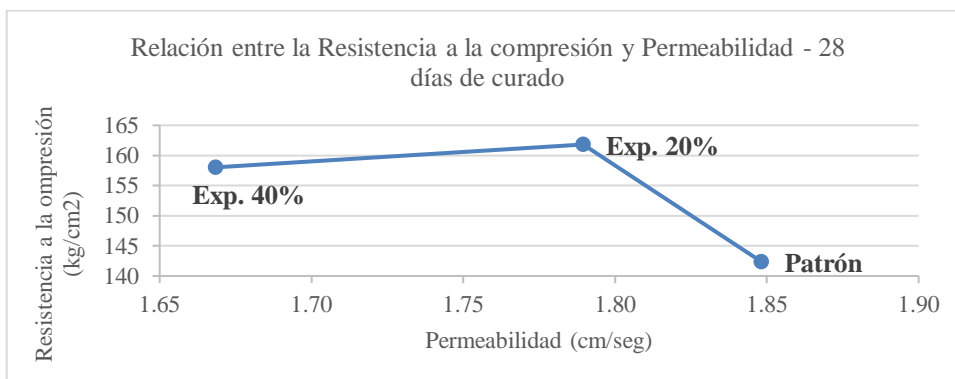


Figura 29: Grafico de la Relación entre la Resistencia a la compresión y Permeabilidad 28 días de curado.

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de Hipótesis

Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas de las resistencias a la compresión medias obtenidas de las probetas de concreto permeable, para cada tratamiento (patrón y experimentales con sustitución del 20 y 40% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico), se procedió a realizar la prueba ANOVA.

Tabla 48: *Cálculo prueba ANOVA (verificación de las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de las probetas de concreto permeable).*

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad (gl)	Media cuadrática	F	Sig.
Resistencias a la compresión	521.787	2	260.893	11.900	0.021
Días de curado	1697.087	2	848.543	38.704	0.002
Error	87.696	4	21.924		
Total	2306.570	8			

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la Tabla 56 se observar que, para el concreto permeable patrón y experimentales con sustitución de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico, el $p\text{-value} < \alpha$ ($p=0.021$, $p < 0.05$) entonces podemos decir que los datos muestran suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula. Por lo que podemos concluir que con nivel de 5% de significancia las resistencias medias en kg/cm^2 logradas en los cilindros de concreto permeable patrón y experimentales con sustitución del 20 y 40% del cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico, no son iguales. Es decir, existe una diferencia significativa entre las resistencias a la compresión medias de los cilindros de concreto permeable.

También se tiene que para los días de curado el $p\text{-value} < \alpha$ ($p=0.002$, $p < 0.05$) entonces podemos decir que existe tendencia que las resistencias medias de los cilindros de concreto permeable sean diferentes a consecuencia de los días de curado.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Para realizar este estudio, se tomaron ciertas consideraciones para el diseño de mezcla de concreto permeable, basado en los parámetros dados por el ACI 522R-10, y tomando como referencia investigaciones relacionadas al tema.

Para la caracterización mediante el ensayo de FRX, Guevara (2013) trituro y pulverizo el vidrio mecánicamente y luego de ello lo tamizo para obtener partículas similares al cemento, para luego ser caracterizadas mediante el ensayo de Fluorescencia de Rayos X (FRX), obteniendo como componente principal el Óxido de Silicio (SiO_2) con un altísimo 72.5%, seguido del Óxido de Calcio (CaO) con 12.82% y Óxido de Aluminio (Al_2O_3) con 2.47%. Tomando como antecedente estos resultados significativos, se realizó la trituración con un molino de granos, hasta la obtención de partículas inferiores a $76 \mu\text{m}$ por medio del tamizado, luego mediante la caracterización del ensayo de FRX se logró importantes resultados obteniendo con mayor porcentaje entre sus principales componentes al Óxido de Silicio (SiO_2) con un 77.925%, seguido del Óxido de Calcio (CaO) con 15.91% y Óxido de Aluminio (Al_2O_3) con 3.90%, según se puede apreciar en la Tabla 17. En concordancia con el antecedente se obtuvo el Óxido de Silicio (SiO_2) como el componente con mayor porcentaje. Además de ello se obtuvo de la muestra de vidrio molido un 99.22% de componente puzolánicos en concordancia a la Norma ASTM C-618.

Para la activación térmica y caracterización mediante el ensayo de FRX, Julián (2018) calcino los residuos de conchas de abanico a una temperatura de 800°C durante una hora con treinta minutos, como resultado de la calcinación obtuvo cenizas de tamaños irregulares, las que pasaron por un proceso de molido y tamizado, logrando partículas menores a $76 \mu\text{m}$, luego la muestra fue caracterizada mediante el ensayo de FRX, obteniendo como componente principal el Óxido de Calcio (CaO) con un altísimo 97.743%. Tomando como antecedente estos resultados significativos, se realizó el ensayo de Análisis Térmico Diferencial (DTA) de las conchas de abanico, se tomó como temperatura de calcinación de 800°C por un tiempo promedio de 4 horas, además se logró importantes resultados de la caracterización de la muestra por medio del ensayo de FRX, obteniendo con mayor porcentaje entre sus principales componente al

Oxido de Calcio (CaO) en un 89.863%, según se puede apreciar en la Tabla 18. En concordancia con el antecedente se obtuvo el Óxido de Calcio (CaO) como el componente con mayor porcentaje. Además de ello se obtuvo de la muestra de las conchas de abanico un 98.55% de componentes puzolánicos en concordancia a la Norma ASTM C-618.

Se determino el pH de los materiales que servirán como aglomerante para la fabricación de concreto, en la Tabla 20 se observa el análisis realizado a cada una de las muestras por separado, obteniendo resultados para el cemento (pH=12.15), vidrio molido (pH=9.60) y conchas de abanico (pH=11.89). Del mismo modo como se observa en la Tabla 21 se obtuvo el pH de las mezclas para la sustitución de 20% y 40% del cemento por la combinación del vidrio molido y cenizas de conchas de abanico en relación 1:3, se obteniendo un pH de 12.07 y 11.96 respectivamente. Los resultados demuestran que los materiales son altamente alcalinos y que tienen un pH similar al cemento portland tipo 1 que se muestra en la Tabla 20, además fue óptimo para esta investigación.

Barahona et al. (2013) considero para diseño del concreto permeable 15% de vacíos y según la norma ACI 522R, el porcentaje de contenido de pasta se encuentra alrededor de 28%, además no utilizo agregado fino y tuvo buenos resultados en sus ensayos de resistencia a la compresión. Se tomo como antecedente estos resultados significativos, para el diseño del concreto permeable, según la norma antes mencionada, se consideró 15% de vacíos, relación a/c de 0.35, volumen de pasta 28% para la unidad de volumen de concreto (b/b0) se consideró 0.99 ya que no conto con agregado fino. obteniendo una buena consistencia, se pudo tener suficiente pasta que cubrió en su totalidad el agregado grueso.

Para el diseño de mezclas se tuvo en consideración la norma ACI 522R-10, de acuerdo a la Figura 15 muestra dos curvas que representan dos tamaños de agregado N°08 y N°67, puesto que en esta investigación se usó el tamaño de agregado 1/2" - N°07 entonces se encontraría a la mitad de las curvas, además para esta investigación se eligió un porcentaje de contenido de vacíos de 15%, se revisó otras investigación que usaron el mismo porcentaje de vacíos como el de Barahona et al. (2013), en la

investigación llamada “Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la zona Oriental de El Salvador”, elaboraron 3 diseños de concreto permeable por Cada Cantera en porcentajes de vacíos de 15%, 20% y 25%, resultando que la cantera El Carmen con un porcentaje de 15% de vacíos llegando a una superior en comparación a los otros diseño, también que a mayor porcentaje de vació como el 20% y 25%, las resistencias a la compresión disminuyen produciendo el aumento de permeabilidad del concreto, siendo el caso de la cantera Pedrera que con un contenido de vació de 25% obtuvo un coeficiente de permeabilidad de 30.04mm/s siendo superior en comparación a los otros diseños. además, según el análisis cualitativo que se ejecutó por medio de puntajes el concreto más eficiente fue el concreto de la cantera el Carmen con un porcentaje de vacíos del 15%. Así también de acuerdo con la Figura 16 se observa que se tiene 02 curvas, las cuales definen el tipo de compactación, bien compactado (disminuye el volumen de pasta) o ligeramente compactado (aumenta el volumen de pasta), que se tendrá en cuenta durante la elaboración de probetas, para esta investigación se eligió la curva ligeramente compactada, interceptando con el contenido de vacíos da el valor para el contenido de pasta que es de 28%. Seguidamente la norma recomienda que la relación agua/cemento se encuentre dentro del rango de 0.26 a 0.45, considerando para esta investigación el promedio de ambos se eligió una relación de a/c de 0.35. También para este diseño se tomó el valor del volumen seco compactado del agregado grueso por la unidad de volumen de concreto (b/b_0) se consideró de acuerdo a sus características de diseño, y al no contar con agregado fino el valor que toma b/b_0 es 0.99 norma ACI 211.3R, 2018.

En la Figura 28, se observa que existe tendencia a aumentar las resistencias en el tiempo, esto quiere decir que las resistencias fueron creciendo conforme pasaron los días en el concreto permeable patrón y en los experimentales. Sin embargo, los resultados de las resistencias a la compresión de los concreto experimentales siempre fue superiores en comparación a los resultados del concreto. Asimismo, en la figura se observa que concreto experimental con sustitución del 20% de cemento por la combinación de vidrio molido y cenizas de conchas de abanico obtuvo una mayor resistencia a la compresión. encontrándose dentro del rango de resistencia a la

compresión que señala la norma ACI 522R-10.

En las tesis de Barahona et al. (2013) y Castillo y Trujillo (2019) obtiene un quiebre en la curva de la resistencia a la compresión a los 14 días, ya que obtuvieron una resistencia de alrededor del 90% en todas sus pruebas con respecto a las resistencias obtenidas a los 28 días. Teniendo concordancia con estas investigaciones ya que también se generó un quiebre a los 14 días debido que el concreto permeable patrón y los experimentales con 20 y 40% de sustitución de cemento por vidrio molido y conchas de abanico alcanzaron un 95.54%, 96.71% y 98.44% respectivamente de las resistencias obtenidas a los 28 días, siendo un tiempo de curado aceptable ya que esta próximo a la resistencia optima.

Asimismo, la Figura 29 muestra los resultados del coeficiente de permeabilidad, esta prueba se realizó para obtener los resultados de infiltración del concreto permeable patrón y los experimentales, a los 28 días se obtuvo una mayor capacidad de infiltración que lo recomendado en la norma ACI 522R. También cabe señalar que no se obtuvo diferencias significativas de permeabilidad entre los diseños de concreto permeable patrón y experimental, ya que fueron diseñados con casi los mismos criterios, tal es así que se usó el mismo agregado y se eligió el mismo contenido de vacíos para los diseños, la única diferencia del diseño fue la sustitución parcial del 20 y 40% del peso de cemento por la combinación del vidrio molido y las cenizas de conchas de abanico para los concretos experimentales.

En la Figura 30 se muestra la relación que guarda la resistencia a la compresión y la permeabilidad, se observan en los resultados dos extremos la de mayor y menor permeabilidad, que corresponden al concreto experimental con 40% y al concreto patrón respectivamente. Del mismo modo se observan en los resultados dos extremos la de mayor y menor resistencia a la compresión, que corresponden al concreto experimental al 20% y al concreto patrón respectivamente. Según se puede observar y al haber hecho la revisión de otras investigación, se puede decir que en esta investigación no guarda relación la permeabilidad con la resistencia a la compresión, toda vez que el concreto experimental con sustitución al 20% al ser el concreto con mayor resistencia debería de tener una permeabilidad baja, es así que también en los

resultados de la Figura 31 en el ensayo de permeabilidad no había diferencias significativas por haber sido diseñadas los concretos permeables casi con las mismas característica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se llego a las siguientes conclusiones:

- La temperatura ideal de calcinación que genera el cambio estructural y de las características de los residuos calcáreos de conchas de abanico es a los 800°C y durante un tiempo determinado de 4 horas en promedio.
- Los ensayos de Fluorescencia de Rayos X realizadas al vidrio molido y a las cenizas de conchas de abanico, dieron resultados significativos, ya que contienen un 99.22% y 98.55% respectivamente de componentes puzolánicos en concordancia con la Norma ASTM C-618.
- Se obtuvo un pH de 12.07 y 11.96 de los materiales aglomerantes combinados para la sustitución al 20% y 40% respectivamente, denominado según el ensayo como altamente alcalino, similar al cemento portland tipo 1 que tiene un pH de 12.15.
- Se determino la relación agua/cemento (a/c) óptimo para formar una pasta estable y trabajable, tanto para el concreto permeable patrón y el experimental (sustitución del 20 y 40% del cemento), según el diseño realizado es de 0.35, encontrándose en el promedio del rango de 0.25 a 0.45 según lo establecido por la norma ACI 522R-10.
- Las probetas experimentales a los 28 días alcanzaron una mayor resistencia a la compresión, llegando a una resistencia de 161.81kg/cm² (113.68%>C°patrón) para la sustitución al 20% y 158.05kg/cm² (111.04%>C°patrón) para la sustitución al 40% en comparación a las probetas de concreto permeable patrón que alcanzaron una resistencia de 142.34kg/cm², los resultados se encuentran dentro del rango de 28.55 a 285.52kg/cm² que especifica la norma ACI 522R-10.
- Se determinó el coeficiente de permeabilidad según la norma ACI 522R-10 se obtuvo una mayor capacidad de infiltración, siendo el de mayor permeabilidad las probetas de concreto patrón con 18.48mm/s, en comparación a las probetas experimentales al 20 y 40% que alcanzaron un 17.89mm/s y 16.69mm/s respectivamente.

- Existen diferencias significativas entre las resistencias a la compresión del concreto permeable patrón y las experimentales con sustitución al 20 y 40%, según el cálculo de la prueba ANOVA.

Se recomienda en futuras investigaciones:

- Debido a la contaminación generada por los desechos acumulados de residuos sólidos (plástico, vidrio, restos de conchas de abanico, entre otros), que son acopiados en vertederos autorizados y clandestinos, sin un tratamiento adecuado ya que no se clasifican. Se les recomienda a los futuros investigadores utilizar materiales provenientes del reciclaje para sus investigaciones, adicionando o sustituyendo el cemento en la fabricación de concreto, ya que favorecería con la disminución de la explotación de materias no renovables y además se estaría contribuyendo con el medio ambiente.
- Establecer el medio más apropiado durante el proceso de molienda del vidrio y de los restos de conchas de abanico, considerando siempre el uso de equipo de protección personal, como guantes, mascarilla y gafas, para evitar aspirar las partículas en suspensión que se generan en el en el triturado, los cuales son perjudiciales para la salud.
- Transportar las probetas cilíndricas de concreto permeable con sumo cuidado ya que al golpearse se podría generar fisuras, quiñaduras y roturas, provocando daños que conlleven a reducir su capacidad de resistencia a la compresión.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 211.3R-97 (1998), Guide for selecting proportions for no-slump concrete. Appendix 7 Pervious concrete mix proportioning. 211.3R-21. American Concrete Institute.
- ACI Committee 522R-10(2010). Report on Pervious Concrete.
- ACI-522R.6. (2006). Pervious Concrete. American Concrete Institute.
- Arciniegas, D. y Fonseca, A. (2004). “Utilización de Vidrio Reciclado en Mortero” Tesis de pre-grado. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad Industrial de Santander Bucaramanga. Recuperado de: <https://docplayer.es/14391331-Utilizacion-de-vidrio-reciclado-en-morteros-danny-fernando-arciniegas-lopez-alexander-fonseca-cristancho.html>
- ASTM-C127. (1993). Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate. USA: ASTM International.
- ASTM-C1688/C 1688M.-08. (2010). Standard Test Method for Density and Void.
- Barahona, R., Martínez, M. y Zelaya S. (2013), Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de el Salvador, Centro América. Recuperado de: <http://ri.ues.edu.sv/6259/1/50107992.pdf>.
- Benites, J. (2014), Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chemaplast. Tesis de Ingeniería civil, Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de: <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/522/T%20620.19%20B467%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Calderón, V.; Charca, J. y Yanqui, C. (2013). Investigación en concreto poroso (Boletín Informativo ASOCEM 2013), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Castillo, L. y Trujillo E. (2019). Elaboración de concreto permeable con adición de material plástico reciclado para pavimentación en el distrito de Pariacoto Ancash, Tesis para obtener el título profesional, Universidad Nacional del Santa. Recuperado de:

<http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/3456/49607.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Catalán, C. (2013), Estudio de la influencia que tiene el vidrio en hormigones de diversos grados de resistencia (H15, H20 y H30). Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Austral de Chile. Recuperado de: https://www.academia.edu/28493815/VIDRIO_MOLIDO_EN_HORMIGON

Flores, Y. y Mazza, S. (2014). Utilización de residuos de conchas de abanico como mejoramiento en las propiedades resistentes del concreto. Tesis de ingeniería civil, Universidad Nacional del Santa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/1912/27226.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Flores, C. y Pacompia, I. (2015), Diseño de una mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos $f'c=175\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Puno. Tesis de ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Recuperado de: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2230/FLORES_QUISPE_CESAR_EDDY_PACOMPIA_CALCINA_IVA_ALEXANDER.pdf?sequence=1&isAllowed=y

García, E. (2011). Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación a climas mediterráneos, Master en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperado de: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/15383/TFM_EGH.pdf?sequence=1

Guevara, G.; Hidalgo, C.; Pizarro, M.; Rodríguez, I.; Rojas, L. y Segura, G. (2011). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto, Tecnología en marcha. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835626.pdf>

Guevara, M. (2013). Desarrollo de nuevos materiales cementantes utilizando residuos vítreos mediante activación mecano-química, Tesis de Ingeniería, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/3499/1/1080256730.pdf>

Gutiérrez, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad de Colombia, Colombia. Recuperado de: http://bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824_Parte1.pdf

- Julián, C. (2018), La concha de abanico como material multifuncional en la purificación del agua, Artículo de Ingeniería, Universidad San Pedro, Chimbote. Recuperado de: <https://revista.usanpedro.edu.pe/index.php/CPD/article/view/318/304>
- Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanessi (2004). Diseño y control de mezclas de concreto, EE.UU: Portland Cement Association. Illinois.
- Kosmatka, S.; Kerkhoff, B.; Panarese, W. & Tanessi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto, EE.UU: Portland Cement Association. Illinois.
- Meininger C. (1988). No-Fines Pervious Concrete for Paving. Concrete International, Vol. 10, No. 8.
- Molina, A.; Moragues, A. y Gálvez, J. (2008), La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Pórtland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ión cloruro y del dióxido de carbono. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/45315694_La_influencia_de_las_cenizas_volantes_como_sustituto_parcial_del_cemento_Portland_en_la_durabilidad_del_hormigon_propiedades_fisicas_difusion_del_ion_cloruro_y_del_dioxido_de_carbono
- Moujir, Y. y Castañeda, L. (2014). Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos. Recuperado de: http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/3082/Dise%C3%B1o_aplicacion_concreto.pdf?sequence=1
- Mulligan, A. (2005). Attainable compressive strength of pervious concrete paving systems. Obtenido de Stormwater Management Academy University of Central Florida: Recuperado de: http://www.stormwater.ucf.edu/research/chopra_publications/mulligan_ann_m_200508_ms.pdf
- Nassar, R. (2016), Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement. Recuperado de:

<http://news.msu.edu/media/documents/2012/02/2bebe2ce-4e0a-49ce-a450-a142a112bde4.pdf>

Neithalath, N.; Weiss, J. & Olek, J. (2005). Modeling the effects of pore structure on the acoustic absorption of Enhanced Porosity Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, Japan Concrete Institute, Vol.3, No.1.

Pérez, D. (2009). Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos. Tesis para obtener la maestría de Ingeniería civil, Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3443/perezramos.pdf?sequence=1>

Polanco, R. (2012). Manual de prácticas de laboratorio de concreto. México: UACH. 70p. Recuperado de: http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB_DE_CONCRETO.pdf

Rincón, J. (2008). Materias primas para la fabricación de materiales vítreos y cerámicos, Instituto Eduardo Torroja de Cs. de la Construcción, España. Recuperado de: http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla8/macla8_33.pdf

Rodríguez, J. (2008). Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero. Santander. Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10711/TesisJRH.pdf>

Rodríguez, A. (2008). Uso del aditivo superplastificante rheobuild 1000 y la fibra de polipropileno fibermesh 300 en edificios con muros de ductilidad limitada aplicada al conjunto habitacional lomas caminos del inca, Tesis de ingeniería, Universidad Ricardo Palma, Lima. Recuperado de: http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/urp/96/tello_am.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Saucedo, A. (2012). Concreto Hidráulico Permeable, Una Alternativa Para La Recarga De Los Mantos Acuíferos Del Valle De México. Recuperado de:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A1.pdf?sequence=1>

Tennis, P, Leming, M. & Akers, D. (2004). *Pervious Concrete Pavements*, EB302, Portland cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland.

Uribe E.; Lodeiros, C.; Pico, E. y Etchepare, I. (2001). Epibiontes en pectínidos de Iberoamérica. En: Maeda-Martínez, A.N. (ed.), *Los moluscos pectínidos de Iberoamérica: Ciencia y Acuicultura*, Cap. 13:249-266. Edit. Limusa, México, D.F., México.

U.S. EPA (1999), *Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement*, Recuperado de:

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/91018M1N.PDF?Dockey=91018M1N.PDF>

Walhoff (2016), *Influencia del vidrio molido en la resistencia a la compresión del concreto y costos de fabricación*. Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, Perú. Recuperado de: http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2120/T033_46910453_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

VII. ANEXOS Y APÉNDICES

A.1 Contenido de Humedad



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216-71

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
TESIS	: "Resistencia a la Compresion y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20 y 40% de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abaco"				
SOLICITA	: Bach. Gutierrez Teodor Victor Steven				
DISTRITO	: HUARAZ		HECHO EN	: USP -HUARAZ	
PROVINCIA	: HUARAZ		FECHA	: 26/07/2018	
PROG. (KM.)	:		ASESOR	:	

DATOS DE LA MUESTRA					
CALICATA	:				
MUESTRA	: AGREGADO GRUESO CANTERA TOLLAN				
PROF. (m)	:				

AGEGRADO GRUESO 1/2"					
N° TARRO		10	48	41	
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	739,0	746,0	727,0	
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	726,0	730,0	713,0	
PESO DE AGUA	(g)	13,00	16,00	14,00	
PESO DEL TARRO	(g)	163,60	166,70	159,40	
PESO DEL SUELO SECO	(g)	562,20	563,30	554,60	
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	2,31	2,84	2,52	
HUMEDAD PROMEDIO	(%)	2,56			



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
HUARAZ - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 118544
USP

RECTORADO: Av. José Pardo 184 Chimbote / Perú - Tel: (043) 483320
 CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Finos Tel: (043) 453222 / 489617 / 453201 - Av. Bolognesi 421 Tel: (043) 453010
 Nueva Chimbote Av. Pacífico y Anchovela Tel: (043) 483802 / San Luis Tel: (043) 483826
 OFICINA DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono: 013 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro

A.2 Peso específico y absorción del agregado grueso

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
DEL AGREGADO GRUESO**

SOLICITA : Bach. Gutierrez Teodor Victor Steven
TESIS : "Resistencia a la Compresion y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20 y 40% de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico"
LUGAR : HJARAZ ANCASH
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO 1/2"
FECHA : 25/07/2018

A	: Peso de material saturado superficialmente seco (aire)	789,0	755,0	619,0
B	: Peso de material saturado superficialmente seco (agua)	495,8	473,3	365,8
C = A - B	: Volumen de masa + volumen de vacios	293,2	281,7	253,2
D	: Peso de material seco en el horno	781,0	748,0	612,0
E = C - (A - D)	: Volumen de masa	285,2	274,7	246,2
ABSORCION (%) : $(A-D)/D \times 100$		1,02	0,84	1,14
ABS. PROM. (%) :		1,03		

P.e. Bulk (Base Seca)	=	D/C	PROMEDIO		
P.e. Bulk (Base Saturada)	=	A/C	2,86	2,66	2,42
P.e. Aparente (Base Seca)	=	D/E	2,89	2,68	2,44
			2,74	2,72	2,48

P.e. Bulk (Base Seca)	2,58
P.e. Bulk (Base Saturada)	2,61
P.e. Aparente (Base Seca)	2,66

 UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 PUECO - PERU
 INSTITUTO DE INVESTIGACION
 LABORATORIO DE INVESTIGACION DE TALLOS Y
 ANILLOS DE MADERA
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116944
 JERE

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : Bach. Gutierrez Teodor Victor Steven
TESIS : "Resistencia a la Compresion y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20 y 40% de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico"
LUGAR : HUARAZ - ANCASH
CANTERA : TAQLLAN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO 1/2"
FECHA : 25/07/2018

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7200	7208	7207
Peso de molde	3426	3426	3426
Peso de muestra	3774	3782	3781
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1360	1362	1362
Peso unitario prom.	1361 Kg/m3		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7568	7544	7540
Peso de molde	3426	3426	3426
Peso de muestra	4142	4118	4114
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1482	1483	1482
Peso unitario prom.	1486 Kg/m3		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 HUANCAVELICA - PERU
 INSTITUCION EDUCATIVA
 LEONARDO RODRIGUEZ DE VILCA
 VICERRECTORIA DE INVESTIGACION Y
 DESARROLLO TECNOLÓGICO
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116644
 JEFE



Trujillo, 17 de julio del 2018

INFORME N° 168 - JUL-18

Solicitante: Gutiérrez Teodor Victor Steven - Universidad San Pedro
RUC/DNI:
Supervisor:

1. MUESTRA: Concha de abanico (1. gr)

N° de Muestras	Código de Muestra	Cantidad de muestra ensayada	Procedencia
1	CA-168J	46.7 mg

2. ENSAYOS A APLICAR

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- Analizador Térmico simultáneo TG_DTA_DSC Cap. Max.: 1600°C SetSys_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 - 1000 °C.
- Masa de muestra analizada: 46,7 mg.

Jefe de Laboratorio: Ing. Danny Chávez Novoa
Analista responsable: Ing. Danny Chávez Novoa



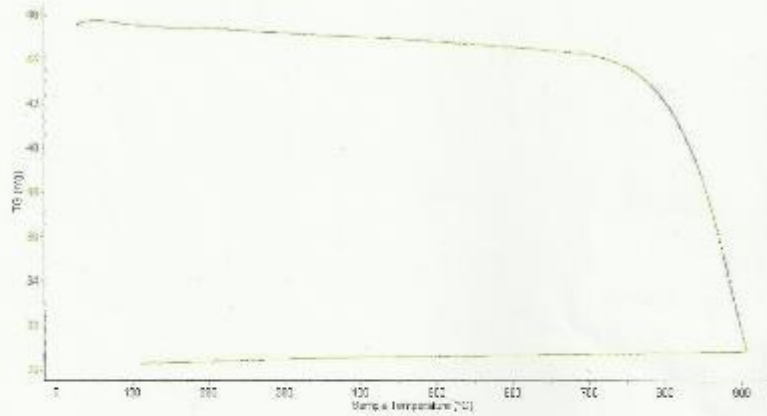


Trujillo, 17 de julio del 2018

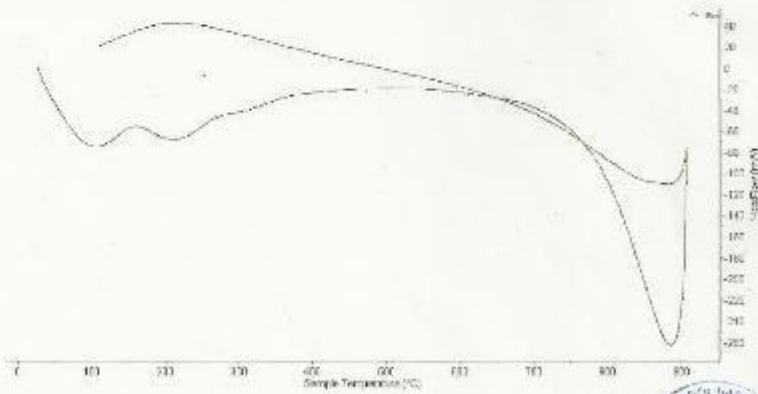
INFORME N° 168 - JUL-18

4. Resultados:

I- Curva de pérdida de masa - Análisis Termo gravimétrico.



II- Curva Calorimétrica ATD



Tel.: 66 2005100-10700650-000000000 <http://www.untrujillo.edu.pe> Fax: 666 2040 0000 Ciudad Universitaria / Trujillo





Trujillo, 17 de julio del 2018

INFORME N° 168 - JUL-18

5. CONCLUSION:

1. Según el análisis Termogravimétrico se muestra una muy leve caída del material, indicando buena estabilidad térmica del material hasta alcanzar los 700°C, temperatura en la cual marca el inicio para la descomposición acelerada y la pérdida de material hasta caer bruscamente hasta la temperatura de ensayo máxima, y se evidencia una pérdida total de aproximadamente 38% de su masa inicial.
2. De acuerdo al análisis calorimétrico, se puede mostrar dos ligeras bandas endotérmicas, la primera a 110, y la otra a 210 ° C y posteriormente se muestra un intenso pico de absorción térmica a 890°C que es una temperatura de cambio estructural y de las características en el material.

Trujillo, 17 de julio del 2018



U NDTg Danny Mejías Chávez Novoa
Jefe de Laboratorio de Polímeros
Departamento Ingeniería de Materiales

Msc. Danny Chavez Novoa
Prof. Titular
Catedrático Ing. Materiales

A.5 Calcinación de las conchas de abanico – Horno mufla

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL "Santiago Antúnez de Mayolo" "Una Nueva Universidad para el Desarrollo" FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN Teléfono: 043-426588 - 106 HUARAZ – REGIÓN ANCASH</p>	
---	--	---

RESULTADOS DE INSENERACIÓN (CENIZA) DE CONCHA DE ABANICO

TITULO DE TESIS: "Resistencia a la Compresión y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20% y 40% de Cemento por Piedro Molido y Conchas de Abanico"

TESISTA : Bach. Gutiérrez Teodor Víctor Steven - Tesista

MUESTRA : Concha de Abanico

LUGAR DE MUESTREO: Chimbote - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 23-07-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 25-07-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 26-07-18

Muestra	Cantidad Kg.
Ceniza de Concha de abanico	5.00

ENSAYOS
1.- Determinación de Ceniza

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- Se ha obtenido ceniza propiamente dicha en el Horno Mufla a una temperatura de 800 °C por 4 horas en promedio.

Huaraz, 30 de Julio del 2018.



A.6 Resultados de Análisis de pH

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL "Santiago Antúnez de Mayolo" "Una Nueva Universidad para el Desarrollo" FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN Telefax: 043-426588 - 106 HUARAZ – REGIÓN ANCASH</p>	
---	---	---

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TÍTULO DE TESIS: "Resistencia a la Compresión y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20 y 40 % de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico"

TESISTA : Bach. Gutiérrez Teodor Víctor Steven - Tesista
MUESTRA : Cemento
LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash
FECHA DE RECEPCIÓN: 23-07-18
FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 30- 07-18
FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 30-07-18

Muestra	pH
Cemento	12.15

ENSAYOS
I.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomada por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 30 de Julio del 2018.



Msc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE MUESTRAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SILANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ - REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TÍTULO DE TESIS: "Resistencia a la Compresión y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20 y 40 % de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico"

TESISTA : Bach. Gutiérrez Teodor Víctor Steven - Tesista

MUESTRA : Vidrio molido

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 23-07-18

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 30-07-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANÁLISIS: 30-07-18

Muestra	pH
Vidrio molido	9.00

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomada por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente.

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 30 de Julio del 2018.





RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TÍTULO DE TESIS: "Resistencia a la Compresión y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20 y 40 % de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico"

TESISTA : Bach. Gutiérrez Teodor Victor Steven - Tesista

MUESTRA : Ceniza de Concha de Abanico

LUGAR DE MUESTREO: Chimbote - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 23-07-18

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 30-07-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANÁLISIS: 30-07-18

Muestra	pH
Ceniza de concha de abanico	11.89

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomada por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina.

Huaraz, 30 de Julio del 2018.





RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: "Resistencia a la Compresión y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20 y 40 % de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico"

TESISTA : Bach. Gutiérrez Tendor Victor Steven - Tesista
MUESTRA : Cemento + 20 % (5 % de Vidrio molido + 15 % de Concha de Abanico)
LUGAR DE MUESTREO: Chimbote - Ancash
FECHA DE RECEPCIÓN: 23-07-18
FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 30-07-18
FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 30-07-18

Muestra	pH
Cemento + 20 % (5 % de Vidrio molido + 15 % de Concha de Abanico)	12.07

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como Extremadamente alcalina

Huaraz, 30 de Julio del 2018.



[Signature]
Ing. MSc. Guillermo Castillo Romero
EJE DE LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TÍTULO DE TESIS: "Resistencia a la Compresión y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20 y 40 % de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico"

TESISTA : Bach. Gutiérrez Teodor Victor Steven - Tesista

MUESTRA : Cemento + 40 % (10 % de Vidrio molido + 30 % de Concha de Abanico)

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 23-07-18

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 30-07-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANÁLISIS: 30-07-18

Muestra	pH
Cemento + 40 % (10 % de Vidrio molido + 30 % de Concha de Abanico)	11.96

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomada por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como Extremadamente alcalina

Huaraz, 30 de Julio del 2018.



[Handwritten Signature]
Ing. W. Castillo Romero
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYAN
HUARAZ - REGIÓN ANCASH

A.7 Florescencia de Rayos X - Análisis químico del vidrio molido



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arquimetría

Informe N°111-LAQ/2018

Análisis de una muestra de vidrio molido por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de vidrio molido a pedido del Sr. **Gutiérrez Teodor, Victor Steven**, alumno de la Universidad San Pedro, sede Huaraz, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

“Resistencia a la Compresión y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20% y 40% de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico.”

La muestra está en forma de grano fino de color gris; proviene de la planta de tratamiento de Pongor, Independencia-Huaraz.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 5440 cts/s.

Esta técnica de FRXDR permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

consecuencia de esto, los espectros de FRXDF poseen tres componentes principales: una componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDF de esta muestra de vidrio molido. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que se pueden



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

formar en un proceso de calcinación. La suma en términos de contenido de óxidos es menor que 100%. Es probable que la muestra esté constituida en parte por compuestos de Na y/o Mg, que esta técnica no puede detectar, o diferentes de óxidos, y/o hay una ligera deficiencia en la calibración del instrumento. Para mayores detalles sobre la composición estructural de la muestra se sugiere hacer un análisis por difracción de rayos-X.

Tabla 1. Composición elemental de una muestra de vidrio molido en % de masa.

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al ₂ O ₃	2.882	3.898
SiO ₂	57.614	77.925
SO ₂	0.275	0.372
ClO ₂	0.014	0.019
K ₂ O	0.532	0.719
CaO	11.765	15.913
TiO	0.119	0.161
V ₂ O ₅	0.009	0.013
Cr ₂ O ₃	0.005	0.006
MnO	0.020	0.028
Fe ₂ O ₃	0.562	0.760
Ni ₂ O ₃	0.003	0.004
CuO	0.006	0.008
ZnO	0.023	0.031
As ₂ O ₃	0.016	0.021
SrO	0.018	0.025
ZrO ₂	0.024	0.032
CeO ₂	0.049	0.066
Total	73.935	100.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

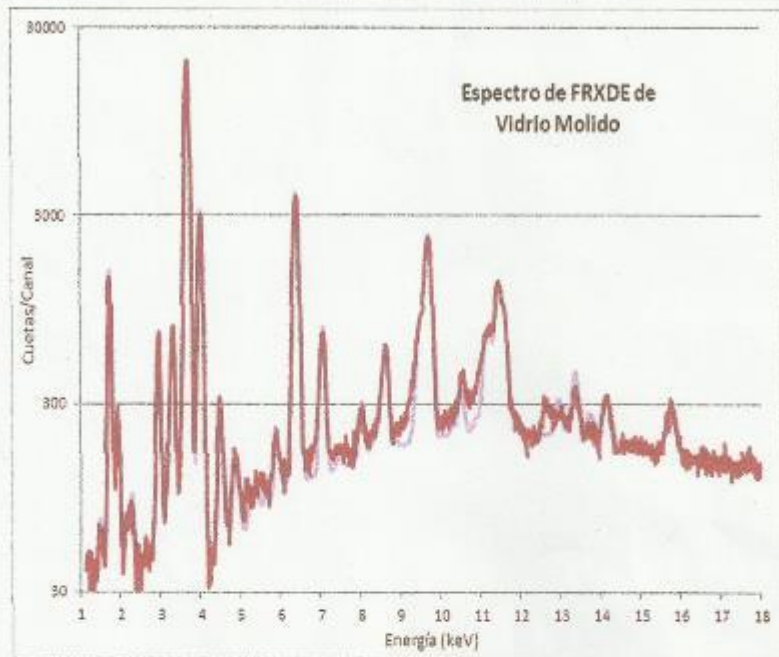


Figura 1. Espectro de FRXDE de una muestra de vidrio molido en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 31 de agosto del 2018

A.8 Florescencia de Rayos X - Análisis químico de las cenizas de conchas de abanico.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arquometría

Informe N°110-LAQ/2018

Análisis de concha de abanico calcinada por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de concha de abanico calcinada a pedido del Sr. Gutiérrez Teodor, Víctor Steven, alumno de la Universidad San Pedro, sede Huaraz, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

“Resistencia a la Compresión y Permeabilidad de un Concreto Permeable Sustituyendo 20% y 40% de Cemento por Vidrio Molido y Conchas de Abanico.”

La muestra está en forma de grano fino de color gris.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 7380 cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDL de esta muestra de concha de abanico calcinada. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que se pueden formar en un proceso de calcinación. La suma en términos de contenido de óxidos es menor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Descana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

que 100%. Es probable que la muestra esté constituida en parte por compuestos de Na y/o Mg, que esta técnica no puede detectar, o diferentes de óxidos, y/o hay una ligera deficiencia en la calibración del instrumento. Para mayores detalles sobre la composición estructural de la muestra se sugiere hacer un análisis por difracción de rayos-X.

Tabla 1. Composición elemental de concha de ahatico calcinada en % de masa.

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al ₂ O ₃	4.107	5.186
SiO ₂	2.699	3.408
SO ₂	0.904	1.141
ClO ₂	0.008	0.010
K ₂ O	0.012	0.016
CaO	71.169	89.863
TiO	0.022	0.028
Cr ₂ O ₃	0.005	0.006
Fe ₂ O ₃	0.058	0.074
Ni ₂ O ₃	0.006	0.008
CuO	0.004	0.005
ZnO	0.003	0.004
As ₂ O ₃	0.016	0.020
Rb ₂ O	0.005	0.006
SrO	0.172	0.218
ZrO ₂	0.006	0.008
Total	79.198	100.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

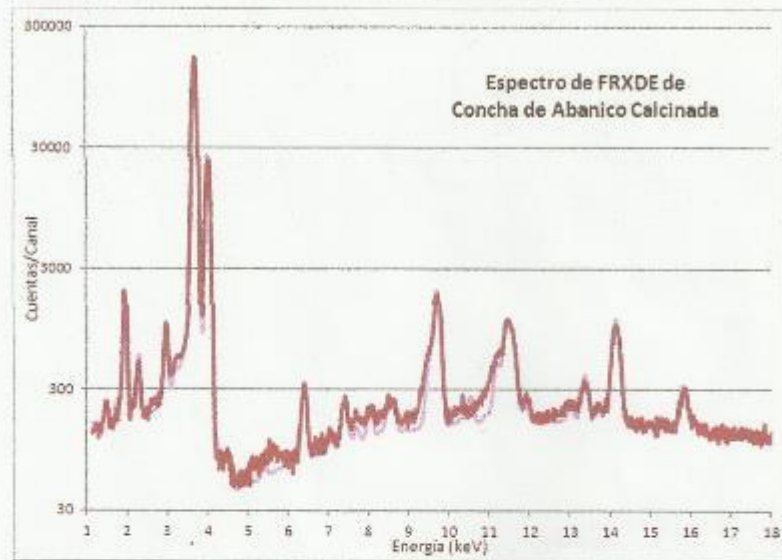


Figura 1. Espectro de FRXDE de concha de abanico calcinada en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos
Laboratorio de Arqueometría



Lima, 31 de agosto del 2018

A.9 Diseño de Mezclas

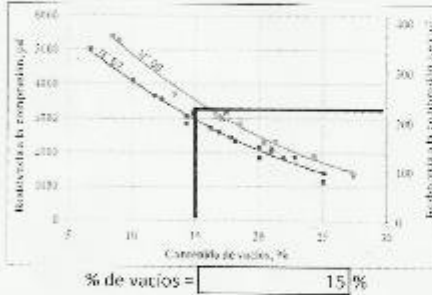


DISEÑO DE MEZCLAS (ACI 522-R10)

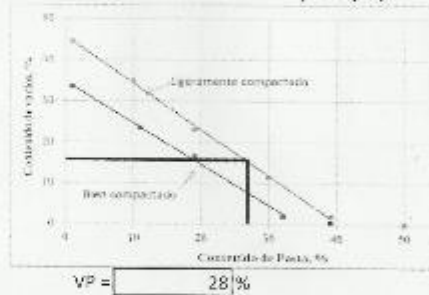
CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	
SOLICITA	: Bach. Gutierrez Teodor Victor Steven
TESIS	: "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO"
	FECHA : 30/07/2019

Materiales	Cantera/ Procedencia	CARACTERÍSTICAS				
		TMN (")	Peso Esp. (g/cm ³)	PUC (g/cm ³)	Abs (%)	Hum (%)
Agregado	Tsallán	1/2"	2,58	1,486	1,03	2,56
Cemento	Sol		3,15			
Agua	Potable		1			

A. Determinación del porcentaje de Vacíos



B. Determinación del volumen de pasta (VP)



C. Determinación de la Relación agua/Cemento (a/c)

Parámetro	Rango
a/c	0,26 a 0,45
a/c =	0,35

D. Determinación del valor de b/b_s

% de fino	b/b _s	
	ASTM C-33 Tamaño N° 8	ASTM C-33 Tamaño N° 67
0	0,98	0,99
10	0,93	0,93
20	0,85	0,86
b/b _s =	0,98	

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 TICALA - PERÚ
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE MATERIALES Y
 PROYECTOS CONCRETOS
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 QP: 115644
 IJE

DISEÑO DE MEZCLAS
(ACI 522-R10)

CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	
SOLICITA	: Bach. Gutierrez Teodor Victor Steven
TESIS	: "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO"
	FECHA : 30/07/2019

F. Determinación de peso del agregado grueso

E.1. Peso del Agregado Grueso (PAG)

$$\frac{b}{b_0} = \frac{PAG}{PUSC \text{ del Agregado}} \dots ec. (1)$$

Despejando:

$$PAG = \frac{b}{b_0} \times PUSC \text{ Agregado} \times 1m^3 \dots ec. (2)$$

E.2. Peso Unitario Seco Compactado (PUSC)

$$PUSC = \frac{P.U.C (kg/m^3)}{(1 + \% \text{ de Hum})} \dots ec. (3)$$

Entonces:

$$PUSC = \frac{1.49 \times 1000}{(1 + 2.56\%)} \\ PUSC = \boxed{1448.79} \text{ kg/m}^3$$

E.3. Peso del Agregado Grueso Seco (PAG)

Reemplazando PUSC en (2)

$$PAG = 0.99 \times 1448.79 \times 1m^3 \\ PAG = \boxed{1434.30} \text{ kg}$$

E.4. Ajuste por Absorción (s.s.s)

$$PAG(s.s.s) = PAG \times (1 + \% Abs) \dots ec. (4)$$

Entonces:

$$PAG(s.s.s) = 1434.3 \times (1 + 1.03\%) \\ PAG(s.s.s) = \boxed{1449.07} \text{ kg}$$



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
CALLE - TUMBURA
CALLE - 107 DE INDEPENDENCIA
RECTORADO
INGENIERO EN SISTEMAS DE COMPUTACIÓN
Ing. Elizabeth Maza Akshimsu
DIP. 718544
JEFE

DISEÑO DE MEZCLAS
(ACI 522-R10)

CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	
SOLICITA	: Bach. Gutierrez Teodor Victor Steven
TESIS	: "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO"
	FECHA : 30/07/2019

F. Contenido de Cemento y Agua

F.1. Determinar el Volumen de Pasta (VP)

$$VP = \frac{c}{PE_C} + \left(\frac{a}{c}\right)c \dots \text{ec. (5)}$$

Despejamos "c" para hallar la cantidad de cemento

$$c = \left(\frac{VP}{1 + \left(\frac{a}{c}\right)} \right)$$

$$c = 0.28 / ((1/3150) + (0.35/1000))$$

$$c = 419,50 \text{ kg/m}^3$$

F.2. Determinación de agua de diseño (a)

$$a = c \times \left(\frac{a}{c}\right) \dots \text{ecuación (6)}$$

Entonces:

$$a = 419,5 \times 0,35$$

$$a = 146,83 \text{ lt}$$

G. Determinación Volúmenes absolutos (VA)

Materiales	Peso (kg/m ³)	P.E. (kg/m ³)	Vol (m ³)
Cemento	419,50	3150	0,133
Agregado	1449,07	2580	0,562
Agua	146,83	1000	0,147
Vol. Total (VA) =			0,842

H. Determinación de Procentaje de vacíos (% Vacíos)

$$\% \text{Vacíos} = (1 - VA) \times 100 \dots \text{ecu. (7)}$$

$$\% \text{Vacíos} = (1 - 0,842) \times 100$$

$$\% \text{Vacíos} = 15,83 \%$$



DISEÑO DE MEZCLAS
(ACI 522-R10)

CONCRETO PERMEABLE PATRÓN	
SOLICITA	: Bach. Gutierrez Teodor Victor Steven
TESIS	: "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO"
FECHA : 30/07/2019	

I. Corrección por Humedad y Absorción

I.1. Agua Efectiva (aE)

$$aE = (a - Aa) \dots \text{ecuación (8)}$$

I.2. Adición de agua (Aa)

$$Aa = (\%Hum - \%Abs) \times PAG \dots \text{ecuación (9)}$$

$$Aa = (2.56\% - 1.03\%) \times 1434.3$$

$$Aa = 21.90$$

Reemplazando "Aa" en ecuación (8)

$$aE = [146.83 - (21.9)]$$

$$aE = 124.93 \text{ lt}$$

I.3. Corrección por Humedad (CH)

$$CH = PAG + (PAG \times \%Hum) \dots \text{ecuación (10)}$$

$$CH = 1434.3 + (1434.3 \times 2.56\%)$$

$$CH = 1470.97 \text{ kg}$$

I.4. Pesos corregidos por Humedad

Materiales	Peso (kg/m ³)
Cemento	419,50
Agregado H	1470,97
Agua	124,93

J. Proporción en pesos

Materiales	Peso (kg/m ³)	P en peso.
Cemento	419,50	1
Agregado	1470,97	3,51
Agua	124,93	0,30

Proporción	C	A ^o G ^o	a/c
		1	3,51



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN PEDRO
ING. Elizabeth María Ambrosio
DNI: 718544
Jefe

A.10 Resistencia a la Compresión



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO CONCRETO PERMEABLE PATRÓN (ASTM C-39)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS

SOLICITA : Bach. Gutierrez Tostor Victor Steven
TESIS : "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIENDO Y CONCHAS DE ABANICO"

DATOS DE LA MUESTRA

CANTERA : Tacllán
UBICACIÓN : Rio Santa - Tacllán - Huaraz **FECHA** : 21/09/2018

BUSQUEO DE TIPOS DE FRACTURAS



DISEÑO		Dosificación		
f _c = 210 kg/cm ²		C	K/G ^o	a/c
Aglomerante: 100% Cemento		1,00	3,51	0,30

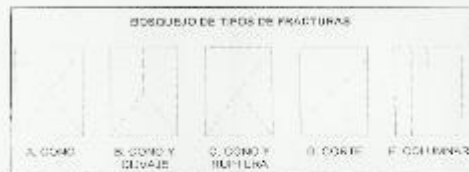
Muestra	FECHA		Edad [días]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Área [cm ²]	Carga Aplicada [kgf]	F _c [kg/cm ²]	Tipo de Fractura	F _c Prom. [kg/cm ²]	F _c /F _c [%]
	Moldeo	Rotura									
Pa-01	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	21130	119,46	C	117,25	55,83
Pa-02	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	21023	118,95	C		
Pa-03	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	20080	113,53	C		
Pa-04	06/08/18	20/08/18	14	15,00	30,00	176,71	24720	139,89	E	136,00	64,76
Pa-05	06/08/18	20/08/18	14	15,00	30,00	176,71	23430	132,59	D		
Pa-06	06/08/18	20/08/18	14	15,00	50,00	176,71	23950	135,53	C		
Pa-07	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	24750	140,06	C	142,34	67,78
Pa-08	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	25380	143,62	D		
Pa-09	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	25330	143,34	C		



RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Tel: (043) 463320
CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Pinos Tel: (043) 463222 / 463817 / 463201 - Av. Botagnesi 421 Tel: (043) 465710
 Nuevo Chimbote Av. Pacífico y Amboveta Tel: (043) 493802 / San Luis Tel: (043) 463826
OFICINA DE ADMISIÓN: Esq. Aguirre y Esplan. - Teléfono: 043 345899 - www.usa.pedro.edu.pe - facebook/Universidad San Pedro

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
CONCRETO PERMEABLE - SUSTITUCIÓN 20% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO
(ASTM C-39)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS	
SOLICITA	: Bach. Gutierrez Teodor Victor Steven
TESIS	: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO*
DATOS DE LA MUESTRA	
CANTERA	: Tacñan
UBICACIÓN	: Río Santa - Tacñan - Huancayo
FECHA	: 21/09/2018



Diseno	Dosificación		
Fc = 210 kg/cm ²	C	A/G*	a/c
Aglomerante: 80% Cemento y 20% de la combinación (5% Vidrio Molido + 15% Cenizas de Conchas de Abanico)	1,00	3,51	0,30

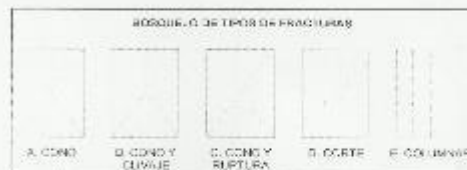
Muestra	FECHA		Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	F _c (kg/cm ²)	Tipo de Fractura	F _c Prom. (kg/cm ²)	F _c /F _c (%)
	Moldeo	Rotura									
F20%-01	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	23880	158,13	C	152,07	62,87
E20%-02	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	22110	125,12	C		
E20%-03	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	24000	135,81	C		
L20%-04	06/08/18	20/08/18	14	15,00	30,00	176,71	28150	159,35	D	156,50	74,53
E20%-05	06/08/18	20/08/18	14	15,00	30,00	176,71	27780	156,92	C		
E20%-06	06/08/18	20/08/18	14	15,00	30,00	176,71	27080	153,24	C		
F20%-07	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	28540	161,50	C	151,81	77,05
E20%-08	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	29510	165,89	C		
L20%-09	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	27730	156,92	D		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
LÍQUIDOS DE SUELOS
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 110544
JEP

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO
 CONCRETO PERMEABLE - SUSTITUCIÓN 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO
 (ASTM C 39)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS	
SOLICITA	: Doct. Gutierrez Teodoro Victor Stever
TESIS	: "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CONCHAS DE ABANICO"
DATOS DE LA MUESTRA	
CANTERA	: Tacllán
UBICACIÓN	: Río Santa - Tacllán - Huaraz
FECHA	: 21/08/2018



DISEÑO	Clasificación
$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	C
Aglomerante: 80% Cemento y 40% de la combinación (10% Vidrio Molido - 30% Conchas de Conchas de Abanico)	a/c
	1,00 3,51 0,30

Muestra	FECHA		Edad (días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga Aplicada (kgf)	F _c (kg/cm ²)	Tipo de Fractura	F _c Prom. (kg/cm ²)	F _c /F _c (%)
	Moldeo	Rotura									
E40%-01	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	21290	140,48	C	119,34	56,83
E40%-02	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	21570	142,06	D		
E40%-03	06/08/18	13/08/18	7	15,00	30,00	176,71	20410	135,50	D		
E40%-04	06/08/18	20/08/18	14	15,00	30,00	176,71	27500	155,62	E	153,30	74,09
E40%-05	06/08/18	20/08/18	14	15,00	30,00	176,71	28030	158,62	C		
E40%-06	06/08/18	20/08/18	14	15,00	30,00	176,71	26960	152,56	C		
E40%-07	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	27740	157,15	C	158,05	75,25
E40%-08	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	27400	155,05	D		
E40%-09	06/08/18	03/09/18	28	15,00	30,00	176,71	28620	161,96	C		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 INSTITUTO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 118544
 JEFE

A.11 Permeabilidad



ENSAYO: PERMEABILIDAD (ACI 524-10)

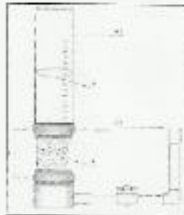
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS

SOLICITA : Terc. Superior de Ingeniería Industrial
TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DE UN CONCRETO PERMEABLE SUSTITUYENDO 20 Y 40% DE CEMENTO POR VIDRIO MOLIDO Y CUBICLOS DE ASBESTO*

DATOS DE LA MUESTRA

CANTERA : Tardito
UBICACION : Hu. Santa - Tardito - Ica 2001 **FECHA** : 05/11/2019

Muestra	FECHA		Espes. (pulg)	d (cm)	D (cm)	v (cm ³)	A (cm ²)	H1 (cm)	H2 (cm)	t2-t1 (seg)	L (cm)	K (cm/seg)	Prom. K (cm/seg)
	Admisión	Retención											
Patron	27/09/18	22/10/18	25	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	25.26	15.00	1.791	1.848
	27/09/18	22/10/18	25	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	25.25	15.00	1.653	
	27/09/18	22/10/18	25	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	25.15	15.00	1.410	
Suel. 20%	24/09/18	22/10/18	28	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	24.26	15.00	1.808	1.789
	24/09/18	22/10/18	28	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	30.32	15.00	1.716	
	24/09/18	22/10/18	28	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	24.21	15.00	1.814	
Suel. 40%	24/09/18	22/10/18	28	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	30.84	15.00	1.645	1.600
	24/09/18	22/10/18	28	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	30.00	15.00	1.714	
	24/09/18	22/10/18	28	10.10	30.00	30.10	70.54	30.00	1.00	32.06	15.00	1.531	



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD:

$$K = \frac{L}{t} \times \frac{A}{v} \times \frac{H_1}{H_2}$$

Donde:

- a) Coeficiente de permeabilidad.
- b) Longitud de la muestra.
- c) Área de la muestra.
- d) Área del cilindro de agua.
- e) Tiempo que transcurre en proceso de llenado.
- f) Altura de agua media desde el nivel de referencia a parte superior de la muestra.
- g) Altura de tubería de salida de agua con respecto a nivel de referencia (cm).



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 C.I.P. 440002
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS
 TECNOLÓGICOS Y DE CALIDAD
 Ing. Riza Luch Maza Ambrosio
 CIP: 118644
 JEFE

A. Estadística

Descriptivos				
Concreto Permeable			Estadístico	Error Estándar
Patrón	Media		131.8633	7.53240
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	99.454	
		Límite superior	164.2726	
		Media recortada al 5%		
	Mediana		136.00	
	Varianza		170.211	
	Desv. Desviación		13.0465	
	Mínimo		117.25	
	Máximo		142.34	
	Rango		25.09	
	Rango intercuartil			
	Asimetría		-1.2834	1.22474
	Curtosis			

Descriptivos				
Concreto Permeable			Estadístico	Error Estándar
Experimental (20%)	Media		150.1100	9.17397
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	110.6376	
		Límite superior	189.5824	
		Media recortada al 5%		
	Mediana		156.50	
	Varianza		252.4851	
	Desv. Desviación		15.8898	
	Mínimo		132.02	
	Máximo		161.81	
	Rango		29.79	
	Rango intercuartil			
	Asimetría		-1.517	1.22474
	Curtosis			

Descriptivos				
Concreto Permeable			Estadístico	Error Estándar
Experimental (40%)	Media		144.33	12.51500
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	90.4823	
		Límite superior	198.1777	
		Media recortada al 5%		
	Mediana		155.60	
	Varianza		469.8757	
	Desv. Desviación		21.6766	
	Mínimo		119.34	
	Máximo		158.05	
	Rango		38.71	
	Rango intercuartil			
Asimetría		-1.7072	1.22474	
Curtosis				

Pruebas de normalidad			
Shapiro-Wilk			
Concreto Permeable	Estadístico	gl	Sig.
Patrón	0.925	3	0.469
Experimental (20%)	0.879	3	0.321
Experimental (40%)	0.797	3	0.108

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Resistencia a la compresión					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2219.162 ^a	4	554.791	25.290	0.004
Intersección	181734.532	1	181734.532	8284.355	0.000
Concreto Permeable	521.767	2	260.884	11.892	0.021
Días de Curado	1697.395	2	848.698	38.688	0.002
Error	87.748	4	21.937		
Total	184041.443	9			
Total corregido	2306.911	8			

a. R al cuadrado = ,962 (R al cuadrado ajustada = ,924)

ANEXO 2 PANEL FOTOGRÁFICO



Foto N°1: Vista Satelital (Google Earth) – Se observa la ruta de 850m aproximadamente que va desde el Puente Taclán hasta la ubicación de la Cantera Taclán.



Foto N°2: Vista Satelital (Google Earth) – Se observa la zona llamada Barranquito de la ciudad de Huaraz, ubicada en el Jr. José De La Mar Cdra. 3, de la cual se recolecto los envases de vidrio.



Foto N°3: Vista Satelital (Google Earth) – Se observa una ruta de 3.5km aproximadamente en el Distrito de Nuevo Chimbote, que va desde la Av. José Pardo hasta la ubicación del botadero de desperdicios de conchas de abanico.



Foto N°4: **Cantera Taclán:** Se observa la planta chancadora de piedra, del material acumulado en la cantera, se escogió el tamaño adecuado del agregado para la investigación, el mismo que fue llenado en costales de polipropileno.



Foto N°5: Ya en el laboratorio de suelos de la Universidad San Pedro, se inició con el tamizado del agregado grueso.



Foto 6: Se utilizó tamices de 3/4" y de 1/2" para la obtención del agregado grueso (piedra chancada) de TMN de 1/2".



Foto N°7: **Ensayo Contenido de humedad:** Se obtuvieron como datos iniciales los pesos de las tres muestras que vendría a ser el peso del recipiente más peso de la muestra.



Foto N°8: **Ensayo Contenido de humedad:** Se observa que la muestra es colocada en el horno, se mantuvo ahí por 24 horas para obtener el peso del recipiente más el peso del material seco.



Foto N°9: **Ensayo de peso específico y absorción:** Después de haber saturado la muestra por 30 minutos, la superficie del material es secado por medio de un trapo



Foto N°10: **Ensayo de peso específico y absorción:** Una vez seca la superficie del material se taran los recipientes y se pesa la muestra.



Foto N°11: **Ensayo de peso específico y absorción:** Las tres muestras ya pesadas en sus respectivos recipientes.



Foto N°12: **Ensayo de peso específico y absorción:** Se utilizó una balanza que sirvió para obtener el peso del material sumergido.



Foto N°13: **Ensayo de peso específico y absorción:** Se utilizó la canastilla para obtener el peso sumergido de la canastilla y de las muestras, finalmente se resta el peso de la canastilla a la muestra para obtener el peso del material saturado superficie seca en agua



Foto N°14: **Ensayo de peso específico y absorción:** Las tres muestras son secadas al horno por 24 horas para luego ser pesadas y proceder con los cálculos finales.



Foto N°15: **Ensayo de peso unitario:** Para secar el agregado grueso se tuvo que esparcir sobre un costal de polipropileno, y se dejó a temperatura ambiente por 24 horas.



Foto N°16: **Ensayo de peso unitario:** Se utilizó un recipiente de volumen $2,776\text{cm}^3$, regla de metal y una varilla de acero.



Foto N°17: **Ensayo de peso unitario suelto:** Se llenó el recipiente desde una distancia de 25 centímetros por encima del recipiente con una cuchara pala.



Foto N°18: **Ensayo de peso unitario suelto:** Una vez que se tenga lleno el recipiente se procede a regular el borde para que todo se encuentre dentro del recipiente.



Foto N°19: **Ensayo de peso unitario suelto:** Se procedió a pesar el recipiente y el material.



Foto N°20: **Ensayo de peso unitario compactado:** Se llena el recipiente desde una distancia de 25 centímetros por encima del recipiente con una cuchara de pala.



Foto N°21: **Ensayo de peso unitario compactado:** Se compacta con una varilla cada tres capas, en cada capa se dio 25 golpes.



Foto N°22: **Peso unitario compactado:** Una vez lleno el recipiente se procede a reglar y nivelar con la regla metálica.

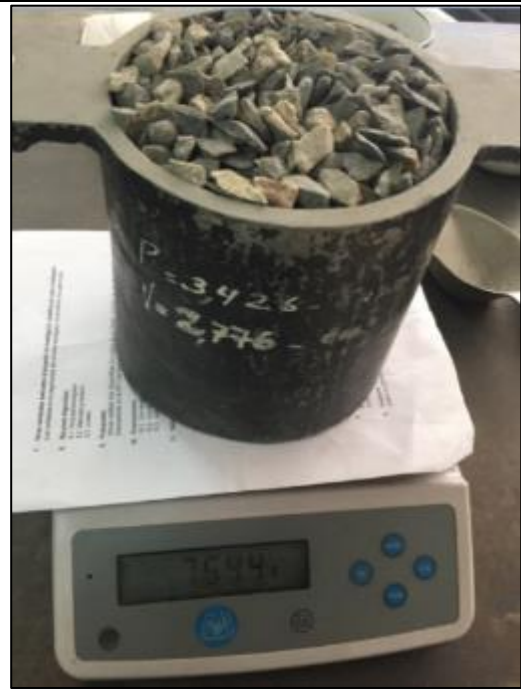


Foto N°23: **Ensayo de peso unitario compactado:** Se procedió a pesar el recipiente y el material.



Foto N°24: En la foto se muestra la acumulación de restos de conchas de abanico, el botadero está ubicado en la zona de Tangay Bajo del Distrito de Nuevo Chimbote, Provincia del Santa.



Foto N°25: Como se observa en la foto las conchas de abanico se encontraban sucias con elementos ajenos a este. Se lleno en costales de polipropileno para ser enviados a la ciudad de Huaraz.



Foto N°26: Al encontrarse sucias las conchas de abanico se limpiaron con agua y cepillo de acero, para remover elementos que podrían ser perjudiciales para la investigación, se esparcieron sobre un saco de polipropileno para ser secados por el sol.



Foto N°27: Según se ve en la imagen se procedió a fracturar las conchas de abanico con la ayuda de un mazo de acero, para conseguir granos pequeños.



Foto N°28: Una vez ya habiendo obtenido las conchas trituradas, se procedió a utilizar un molino de granos, para conseguir partículas más pequeñas.



Foto N°29: Según se observa, se llenaron en bolsas los granos de conchas de abanico, para ser llevadas a la UNASAM y sean quemadas con la mufla.



Foto N°30: Después de haberse limpiado los envases de vidrio, se inició con la rotura del mismo hasta obtener granos pequeños.



Foto N°31: Para la obtención de granos más pequeños de vidrio, se utilizó un molino de granos, se realizaron varias pasadas hasta obtener un material adecuado.



Foto N°32: En la figura se muestra el vidrio en pequeñas partículas.



Foto N°33: Como se muestra en la imagen se inició con el tamizado del vidrio molido y las cenizas de las conchas de abanico, en el Laboratorio de suelos de la Universidad San Pedro.



Foto N°34: Para obtener un material idóneo para sustituir al cemento en 20 y 40%, las muestras de vidrio molido y las cenizas de conchas de abanico, se tamizaron con la malla N°200, en el laboratorio de suelos de la Universidad San Pedro.



Foto N°35: Se tamizo la muestra de vidrio molido y se envió a la UNMSM donde se realizó el ensayo de Florescencia de Rayos X.



Foto N°36: Se tamizo la muestra de las cenizas de conchas de abanico y se envió a la UNMSM donde se realizó el ensayo de Florescencia de Rayos X.



Foto N°37: En la imagen se muestra los contrastes del cemento, vidrio molido y de las cenizas de conchas de abanico, mezcla que se usó para la fabricación de los especímenes de concreto permeable experimental.



Foto N°38: Se observan los encofrados metálicos de 15 de diámetro y 30 de alto para la fabricación de 27 probetas de concreto permeable.



Foto N°39: Se observan la mezcladora que se utilizó para el mezclado de los nuestros materiales.



Foto N°40: Se observa el llenado y moldeado de las probetas de concreto permeable patrón y experimental.



Foto N°41: Se dejó que fragüe el concreto permeable por 24 horas, luego se introdujeron las probetas a un cilindro lleno con agua para que se curen previos a los ensayos a los que serán sometidos a los 7, 14 y 28 días.



Foto N°42: **Resistencia a la compresión:** Las probetas son sacadas del cilindro con agua a los 7, 14 y 28 días de curado, medio día antes del inicio del ensayo de resistencia a la compresión.



Foto N°43: **Resistencia a la compresión:** Se observa la colocación de los platos de retención a la probeta.



Foto N°44: **Resistencia a la compresión:** Se observa la colocación de la probeta en la prensa hidráulica, teniendo en cuenta que el espécimen debe de estar centrado.



Foto N°45: **Resistencia a la compresión:** Se tomaron las anotaciones respectivas, de los resultados de resistencia a la compresión de las 9 probetas, a cada 7, 14 y 28 días de curado.



Foto N°46: **Resistencia a la compresión:** Tipo de falla o fractura que se genera al someterle presión al concreto con la prensa hidráulica, como se observa la falla es de Tipo corte.



Foto N°47: **Resistencia a la compresión:** Los ensayos se realizaron con el apoyo del personal encargado del laboratorio de suelos de la Universidad San Pedro.



Foto N°48: **Permeabilidad:** Se fabricaron 9 probetas de concreto permeable, de diámetro 10cm y altura de 15cm.



Foto N°49: **Permeabilidad:** Se procedió a desencofrar los especímenes de concreto permeable.



Foto N°50: **Permeabilidad:** Se realizó el ensayo de permeabilidad, con el prototipo de Permeámetro de carga variable elaborado según criterios del ACI 522R-10.



Foto N°51: **Permeabilidad:** Como se ve en la imagen se colocó la probeta de concreto permeable sobre la base del permeámetro, y se prosiguió al sellado para que no pueda haber fuga de agua.



Foto N°52: **Permeabilidad:** Se llenó de agua el cilindro hasta una altura de 30cm por encima de la muestra cilíndrica de concreto permeable..



Foto N°53: **Permeabilidad:** Una vez ya cargada el agua hasta el nivel de 30cm, se procedió a abrir la válvula.



Foto N°54: **Permeabilidad:** Se observa que una vez abierta la válvula empieza a descargar, y parara una vez que llegue al nivel en el que se encuentra la parte superior de la probeta, Este nivel se considera como H2.



Foto N°55: **Permeabilidad:** Se controlo en tiempo que demora en pasar de H1 (30cm) a H2, para poder determinar el coeficiente de permeabilidad.