

UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZÁN”

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD
Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO
POROSO CON EL USO DE AGREGADO FINO Y ADITIVO
PLASTIFICANTE – HUÁNUCO 2019**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

TESISTA:

Ronald Abelardo, GAMARRA ROJAS

ASESOR:

Dr. ERASMO ALEJANDRO FERNÁNDEZ SIXTO

HUÁNUCO – PERÚ

2019

Dedicatoria

Al creador de todas las cosas, al que me dio fortaleza para continuar cuando estuve a punto de caer, con toda la humildad de mi corazón, dedico en primer lugar mi trabajo a Dios.

A mis padres, Sr. Lorenzo Gamarra Patricio y Sra. Hercilia Rojas Alejo, por haberme brindado su inmenso cariño, apoyo y confianza durante el transcurrir de mi vida que me ha permitido ser una persona de bien enseñándome los valores de la verdad y justicia.

A mis hermanos, Nilda, Yuli, Jumder y Natalia por ser parte fundamental de mi vida.

A mis amigos, por permitirme aprender más de la vida a su lado.



Agradecimiento

A mi familia, por ser la motivación para seguir adelante y por su apoyo brindado en la ejecución de esta tesis.

A mi asesor, Dr. Erasmo Fernández Sixto, por toda la paciencia brindada, los consejos y orientación a lo largo de la tesis.

A todos mis amigos, gracias por hacer mi estadía en la universidad una experiencia que vale la pena recordar.

A mi profesor de secundaria, Prof. Antonio Loarte Ortega, quien pudo descubrir la manera de enseñarme y demostrar que puedo convertir mis debilidades en grandes fortalezas.

Al equipo técnico del centro especializado de geotecnia, pavimentos y ensayo de materiales de la UNHEVAL.

A la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil, a su plana de docentes y administrativos, quienes han contribuido con sus saberes, en mi formación profesional.

A todos ellos mi agradecimiento infinito.



“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO POROSO CON EL USO DE AGREGADO FINO Y ADITIVO PLASTIFICANTE”

Tesista: Gamarra Rojas, Ronald Abelardo



Resumen

En esta investigación se estudia la comparación de la permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto poroso, adicionando a la mezcla base conformada por piedra de 3/8", cemento y agua, contenidos de agregado fino y aditivo plastificante en grupos separados.

Para lograr este estudio se elaboraron 60 probetas: 30 para ensayos de resistencia a compresión y 30 para ensayos de permeabilidad a los 28 días.

La investigación fue realizada en periodo de tres etapas: la primera correspondió a la recopilación de antecedentes y consideraciones teóricas en donde se sustenta nuestro estudio, empleando técnicas de análisis de contenido, fichajes y apuntes; la segunda consistió en los diseños de mezcla teórica y ejecución de las muestras de probetas cilíndricas dentro del laboratorio con técnicas e instrumentos de campo basados en las normas ACI, NTP y ASTM relacionadas con las propiedades del concreto permeable para la verificación de las hipótesis; por último, se discuten los resultados obtenidos en las tablas y figuras de los procedimientos estadísticos realizados.

La investigación se ajusta a un nivel de estudios explicativos o de comparación de hipótesis causales. la hipótesis se validó mediante la distribución T de student.

Por último, se concluye que el agregado fino disminuye la permeabilidad y no aumenta la resistencia a la compresión comparado con el uso de aditivo plastificante.



Summary

In this research, the comparison of the permeability and compressive strength of porous concrete is studied, adding to the base mixture formed by 3/8 "stone, cement and water, fine aggregate content and plasticizer additive in separate groups.

To achieve this study, 60 specimens were prepared: 30 for compression resistance tests and 30 permeability tests for 28-day.

The research was carried out in a three-stage period: the first corresponded to the collection of background and theoretical considerations on which our study is based, using techniques of content analysis, signings and notes; the second consisted in the designs of theoretical mixing and execution of the samples of cylindrical specimens inside the laboratory with techniques and field instruments based on the ACI, NTP and ASTM standards related to the properties of the permeable concrete for the verification of the hypotheses; Finally, the results obtained in the tables and figures of the statistical procedures carried out are discussed.

The research is adjusted to a level of explanatory studies or comparison of causal hypotheses. the hypothesis was validated through the student's T distribution.

Finally it is concluded that the fine aggregate decreases the permeability and does not increase the resistance to compression compared with the use of plasticizer additive.



Índice General

Capítulo I: Marco Teórico.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Formulación del Problema	4
1.2.1. Problema General	4
1.2.2. Problemas Específicos	4
1.3. Justificación e Importancia	4
1.4. Limitaciones	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos Específicos	5
1.6. Hipótesis.....	6
1.6.1. Hipótesis Nula.....	6
1.6.2. Hipótesis Alternativa	6
1.6.3. Hipótesis Específicas	6
1.7. Variables	7
1.7.1. Variables Dependientes	7
1.7.2. Variables Independientes	8
1.7.3. Variables Intervinientes	8
1.8. Operacionalización de Variables	9
1.9. Universo/Población y Muestra:.....	10
1.9.1. Determinación del Universo/Población:	10
1.9.2. Selección del tamaño de muestra:.....	10
1.10. Revisión de Estudios Realizados:	12
1.11. Definición de Términos Básicos:	14
Capítulo II: Marco Metodológico	17
2.1. Tipo y Nivel de Investigación:	17
2.2. Diseño de la Investigación:	17
2.3. Técnicas de Recolección y Tratamiento de Datos:	18
2.4. Elaboración y Ensayo de Probetas:	18
2.4.1. Ensayo de los Agregados en el Laboratorio	21
2.4.2. Características del Cemento.....	30
2.4.3. Características del Agua	30



2.4.4. Características del Aditivo Plastificante	30
2.4.5. Diseño de Mezclas:	32
2.4.6. Elaboración de Probetas NTP 339.033 (ASTM C192):	54
Mezclas de Prueba:	61
2.4.7. Ensayo de Resistencia a la Compresión (NTP 339.034):	70
2.4.8. Resultados de los Ensayos a Compresión del Concreto Permeable:	72
2.4.9. Ensayo de Permeabilidad:.....	74
2.4.10. Resultados de Permeabilidad del Concreto Poroso:	76
2.4.11. Grafica de Resultados de Ensayo a Compresión a los 28 días:	81
2.4.12. Grafica de Resultados de Permeabilidad:	84
Capítulo III: Discusión de Resultados.....	87
3.1. Análisis Estadístico	87
3.1.1. Análisis Estadístico – Resistencia a la Compresión a los 28 días.	87
3.1.2. Análisis Estadístico – Permeabilidad.....	90
3.1.3. Diseño Experimental.....	93
Conclusiones	101
Recomendaciones.....	103
Referencias Bibliográficas	104



Índice de Tablas

Tabla 1	Operacionalización de variables	9
Tabla 2	Tamaño de Muestra.....	11
Tabla 3	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	19
Tabla 4	Peso Unitario del Agregado Fino.....	21
Tabla 5	Peso Unitario del agregado grueso.....	22
Tabla 6	Granulometría del Agregado Fino	23
Tabla 7	Granulometría del Agregado Grueso	24
Tabla 8	Contenido de Humedad del Agregado Fino.....	26
Tabla 9	Contenido de Humedad del Agregado Grueso	27
Tabla 10	Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	28
Tabla 11	Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso	28
Tabla 12	Características de los Agregados	29
Tabla 13	Datos Técnicos del Aditivo Plastificante Chema Plast.....	31
Tabla 14	Valores de b/bo Para Agregados de T.M.N. de Huso 8 (3/8”) y Huso 67(3/4”)	32
Tabla 15	Compensación de Volumen por Exceso de Vacíos para la Mezcla con 5% de Arena	42
Tabla 16	Materiales Compensados por Exceso de Vacíos para la Mezcla con 5% de Arena.....	43
Tabla 17	Volumen de los materiales por m3 de Concreto	43
Tabla 18	Diseño de Mezcla Base con 5% de Arena (Mb5)	45
Tabla 19	Diseño de Mezcla Base con 10% de Arena (Mb10)	45
Tabla 20	Diseño de Mezcla Base con 15% de Arena (Mb15)	45
Tabla 21	Compensación de Volumen por Exceso de Vacío para la Mezcla con 0.5% de Aditivo.....	51
Tabla 22	Materiales Compensados por Exceso de Vacíos para la Mezcla con 0.5% de Aditivo.....	51
Tabla 23	Volumen de los materiales por m3 de Concreto	52
Tabla 24	Diseño de Mezcla Base con 5% de Aditivo Plastificante (Mb0.5).....	53
Tabla 25	Diseño de Mezcla Base con 0.75% de Aditivo Plastificante (Mb0.75).....	53
Tabla 26	Diseño de Mezcla Base con 1.0% de Aditivo Plastificante (Mb1.0).....	54
Tabla 27	Resumen de Compactación de Probetas Cilíndricas.....	59
Tabla 28	Resultados de los Ensayos a Compresión a los 7 días de las Mezclas de Prueba con Agregado fino.....	65
Tabla 29	Resultados de los Ensayos a Compresión a los 7 días de las Mezclas de Prueba con Aditivo Plastificante	66
Tabla 30	Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 5% de Agregado Fino....	67
Tabla 31	Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 10% de Agregado Fino...	67
Tabla 32	Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 15% de Agregado Fino...	67
Tabla 33	Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 0.5% de Aditivo Plastificante	68



Tabla 34 Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 0.75% de Aditivo Plastificante	68
Tabla 35 Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 1.0% de Aditivo Plastificante	68
Tabla 36 Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 5% de Agregado Fino	72
Tabla 37 Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 10% de Agregado Fino	73
Tabla 38 Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 15% de Agregado Fino	73
Tabla 39 Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 0.5% de Aditivo Plastificante	73
Tabla 40 Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 0.75% de Aditivo Plastificante	74
Tabla 41 Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 1.0% de Aditivo Plastificante	74
Tabla 42 Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 5% de Agregado Fino	76
Tabla 43 Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 10% de Agregado Fino	77
Tabla 44 Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 5% de Agregado Fino	77
Tabla 45 Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 0.5% de Adit. Plastificante	77
Tabla 46 Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 0.75% de Adit. Plastif.	78
Tabla 47 Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 1.0% de Adit. Plastificante	78
Tabla 48 Geometría de los Especímenes de 4"x8"	79
Tabla 49. Peso Seco, Sumergido, Densidad y % de Vacíos del Concreto Permeable Endurecido	80
Tabla 50 Resultados Estadísticos de la resistencia a la compresión de probetas con Agregado Fino.....	88
Tabla 51 Resultados Estadísticos de la resistencia a la compresión de probetas con Aditivo Plastificante.....	89
Tabla 52 Resultados Estadísticos de la Permeabilidad de las probetas con Agregado Fino	90
Tabla 53 Resultados Estadísticos de la Permeabilidad de las probetas con Aditivo Plastificante	91
Tabla 54. Densidad y Contenido de Vacíos Real.....	92
Tabla 55 Parámetros Estadísticos de la Resistencia a la Compresión para Probetas con Agregado Fino y Aditivo Plastificante	95
Tabla 56 Parámetros Estadísticos de la Permeabilidad para Probetas con Agregado Fino y Aditivo Plastificante	97



Índice de Figuras

Figura 1. Foto del permeámetro de carga variable, permite medir la permeabilidad del concreto poroso. Elaboración propia.....	7
Figura 2. Foto de la prensa de compresión, permite medir la resistencia a la compresión de un material. Elaboración propia.....	7
Figura 3. Foto del agregado fino, que pasa la malla 3/8” y queda retenido en la N° 200. Elaboración propia.	8
Figura 4. Foto del aditivo plastificante, reductor de agua hasta un 10%. Elaboración propia.....	8
Figura 5. Foto de la piedra chancada de Huso N°8, recomendada por el ACI522R-10 para la fabricación de concreto permeable. Elaboración propia.	9
Figura 6. Foto del Revenimiento o Slump del concreto permeable, de acuerdo al ACI 211.3R-02 le corresponde un Slump igual a cero. Elaboración propia.....	9
Figura 7. Foto de los aparatos usados (Recipiente de medida, barra compactadora y pala de mano). Elaboración propia.	22
Figura 8. Foto de la balanza con aproximación de 0.05kg y que permite leer con una exactitud de 0.1% del peso de la muestra. Elaboración propia.....	22
Figura 9. Granulometría bien graduada del agregado fino. Elaboración propia.....	24
Figura 10. Granulometría uniforme del agregado grueso. Elaboración propia.	25
Figura 11. Foto de la distribución de tamaños del agregado grueso. Elaboración propia.....	26
Figura 12. Foto del proceso de pesado de los granos retenidos en cada tamiz. Elaboración propia.	26
Figura 13. Foto de la muestra de agregado fino húmedo. Elaboración propia.	27
Figura 14. Foto de la muestra de agregado grueso húmedo. Elaboración propia.	27
Figura 15. Foto de los materiales para la determinación del peso específico y absorción del agregado fino. Elaboración propia.....	29
Figura 16. Foto del instrumento para la determinación del peso específico sumergido. Elaboración propia.	29
Figura 17. Cemento Andino Tipo I. Tomada de UNACEM s.f., recuperado de http://www.unacem.com.pe	30
Figura 18. Relación entre el volumen de pasta y el contenido de vacíos para agregado grueso Huso N°8. (ACI522R-10, 2010).....	33
Figura 19. Contenido de Pasta Para un Porcentaje de Vacíos del 15% Para un Concreto Bien Compactado. (ACI522R-10, 2010).....	38
Figura 20. Foto de la medición del Peso de los Materiales. Elaboración propia.....	55
Figura 21. Foto de la medición de la Dosis del Aditivo plastificante.....	55
Figura 22. Foto de la mezcladora de Concreto, de 1pie3 de capacidad. Elaboración propia.....	56
Figura 23. Foto de los moldes de Probeta Metálico, de 6”x12” y 4”x8”. Elaboración propia.....	56
Figura 24. Foto del habilitado de la Mezcladora de Concreto. Elaboración propia.	57
Figura 25. Foto control del Tiempo de Mezclado. Elaboración propia.....	57



Figura 26. Foto de la colocación de Concreto en Buggy. Elaboración propia.	58
Figura 27. Foto de la medición del Slump del Concreto. Elaboración propia.	58
Figura 28. Foto del compactado del Concreto. Elaboración propia.	59
Figura 29. Foto del enrasado de las Probetas. Elaboración propia.	59
Figura 30. Foto del curado de las probetas cilíndricas. Elaboración propia.	60
Figura 31. Foto de la preparación de la mezcla para el refrentado. Elaboración propia.	61
Figura 32. Foto de las probetas refrentadas. Elaboración propia.	61
Figura 33. Foto de la mezcla de prueba Mb5. Elaboración propia.	63
Figura 34. Foto de la mezcla de prueba Mb15. Elaboración propia.	63
Figura 35. Foto de la mezcla de Prueba Mb0.5. Elaboración propia.	64
Figura 36. Foto de la mezcla de Prueba Mb0.5 Corregida. Elaboración propia.	64
Figura 37. Foto de la medida del Slump del concreto fresco. Elaboración propia ...	69
Figura 38. Foto de la consistencia de la mezcla definitiva. Elaboración propia.	69
Figura 39. Foto de las probetas definitivas elaboradas. Elaboración propia.	69
Figura 40. Foto del Curado de Probetas definitivas. Elaboración propia.	69
Figura 41. Foto del secado de probetas antes del refrentado. Elaboración propia.	70
Figura 42. Foto de las probetas refrentadas. Elaboración propia.	70
Figura 43. Foto de la apariencia final del concreto permeable. Elaboración propia.	70
Figura 44. Foto de la toma de medida de las probetas. Elaboración propia.	70
Figura 45. Foto de las probetas de concreto permeable antes de la rotura. Elaboración propia.	71
Figura 46. Foto de la rotura de probetas de concreto permeable. Elaboración Propia.	71
Figura 47. Foto de probeta con falla Tipo 4. Elaboración propia.	72
Figura 48. Foto de la estructura interna del concreto permeable. Elaboración propia.	72
Figura 49. Foto del permeámetro de carga variable, se indica el nivel superior(h2) e inferior (h1) marcado en la tubería de acrílico. Elaboración propia.	75
Figura 50. Foto de las muestras de probeta habilitada de 4"x8". Elaboración propia.	75
Figura 51. Foto de la lectura de los pesos secos de las muestras. Elaboración propia.	78
Figura 52. Foto de la lectura de los pesos sumergidos de las muestras. Elaboración propia.	78
Figura 53. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 5% de agregado fino. Elaboración propia.	81
Figura 54. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 10% de agregado fino. Elaboración propia.	81
Figura 55. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 15% de agregado fino. Elaboración propia.	82
Figura 56. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 0.5% de aditivo plastificante. Elaboración propia.	82



Figura 57. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 0.75% de aditivo plastificante. Elaboración propia.....	83
Figura 58. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 1.0% de aditivo plastificante. Elaboración propia.....	83
Figura 59. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 5% de agregado fino. Elaboración propia.	84
Figura 60. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 10% de agregado fino. Elaboración propia.	84
Figura 61. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 15% de agregado fino. Elaboración propia.	85
Figura 62. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 0.5% de aditivo plastificante. Elaboración propia.....	85
Figura 63. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 0.75% de aditivo plastificante. Elaboración propia.....	86
Figura 64. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 1.0% de aditivo plastificante. Elaboración propia.....	86
Figura 65. Grafica de la resistencia a la compresión de probetas con agregado fino. Elaboración propia.	87
Figura 66. Grafica de la resistencia a la compresión de probetas con aditivo plastificante. Elaboración propia.....	88
Figura 67. Grafica de la permeabilidad de probetas con agregado fino. Elaboración propia.....	90
Figura 68. Grafica de la permeabilidad de probetas con aditivo plastificante. Elaboración propia.	91
Figura 69. Grafica de la densidad y contenido de vacíos real del concreto permeable. Elaboración propia.	93
Figura 70. Tabla T de Student, Mellado B, s.f. Recuperado de http://www.uaaan.mx	96
Figura 71. Curva de Distribución T de Student, Elaboración propia.....	96



Introducción

El concreto permeable hace posible que el agua de lluvia se recupere o se infiltre al subsuelo. El inconveniente de este tipo de concreto es su baja resistencia a la compresión en comparación al concreto convencional, es por ello necesario mejorar sus propiedades, lo que se logra agregando a la mezcla de piedra, agua y cemento un porcentaje de agregado fino, que no se debe abusar, porque pueden ocasionar el taponamiento de los poros interconectados en su estructura. Otra manera de modificar sus propiedades sin perder permeabilidad será el uso de aditivo plastificante en proporciones especificadas por el fabricante.

La presente investigación intitulo: “Estudio comparativo de la permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino y aditivo plastificante”, es una propuesta de adición a la mezcla base conformada por: piedra, cemento y agua; con contenidos de agregado fino y aditivo plastificante en grupos separados, con tres diseños de mezcla para cada grupo experimental.

La presente tesis se encuentra dividida en tres capítulos; el marco teórico donde se delimita teóricamente el problema y los objetivos de la investigación, el marco metodológico es la aplicación de los métodos y técnicas utilizados para el análisis de nuestra problemática de investigación mediante la elaboración y ensayos de probetas a compresión y permeabilidad; por último, se analizan y discuten los resultados obtenidos para validar las hipótesis y posteriormente tener las conclusiones y sugerencias sobre el uso del agregado fino y aditivo plastificante en concretos permeables.



Capítulo I: Marco Teórico

El concreto permeable o poroso tiene a la compresión y permeabilidad como sus principales características, las cuales se han estudiado buscando evaluarlas con el uso de otros materiales como lo son: el agregado fino y el aditivo plastificante, a continuación, se revisa algunas de las investigaciones hechas por otros autores.

1.1. Antecedentes

El concreto permeable es del tipo especial, con una alta porosidad que permite pasar agua a través de él. **Fernández y Navas (2010)** afirman: Es una mezcla de cemento, agua y agregado grueso que puede ser usado en pavimentos de bajo volumen de tránsito, calles de urbanizaciones, estacionamientos, entre otros; donde la resistencia a compresión y la permeabilidad son sus características más importantes, que pueden modificarse con la adición de agregado fino en poca cantidad y/o de aditivos que mejoran las resistencias y no afecta de forma importante la permeabilidad.

Por lo antes expresado y con la finalidad de mejorar las características de éste concreto muchas universidades e instituciones, estudiaron las principales variables que afectan su comportamiento.

Una variable importante a tomar en cuenta es la adición del contenido de agregado fino en la mezcla. **Moujir y Castañeda (2014)** afirman que:

La resistencia promedio a la compresión y a la flexión de la mezcla con finos, es 7.71% y 3.0% mayor que la mezcla sin finos respectivamente, también que la permeabilidad promedio de la mezcla sin finos, es mayor que la mezcla con finos en 44%, debido a



que hay un volumen mayor de vacíos en los intersticios del agregado grueso y que son ocupados en una mezcla con agregado fino.

De lo mencionado, el agregado fino incrementa la resistencia del concreto poroso, pero disminuye considerablemente su permeabilidad, esto hace que busquemos nuevas tecnologías para lograr un desempeño adecuado del material. Una de las maneras de controlar este inconveniente es el uso de aditivos. **Benites (2014)** concluyo que:

La resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso utilizando cemento Portland tipo I, agua potable, piedra chancada de 3/8" y aditivo Chemaplast a la edad de 28 días alcanza un valor de 7.556 Mpa y su permeabilidad es de 0.321 cm/s que se encuentra dentro del rango que normalmente posee este tipo de concreto según el ACI 522R-10. (p. 80)

Se debe tener presente si bien el uso de aditivo en la mezcla en reemplazo del agregado fino no reduce sustancialmente la permeabilidad, no se debe perder de vista en alcanzar resistencias adecuadas.

La evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad adicionando aditivo superplastificante de densidad 1.2kg/l, usando porcentajes del 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5% con respecto al peso del cemento, tamaño nominal del agregado grueso 1/2" y un porcentaje de vacíos del 15%, llegan alcanzar una resistencia a la compresión a los 28 días de 213.93 kg/cm² para la mezcla considerada con 1.5% de aditivo superplastificante, así mismo se determinó la permeabilidad de 0.651 cm/s en promedio el cual se encuentra dentro del rango establecido por la ACI-522R.



(Choque y Ccana, 2016).

Recientemente Guizado y Curi (2017) estudiaron al concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú.

La dosificación del concreto tuvo porcentajes teóricos de 15%, 17% y 19% de vacíos de diseño, dos tipos de agregado anguloso y redondeado, dos contenidos de arena de 0 y 10%, y tamaño de agregado grueso Huso 8 y 67.

Se plantearon quince mezclas de estudio separadas en 5 grupos. Las mezclas que tienen agregado grueso de huso N° 8 angulosos, son las que alcanzaron mejores promedios resistencias a la compresión a los 28 días de 226.5 kg/cm², con coeficientes de permeabilidad promedio de 0.93 cm/s y con un contenido promedio de vacíos de 22%, por otro lado con el agregado grueso huso Nro 67 al tener un alto contenido de vacíos (en promedio 28.3%), llevó a una alta permeabilidad y a una gran caída en la resistencia (en promedio 93kg/cm²). **(Guizado y Curi,2017)**

De lo estudiado nuestra investigación se centra en evaluar concretos permeables referidas a su resistencia a la compresión y permeabilidad, añadiendo a la mezcla base (piedra, cemento y agua) agregado fino en porcentajes menores a 15% (porcentajes mayores podrían afectar la permeabilidad), comparado con la adición de aditivo plastificantes en porcentajes recomendados por el fabricante.



1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿En cuánto variará la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino, comparado a su vez estas variaciones con la adición de aditivo plastificante?

1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Qué valores alcanza la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino, respecto al concreto sin él?
- b) ¿Qué valores alcanza la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de aditivo plastificante, respecto al concreto sin él?
- c) ¿Cuál es la relación de la variación de la permeabilidad y resistencia a la compresión con respecto de estas dos modificaciones?

1.3. Justificación e Importancia

La razón de la presente investigación es usar el agregado fino y aditivo plastificante en la aplicación del concreto permeable, con la finalidad de incrementar su resistencia a la compresión.

El empleo del agregado fino en la mezcla hace que se obtengan concretos mas resistentes, pero disminuye la permeabilidad considerablemente; otra manera de incrementar la resistencia, es reduciendo la cantidad de agua en la mezcla, para esto haremos uso de un aditivo plastificante.



1.4. Limitaciones

La investigación solo reseña a explorar el agregado fino comparado con el uso del aditivo plastificante en la aplicación del concreto permeable, empleando proporciones del 5%, 10% y 15% de agregado fino respecto al peso del agregado global y 0.5%, 0.75% y 1.0% de aditivo plastificante con respecto al peso del cemento, con un contenido de vacíos del 15%, con agregado grueso de huso N° 8 y un Slump igual a 0.

La investigación se realiza para un concreto permeable, usando componentes que cumplan con las normas ACI-522R-10 y la ASTM C192 para su elaboración y medición.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Comparar la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino, comparado a su vez estas variaciones con la adición de aditivo plastificante.

1.5.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino, respecto al concreto sin él.
- b) Determinar la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de aditivo plastificante, respecto al concreto sin él.
- c) Determinar la relación de la variación de la permeabilidad y resistencia a la compresión con respecto de estas dos modificaciones.



1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis Nula

La permeabilidad del concreto poroso con el uso de agregado fino disminuye y su resistencia a la compresión no aumenta, comparado con el uso de aditivo plastificante.

1.6.2. Hipótesis Alterna

La permeabilidad del concreto poroso con el uso de agregado fino no disminuye y su resistencia a la compresión aumenta, comparado con el uso de aditivo plastificante.

1.6.3. Hipótesis Específicas

Ho1: El concreto poroso con el uso de agregado fino disminuye la permeabilidad y no aumenta la resistencia a la compresión, respecto al concreto sin él.

Ha1: El concreto poroso con el uso de agregado fino no disminuye la permeabilidad y aumenta la resistencia a la compresión, respecto al concreto sin él.

Ho2: El concreto poroso con el uso de aditivo plastificante no disminuye la permeabilidad y no aumenta la resistencia a la compresión, respecto al concreto sin él.

Ha2: El concreto poroso con el uso de aditivo plastificante disminuye la permeabilidad y aumenta la resistencia a la compresión, respecto al concreto sin él.

Ho3: Existe variación entre la permeabilidad y resistencia a la compresión con respecto de estas dos modificaciones.

Ha3: No existe variación entre la permeabilidad y resistencia a la compresión con respecto de estas dos modificaciones.



1.7. Variables

Son factores que pueden ser medidos, manipulados y es probable que cambien durante la investigación (Porto & Gardey, 2008).

1.7.1. Variables Dependientes

Los valores de este tipo de variables no dependen del valor de otras. Se conceptualiza como la causa o el fenómeno a investigar y se identifica como causa o antecedente. Esta variable puede ser manipulada o cambiada por el investigador (Mejía, 2008).

Nuestras variables dependientes serán: la permeabilidad y resistencia a la compresión.



Figura 1. Foto del permeámetro de carga variable, permite medir la permeabilidad del concreto poroso. Elaboración propia.



Figura 2. Foto de la prensa de compresión, permite medir la resistencia a la compresión de un material. Elaboración propia.



1.7.2. Variables Independientes

Las variables dependientes son las que se miden, en ellas se enfoca la observación para ver la respuesta ante el cambio de la variable independiente. Son el resultado del fenómeno que se intenta investigar (Mejía, 2008).

Las variables independientes de nuestra investigación serán: Agregado fino y aditivo plastificante.



Figura 3. Foto del agregado fino, que pasa la malla 3/8" y queda retenido en la N° 200. Elaboración propia.



Figura 4. Foto del aditivo plastificante, reductor de agua hasta un 10%. Elaboración propia.

1.7.3. Variables Intervinientes

Es aquella que participa con la variable independiente condicionando a la dependiente.

- Slump.
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Contenido de vacíos.
- Densidad del concreto en estado fresco y endurecido.





Figura 5. Foto de la piedra chancada de Huso N°8, recomendada por el ACI522R-10 para la fabricación de concreto permeable. Elaboración propia.



Figura 6. Foto del Revenimiento o Slump del concreto permeable, de acuerdo al ACI 211.3R-02 le corresponde un Slump igual a cero. Elaboración propia.

1.8. Operacionalización de Variables

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Tipo de Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Permeabilidad	Dependiente	Propiedad hidráulica	k	cm/s
Resistencia a la compresión	Dependiente	Propiedad mecánica	$f'c$	Kg/cm ²
Agregado fino	Independiente	Dosis	a/A	%
Aditivo plastificante	Independiente	Dosis	Adtv /c	%
Revenimiento	Interviniente	Consistencia	Slump	cm
Tamaño máximo nominal	Interviniente	Granulometría	Diámetro	cm
Contenido de vacíos	Interviniente	Propiedad física	Porcentaje de vacíos	%
Densidad	Interviniente	Propiedad física	Masa unitaria	Kg/m ³

Nota. Las expresiones a/A y Adtv/c indican la relación entre el peso del agregado fino con respecto al peso del agregado global y el peso del aditivo plastificante respecto al peso del cemento respectivamente, Elaboración propia.



1.9. Universo/Población y Muestra:

1.9.1. Determinación del Universo/Población:

El universo y población de la investigación es ilimitado (población mayor a 100,000), conformado por todos los concretos permeables del mundo. Reinoso (2009) afirma: “El tamaño de la muestra está definido dependiendo de la población, si ésta es finita o infinita” (p.40). A continuación, se explica la manera de calcular el tamaño de muestra cuando la población es infinita, que se aplica a este caso.

1.9.2. Selección del tamaño de muestra:

Habitualmente se trabaja con un error de la estimación de 0.05 ($e=0.05$), y un nivel de confianza correspondiente al 95%; es decir $Z=1.96$ y los valores de p se encuentran comprendidos en un intervalo entre cero y uno, pero la fórmula es simétrica alrededor del 0.5 (reflejada en la expresión pq , donde $q=1-p$). Por ende, basta analizar la función para valores de p entre 0 y 0.5. (Reinoso, 2009, p. 42)

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

n : tamaño de la muestra,

Z : nivel de confianza,

p : posibilidad de ocurrencia de un evento,

q : posibilidad de no ocurrencia de un evento, $q=1-p$,

e : error de la estimación.

Reemplazando valores:

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2} = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2} = 384.16$$



Redondeando el tamaño de la muestra nos resulta 385, que es un valor demasiado grande debiendo contar con una inversión considerable en lo económico y tiempo de ejecución.

Calculamos un nuevo tamaño de muestra, considerando un nivel de confianza del 90% y un error de estimación igual a 0.10.

$$n = \frac{Z^2 * p * q}{e^2} = \frac{1.65^2 * 0.5 * 0.5}{0.10^2} = 68.06$$

De lo calculado se consideró trabajar con un tamaño de muestra igual a 60.

Tabla 2
Tamaño de Muestra

Variable Independiente		Variables Dependientes	Muestras
No Modificable	Modificable	Concreto Poroso a los 28 días	n
M. Base	Arena 5%	Permeabilidad y resistencia a la compresión	10
M. Base	Arena 10%	Permeabilidad y resistencia a la compresión	10
M. Base	Arena 15%	Permeabilidad y resistencia a la compresión	10
M. Base	Plastificante 0.5%	Permeabilidad y resistencia a la compresión	10
M. Base	Plastificante 0.75%	Permeabilidad y resistencia a la compresión	10
M. Base	Plastificante 1.0%	Permeabilidad y resistencia a la compresión	10
Total de muestra			60

Nota: la expresión M. Base hace referencia a la mezcla base del concreto permeable (piedra, cemento y agua), los porcentajes de arena y plastificante se calculan como porcentaje del agregado global y peso del cemento respectivamente.



1.10. Revisión de Estudios Realizados:

El concreto permeable también conocido como concreto poroso, posee una estructura de vacíos interconectados que permite el paso de agua libremente.

Se han estudiado la permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino y sin fino, como se explica a continuación.

Moujir Y. y Castañeda L. (2014), Estudiaron el concreto permeable, con y sin agregados finos, para medir su resistencia a la compresión, flexión, permeabilidad, módulo de elasticidad, módulo de rotura, porcentaje de vacíos, entre otros. De los resultados obtenidos se resalta que la resistencia promedio a la compresión y a la flexión de la mezcla con finos, es 7.71% y 3.0% mayor que la mezcla sin finos respectivamente, también que la permeabilidad promedio de la mezcla sin finos, es mayor que la mezcla con finos.

Por otra parte, también se investigaron el uso de aditivos plastificante y superplastificante.

Choque H. y Ccana J. (2016), Estudiaron la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto poroso elaborado con agregado de ½” de las canteras Viche y Zurite, adicionando aditivo superplastificante de densidad 1.2kg/l para una resistencia 210kg/cm². Concluyeron que la elaboración de concreto poroso alcanzo la resistencia a compresión para el cual fue diseñado, llegando a 213.93 kg/cm², así mismo se determinó la permeabilidad de 0.651 cm/s en promedio el cual se encuentra dentro del rango establecido por la ACI-522R.



De la misma manera **Benites J. (2014)**, Investigó la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso utilizando cemento Portland tipo I, agua potable, piedra chancada de 3/8", contenido de vacíos del 20% y aditivo Chema Plast. Se elaboraron probetas para luego de 7, 14 y 28 días ensayarlas a compresión y permeabilidad obteniendo resultados donde la resistencia promedio es de 6.030 MPa, 7.148 MPa y 7.556 MPa respectivamente, su coeficiente de permeabilidad promedio es de 0.321 cm/s que está dentro del rango de 0.2 cm/s a 0.54 cm/s que también establece la norma antes mencionada.

Recientemente **Guizado y Curi (2017)** estudiaron al concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú. La dosificación del concreto tuvo porcentajes teóricos de 15%, 17% y 19% de vacíos de diseño, dos tipos de agregado anguloso y redondeado, dos contenidos de arena de 0 y 10%, y tamaño de agregado grueso Huso 8 y 67.

Las mezclas que tienen agregado grueso de huso N° 8 angulosos, son las que alcanzaron mejores promedios resistencias a la compresión a los 28 días de 226.5 kg/cm², con coeficientes de permeabilidad promedio de 0.93 cm/s y con un contenido promedio de vacíos de 22%, por otro lado con el agregado grueso huso Nro 67 al tener un alto contenido de vacíos (en promedio 28.3%), llevó a una alta permeabilidad y a una gran caída en la resistencia (en promedio 93kg/cm²). (**Guizado y Curi,2017**)

De lo estudiado nuestra investigación se centra en evaluar concretos permeables referidas a su resistencia a la compresión y permeabilidad, añadiendo a la mezcla base



(piedra, cemento y agua) agregado fino en porcentajes menores a 15% (porcentajes mayores podrían afectar la permeabilidad), comparado con la adición de aditivo plastificantes en porcentajes recomendados por el fabricante.

1.11. Definición de Términos Básicos:

Concreto Permeable: El concreto permeable, también conocido como concreto poroso, de granulometría discontinua o de alta porosidad.

Es un material compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de agregado fino, aditivos y agua. Estos ingredientes permiten obtener un material resistente con poros interconectados de aberturas entre 2 y 8 mm que permiten que el agua infiltre fácilmente. El contenido de vacíos que permite que el agua fluya está en el rango de 15% y 35% con una resistencia a la compresión típica de 28 a 280 kg/cm². La permeabilidad se encuentra aproximadamente entre 81 y 730 L/min/m² y depende del tamaño de los agregados y la densidad de la mezcla. (ACI 522R, 210, p. 44)

Resistencia a la Compresión: Mide la capacidad mecánica del concreto a soportar una fuerza externa de compresión. Es una de las más importantes propiedades, se expresa en Kg/cm². Se prueba a diferentes edades. Propiedad que decide la calidad de los concreto. (Torres, 2004)

Permeabilidad: La permeabilidad es la capacidad que tiene material para que lo atraviesen fluidos, aire o luz, sin perder la figura de su estructura interna. El hecho de que algún material sea permeable indica que se estructura es porosa o contiene un porcentaje de vacíos que están interconectados y que le permite la absorción de otros



elementos. (Subramanian, 2009)

Agregados: Generalmente se entiende por "agregado" a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011. (Campos, s.f)

- **Agregado Fino**, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas. (Campos, s.f)
- **Agregado Grueso**, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava. (Campos, s.f)

Aditivo: Es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto, y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas. (Rivera, s.f)

Los aditivos se clasifican de acuerdo al propósito o propósitos indicados por los ocho tipos siguientes:

- a) Tipo A – Aditivos reductores de agua,
- b) Tipo B – Aditivos retardadores,
- c) Tipo C – Aditivos aceleradores,



-
- d) Tipo D – Aditivos reductores de agua y retardadores,
 - e) Tipo E – Aditivos reductores de agua y aceleradores,
 - f) Tipo F – Aditivos reductores de agua, de alto rango, y
 - g) Tipo G – Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardadores.
 - h) Tipo S – Aditivos de desempeño específico.

Aditivo Plastificante (Tipo A): Es el aditivo que permiten, una reducción de la cantidad de agua para igual trabajabilidad, o un aumento de la manejabilidad para igual proporción de agua, es decir, provoca la dispersión de las partículas de cemento, agrupadas en flóculos comúnmente en una mezcla sin aditivos. **(Rivera, s.f)**

Para la presente investigación se emplea el aditivo plastificante **Chema Plast**, que cumple con las especificaciones de un aditivo tipo A.

Chema Plast: Es un aditivo reductor de agua y plastificante de color marrón de uso universal, que hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación. Permite una reducción de agua hasta 10%, generando aumento en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto. Cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-494 tipo A.

La dosis sugerida es de 145 ml a 360 ml de CHEMAPLAST por bolsa de cemento. La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales, tipo de cemento y en las condiciones de obra. Chema. Recuperado de: <http://www.chema.com.pe>



Capítulo II: Marco Metodológico

Se precisa en este capítulo, a través de un lenguaje claro y sencillo, los métodos, técnicas, estrategias, procedimientos e instrumentos utilizados por el investigador, para lograr los objetivos.

Enseguida se explica los mecanismos utilizados para el análisis de nuestra problemática de investigación.

2.1. Tipo y Nivel de Investigación:

Tipo: Es del tipo aplicativo porque busca conocer para hacer, para actuar, para modificar; le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal; también es una investigación sustantiva-explicativa, porque está orientada al descubrimiento de los factores causales que han podido inducir o afectar la ocurrencia de un fenómeno. **(Sánchez H. y Reyes C. 2006).**

Nivel: La presente investigación se ajusta a un nivel de estudios explicativos o de comparación de hipótesis causales. **(Sánchez H. y Reyes C. 2006).**

2.2. Diseño de la Investigación:

Los métodos básicos de investigación son: el método descriptivo y experimental, los cuales tienen diferencias entre sí; ya que el método descriptivo permite estudios de fenómenos en su forma natural teniendo un menor control sobre este, a comparación del método experimental que permite el estudio de fenómenos en su forma artificial en el que se tiene un mayor control sobre este **(Sánchez, 2006)**



De lo explicado en el párrafo anterior, el método experimental es el que se ajusta a nuestra investigación, pues se manipulará rigurosamente la variable independiente para el control del diseño de mezclas.

La realización de los experimentos para la presente investigación se llevó a cabo en el Centro Especializado de Geotecnia, Pavimentos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán – Huánuco.

2.3. Técnicas de Recolección y Tratamiento de Datos:

Se desarrollaron de las fuentes de información físicas y electrónicas, como son: libros, tesis, revistas, entre otros; que han sido aplicados en los diversos ensayos dentro del Centro Especializado de Geotecnia, Pavimentos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, aplicando técnicas e instrumentos como se observa en la tabla 3.

2.4.Elaboración y Ensayo de Probetas:

El diseño de mezcla se elaboró mediante la metodología del ACI 522R-10 (Reporte sobre concreto permeable) y el ACI 211.3R-02 (Guía para seleccionar proporciones para concreto sin revenimiento), teniendo en consideración las NTP y ASTM para tener un adecuado diseño. Para la elaboración de las probetas de concreto permeable se usó como agregado grueso piedra chancada de 3/8” que tuvo un tamizado previo, cemento Portland tipo I, el uso de arena gruesa para un grupo experimental y la adición de aditivo plastificante para el otro. También se tuvo en cuenta la capacidad



del trompo mezclador (1pie3), para determinar el número de probetas a elaborar por jornada de trabajo, que en nuestro caso fue de 5 probetas.

Tabla 3
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Técnicas	Instrumentos
Técnicas Bibliográficas	Instrumentos Bibliográficos
Análisis de contenido	Comprensión lectora
Fichaje	Ficha bibliográfica
Apuntes	Método Cornell
Técnicas de Campo	Instrumentos de Campo
Observación	Observación experimental
Medición de peso	Balanza electrónica digital
Medición de volumen	Vernier
Propiedades del concreto	Ensayo de laboratorio

Fuente: Elaboración Propia

Otro punto que se tomó en cuenta es el tipo de compactado, si se ejerce un alto grado de compactación, se eliminarán los vacíos existentes dándole mayor resistencia al concreto; pero se generará una disminución en la capacidad de infiltración del concreto permeable. (Guizado y Curi,2017)

De acuerdo al ACI 522R-06, (2006), la presión mínima vertical ejercida debe ser mayor a 0.07 Mpa (0.7kg/cm²). Utilizando el martillo Próctor y siguiendo el análisis de la energía de compactación se calcula el número de golpes necesarios para compactar probetas estándar de 6"x12" y de 4"x8". Enseguida se muestra la ecuación de la energía de compactación.



$$Y = \frac{n \times N \times P \times H}{V} \dots (\text{Energía de Compactación})$$

Donde:

Y: energía aplicada en la muestra (0.7 kg/cm²),

n: número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado,

N: número de golpes aplicados por capa,

P: peso del pisón,

H: altura de caída del pisón,

V: volumen del cilindro.

De acuerdo a la ASTM D-698 (Proctor Standard), el pisón pesa 2.5kg (P=2.5kg) y se deja caer de una altura de 30cm (H=30cm).

Golpes necesarios para compactar probetas estándar de 6”x12”: el volumen de esta probeta es de 5310cm³ (V=5310cm³) y se compactara en tres capas (n=3). De la ecuación de energía de compactación tenemos:

$$N = \frac{Y * V}{n * P * H} = \frac{0.7kg/cm^2 * 5310cm^3}{3 * 2.5kg * 30cm} = 16.52 \cong 17 \text{Golpes; en 03 capas}$$

Golpes necesarios para compactar probetas estándar de 4”x8”: el volumen de esta probeta es de 1580cm³ (V=1580cm³) y se compactara en dos capas (n=2). De la ecuación de energía de compactación tenemos:

$$N = \frac{Y * V}{n * P * H} = \frac{0.7kg/cm^2 * 1580cm^3}{2 * 2.5kg * 30cm} = 7.37 \cong 8 \text{Golpes; en 02 capas}$$



Con los conceptos ya definidos se procede a la realización de los ensayos de los materiales en el laboratorio.

2.4.1. Ensayo de los Agregados en el Laboratorio

Peso unitario suelto y compactado: Se realizó para el agregado fino y grueso, siguiendo el procedimiento indicado por las normas ASTM C-29 y la Norma Técnica Peruana NTP N° 400.017; en lo cual se realizaron tres ensayos consecutivos como se muestran en las Tablas 4 y 5; obteniendo finalmente los pesos unitarios suelto y compactado de los agregados.

Tabla 4
Peso Unitario del Agregado Fino

Peso Unitario del Agregado Fino (N.T.P. 400.017 - ASTM C-29)					
Peso Unitario Suelto					
1	Peso de la Muestra + Recipiente	gr	6250	6270	6270
2	Peso del Recipiente	gr	1783	1783	1783
3	Peso de la Muestra (1-2)	gr	4467	4487	4487
4	Volumen del Recipiente	m ³	0.00280	0.00280	0.00280
5	P.U.S. (3/4)/1000	kg/m ³	1593	1600	1600
6	Promedio P.U.S. Seco	kg/m ³		1598	
Peso Unitario Compactado					
1	Peso de la Muestra + Recipiente	gr	6570	6600	6570
2	Peso del Recipiente	gr	1783	1783	1783
3	Peso de la Muestra (1-2)	gr	4787	4817	4787
4	Volumen del Recipiente	m ³	0.00280	0.00280	0.00280
5	P.U.C.	kg/m ³	1707	1718	1707
6	Promedio P.U.S. Compacto	kg/m ³		1711	

Fuente: Elaboración Propia



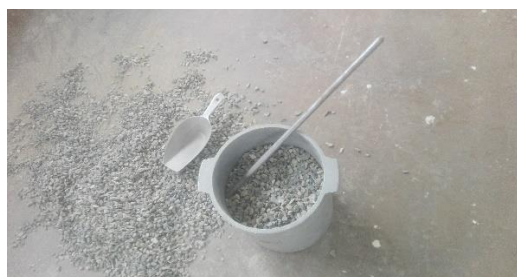


Figura 7. Foto de los aparatos usados (Recipiente de medida, barra compactadora y pala de mano). Elaboración propia.



Figura 8. Foto de la balanza con aproximación de 0.05kg y que permite leer con una exactitud de 0.1% del peso de la muestra. Elaboración propia.

Tabla 5

Peso Unitario del agregado grueso

Peso Unitario del Agregado Grueso (N.T.P. 400.029 - ASTM C-17)					
Peso Unitario Suelto					
1	Peso de la Muestra + Recipiente	gr	24930	24610	24710
2	Peso del Recipiente	gr	5838.7	5838.7	5838.7
3	Peso de la Muestra (1-2)	gr	19091.3	18771.3	18871.3
4	Volumen del Recipiente	m ³	0.0141	0.0141	0.0141
5	P.U.S. (3/4)/1000	kg/m ³	1354	1332	1339
6	Promedio P.U.S. Seco	kg/m ³		1342	
Peso Unitario Compactado					
1	Peso de la Muestra + Recipiente	gr	26130	26040	26090
2	Peso del Recipiente	gr	5838.7	5838.7	5838.7
3	Peso de la Muestra (1-2)	gr	20291.3	20201.3	20251.3
4	Volumen del Recipiente	m ³	0.0141	0.0141	0.0141
5	P.U.C.	kg/m ³	1440	1433	1437
6	Promedio P.U.S. Compacto	kg/m ³		1436	

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 4 concluimos lo siguiente: el peso unitario suelto y compactado del agregado fino es 1598kg/m³ y 1711kg/m³ respectivamente, de manera similar en la tabla 5, el peso unitario suelto del agregado grueso es 1342kg/m³ y el compactado 1436kg/m³.



Análisis Granulométrico: Se realizó de acuerdo a las normas ASTM C-33 y NTP N°400.012; es importante indicar que se trabajó con una granulometría de Huso 8, es decir, que se eliminaron intencionalmente partículas de piedra menores a N°8 y mayores que 3/8", con la finalidad de obtener tamaños de partículas similares recomendado por el ACI 522R-10. En las tablas 6 y 7 se muestran las granulometrías para ambos agregados.

Tabla 6
Granulometría del Agregado Fino

Granulometría Arena Gruesa (N.T.P. 400.017 - ASTM C-29)					
Tamiz ASTM	Diámetro (mm)	Peso Retenido	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.0	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0.0	0.00	0.00	100.00
N°4	4.760	0.0	0.00	0.00	100.00
N°8	2.500	455.3	9.11	9.11	90.89
N°16	1.180	786.5	15.73	24.84	75.16
N°30	0.630	1107.5	22.15	46.99	53.01
N°50	0.315	1140.6	22.81	69.80	30.20
N°100	0.149	962.7	19.26	89.06	10.94
N°200	0.074	341.3	6.83	95.89	4.11
Cazoleta	0.000	205.7	4.11	100.00	0.00
Total		4999.6	100.00		

Fuente: Elaboración Propia



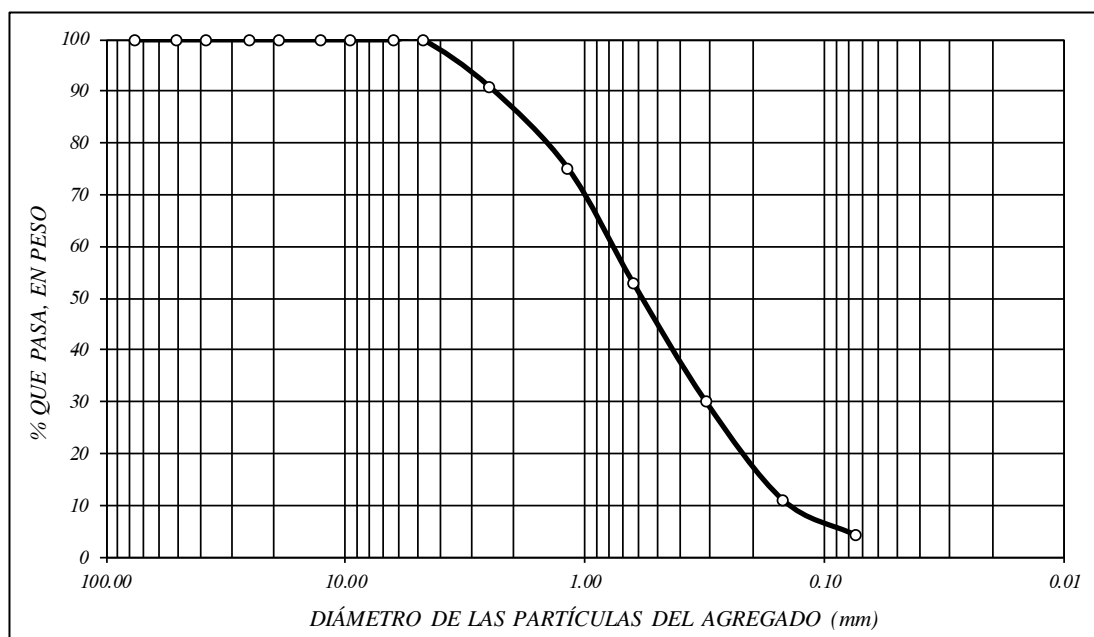


Figura 9. Granulometría bien graduada del agregado fino. Elaboración propia.

Tabla 7
Granulometría del Agregado Grueso

Granulometría del Agregado Grueso (N.T.P. 400.017 - ASTM C-29)					
Tamiz ASTM	Diámetro (mm)	Peso Retenido	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
1"	25.400	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.0	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.525	829.8	16.60	16.60	83.40
1/4"	6.350	2543.8	50.88	67.47	32.53
N°4	4.760	1046.7	20.93	88.41	11.59
N°8	2.500	574.4	11.49	99.89	0.11
N°16	1.180	0.0	0.00	99.89	0.11
N°30	0.630	0.0	0.00	99.89	0.11
N°50	0.315	0.0	0.00	99.89	0.11
N°100	0.149	0.0	0.00	99.89	0.11
N°200	0.074	0.0	0.00	99.89	0.11
Cazoleta	0.000	5.3	0.00	100.00	0.00
Total		5000.0	100.00		

Fuente: Elaboración Propia



“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO POROSO CON EL USO DE AGREGADO FINO Y ADITIVO PLASTIFICANTE”

Tesista: Gamarra Rojas, Ronald Abelardo



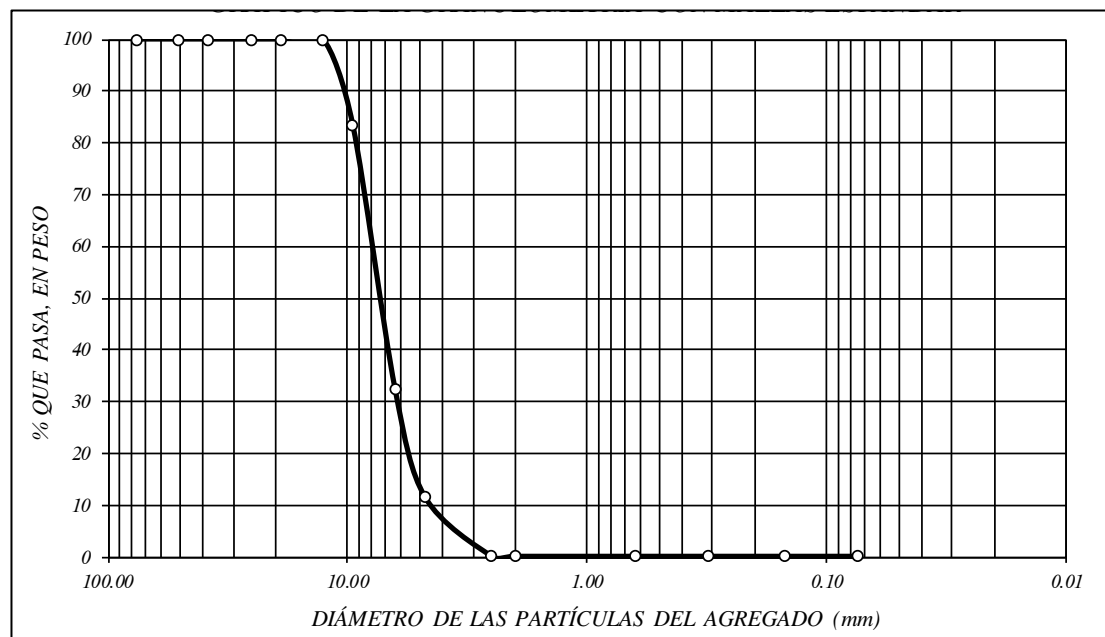


Figura 10. Granulometría uniforme del agregado grueso. Elaboración propia.

De las tables 6 y 7 calculamos el módulo de fineza para el agregado fino y grueso de la siguiente manera:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Ret. Acum. } (3/4" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Módulo de fineza del agregado fino:

$$MF = \frac{(0 + 0 + 0 + 9.1 + 25 + 49.1 + 75.9 + 97.2)}{100} = 2.56$$

Módulo de fineza del agregado grueso:

$$MF = \frac{(0 + 17 + 88 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100)}{100} = 6.05$$

Los valores de los módulos de fineza calculados, serán usados más adelante para los diseños de mezcla de esta investigación.





Figura 11. Foto de la distribución de tamaños del agregado grueso. Elaboración propia.



Figura 12. Foto del proceso de pesado de los granos retenidos en cada tamiz. Elaboración propia.

Contenido de Humedad: Se aplicaron las siguientes normas ASTM C 566 y la NTP N°339.185, elaborando tres muestras al azar por cada tipo de agregado como se indican en las Tablas 8 y 9 teniendo como contenido de humedad del agregado fino igual a 1.77% y agregado grueso de 0.36%.

Tabla 8
Contenido de Humedad del Agregado Fino

Contenido de Humedad del Agregado Fino - (N.T.P. 400.017 - ASTM C-29)				
1	Peso de la Tara	gr	0	0
2	Peso de la Tara + Muestra Húmeda	gr	1000.00	1000.00
3	Peso de la Tara + Muestra Seca	gr	981.90	982.50
4	Peso del Agua Contenida (2-3)	gr	18.10	17.50
5	Peso de la Muestra Seca (3-1)	gr	981.90	982.50
6	Contenido de Humedad (4/5)*100	%	1.84	1.78
7	Contenido de Humedad	%		1.77

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 9
Contenido de Humedad del Agregado Grueso

Contenido de Humedad del Agregado Grueso - (N.T.P. 400.017 - ASTM C-29)					
1	Peso de la Tara	gr	0	0	0
2	Peso de la Tara + Muestra Húmeda	gr	2000.00	2000.00	2000
3	Peso de la Tara + Muestra Seca	gr	1993.70	1992.60	1991.9
4	Peso del Agua Contenida (2-3)	gr	6.30	7.40	8.10
5	Peso de la Muestra Seca (3-1)	gr	1993.70	1992.60	1991.90
6	Contenido de Humedad (4/5)*100	%	0.32	0.37	0.41
7	Contenido de Humedad	%		0.36	

Fuente: Elaboración Propia



Figura 13. Foto de la muestra de agregado fino húmedo. Elaboración propia.



Figura 14. Foto de la muestra de agregado grueso húmedo. Elaboración propia.

Peso Específico y Absorción de Agregados: El procedimiento para el agregado fino está basado a las normas ASTM C-128 y la NTP N° 400.022 obteniéndose los siguientes resultados como se observan en la Tabla 10.

De la tabla 10, resaltamos los valores del peso específico seco y la absorción del agregado fino con 2.61gr/cm³ y 1.13% respectivamente, que serán usados mas adelante en los diseños de mezcla.



Tabla 10
Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

Gravedad Especifica - Absorción (N.T.P. 400.022 ASTM C-128)			
Datos			
1	Peso de la Arena Seca (A)	gr	346.10
2	Peso de la fiola + Agua hasta marca (B)	gr	649.00
3	Peso de la fiola + Arena sss + Agua hasta marca (C)	gr	866.60
4	Peso de la Arena sss (S)	gr	350.00
Resultados			
5	Densidad muestra seca ((A/(B+S-C))	gr/cm ³	2.61
6	Densidad muestra sss ((S/(B+S-C))	gr/cm ³	2.64
7	Densidad aparente ((A/(B+A-C))	gr/cm ³	2.69
8	Porcentaje de Absorción ((S-A)/A)*100	%	1.13

Fuente: Elaboración Propia

El procedimiento para la obtención del peso específico y absorción del agregado grueso se hizo en base a las normas ASTM C-127 y la NTP N°400.021 con resultados que se observan en la Tabla 11.

Tabla 11
Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

Gravedad Especifica - Absorción (N.T.P. 400.021 ASTM C-127)			
Datos			
1	Peso de la Muestra Saturada con Superficie Seca (B)	gr	2004.00
2	Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	0.00
3	Peso de la Muestra Saturada + Peso de la Canastilla dentro del Agua	gr	2004.00
4	Peso de la Muestra Saturada Sumergida (C)	gr	1257.00
5	Peso de la Tara	gr	0.00
6	Peso de la Tara + Muestra Seca	gr	1987.30
7	Peso de la Muestra Seca (6-5) (A)	gr	1987.30
Resultados			
8	Gravedad Especifica Seca ((A/(B-C))	gr/cm ³	2.66
9	Gravedad Especifico Saturada (S.S.S) ((A/B(B-C))	gr/cm ³	2.68
10	Peso Específico Aparente ((A/(A-C))	gr/cm ³	2.72
11	Porcentaje de Absorción ((B-A)/A)*100	%	0.84

Fuente: Elaboración Propia





Figura 15. Foto de los materiales para la determinación del peso específico y absorción del agregado fino. Elaboración propia.



Figura 16. Foto del instrumento para la determinación del peso específico sumergido. Elaboración propia.

De la tabla 11, el peso específico del agregado grueso es 2.66gr/cm^3 y posee una absorción de 0.84% , estos valores serán tomados al momento de elaborar el diseño de mezcla tal como lo indica el Método ACI 211.3R-02.

Resumen de las Características de los Agregados: Finalmente se presenta la Tabla 12, que contiene el resumen de las características de los de los agregados obtenidos en laboratorio.

Tabla 12.
Características de los Agregados

Características	Agregado Fino	Agregado grueso
Tamaño Máximo Nominal	-	3/8"
Peso Unitario Suelto	1.598 gr/cm ³	1.342 gr/cm ³
Peso Unitario Compactado	1.711 gr/cm ³	1.436 gr/cm ³
Peso Específico	2.61 gr/cm ³	2.66 gr/cm ³
Módulo de Fineza	2.56	6.05
Porcentaje de Absorción	1.13%	0.84%
Porcentaje de Humedad	1.77%	0.36%

Fuente: Elaboración Propia



2.4.2. Características del Cemento

En esta investigación se utilizó el cemento Andino Tipo I, el cual cumple con las normas NTP 334.009 y ASTM C-150 con peso específico en condiciones normales igual a 3.15 gr/cm³. Este producto se comercializa en bolsas de 42.5 kg y se optó por comprar toda la cantidad de bolsas de cemento a utilizarse en el proyecto con el objetivo de evitar que se introduzca la variable por distinto lote de cemento.



Figura 17. Cemento Andino Tipo I. Tomada de UNACEM s.f., recuperado de <http://www.unacem.com.pe>

2.4.3. Características del Agua

El agua que se emplea es potable, por lo cual cumple con las normas NTP 339.088 y ASTM 1602, y se aplicó para la elaboración de mezclas y el curado de las probetas considerando el peso específico del agua igual a 1 gr/cm³.

2.4.4. Características del Aditivo Plastificante

En esta investigación se utilizó el aditivo Chema Plast, que es un aditivo reductor de agua y plastificante de color marrón de uso universal, que hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación. Cumple con los requerimientos de la



norma ASTM C-494 tipo A.

La preparación y aplicación del aditivo son las dispuestas por el fabricante y que a continuación se procede a explicar.

La dosis sugerida es de 145 ml a 360 ml de CHEMAPLAST por bolsa de cemento. La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales, tipo de cemento y en las condiciones de obra.

En la tabla 13 se muestra los datos técnicos proporcionados por el fabricante.

Tabla 13
Datos Técnicos del Aditivo Plastificante Chema Plast

Propiedades Físicas y Químicas	
Apariencia	Líquido
Color	Marrón oscuro
Densidad	1.2 g/ml \pm 0.06
pH	9.00 - 12.50
VOC	0 g/L

Fuente: Recuperado de <http://www.chema.com.pe>.

Para la realización del diseño de mezclas por el método ACI 211.3R-02 y el ACI522R-10, se plantea añadir a la mezcla proporciones de peso de 0.50%, 0.75% y 1.00% con respecto al peso del cemento.

Con lo anterior mencionado se procedió a realizar la dosificación del concreto correspondiente al diseño de mezclas.



2.4.5. Diseño de Mezclas:

Teniendo determinadas las propiedades de los agregados, se procede a la realización del diseño de mezcla siguiendo los procedimientos descritos en las normas ACI 211.3R-02 y el ACI522R-10; a continuación, se realiza el diseño de mezcla para concreto permeable, siguiendo los pasos dispuestos por Guizado y Curi (2017).

Paso 1: Obtención del Contenido del Agregado Grueso

Meininger (1988) desarrolló una tabla que brinda la relación entre el volumen de agregado grueso y el volumen de concreto permeable. Este valor va a depender de tres variables de la mezcla: el contenido de arena, el huso del agregado grueso y el grado de compactación. Esta tabla es adoptada por el ACI 522R-10 para el diseño de mezclas.

En la tabla 14 se muestran los valores de b/bo para agregados gruesos de husos N°8 y N° 67 con contenido de arena de 0%, 10% y 20% del total del agregado, y dos niveles de compactación, bien compactado (ASTM C31) y compactación ligera (5 golpes con un pisón). Donde:

b/bo: Volumen seco del agregado grueso compactado por volumen unitario de concreto.

Tabla 14.

Valores de b/bo Para Agregados de T.M.N. de Huso 8 (3/8") y Huso 67(3/4")

% Arena	b/bo			
	Compactación Ligera		Bien Compactado	
	Huso 8 (3/8")	Huso 67 (3/4")	Huso 8 (3/8")	Huso 67 (3/4")
0	0.92	0.92	0.99	0.99
10	0.84	0.85	0.93	0.93
20	0.78	0.78	0.85	0.86

Fuente: (Meininger, 1988)



Para obtener el peso del agregado grueso, que desde ahora se le conocerá como grava (g), se calcula de la siguiente manera:

$$Peso_{grava}(Kg) = Peso_{unitario}_{grava} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) * \frac{b}{b_o} * 1m^3 \dots (Ec. 1)$$

Se obtiene el volumen absoluto de la grava dividiendo el peso de la ecuación Ec.1 entre el peso específico “p.e.” seco de la grava.

$$Volumen_{grava}(Kg) = \frac{Peso_{grava}(Kg)}{p, e. _{grava} * 1000Kg/m^3} \dots (Ec. 2)$$

Para el caso de esta investigación se trabajará con un tamaño máximo nominal de agregado de Huso 8 para un concreto bien compactado.

Paso 2: Obtención del Volumen de Pasta

Teniendo como datos el porcentaje de vacíos teórico y el tipo de compactación; se ingresa a la figura 18 y se obtiene el volumen de pasta de cemento para 1m³ de concreto.

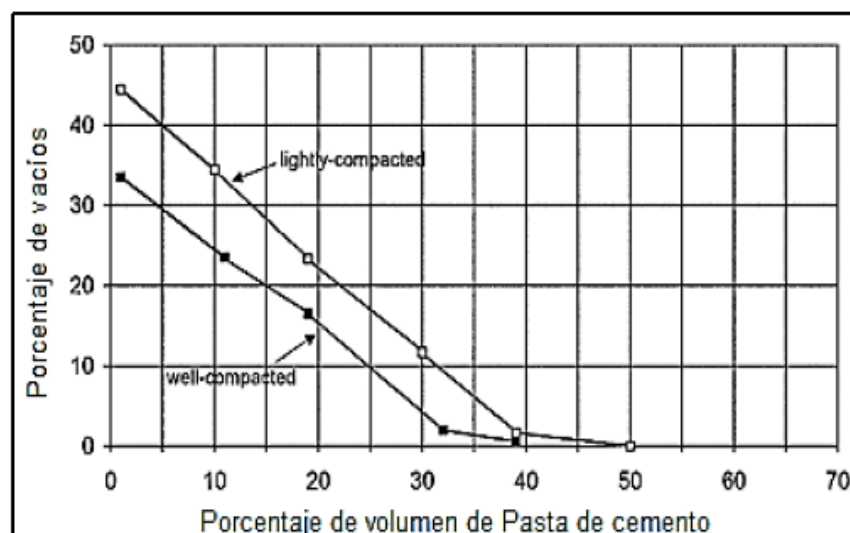


Figura 18. Relación entre el volumen de pasta y el contenido de vacíos para agregado grueso Huso N°8. (ACI522R-10, 2010)



El porcentaje de vacíos teórico, es el considerado dentro de nuestras limitaciones de estudio, que es de 15% para un concreto bien compactado.

Para nuestro caso nos corresponde un porcentaje de pasta de cemento del 20% correspondiente a un porcentaje de vacíos del 15%.

Paso 3: Obtención del Peso de Cemento

Teniendo el volumen de la pasta de cemento hallado en el paso anterior; se puede despejar el peso del cemento en función del volumen de pasta, el peso específico del cemento y la relación w/c.

Vol. de la pasta $V_p(m^3) = \text{Volumen de cemento} + \text{Volumen de agua} \dots$ (Ec. 3)

$$\text{Vol. de la pasta } V_p(m^3) = \frac{\text{Peso}_{\text{cemento}}}{\text{Peso específico}_{\text{cemento}} * 1000 \text{kg/m}^3} + \frac{\text{Peso}_{\text{agua}}}{1000 \text{kg/m}^3} \dots \text{ (Ec. 4)}$$

Reemplazando el peso del agua = w/c * Peso del cemento “c” y despejando la variable peso del cemento “c”, se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Peso}_{\text{cemento}}(Kg) = \frac{\text{Volumen de la pasta } V_p(m^3)}{\frac{1}{3.15} + w/c} * 1000 \frac{kg}{m^3} \dots \text{ (Ec. 5)}$$

Obtenido el peso del cemento con la ecuación 5, se procede al cálculo del peso del agua.

Paso 4: Obtención del Peso del Agua

Se tiene de dato la relación agua/cemento w/c=0.35 (el mínimo recomendado por el ACI211.3R-02) y el peso del cemento hallado en la Ec. 5; por lo que el peso de agua “w” se obtiene con la siguiente ecuación.



$$Peso_{agua} W \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = Peso_{cemento} \left(\frac{kg}{m^3} \right) * \left(\frac{w}{c} \right) \dots (Ec. 6)$$

Paso 5: Obtención del Contenido de Arena

Se tiene como dato la relación arena/Agregado Global “a/A” (a/A= 0.05, 0.10 y 0.15) y el volumen de la grava “g” hallada en la Ec.2; por lo tanto, el volumen de la arena “a” se despeja como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Volumen_{arena}(m^3) = Volumen_{grava}(m^3) * \left(\frac{a}{A} \right) / \left(1 - \frac{a}{A} \right) \dots (Ec. 7)$$

$$Peso_{arena}(kg) = Volumen_{arena}(m^3) * Peso\ Específico_{arena}(kg/m^3) \dots (Ec. 8)$$

Paso 6: Adición de Aditivo

Consiste en añadir como relación Aditivo Plastificante/Cemento “A.P./C” (A.P./C= 0.005, 0.0075 y 0.01), su adición en la mezcla modifica el peso del agua calculado en la Ec.6, que será luego definido mediante las mezclas de prueba.

Paso 7: Verificación del Volumen a 1m3

Luego de seguir los primeros seis pasos, se han obtenido los volúmenes de grava, cemento, agua, arena y aditivo. Entonces, se calcula el porcentaje de vacíos de diseño realizando la diferencia de 1m3 menos la suma de volúmenes antes mencionados (EC. 9) y se compara con el porcentaje de vacíos teóricos.

$$\%Vacíos\ de\ diseño = 1 - [Vol_{grava} + Vol_{cemento} + Vol_{agua} + Vol_{arena} + Vol_{aditivo}] \dots (Ec. 9)$$



Paso 8: Ajustes de la Cantidad de Agua de Mezclado Debido a la Humedad de los Agregados

Los agregados presentan porosidades donde pueden captar agua en su interior. Además, debido a un factor externo como el ambiente, presentan una humedad natural. En ese sentido, se realiza una corrección por humedad, ya que se asume que los agregados estarán es estado saturado durante de la mezcla, de modo que no cedan ni capten el agua de mezclado. Las correcciones por humedad y absorción son las siguientes:

$$\text{Peso humedo}_{Grava}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{Peso}_{grava}(\text{kg}/\text{m}^3) * \left(1 + \frac{w_o}{100}\right) \dots (\text{Ec. 10})$$

$$\text{Peso humedo}_{Arena}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{Peso}_{arena}(\text{kg}/\text{m}^3) * \left(1 + \frac{w_o}{100}\right) \dots (\text{Ec. 11})$$

$$\text{Peso correg}_{Agua}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{Peso}_{arena}(\text{Hm}) + \text{Peso}_{grava}(\text{Hm}) + \text{Peso}_{agua} \dots (\text{Ec. 12})$$

$$\text{Donde: } Hm = \frac{w_a - w_o}{100}$$

Conocido los 8 pasos para el diseño de mezclas descritos anteriormente, se procedió a calcular las proporciones de los materiales y a la posterior elaboración de las mezclas de prueba.

De acuerdo a nuestro interés de estudio, se elaboraron mezclas con contenidos de arena del 5%, 10% y 15% y aditivo plastificante con 0.5%, 0.75% y 1.0% adicionados a la mezcla base compuesto por: piedra chancada de Huso 8, cemento Portland Tipo I y relación agua/cemento 0.35.



Enseguida se pasa a explicar los diseños de mezclas con contenidos de arena y aditivo plastificante.

Mezclas con Contenidos de Arena: como ya se explicó, los diseños de mezcla se harán siguiendo los ocho pasos anteriormente descritos.

Se procede a explicar las proporciones obtenidas para la mezcla con 5% de arena, ya que para las mezclas con 10% y 15% los pasos son similares.

Paso 1: Obtención del Contenido del Agregado Grueso

El peso y volumen de la grava se determinan a partir de la ecuación (Ec.1) y (Ec. 2) como se ve a continuación:

$$Peso_{grava}(Kg) = Peso_{unitario}_{grava} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) * \frac{b}{b_o} * 1m^3 \dots (Ec. 1)$$

$$Peso_{grava}(Kg) = 1436 \frac{kg}{m^3} * 0.9625 * 1m^3$$

$$Peso_{grava}(Kg) = 1386.5 kg$$

$$Volumen_{grava}(Kg) = \frac{Peso_{grava}(Kg)}{p, e. grava * 1000Kg/m^3} \dots (Ec. 2)$$

$$Volumen_{grava}(Kg) = \frac{1386.5kg}{2660 * 1000Kg/m^3}$$

$$Volumen_{grava}(Kg) = 0.52m^3$$

El peso unitario (peso unitario compactado) y peso específico de la grava, se tomaron de la Tabla 12 que son 1436 kg/m³ y 2660 kg/m³ respectivamente, el valor de b/b_o se obtuvo de la



Tabla 14 pero no de manera directa, sino que fue necesario interpolar para un contenido de arena del 5%, tamaño nominal de grava 3/8" y para un concreto bien compactado obtenemos un valor para $b/b_o = 0.9625$.

Paso 2: Obtención del Volumen de Pasta

El volumen de pasta está en función del contenido de vacíos teórico y del tipo de compactación que para nuestro caso es del 15% para un concreto bien compactado.

En la figura 20 se muestra que nos corresponde un contenido de pasta del 20%, el cual ocupa un volumen de 0.20m^3 dentro del volumen total de mezcla.

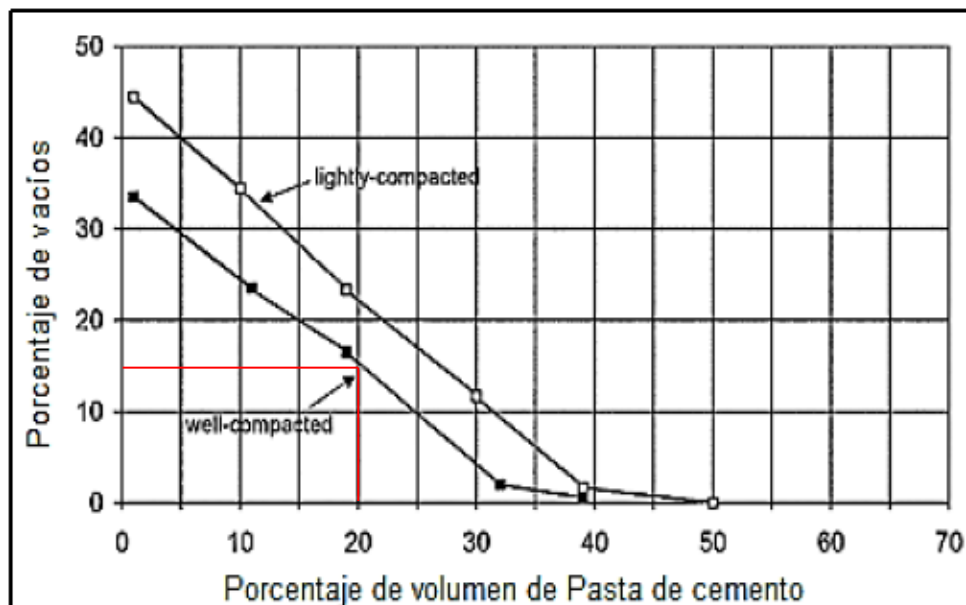


Figura 19. Contenido de Pasta Para un Porcentaje de Vacíos del 15% Para un Concreto Bien Compactado. (ACI522R-10, 2010)

De este paso debemos resaltar los valores de los volúmenes de vacío y pasta, que nos servirán para la verificación a la unidad descrito en el paso 7.

$$V. \text{vacios (m}^3\text{)} = 0.15\text{m}^3$$

$$V. \text{pasta (m}^3\text{)} = 0.20\text{m}^3$$



Con los valores de los volúmenes de vacío y pasta de cemento determinados se procede a calcular el peso del cemento y agua.

Paso 3: Obtención del Peso de Cemento

Teniendo el volumen de la pasta de cemento hallado en el paso anterior; se calcula el peso del cemento mediante la ecuación (Ec. 5), considerando una relación agua/cemento de 0.35 definido anteriormente.

$$Peso_{cemento}(Kg) = \frac{Volumen\ de\ la\ pasta\ Vp\ (m3)}{\frac{1}{3.15} + w/c} * 1000 \frac{kg}{m3} \dots (Ec. 5)$$

$$Peso_{cemento}(Kg) = \frac{0.20}{\frac{1}{3.15} + 0.35} * 1000 \frac{kg}{m3}$$

$$Peso_{cemento}(Kg) = 299.64\ kg$$

El volumen del cemento lo obtenemos al dividir el peso del cemento entre su peso específico que es de 3150 kg/m3 según lo especificado por el fabricante en condiciones normales.

$$Volumen_{cemento}(m3) = 0.095m3$$

Obtenido el peso y volumen del cemento, se procede al cálculo del peso del agua.

Paso 4: Obtención del Peso del Agua

Se tiene de dato la relación agua/cemento $w/c=0.35$; por lo que el peso del agua “w” se obtiene de la ecuación (Ec. 6).

$$Peso_{agua}W \left(\frac{Kg}{m3} \right) = Peso_{cemento} \left(\frac{kg}{m3} \right) * \left(\frac{w}{c} \right) \dots (Ec. 6)$$



$$Peso_{agua} W \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 299.64 \text{ kg} * 0.35$$

$$Peso_{agua} W \left(\frac{Kg}{m^3} \right) = 104.88 \text{ kg}$$

El volumen del agua lo obtenemos al dividir el peso del agua entre su peso específico que es de 1000 kg/m³.

Paso 5: Obtención del Contenido de Arena

Recordemos que el diseño que estamos realizando es para una mezcla con un contenido de fino con una relación arena/Agregado Global de 5%, el cual lo obtendremos a partir de las ecuaciones (Ec. 7) y (Ec. 8).

$$Volumen_{arena}(m^3) = Volumen_{grava}(m^3) * \left(\frac{a}{A} \right) / \left(1 - \frac{a}{A} \right) \dots (Ec. 7)$$

$$Volumen_{arena}(m^3) = 0.52m^3 * (0.05)/(1 - 0.05)$$

$$Volumen_{arena}(m^3) = 0.027m^3$$

Una vez determinado el volumen de la arena, finalmente se obtiene su peso mediante la ecuación (Ec. 8).

$$Peso_{arena}(kg) = Volumen_{arena}(m^3) * Peso Específico_{arena}(kg/m^3) \dots (Ec. 8)$$

$$Peso_{arena}(kg) = 0.027m^3 * 2610kg/m^3$$

$$Peso_{arena}(kg) = 71.38kg$$



Paso 6: Adición de Aditivo

Para este primer grupo de diseño de mezclas (mezclas con contenido de arena) no se considera la adición de aditivo plastificante, lo que se hará a continuación es la verificación del volumen de mezcla a 1m³.

Paso 7: Verificación del Volumen a 1m³

Este paso es muy importante, porque nos permite comparar el contenido de vacíos teórico con el contenido de vacíos de diseño, empleando la ecuación (Ec. 9).

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 1 - [Vol_{grava} + Vol_{cemento} + Vol_{agua} + Vol_{arena} + Vol_{aditivo}] \dots (\text{Ec. 9})$$

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 1 - [0.52 + 0.095 + 0.105 + 0.027 + 0]$$

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 25.30\%$$

Como se ha podido apreciar del cálculo anterior, el porcentaje de vacíos de diseño nos resulta 25.30% que es un valor muy elevado en comparación del porcentaje de vacíos teórico que es del 15%, esto quiere decir que existe un exceso de vacíos del 10.30% los cuales no se llenan ni con pasta ni con agregado.

Guizado y Curi (2017), nos sugiere realizar dos opciones para compensar el volumen de exceso de vacíos, los cuales son los siguientes:

- 1.- Aumentar la cantidad de pasta y agregados en la misma proporción que estaban inicialmente, tal que pueda llenar el exceso de vacíos que se incrementaba para mantener el volumen de vacíos teórico inicial.
- 2.- Aumentar solo la cantidad de pasta, tal que pueda llenar el contenido de vacíos que



se incrementaba para mantener el volumen de vacíos teórico inicial.

Es así que se decidió adoptar la propuesta (1) la de aumentar la cantidad de pasta y agregados en la misma proporción que estaban inicialmente, debido a que la opción (2) haría que el contenido de pasta en la mezcla sea elevado y podría ocasionar una disminución de los vacíos interconectados y afectar la permeabilidad, además de un alto calor de hidratación al momento de vaciar el concreto.

Con lo explicado en el párrafo anterior, se realiza la compensación del volumen de vacíos en exceso, que para este diseño es del 10.30%.

Tabla 15.
Compensación de Volumen por Exceso de Vacíos para la Mezcla con 5% de Arena

Volumen Inicial			Volumen de Exceso		Volumen Final	
V-agreg. =	54.70%	+	7.55%	=	62.24%	
V-pasta=	20.00%	+	2.76%	=	22.76%	
% Vacíos=	15.00%	+	0.00%	=	15.00%	
	<u>89.70%</u>		<u>10.30%</u>		<u>100.00%</u>	

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 15 podemos concluir que, debido a la compensación de volumen por exceso de vacíos, el volumen del agregado global se incrementa en un 7.55%, mientras que la pasta lo hace en un 2.76%.

El incremento en el volumen del agregado global y pasta de cemento implica directamente el aumento del volumen de la grava, arena, cemento y agua tal como se observa en la Tabla 16.



Tabla 16
Materiales Compensados por Exceso de Vacíos para la Mezcla con 5% de Arena

Material	Volumen y Peso por m ³ de Concreto	
	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Grava	0.5913	1572.83
Arena	0.0311	81.22
Cemento	0.1082	340.98
Agua	0.1193	119.34

Fuente: Elaboración Propia

Luego se realiza una nueva verificación del volumen a 1m³, para esto usaremos nuevamente la ecuación (Ec. 9).

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 1 - [Vol_{grava} + Vol_{cemento} + Vol_{agua} + Vol_{arena} + Vol_{aditivo}]$$

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 1 - [0.5913 + 0.1082 + 0.1193 + 0.0311 + 0]$$

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 15\%$$

Finalmente, el porcentaje de vacíos de diseño y teórico coinciden, entonces la verificación a 1m³ se ha cumplido, tal como se aprecia en la Tabla 17.

Tabla 17
Volumen de los materiales por m³ de Concreto

Material	Volumen
V. grava =	0.5913m ³
V. arena =	0.0311m ³
V. cemento =	0.1082m ³
V. agua =	0.1193m ³
V. vacíos =	0.1500m ³
V. mezcla =	1.0000m ³

Fuente: Elaboración Propia

El último paso consiste el corregir los pesos de la grava, arena y el agua debido a la humedad y absorción de los agregados.



Paso 8: Ajustes de la Cantidad de Agua de Mezclado Debido a la Humedad de los Agregados

Con los valores de humedad y absorción de los agregados mostrados en la Tabla 12 y mediante las ecuaciones (Ec. 10), (Ec.11) y (Ec.12) se procedió al cálculo de los ajustes.

$$\text{Peso humedo}_{Grava}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{Peso}_{grava}(\text{kg}/\text{m}^3) * \left(1 + \frac{w_o}{100}\right) \dots (\text{Ec. 10})$$

$$\text{Peso humedo}_{Grava}(\text{kg}/\text{m}^3) = 1572.83 \text{ kg}/\text{m}^3 * \left(1 + \frac{0.36}{100}\right)$$

$$\text{Peso humedo}_{Grava}(\text{kg}/\text{m}^3) = 1578.49 \text{ kg}$$

$$\text{Peso humedo}_{Arena}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{Peso}_{arena}(\text{kg}/\text{m}^3) * \left(1 + \frac{w_o}{100}\right) \dots (\text{Ec. 11})$$

$$\text{Peso humedo}_{Arena}(\text{kg}/\text{m}^3) = 81.22 \text{ kg}/\text{m}^3 * \left(1 + \frac{1.77}{100}\right)$$

$$\text{Peso humedo}_{Arena}(\text{kg}/\text{m}^3) = 81.52 \text{ kg}$$

$$\text{Peso correg}_{Agua}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{Peso}_{arena}(\text{Hm}) + \text{Peso}_{grava}(\text{Hm}) + \text{Peso}_{agua} \dots (\text{Ec. 12})$$

$$\text{Peso correg}_{Agua}(\text{kg}/\text{m}^3) = 81.22 * \left(\frac{1.13 - 1.77}{100}\right) + 1572.83 * \left(\frac{.84 - .36}{100}\right) + 119.34$$

$$\text{Peso correg}_{Agua}(\text{kg}/\text{m}^3) = 126.37 \text{ kg}$$

Luego de concluido los 8 pasos del diseño de mezcla, la Tabla 18 muestra las proporciones finales de los materiales para la mezcla con 5% de arena a la que llamaremos Mb5 (Mezcla base con 5% de arena).



Tabla 18
Diseño de Mezcla Base con 5% de Arena (Mb5)

Diseño Mb5	Para 1m3 de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1578.49	kg	9.21	kg
Cemento	340.98	kg	1.99	kg
Agua	126.37	lt	0.74	lt
Arena	81.52	kg	0.48	kg

Fuente: Elaboración Propia

De la misma manera siguiendo los 8 pasos del diseño de mezclas, se determinó las proporciones para las mezclas con contenidos de arena del 10 y 15% a los que llamaremos Mb10 y Mb15 respectivamente.

Tabla 19
Diseño de Mezcla Base con 10% de Arena (Mb10)

Diseño Mb10	Para 1m3 de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1503.27	kg	8.77	kg
Cemento	336.08	kg	1.96	kg
Agua	123.77	lt	0.72	lt
Arena	163.89	kg	0.96	kg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20
Diseño de Mezcla Base con 15% de Arena (Mb15)

Diseño Mb15	Para 1m3 de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1425.73	kg	8.31	kg
Cemento	332.14	kg	1.94	kg
Agua	121.49	lt	0.71	lt
Arena	246.87	kg	1.44	kg

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenido los diseños para las mezclas con porcentajes de arena del 5%, 10%



y 15%, mostrados en las tablas 18, 19 y 20 respectivamente, se procede al diseño de mezclas con aditivo plastificante.

Mezclas con Aditivo Plastificante Chema Plast: al igual que para las mezclas con arena, los diseños se harán siguiendo los ocho pasos anteriormente descritos.

Los porcentajes de aditivo plastificante usados en esta investigación son del 0.5%, 0.75% y 1% respecto al peso del cemento, conforme a la dosis recomendada por el fabricante que recomienda usar de 145ml a 360ml de aditivo plastificante Chema Plast por bolsa de cemento.

Se procede a explicar las proporciones obtenidas para la mezcla con 0.5% de aditivo plastificante, ya que para las mezclas con 0.75% y 1.0% los pasos son similares.

Paso 1: Obtención del Contenido del Agregado Grueso

El peso y volumen de la grava se determinan a partir de la ecuación (Ec.1) y (Ec. 2) como se ve a continuación:

$$Peso_{grava}(Kg) = Peso_{unitario}_{grava} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) * \frac{b}{bo} * 1m^3 \dots (Ec. 1)$$

$$Peso_{grava}(Kg) = 1436 \frac{kg}{m^3} * 0.99 * 1m^3$$

$$Peso_{grava}(Kg) = 1421.64 kg$$

$$Volumen_{grava}(Kg) = \frac{Peso_{grava}(Kg)}{p, e. grava * 1000Kg/m^3} \dots (Ec. 2)$$



$$Volumen_{grava}(Kg) = \frac{1421.64kg}{2660 * 1000Kg/m^3}$$

$$Volumen_{grava}(Kg) = 0.534m^3$$

El peso unitario (peso unitario compactado) y peso específico de la grava, se tomaron de la Tabla 12 que son 1436 kg/m³ y 2660 kg/m³ respectivamente, el valor de b/bo se obtuvo de la Tabla 14 de manera directa b/bo= 0.99.

Paso 2: Obtención del Volumen de Pasta

Al igual que para el diseño de mezclas con arena, el contenido de vacíos teórico y del tipo de compactación que para nuestro caso es del 15% para un concreto bien compactado.

En la figura 20 se muestra que nos corresponde un contenido de pasta del 20%, el cual ocupa un volumen de 0.20m³ dentro del volumen total de mezcla.

$$Volumen\ de\ vacios\ (m^3) = 0.15m^3$$

$$Volumen\ de\ pasta\ (m^3) = 0.20m^3$$

Con los valores de los volúmenes de vacío y pasta de cemento determinados se procede a calcular el peso del cemento y agua.

Paso 3: Obtención del Peso de Cemento

Teniendo el volumen de la pasta de cemento hallado en el paso anterior; se calcula el peso del cemento mediante la ecuación (Ec. 5), considerando una relación agua/cemento de 0.35 definido anteriormente.



$$Peso_{cemento}(Kg) = \frac{Volumen\ de\ la\ pasta\ Vp\ (m3)}{\frac{1}{3.15} + w/c} * 1000 \frac{kg}{m3} \dots (Ec. 5)$$

$$Peso_{cemento}(Kg) = \frac{0.20}{\frac{1}{3.15} + 0.35} * 1000 \frac{kg}{m3}$$

$$Peso_{cemento}(Kg) = 299.64\ kg$$

El volumen del cemento lo obtenemos al dividir el peso del cemento entre su peso específico que es de 3150 kg/m3 según lo especificado por el fabricante en condiciones normales.

$$Volumen_{cemento}(m3) = 0.095m3$$

Obtenido el peso y volumen del cemento, se procede al cálculo del peso del agua.

Paso 4: Obtención del Peso del Agua

Se tiene de dato la relación agua/cemento $w/c=0.35$; por lo que el peso del agua “w” se obtiene de la ecuación (Ec. 6).

$$Peso_{agua}W\left(\frac{Kg}{m3}\right) = Peso_{cemento}\left(\frac{kg}{m3}\right) * \left(\frac{w}{c}\right) \dots (Ec. 6)$$

$$Peso_{agua}W\left(\frac{Kg}{m3}\right) = 299.64\ kg * 0.35$$

$$Peso_{agua}W\left(\frac{Kg}{m3}\right) = 104.88\ kg$$

El volumen del agua lo obtenemos al dividir el peso del agua entre su peso específico que es de 1000 kg/m3.



Paso 5: Obtención del Contenido de Arena

Recordemos que el diseño que estamos realizando es para una mezcla con adición de aditivo plastificante en porcentajes ya explicadas, el contenido de arena es nula, es decir que la relación $a/A=0$.

Paso 6: Adición de Aditivo

La proporción del aditivo está condicionado al peso del cemento, en este caso estamos calculando el peso del aditivo plastificante Chema Plast para un 0.5% del peso de cemento calculado en el paso 3.

De las especificaciones del aditivo Chema Plast conocemos que su densidad es de 1.20 kg/Lt, entonces a continuación se muestra el cálculo del peso del aditivo a usar.

$$\text{Peso de Aditivo} = 0.50\% * \text{Peso del Cemento}$$

$$\text{Peso de Aditivo} = 0.50\% * 299.64Kg$$

$$\text{Peso de Aditivo} = 1.497Kg$$

El volumen que ocupa el aditivo en la mezcla se determina dividiendo su peso entre su densidad.

$$\text{Volumen de Aditivo} = \frac{1.497Kg}{1.20kg/Lt}$$

$$\text{Volumen de Aditivo} = 1.2475Lt = 0.00124m^3$$

Paso seguido se realiza la verificación del volumen a 1m³ de concreto, por facilidad



no se considerara el volumen del aditivo ya que tiene un volumen muy pequeño, pero si para la verificación a 1m³ luego de la compensación por exceso de vacíos calculados en el paso 7.

Paso 7: Verificación del Volumen a 1m³

Este paso es muy importante, porque nos permite comparar el contenido de vacíos teórico con el contenido de vacíos de diseño, empleando la ecuación (Ec. 9).

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 1 - [Vol_{grava} + Vol_{cemento} + Vol_{agua} + Vol_{arena} + Vol_{aditivo}] \dots (\text{Ec. 9})$$

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 1 - [0.534 + 0.095 + 0.105 + 0 + 0]$$

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 26.55\%$$

Como se ha podido apreciar del cálculo anterior, el porcentaje de vacíos de diseño nos resulta 26.55% que es un valor muy elevado en comparación del porcentaje de vacíos teórico que es del 15%, esto quiere decir que existe un exceso de vacíos del 11.55% los cuales no se llenan ni con pasta ni con agregado.

Como ya se vio anteriormente, Guizado y Curi (2017), nos sugiere realizar dos opciones para compensar el volumen de exceso de vacíos es así que se decidió adoptar la propuesta (1) que consiste en aumentar la cantidad de pasta y agregados en la misma proporción que estaban inicialmente.

La Tabla 21 muestra la compensación del volumen de vacíos en exceso, que para este caso es 11.55%.



Tabla 21

Compensación de Volumen por Exceso de Vacío para la Mezcla con 0.5% de Aditivo

Volumen Inicial			Volumen de Exceso			Volumen Final	
V-agreg. =	53.445%	+	8.408%	=	61.853%		
V-pasta=	20.000%	+	3.147%	=	23.147%		
% Vacíos=	15.000%	+	0.000%	=	15.000%		
	<u>88.445%</u>		<u>11.555%</u>		<u>100.000%</u>		

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 21 podemos concluir que, debido a la compensación de volumen por exceso de vacíos, el volumen del agregado global se incrementa en un 8.408%, mientras que la pasta lo hace en un 3.147%.

El incremento en el volumen del agregado global y pasta de cemento implica directamente el aumento del volumen de la grava, arena, cemento y agua tal como se observa en la Tabla 22.

Tabla 22

Materiales Compensados por Exceso de Vacíos para la Mezcla con 0.5% de Aditivo

Material	Volumen y Peso por m ³ de Concreto	
	Volumen (m ³)	Peso (kg)
Grava	0.6185	1645.30
Cemento	0.1101	346.79
Agua	0.1214	121.37
Aditivo	0.0014	1.73

Fuente: Elaboración Propia

Luego se realiza una nueva verificación del volumen a 1m³, para esto usaremos nuevamente la ecuación (Ec. 9).

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 1 - [Vol_{grava} + Vol_{cemento} + Vol_{agua} + Vol_{arena} + Vol_{aditivo}]$$

$$\% \text{Vacíos de diseño} = 1 - [0.6185 + 0.1101 + 0.1214 + 0 + 0.00144]$$



$\% \text{Vacíos de diseño} = 15\%$

Finalmente, el porcentaje de vacíos de diseño y teórico coinciden, entonces la verificación a 1m^3 se ha cumplido, tal como se aprecia en la Tabla 23.

Tabla 23
Volumen de los materiales por m^3 de Concreto

Material	Volumen
V. grava =	0.6185 m^3
V. arena =	0.0000 m^3
V. cemento =	0.1101 m^3
V. agua =	0.1199 m^3
V. aditivo =	0.0014 m^3
V. grava =	1.0000 m^3

Fuente: Elaboración Propia

El último paso consiste en corregir los pesos de la grava, arena y el agua debido a la humedad y absorción de los agregados.

Paso 8: Ajustes de la Cantidad de Agua de Mezclado Debido a la Humedad de los Agregados

Con los valores de humedad y absorción de los agregados mostrados en la Tabla 12 y mediante las ecuaciones (Ec. 10) y (Ec.12) se procedió al cálculo de los ajustes.

$$\text{Peso humedo}_{Grava}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{Peso}_{grava}(\text{kg}/\text{m}^3) * \left(1 + \frac{w_0}{100}\right) \dots (\text{Ec. 10})$$

$$\text{Peso humedo}_{Grava}(\text{kg}/\text{m}^3) = 1645.30 \text{ kg}/\text{m}^3 * \left(1 + \frac{0.36}{100}\right)$$

$$\text{Peso humedo}_{Grava}(\text{kg}/\text{m}^3) = 1651.23 \text{ kg}$$

$$\text{Peso correg}_{Agua}(\text{kg}/\text{m}^3) = \text{Peso}_{arena}(\text{Hm}) + \text{Peso}_{grava}(\text{Hm}) + \text{Peso}_{agua} \dots (\text{Ec. 12})$$



$$\text{Peso correg}_{\text{Agua}}(\text{kg}/\text{m}^3) = 0 + 1645.30 * \left(\frac{.84 - .36}{100} \right) + 121.37$$

$$\text{Peso correg}_{\text{Agua}}(\text{kg}/\text{m}^3) = 127.83 \text{ kg}$$

Luego de concluido los 8 pasos del diseño de mezcla, la Tabla 24 muestra las proporciones finales de los materiales para la mezcla con 0.5% de aditivo plastificante Chema Plast a la que llamaremos Mb0.5 (Mezcla base con 0.5% de aditivo plastificante).

Tabla 24

Diseño de Mezcla Base con 5% de Aditivo Plastificante (Mb0.5)

Diseño Mb0.5	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1651.23	kg	9.63	kg
Cemento	346.79	kg	2.02	kg
Agua	127.83	Lt	0.75	lt
Aditivo	1.44	Lt	8.43	ml

Fuente: Elaboración Propia

De la misma manera siguiendo los 8 pasos del diseño de mezclas, se determinó las proporciones para las mezclas con aditivo plastificante del 0.75% y 1.0% a los que llamaremos Mb0.75 y Mb1.0 respectivamente y que se muestran a continuación en las Tablas 25 y 26.

Tabla 25

Diseño de Mezcla Base con 0.75% de Aditivo Plastificante (Mb0.75)

Diseño Mb0.75	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1651.23	kg	9.63	kg
Cemento	346.79	kg	2.02	kg
Agua	127.10	Lt	0.74	Lt
Aditivo	2.17	Lt	12.64	ml

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 26
Diseño de Mezcla Base con 1.0% de Aditivo Plastificante (Mb1.0)

Diseño Mb1.0	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1651.23	kg	9.63	kg
Cemento	346.79	kg	2.02	kg
Agua	126.38	Lt	0.74	Lt
Aditivo	2.89	Lt	16.85	ml

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenido los diseños de mezclas teórico, se procede a ejecutar las mezclas en el laboratorio. El procedimiento se explica a continuación.

2.4.6.Elaboración de Probetas NTP 339.033 (ASTM C192):

Los procedimientos aquí descritos serán los mismos para las probetas de prueba y probetas definitivas. Se emplearon los procedimientos conforme a las normas MTC E702 y NTP 339.183, bajo condiciones de laboratorio teniendo un adecuado control de los materiales para cada probeta diseñada debiéndose de lavar los instrumentos por cada diseño.

Enseguida se procede a describir los materiales e instrumentos utilizados:

Materiales:

- Agregado grueso (piedra chancada o grava).
- Agregado fino (arena gruesa).
- Cemento Portland Tipo I.
- Agua potable.
- Aditivo plastificante Chema Plast





Figura 20. Foto de la medición del Peso de los Materiales. Elaboración propia.



Figura 21. Foto de la medición de la Dosis del Aditivo plastificante

Instrumentos:

- Moldes de probeta de 6"x12".
- Mezcladora de concreto.
- Martillo Proctor.
- Martillo de goma.
- Cono de Abrams
- Espátula.
- Pala cuchara.
- Buggy.
- balanza y regla metálica.





Figura 22. Foto de la mezcladora de Concreto, de 1pie³ de capacidad. Elaboración propia.



Figura 23. Foto de los moldes de Probeta Metálico, de 6"x12" y 4"x8". Elaboración propia.

Se ha visto necesario incluir al igual que para el caso de diseño de mezclas teóricas los pasos para la elaboración de probetas en el laboratorio.

Paso 1: Pesado de Materiales

Se procede a pesar cada uno de los materiales de acuerdo al diseño de mezclas correspondientes con balanzas de capacidad 30kg tal como se aprecia en las figuras 20 y 21.

Paso 2: Mezclado del Concreto

Teniendo ya los materiales listos pesados, se procede a limpiar el fondo de la mezcladora para luego recibir los materiales en el orden y tiempo que se pasa a explicar:



1. Se inició colocando la arena, la grava y el agua de absorción, y se dejó mezclar por 1 minutos.
2. Después, se añadió el cemento y el agua restante, y se dejó mezclar durante 2 minutos.
3. Luego, se dejó en reposos durante 1 minutos para evitar el falso fraguado del cemento. Posterior al reposo, se reinició el mezclado y se mezcló durante 3 minutos finales (Aire, Mendoza, & Daniel, 2012).

En el caso de las mezclas con aditivos, se añadió junto con el agua restante explicado en el punto 2.

Debido a la consistencia seca de nuestras mezclas la pasta tendía a pegarse en las paredes de la mezcladora y fue necesario dar golpes suaves con martillo de goma sobre la cara exterior de la mezcladora durante el tiempo de mezclado.



Figura 24. Foto del habilitado de la Mezcladora de Concreto. Elaboración propia.



Figura 25. Foto control del Tiempo de Mezclado. Elaboración propia



Paso 3: Medición del Slump del Concreto

De acuerdo a las especificaciones del ACI 522R-10 y por tratarse de una mezcla seca el Slump para este tipo de concreto es cero.

Luego de concluido el tiempo de mezclado y antes de medir el Slump, se vierte el concreto a un buggy para un nuevo remezclado con un cucharon de mano, esto debido a que la mezcla no tiene una consistencia uniforme. Enseguida se mide el Slump del concreto.



Figura 26. Foto de la colocación de Concreto en Buggy. Elaboración propia.



Figura 27. Foto de la medición del Slump del Concreto. Elaboración propia.

Paso 4: Elaboración de las probetas Concreto

La elaboración de las probetas se realizó en el Centro Especializado de Geotecnia, Pavimentos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán – Huánuco. Se emplearon los procedimientos conforme a las normas MTC E702 y NTP 339.183.



Se utilizaron probetas estándar de 6"x12" y 4"x8", los mismos que se utilizaron para el ensayo de compresión y permeabilidad, respectivamente.

Para la compactación se usó el Martillo Proctor, como ya se explicó en el inciso 2.4 y que se resume en la Tabla 27.

Tabla 27
Resumen de Compactación de Probetas Cilíndricas

Dimensión de Probetas	Tipo de Martillo	Número de Capas	Número de Golpes por Capa
6"x12"	Próctor	3	17
4"x8"	Próctor	2	8

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se muestra en las figuras 28 y 29 se procedió al llenado de las probetas para su posterior curado.



Figura 28. Foto del compactado del Concreto.
Elaboración propia.



Figura 29. Foto del enrasado de las Probetas.
Elaboración propia.

Luego de elaborado las probetas, se deja reposar durante 24 horas para luego proceder al curado.



Paso 5: Curado del Concreto

La norma NTP 339.183 establece las recomendaciones y procedimientos para el curado de especímenes (probetas) de concreto en el laboratorio.

Los especímenes se desmoldaron después de 24 horas del vaciado y se les ubicó en la poza de curado llena de agua.



Figura 30. Foto del curado de las probetas cilíndricas. Elaboración propia.

Paso 6: Refrentado de las Probetas Cilíndricas

Debido a lo irregular de la superficie del concreto permeable, es necesario el uso de un material que impida la ocurrencia de fallas en las muestras debido a concentración de esfuerzos en las zonas irregulares. La norma NTP 339.037 establece las recomendaciones y procedimientos para el refrentado de probetas.

En nuestro caso se usó una mezcla de yeso piedra extra duro, cemento y agua. Posteriormente debido al alto costo del yeso piedra y por recomendación del



laboratorio se cambió a una mezcla de yeso de construcción, cemento y agua.



Figura 31. Foto de la preparación de la mezcla para el refrentado. Elaboración propia



Figura 32. Foto de las probetas refrentadas. Elaboración propia.

Estos son los siete pasos que se seguirán para la elaboración de las probetas de las mezclas de prueba y mezclas definitivas.

Mezclas de Prueba:

Una vez definido los pasos para la elaboración de probetas y antes de hacer el vaciado de las mezclas definitivas, se realizan pruebas de mezcla que nos van a permitir verificar las propiedades en estado fresco de la mezcla con respecto al diseño de la mezcla teórica, así como disminuir incertidumbres y variables para evitarlos en la etapa de las mezclas definitivas de diseño.

La elaboración de las mezclas de prueba se realizó en el Centro Especializado de Geotecnia, Pavimentos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán – Huánuco, teniendo como mezclas de diseño teórico las tablas 18, 19, 20, 24, 25 y 26.

Se realiza 03 probetas de prueba para cada diseño, considerando un desperdicio del



10% de residuo conforme a lo especificado por la ASTM C192 y de acuerdo a las normas MTC E702 y NTP 339.183; teniendo en cuenta el control de los materiales bajo condiciones del laboratorio.

Analizaremos por separado las mezclas de prueba con arena y las mezclas con aditivo plastificante.

Mezclas de Prueba con Arena:

Las Tablas 18,19 y 20 nos muestran las proporciones usadas en este diseño. Se siguió el procedimiento de elaboración de probetas indicado el inciso 2.4.6. A continuación se explica las situaciones presentadas:

1. La mezcla Mb5 presentó una consistencia muy seca, como se aprecia en la figura 33 el concreto se desmorona fácilmente. Al aumentar el contenido de arena en la mezcla, ésta tiende a estabilizarse tal como se aprecia en la figura 34 que corresponde a la mezcla Mb15.
2. Con la idea de mejorar la consistencia de la mezcla Mb5, se decidió aumentar el contenido de pasta hasta un 23%, pero aún mostraba una apariencia un poco seca, finalmente se aumentó la relación agua/cemento de 0.35 a 0.37, el cual sí nos proporcionaba una pasta más viscosa y con Slump de 1cm.
3. Para las mezclas Mb10 y Mb15 se mantuvo la misma relación agua/cemento de la mezcla Mb5 y la pasta se redujo en 1% para la mezcla Mb10 y en 2% para la mezcla Mb15, de acuerdo a las recomendaciones del ACI211.3R-02, (2009) que



refiere: Cuando se usa agregado fino, el volumen de pegado debería reducirse en un 2% por cada 10% de agregado fino del agregado total para concreto permeable bien compactado. Los resultados de los ensayos a compresión a los 7 días, se muestran en la Tabla 28.

De lo explicado en los párrafos anteriores se concluye la mezcla definitiva tendrá una nueva relación agua/cemento de 0.37 y el contenido de pasta será de 23, 22 y 21% para las mezclas Mb5, Mb10 y Mb15 respectivamente.



Figura 33. Foto de la mezcla de prueba Mb5. Elaboración propia.



Figura 34. Foto de la mezcla de prueba Mb15. Elaboración propia.

Mezclas de Prueba con Aditivo Plastificante:

Las Tablas 24,25 y 26 nos muestran las proporciones usadas en este diseño. Se siguió el procedimiento de elaboración de probetas indicado el inciso 2.4.6. A continuación se explica las situaciones presentadas:



1. La mezcla Mb0.5 presentó una consistencia semiseca, como se aprecia en la figura 35, se trató de estabilizar la mezcla aumentando el contenido de pasta, pudiendo lograrse para un porcentaje 25%, pero se obtenía Slump mayor a 1", con lo que se redujo la relación agua/cemento a 0.34 obteniéndose una mezcla estable y con Slump cercano a cero tal como se ve en la figura 36.
2. Para las mezclas Mb0.75 y Mb1.0 se mantuvo el mismo contenido de pasta de la mezcla Mb0.5, pero se redujo el contenido de agua ya al aumentar el contenido de aditivo plastificante aumentaba la plasticidad de la mezcla. La relación agua/cemento que se obtuvieron para las mezclas Mb075 y Mb1.0 son de 0.32 y 0.30 respectivamente.



Figura 35. Foto de la mezcla de Prueba Mb0.5. Elaboración propia.



Figura 36. Foto de la mezcla de Prueba Mb0.5 Corregida. Elaboración propia.



De lo explicado para este grupo de mezcla se concluye para la mezcla definitiva se trabajará con un contenido de pasta de 25% y relaciones a/c = 0.34, 0.32 y 0.30 para las mezclas Mb0.5, Mb0.75 y Mb1.0 respectivamente.

Los resultados de los ensayos a compresión a los 7 días de las mezclas de prueba se muestran en las Tablas 28 y 29.

Tabla 28.

Resultados de los Ensayos a Compresión a los 7 días de las Mezclas de Prueba con Agregado fino

N°	Tipo de Probeta	Edad (días)	Dimensiones del Cilindro				Máxima Carga (kgf)	Esfuerzo Absoluto (kgf/cm ²)
			Diámetro Superior (cm)		Diámetro Inferior (cm)			
			D1	D2	D1	D2		
1		7	15.20	15.10	15.10	15.10	21590	122.17
2	Mb5	7	15.10	15.10	15.00	15.20	21840	123.59
3		7	15.00	15.20	15.20	15.10	22740	128.68
4		7	15.10	14.90	15.20	15.20	23980	135.7
5	Mb10	7	15.10	15.00	15.01	15.10	20300	114.87
6		7	15.00	15.20	15.20	15.10	21890	123.87
7		7	15.10	14.90	15.20	15.20	23000	130.15
8	Mb15	7	15.00	15.20	15.20	15.10	25350	143.45
9		7	15.10	14.90	15.20	15.20	23370	132.25

Fuente: Elaboración Propia

Luego de explicado el proceso de las mezclas de prueba y con las respectivas modificaciones necesarias para un buen comportamiento del concreto, de pasa a explicar las mezclas de diseño definitivas o formales.



Tabla 29.

Resultados de los Ensayos a Compresión a los 7 días de las Mezclas de Prueba con Aditivo Plastificante

N °	Tipo de Probeta	Edad (días)	Dimensiones del Cilindro				Máxima Carga (kgf)	Esfuerzo Absoluto (kgf/cm ²)
			Diámetro Superior (cm)		Diámetro Inferior (cm)			
			D1	D2	D1	D2		
1		7	15.00	15.20	15.20	15.10	18080	102.31
2	Mb0.5	7	15.10	14.90	15.20	15.20	19210	108.71
3		7	15.00	15.20	15.20	15.10	17920	101.41
4		7	15.10	14.90	15.20	15.20	22390	126.7
5	Mb0.75	7	15.10	15.00	15.01	15.10	20390	115.38
6		7	15.00	15.20	15.20	15.10	17300	97.90
7		7	15.10	14.90	15.20	15.20	25520	144.41
8	Mb1.0	7	15.00	15.20	15.20	15.10	24260	137.28
9		7	15.10	14.90	15.20	15.20	20580	116.46

Fuente: Elaboración Propia

Mezclas Definitivas o Formales:

De acuerdo a nuestro interés de estudio y con las mezclas de prueba ya realizadas, se elaboraron mezclas con contenidos de arena del 5%, 10% y 15%, con una relación agua/cemento 0.37 y contenidos de pasta de 23%, 22% y 21%. Para el caso de las mezclas usando aditivo plastificante en porcentajes de 0.5%, 0.75% y 1.0% el contenido de pasta será del 25% y con relaciones de agua/cemento de 0.34, 0.32 y 0.30 adicionados a la mezcla base compuesto por: piedra chancada de Huso 8 y cemento Portland Tipo I.

Para el diseño de las mezclas definitivas se siguió los pasos descritos en el inciso 2.4.5. (diseño de mezclas). Los diseños definitivos se muestran en las Tablas 30, 31, 32, 33,34 y 35.



Tabla 30

Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 5% de Agregado Fino

Diseño Mb5	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1517.54	kg	8.85	kg
Cemento	366.02	kg	2.13	kg
Agua	142.19	Lt	0.83	Lt
Arena	78.37	kg	0.46	kg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31

Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 10% de Agregado Fino

Diseño Mb10	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1464.62	kg	8.54	kg
Cemento	349.70	kg	2.04	kg
Agua	135.38	Lt	0.79	Lt
Arena	159.68	kg	0.93	kg

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32

Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 15% de Agregado Fino

Diseño Mb15	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1407.37	kg	8.21	kg
Cemento	334.24	kg	1.95	kg
Agua	128.85	Lt	0.75	Lt
Arena	243.69	kg	1.42	kg

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 33

Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 0.5% de Aditivo Plastificante

Diseño Mb0.5	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1545.98	kg	9.02	kg
Cemento	412.02	kg	2.40	kg
Agua	145.77	Lt	0.85	Lt
Aditivo	1.72	Lt	10.01	ml

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34

Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 0.75% de Aditivo Plastificante

Diseño Mb0.75	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1545.98	kg	9.02	kg
Cemento	424.95	kg	2.48	kg
Agua	140.72	Lt	0.82	Lt
Aditivo	2.66	Lt	15.49	ml

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35

Diseño de Mezcla Definitiva: Mezcla Base con 1.0% de Aditivo Plastificante

Diseño Mb1.0	Para 1m ³ de Concreto		Para 01 Probeta (6''x12'')	
	Contenido	Unidad	Contenido	Unidad
Grava	1545.98	kg	9.02	kg
Cemento	438.72	kg	2.56	kg
Agua	135.35	Lt	0.79	Lt
Aditivo	3.66	Lt	21.32	ml

Fuente: Elaboración Propia

Paso seguido se procede al vaciado de las 60 probetas conforme al cálculo del número de muestra, de las cuales 30 serán destinadas a compresión y 30 al cálculo de la permeabilidad.

Para la elaboración de las probetas se siguió los pasos descritos en el inciso 2.4.6.



obteniéndose mezclas trabajables como se pueden apreciar en las figuras 37 y 38.



Figura 37. Foto de la medida del Slump del concreto fresco. Elaboración propia



Figura 38. Foto de la consistencia de la mezcla definitiva. Elaboración propia.

Luego del llenado de las probetas se curaron durante 28 días, no se estudió su comportamiento en función del tiempo. En la imagen 39 se aprecia las probetas elaboradas y el curado en la figura 40.



Figura 39. Foto de las probetas definitivas elaboradas. Elaboración propia.



Figura 40. Foto del Curado de Probetas definitivas. Elaboración propia.

Finalmente, luego de 24h de secado se procedió al refrentado como se puede apreciar en la figura 41 y 42.





Figura 41. Foto del secado de probetas antes del refrentado. Elaboración propia.



Figura 42. Foto de las probetas refrentadas. Elaboración propia.

Teniendo las probetas refrentadas se pasa a la rotura mediante la máquina de compresión.

2.4.7. Ensayo de Resistencia a la Compresión (NTP 339.034):

Para realizar el ensayo de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas, se consideró las normas NTP 339.034 y ASTM C-39. Las probetas fueron secadas superficialmente de forma natural durante 24h luego de extraerse de los tanques de curado. Se pasó a anotar la medición de los diámetros mediante un vernier metálico. En las figuras 43 y 44 se aprecian el acabado final del concreto permeable obtenido y toma de medidas usando un vernier.



Figura 43. Foto de la apariencia final del concreto permeable. Elaboración propia.



Figura 44. Foto de la toma de medida de las probetas. Elaboración propia.



Después de realizar las características de las probetas se procedió a realizar el ensayo a la resistencia a la compresión, no fue necesario el uso de almohadillas de neopreno ya que el refrentado usado garantiza la horizontalidad de nuestras probetas.



Figura 45. Foto de las probetas de concreto permeable antes de la rotura. Elaboración propia.



Figura 46. Foto de la rotura de probetas de concreto permeable. Elaboración Propia.

El procedimiento se hizo de acuerdo a la norma NTP 339.034 con ensayo a partir de la edad de 28 días; fue de gran importancia este ensayo, puesto que nos permitirá comparar las resistencias a la compresión de los concretos permeables con fino respecto a los con aditivo plastificante.

El tipo de falla predominante fue del tipo 4, fractura diagonal sin grietas en las bases, según lo especificado en la NTP 339.034. las figuras 47 y 48 muestran el tipo de falla de las probetas después de la rotura.





Figura 47. Foto de probeta con falla Tipo 4. Elaboración propia.



Figura 48. Foto de la estructura interna del concreto permeable. Elaboración propia.

2.4.8. Resultados de los Ensayos a Compresión del Concreto Permeable:

En las Tablas del 36 al 41 se aprecian los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión con un total de 30 ensayos con 3 diseños con agregado finos y 3 con aditivo plastificante cada uno con 5 probetas por diseño de mezcla, el esfuerzo Kg-f/cm² absoluto se hizo de acuerdo a la aplicación de la carga kg-f sobre el promedio del área de las bases.

Tabla 36

Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 5% de Agregado Fino

N°	Edad (días)	Dimensiones del Cilindro				Máxima Carga (kgf)	Esfuerzo Absoluto (kg/cm ²)
		Diámetro Superior		Diámetro Inferior			
		D1 (cm)	D2 (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)		
1	28	15.20	15.10	15.10	15.10	30080	170.21
2	28	15.10	15.10	15.00	15.20	29210	165.29
3	28	15.00	15.20	15.20	15.10	28920	163.65
4	28	15.10	14.90	15.20	15.20	31170	176.38
5	28	15.10	15.00	15.01	15.10	31250	176.83

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 37

Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 10% de Agregado Fino

N°	Edad (días)	Dimensiones del Cilindro				Máxima Carga (kgf)	Esfuerzo Absoluto (kg/cm ²)
		Diámetro Superior		Diámetro Inferior			
		D1 (cm)	D2 (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)		
1	28	15.10	15.10	15.20	15.10	32390	183.29
2	28	15.00	15.20	15.10	15.10	30380	171.97
3	28	15.20	15.10	15.00	15.20	31890	180.46
4	28	15.20	15.20	15.10	14.90	30640	173.38
5	28	15.01	15.10	15.10	15.00	31200	176.55

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38

Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 15% de Agregado Fino

N°	Edad (días)	Dimensiones del Cilindro				Máxima Carga (kgf)	Esfuerzo Absoluto (kg/cm ²)
		Diámetro Superior		Diámetro Inferior			
		D1 (cm)	D2 (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)		
1	28	15.10	15.00	15.10	15.10	33000	186.74
2	28	14.90	14.90	15.00	15.20	35350	200.04
3	28	14.90	15.10	15.20	15.10	33370	188.83
4	28	15.10	15.10	15.20	15.20	35780	202.47
5	28	15.10	15.10	15.01	15.10	33050	187.02

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39

Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 0.5% de Aditivo Plastificante

N°	Edad (días)	Dimensiones del Cilindro				Máxima Carga (kgf)	Esfuerzo Absoluto (kg/cm ²)
		Diámetro Superior		Diámetro Inferior			
		D1 (cm)	D2 (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)		
1	28	15.01	15.02	15.10	15.20	31590	178.76
2	28	15.02	15.02	15.20	15.10	31840	180.17
3	28	15.00	15.01	15.10	15.00	32740	185.27
4	28	15.00	15.02	15.20	15.10	32040	181.31
5	28	15.10	15.20	15.10	15.10	30860	174.63

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 40

Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 0.75% de Aditivo Plastificante

N°	Edad (días)	Dimensiones del Cilindro				Máxima Carga (kgf)	Esfuerzo Absoluto (kg/cm ²)
		Diámetro Superior		Diámetro Inferior			
		D1 (cm)	D2 (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)		
1	28	15.00	15.00	15.10	15.10	33980	192.28
2	28	15.10	15.10	15.00	15.20	30300	171.46
3	28	15.10	15.10	15.20	15.10	34370	194.49
4	28	15.10	15.00	15.20	15.20	31300	177.12
5	28	14.90	15.00	15.01	15.10	32390	183.29

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41

Resultado de Ensayo a Compresión: Mezcla Base con 1.0% de Aditivo Plastificante

N°	Edad (días)	Dimensiones del Cilindro				Máxima Carga (kgf)	Esfuerzo Absoluto (kg/cm ²)
		Diámetro Superior		Diámetro Inferior			
		D1 (cm)	D2 (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)		
1	28	15.00	15.00	15.00	15.10	34000	192.40
2	28	15.00	15.00	14.90	15.00	35660	201.79
3	28	15.00	15.00	15.10	15.20	32520	184.03
4	28	14.90	15.00	15.10	15.20	34260	193.87
5	28	15.00	14.95	15.10	15.01	30580	173.04

Fuente: Elaboración Propia

2.4.9. Ensayo de Permeabilidad:

La permeabilidad se cuantifica en base al coeficiente de permeabilidad que para su cálculo seguiremos las recomendaciones dispuestas por el ACI 522R-10.

Procedimiento para medir el coeficiente de permeabilidad:

1. En este ensayo se usa un permeámetro de carga variable construido según las recomendaciones del ACI 522R-10, tal como se aprecia en la figura 49. el procedimiento a seguir se explica a continuación.



2. Se habilita las muestras de 4"x8", es decir, se forra la superficie de la probeta con plastico, como se ve en la figura 50.
3. Se coloca la probeta en el permeámetro cuidando de ajustar cuidadosamente las abrazaderas con el jebe del permeámetro para evitar fugas de líquido.
4. Se procede a llenar con agua la tubería de acrílico hasta casi todo su volumen, luego usando la válvula tipo bola se regula el nivel del agua hasta el nivel superior marcado por el investigador.
5. Con los pasos anteriores realizados, se procede a abrir la válvula y se controla el tiempo que demora el agua de llegar del nivel superior al nivel inferior señalado en el permeámetro (ver figura 49).



Figura 49. Foto del permeámetro de carga variable, se indica el nivel superior(h_2) e inferior (h_1) marcado en la tubería de acrílico. Elaboración propia.



Figura 50. Foto de las muestras de probeta habilitada de 4"x8". Elaboración propia.



Luego de registrado los tiempos se toman las medidas de las probetas para luego proceder al cálculo de los coeficientes de permeabilidad mediante la ecuación de Darcy:

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln\left(\frac{h_2}{h_1}\right) \dots (\text{Ecuación de Darcy})$$

Donde:

k: Coeficiente de permeabilidad (cm/s),

L: Longitud o altura de la muestra (cm),

A: Área de la muestra (cm²),

a: Área de la tubería de carga (cm²),

t: Tiempo que tarda de llegar de h₂ a h₁ medido en segundos (s),

h₁ y h₂: alturas de columnas de agua medidas respecto del nivel de referencia (cm).

2.4.10. Resultados de Permeabilidad del Concreto Poroso:

Luego de tomado los valores en el laboratorio se calcula los resultados correspondientes a los coeficientes de permeabilidad para cada diseño. Los resultados se muestran en las tablas del 42 al 47.

Tabla 42

Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 5% de Agregado Fino

Diseño		Descripción						
Mezcla	Muestra	t (s)	a (cm ²)	A (cm ²)	L (cm)	h ₂ (cm)	h ₁ (cm)	k (cm/s)
Mb5	1	32.34	74.66	78.54	20.35	0.3	0.05	1.07
Mb5	2	30.42	74.66	78.54	20.9	0.3	0.05	1.17
Mb5	3	31.7	74.66	78.54	20.5	0.3	0.05	1.10
Mb5	4	31.9	74.66	78.54	20.1	0.3	0.05	1.07
Mb5	5	30.36	74.66	78.54	20.55	0.3	0.05	1.15

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 43

Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 10% de Agregado Fino

Diseño		Descripción						
Mezcla	Muestra	t (s)	a (cm ²)	A (cm ²)	L (cm)	h ₂ (cm)	h ₁ (cm)	k (cm/s)
Mb10	1	38.80	74.66	78.54	20.6	0.3	0.05	0.90
Mb10	2	37.40	74.66	78.54	20.7	0.3	0.05	0.94
Mb10	3	39.90	74.66	78.54	20.9	0.3	0.05	0.89
Mb10	4	37.27	74.66	78.54	20.5	0.3	0.05	0.94
Mb10	5	40.32	74.66	78.54	20.1	0.3	0.05	0.85

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44

Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 15% de Agregado Fino

Diseño		Descripción						
Mezcla	Muestra	t (s)	a (cm ²)	A (cm ²)	L (cm)	h ₂ (cm)	h ₁ (cm)	k (cm/s)
Mb15	1	49.70	74.66	78.54	20.5	0.3	0.05	0.62
Mb15	2	50.42	74.66	78.54	20.2	0.3	0.05	0.61
Mb15	3	52.7	74.66	78.54	20.6	0.3	0.05	0.60
Mb15	4	52.1	74.66	78.54	20.7	0.3	0.05	0.61
Mb15	5	48.2	74.66	78.54	20.9	0.3	0.05	0.64

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45

Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 0.5% de Adit. Plastificante

Diseño		Descripción						
Mezcla	Muestra	t (s)	a (cm ²)	A (cm ²)	L (cm)	h ₂ (cm)	h ₁ (cm)	k (cm/s)
Mb0.5	1	29.06	74.66	78.54	20.2	0.3	0.05	1.18
Mb0.5	2	29.74	74.66	78.54	20.6	0.3	0.05	1.18
Mb0.5	3	28.20	74.66	78.54	20.7	0.3	0.05	1.25
Mb0.5	4	30.63	74.66	78.54	20.1	0.3	0.05	1.12
Mb0.5	5	27.30	74.66	78.54	20.55	0.3	0.05	1.28

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 46

Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 0.75% de Adit. Plastif.

Diseño		Descripción						
Mezcla	Muestra	t (s)	a (cm ²)	A (cm ²)	L (cm)	h2 (cm)	h1 (cm)	k (cm/s)
Mb0.75	1	29.84	74.66	78.54	20.05	0.3	0.05	1.14
Mb0.75	2	27.92	74.66	78.54	20.9	0.3	0.05	1.27
Mb0.75	3	29.20	74.66	78.54	20.5	0.3	0.05	1.20
Mb0.75	4	31.04	74.66	78.54	20.2	0.3	0.05	1.11
Mb0.75	5	27.86	74.66	78.54	20.47	0.3	0.05	1.25

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47

Resultados de Ensayo a Permeabilidad: Mezcla Base con 1.0% de Adit. Plastificante

Diseño		Descripción						
Mezcla	Muestra	t (s)	a (cm ²)	A (cm ²)	L (cm)	h2 (cm)	h1 (cm)	k (cm/s)
Mb1.0	1	28.56	74.66	78.54	20.35	0.3	0.05	1.21
Mb1.0	2	30.77	74.66	78.54	20.9	0.3	0.05	1.16
Mb1.0	3	29.15	74.66	78.54	20.5	0.3	0.05	1.20
Mb1.0	4	29.95	74.66	78.54	20.1	0.3	0.05	1.14
Mb1.0	5	28.70	74.66	78.54	20.55	0.3	0.05	1.22

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, también se determinó la densidad y contenido de vacíos real del concreto permeable en su estado endurecido.



Figura 51. Foto de la lectura de los pesos secos de las muestras. Elaboración propia.



Figura 52. Foto de la lectura de los pesos sumergidos de las muestras. Elaboración propia.



Densidad del Concreto Permeable Endurecido: se sigue el procedimiento de acuerdo a la ASTM C1754, las figuras 51 y 52 muestran la toma de datos en el laboratorio.

Con la toma de datos realizados se procede al cálculo de la densidad de acuerdo a lo especificado en la ASTM C1754. En las Tablas 48 y 49 se muestran los resultados.

Tabla 48
Geometría de los Especímenes de 4"x8"

Diseño	Muestra	Diámetro Superior		Diámetro Inferior		Altura	
		D1(mm)	D2 (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	H1(mm)	H2 (mm)
Mb5	1	99.00	101.20	101.00	101.00	201.00	200.00
Mb5	2	99.00	101.20	101.00	101.00	200.50	200.00
Mb5	3	99.00	101.20	101.00	101.00	201.00	200.50
Mb10	1	101.00	101.00	101.00	100.50	201.00	200.00
Mb10	2	101.00	101.20	101.00	101.00	200.00	200.50
Mb10	3	99.80	101.00	101.00	101.00	201.00	200.00
Mb15	1	101.10	101.00	101.20	101.00	201.00	201.00
Mb15	2	101.00	101.00	101.00	99.90	200.00	200.00
Mb15	3	100.00	101.00	101.20	101.00	201.00	200.00
Mb0.5	1	101.00	101.00	101.00	101.00	200.00	200.50
Mb0.5	2	100.50	100.00	100.50	100.50	201.00	200.00
Mb0.5	3	101.00	101.00	100.00	101.00	200.00	100.50
Mb0.75	1	100.00	100.50	101.00	99.90	201.00	201.00
Mb0.75	2	101.00	100.00	100.10	100.50	201.00	201.00
Mb0.75	3	99.80	100.50	100.10	100.50	201.00	200.00
Mb1.0	1	99.80	101.00	100.50	101.00	201.00	200.50
Mb1.0	2	101.00	100.00	101.00	100.40	200.00	200.00
Mb1.0	3	100.50	101.00	100.00	101.00	200.50	201.00

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 49.

Peso Seco, Sumergido, Densidad y % de Vacíos del Concreto Permeable Endurecido

Diseño	Diámetro	Altura	Peso		Propiedad	
	Promedio	Promedio	Seco	Sumerg.	Densidad	%
Mezcla	D (mm)	H (mm)	(g)	(g)	(kg/m ³)	Vacíos
Mb5	100.55	200.50	2950.90	1757.00	1854.93	24.952
Mb5	100.55	200.25	2997.50	1813.00	1886.57	25.450
Mb5	100.55	200.75	2970.80	1730.00	1865.11	22.101
Mb10	100.88	200.50	3210.50	1928.00	2005.13	19.901
Mb10	101.05	200.25	3107.60	1869.00	1936.56	22.814
Mb10	100.70	200.50	3044.10	1805.00	1907.82	22.342
Mb15	101.08	201.00	3151.70	1881.00	1955.75	21.148
Mb15	100.73	200.00	3246.80	1945.46	2038.93	18.278
Mb15	100.80	200.50	3270.00	1975.03	2045.33	19.002
Mb0.5	101.00	200.25	2953.20	1755.00	1842.17	25.258
Mb0.5	100.38	200.50	3007.90	1797.30	1897.36	23.636
Mb0.5	100.75	150.25	2977.50	1802.43	1866.55	26.337
Mb0.75	100.35	201.00	2977.70	1769.00	1874.57	23.908
Mb0.75	100.40	201.00	2948.40	1748.23	1854.28	24.520
Mb0.75	100.23	200.50	2995.10	1804.25	1894.94	24.657
Mb1.0	100.58	200.75	2990.10	1816.00	1876.30	26.325
Mb1.0	100.60	200.00	2992.10	1799.20	1883.66	24.902
Mb1.0	100.63	200.75	3077.10	1870.67	1928.97	24.371

Fuente: Elaboración Propia

Luego de calculado la resistencia a la compresión, la permeabilidad, la densidad y el contenido de vacíos real del concreto permeable endurecido a los 28 días se procede a la presentación de los resultados mediante gráficos estadísticos.



2.4.11. Grafica de Resultados de Ensayo a Compresión a los 28 días:

En las tablas del 36 al 41 se mostraron los resultados de ensayo a compresión obtenidos para cada tratamiento, las figuras del 53 al 58 muestran su comportamiento mediante gráfico de barras.

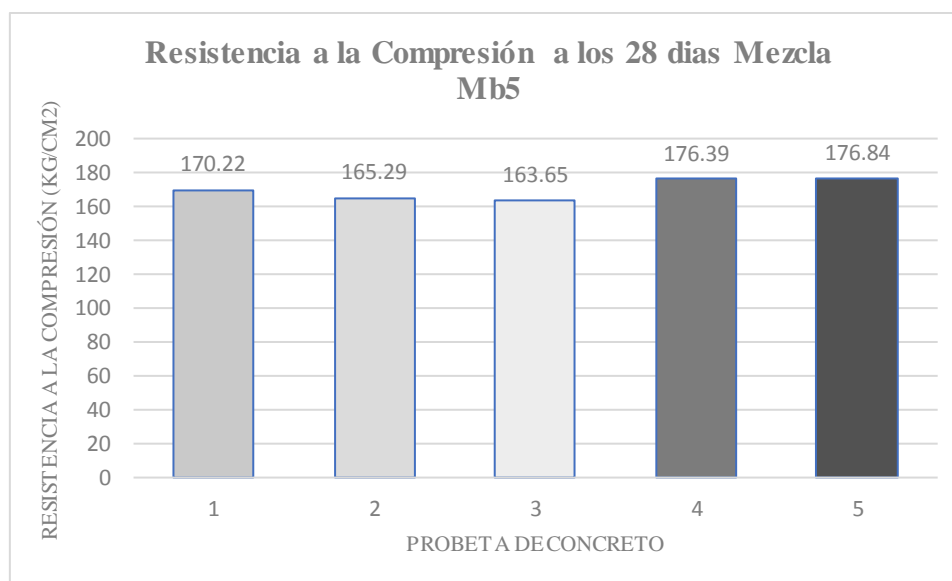


Figura 53. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 5% de agregado fino. Elaboración propia.

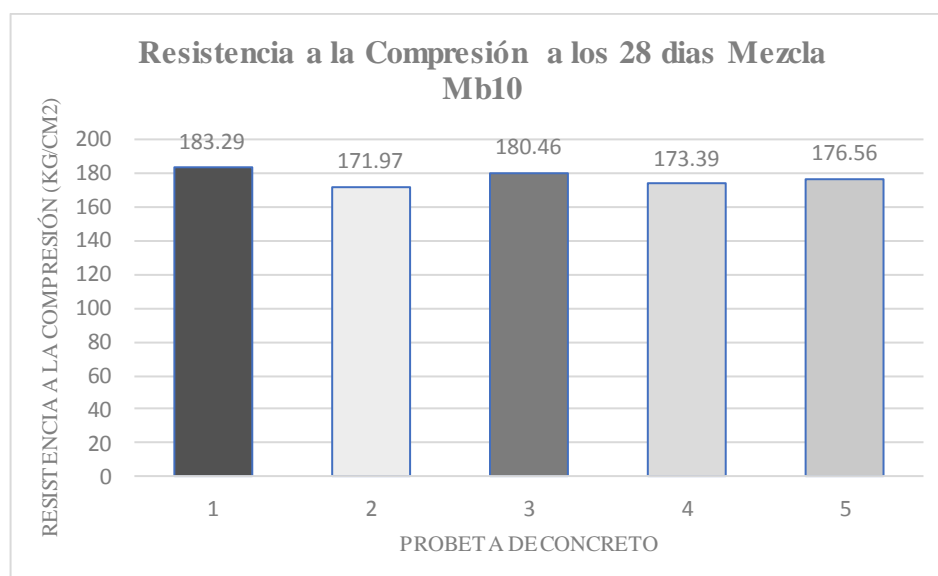


Figura 54. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 10% de agregado fino. Elaboración propia.



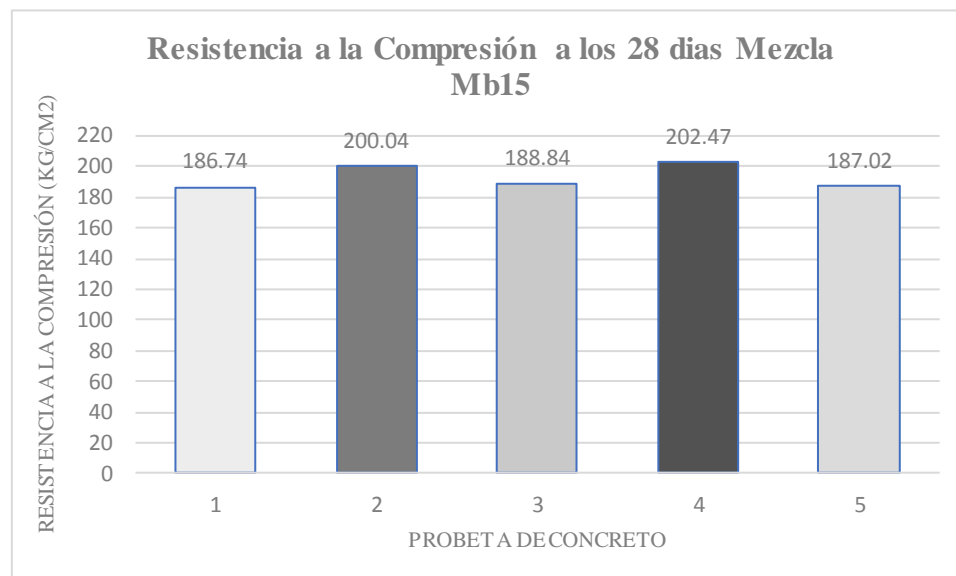


Figura 55. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 15% de agregado fino. Elaboración propia.

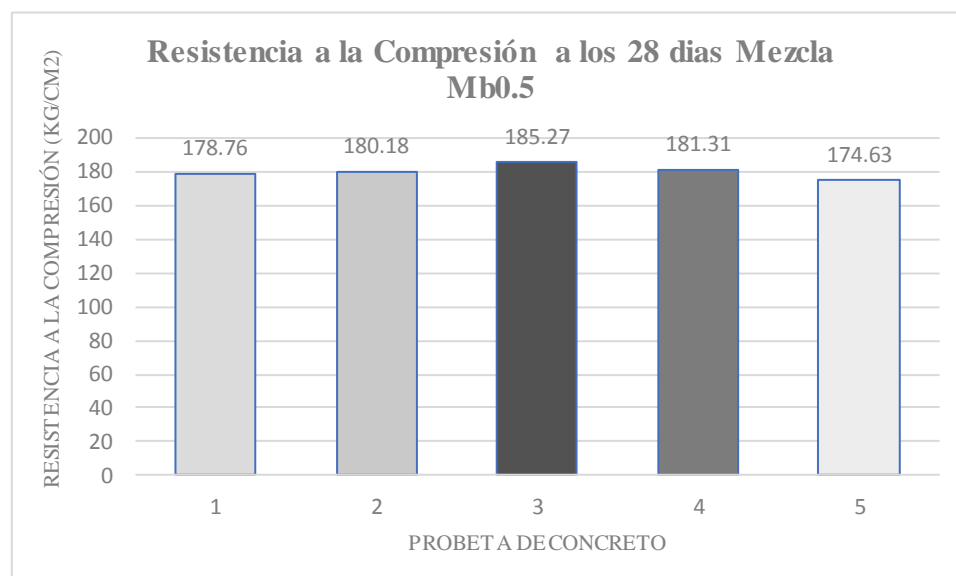


Figura 56. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 0.5% de aditivo plastificante. Elaboración propia.



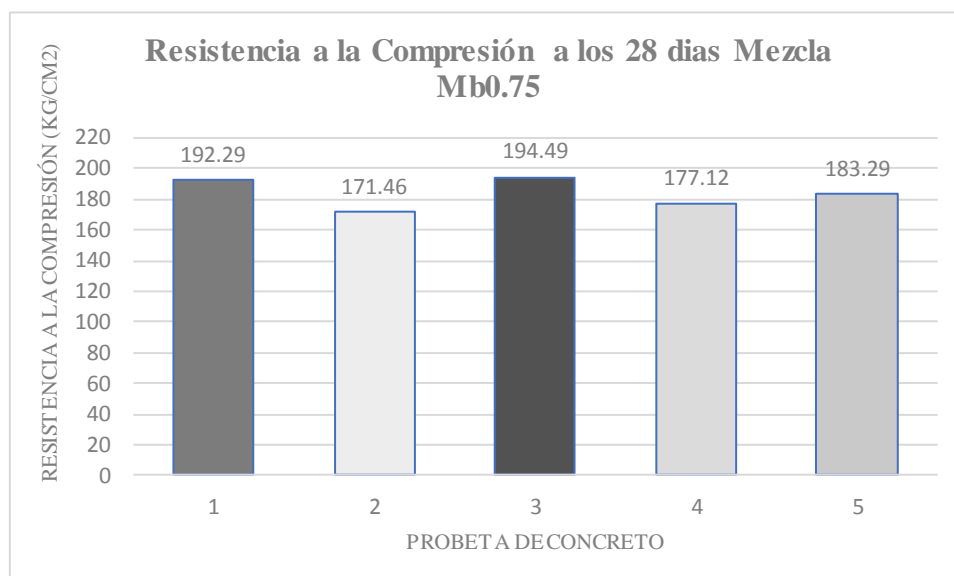


Figura 57. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 0.75% de aditivo plastificante. Elaboración propia.

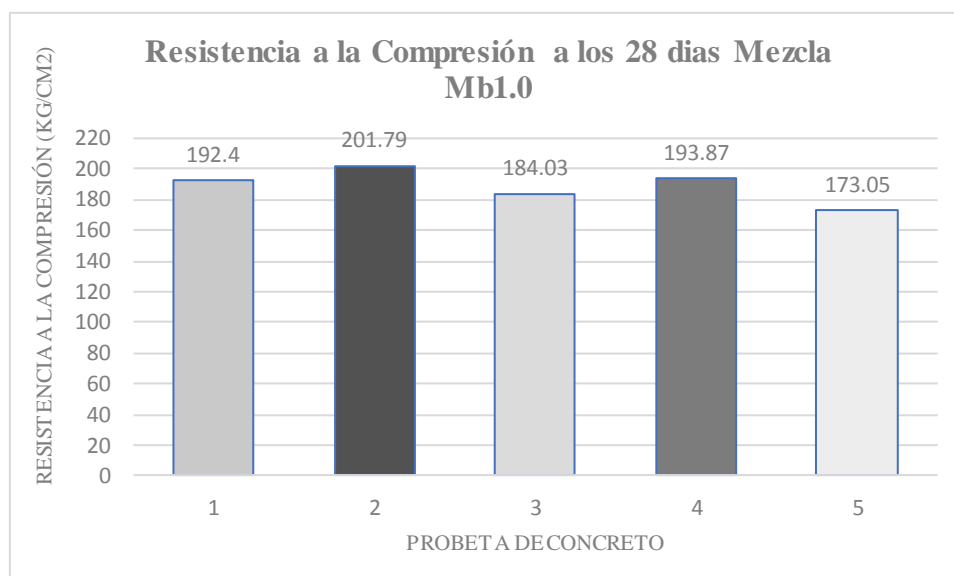


Figura 58. Grafica de la resistencia a la compresión de la mezcla base con 1.0% de aditivo plastificante. Elaboración propia.

Analizando los gráficos se puede verificar que los especímenes de concreto permeable aumentan su resistencia a la compresión a medida que se incrementa el contenido de agregado fino y aditivo plastificante, sin embargo, estos gráficos no son suficiente fundamento para llegar a una conclusión.



2.4.12. Grafica de Resultados de Permeabilidad:

En las tablas del 42 al 47 se mostraron los resultados del ensayo de permeabilidad obtenidos para cada tratamiento, las figuras del 59 al 64 muestran su comportamiento mediante gráfico de barras.

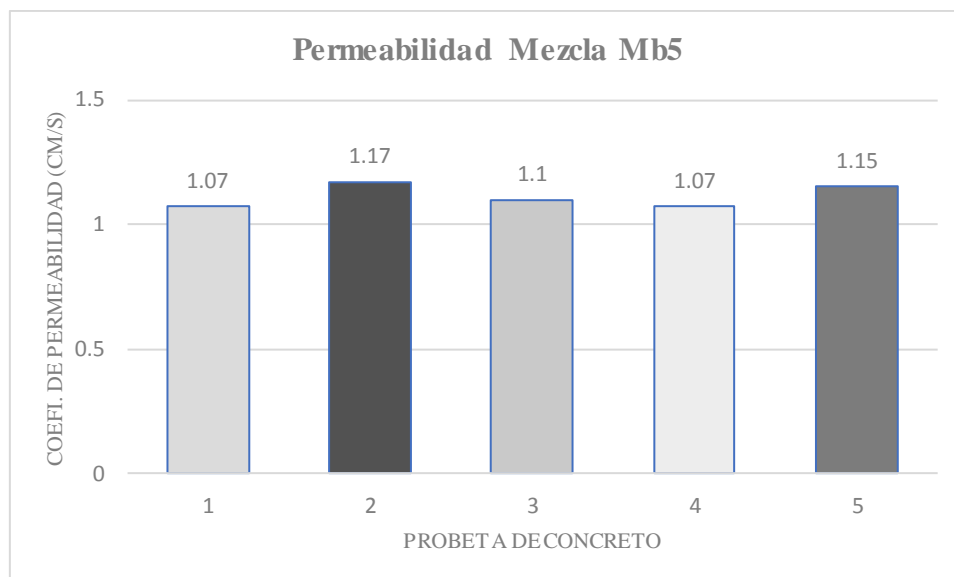


Figura 59. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 5% de agregado fino. Elaboración propia.

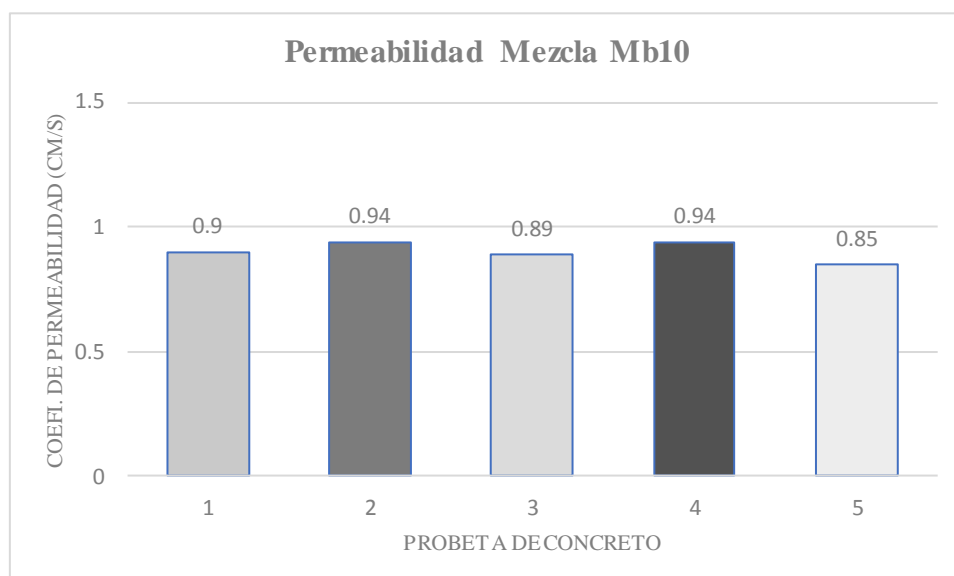


Figura 60. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 10% de agregado fino. Elaboración propia.



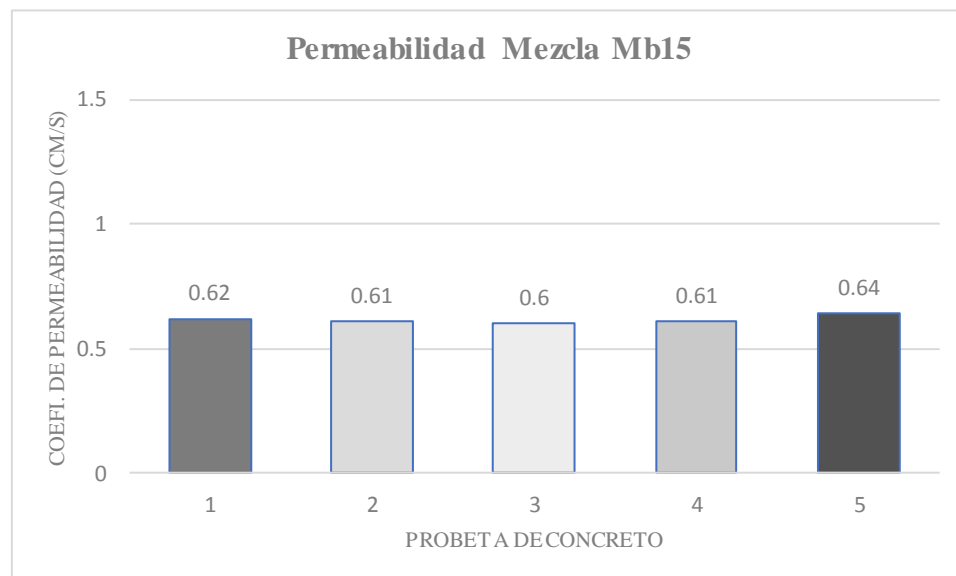


Figura 61. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 15% de agregado fino. Elaboración propia.

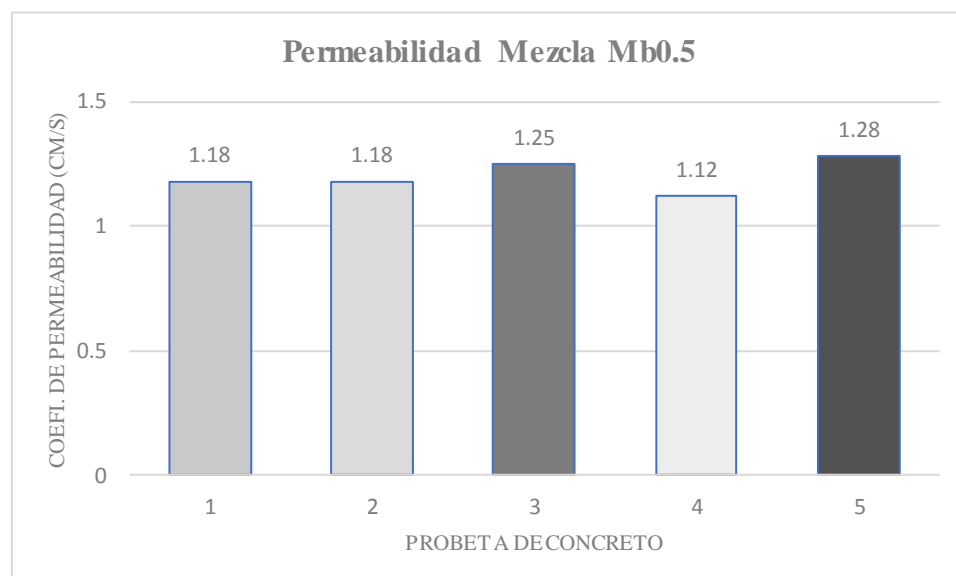


Figura 62. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 0.5% de aditivo plastificante. Elaboración propia.



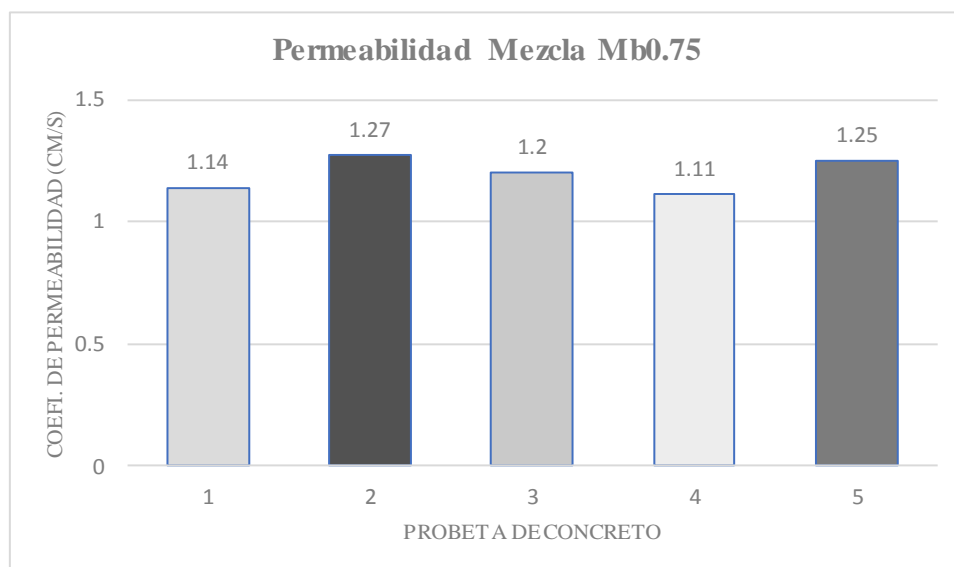


Figura 63. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 0.75% de aditivo plastificante. Elaboración propia.

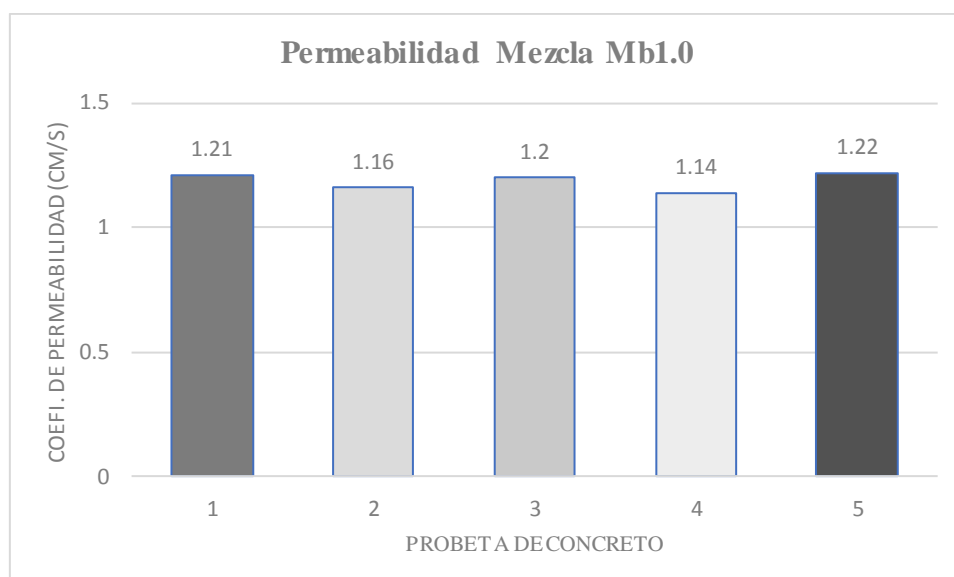


Figura 64. Grafica de la permeabilidad de la mezcla base con 1.0% de aditivo plastificante. Elaboración propia.

Analizando los gráficos de la permeabilidad, se verifica que los resultados obtenidos con el uso de aditivo plastificante resultan ser mayores que los del grupo con agregado fino. Posteriormente, se deberá realizar métodos estadísticos para verificar la validez de los resultados teniendo presente la confiabilidad de la muestra de 90%.



Capítulo III: Discusión de Resultados

Una vez aplicado las técnicas e instrumentos de recolección de datos, se procedió a explicar los resultados obtenidos en el capítulo II, mediante elementos de inferencia estadística. A continuación, se explica el procedimiento de análisis estadístico seguido para la prueba de hipótesis planteada en nuestra investigación.

3.1. Análisis Estadístico

Se realiza primero un análisis estadístico aplicado a resultados de los ensayos a compresión y luego a los de permeabilidad obtenidos a los 28 días.

3.1.1. Análisis Estadístico – Resistencia a la Compresión a los 28 días.

Las tablas 50 y 51 muestran los resultados estadísticos de las resistencias a compresión de las probetas de concreto poroso con agregado fino y aditivo plastificante, respectivamente.

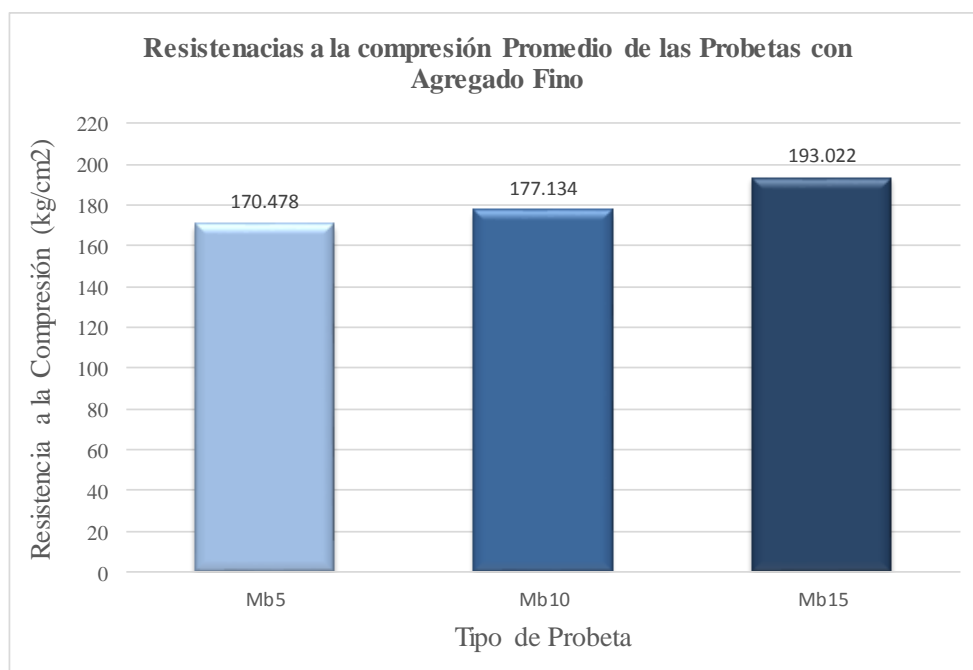


Figura 65. Grafica de la resistencia a la compresión de probetas con agregado fino. Elaboración propia.



Tabla 50

Resultados Estadísticos de la resistencia a la compresión de probetas con Agregado Fino

Tipo de Probeta	Máxima Carga	Esfuerzo Absoluto	Esf. Abs. promedio	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente Variación
Mezcla base con 5% de agregado fino (Mb5)	30080	170.2					
	29210	165.3					
	28920	163.7	170.478	170.22	37.257	6.103	0.0358
	31170	176.4					
Mezcla base con 10% de agregado fino (Mb10)	32390	183.3					
	30390	172.0					
	31890	180.5	177.134	176.56	22.493	4.742	0.0267
	30640	173.4					
Mezcla base con 15% de agregado fino (Mb15)	33000	186.7					
	35350	200.0					
	33370	188.8	193.022	188.84	57.873	7.607	0.0394
	35780	202.5					
(Mb15)	33050	187.0					

Fuente: Elaboración Propia

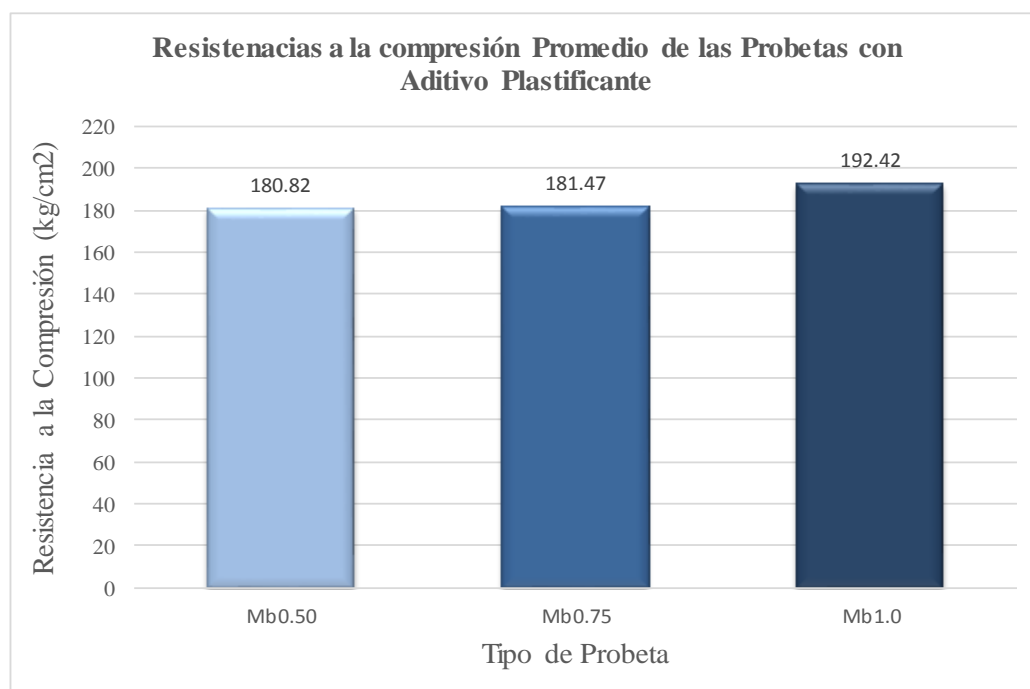


Figura 66. Grafica de la resistencia a la compresión de probetas con aditivo plastificante. Elaboración propia.



Tabla 51
Resultados Estadísticos de la resistencia a la compresión de probetas con Aditivo Plastificante

Tipo de Probeta	Máxima Carga	Esfuerzo Absoluto	Esf. Abs. promedio	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	Coef. Variac.
Mezcla base con 0.5% de Aditivo Plastificante (Mb0.5)	31590	178.76	180.822	180.18	20.64357	4.54352	0.02513
Mezcla base con 0.75% de Aditivo Plastificante (Mb0.75)	33980	192.29	181.466	177.12	123.99133	11.13514	0.06136
Mezcla base con 1.0% de Aditivo Plastificante (Mb1.0)	34000	192.4	192.422	193.87	134.67827	11.6051	0.06031

Fuente: Elaboración Propia

De las tablas 50 y 51, los resultados de las resistencias a la compresión alcanzadas por las probetas con agregado fino presentan menores valores de desviación respecto de sus medias, alcanzando 7.6kg/cm² comparado a los 11.6kg/cm² presentado por las probetas con aditivo plastificante; además se aprecia que pueden aplicarse a la construcción de pavimentos especiales, excepto la probeta con 5% de agregado fino que alcanzo una resistencia a la compresión promedio de 170kg/cm².

De manera similar, los resultados de permeabilidad de las probetas de concreto poroso se tratan a continuación.



3.1.2. Análisis Estadístico – Permeabilidad.

Las tablas 52 y 53 muestran los resultados estadísticos de la permeabilidad de las probetas de concreto poroso con agregado fino y aditivo plastificante, respectivamente.

Tabla 52

Resultados Estadísticos de la Permeabilidad de las probetas con Agregado Fino

Tipo de Probeta	Coef. De Permeabilidad	Promedio	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	Coficiente Variación
Mezcla base con 5% de agregado fino (Mb5)	1.071769	1.113	1.101	0.00206	0.04548	0.0408
	1.170210					
	1.101467					
	1.073204					
Mezcla base con 10% de agregado fino (Mb10)	1.152887	0.905	0.904	0.00143	0.03783	0.0418
	0.904300					
	0.942704					
	0.892175					
Mezcla base con 15% de agregado fino (Mb15)	0.936853	0.615	0.612	0.00025	0.01611	0.0261
	0.849087					
	0.618744					
	0.612943					
	0.598037					
	0.607861					
	0.641174					

Fuente: Elaboración Propia

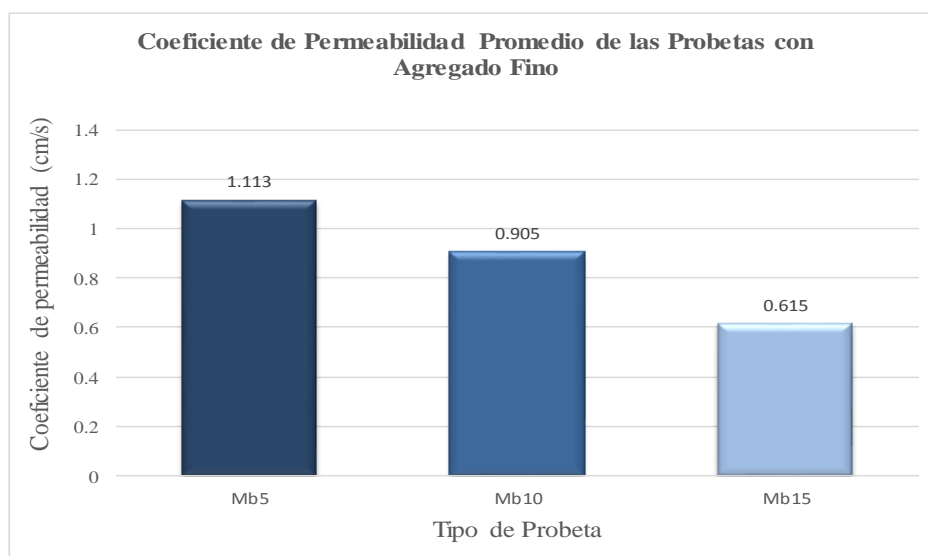


Figura 67. Grafica de la permeabilidad de probetas con agregado fino. Elaboración propia.



Tabla 53
Resultados Estadísticos de la Permeabilidad de las probetas con Aditivo Plastificante

Tipo de Probeta	Coef. De Permeabilidad	Promedio	Mediana	Varianza	Desviación Estándar	Coefficiente Variación
Mezcla base con 0.5% de aditivo plastificante (Mb0.5)	1.1839478	1.202	1.183	0.00416	0.06455	0.05367
	1.1797855					
	1.2502534					
	1.1177016					
Mezcla base con 0.75% de aditivo plastificante (Mb0.75)	1.282112	1.195	1.195	0.0049	0.07006	0.05863
	1.1444382					
	1.2749926					
	1.1957704					
Mezcla base con 1.0% de aditivo plastificante (Mb1.0)	1.1084254	1.186	1.197	0.00117	0.03434	0.02895
	1.2514501					
	1.2136208					
	1.1568994					
	1.1978215					
	1.1430784					
	1.2195700					

Fuente: Elaboración Propia

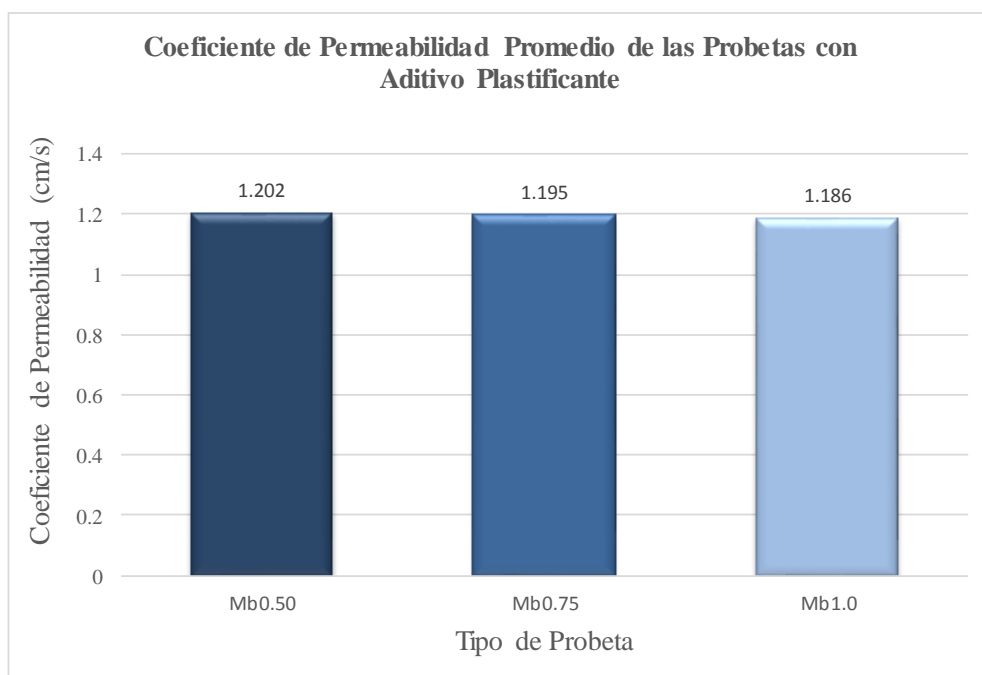


Figura 68. Grafica de la permeabilidad de probetas con aditivo plastificante. Elaboración propia.



De las tablas 52 y 53, se evidencia claramente que el contenido de agregado fino en la mezcla hace que la permeabilidad decaea hasta en un 50%, por el contrario, se puede apreciar que para probetas con aditivo plastificante la permeabilidad se mantiene.

A partir de la Tabla 49 se determinó la densidad y contenido de vacíos promedio para cada diseño de mezcla como se aprecia en la Tabla 54.

Tabla 54.

Densidad y Contenido de Vacíos Real

Probeta	Propiedad	
	Densidad	% Vacíos Real
Mb5	1868.87	24.16
Mb10	1949.83	21.68
Mb15	2013.33	19.47
Mb0.5	1868.69	25.08
Mb0.75	1874.59	24.36
Mb1.0	1896.31	25.19

Fuente: Elaboración Propia

Los contenidos de vacíos real obtenidos en la tabla 54 difieren en gran medida respecto al contenido de vacíos teórico que fue de 15%. Se puede apreciar en la figura 69 que el contenido de vacíos decae hasta un 5% conforme se incrementa el contenido de agregado fino en la mezcla; esto no sucede con el uso de aditivo plastificante.

La densidad del concreto permeable es inversamente proporcional al contenido de vacíos. Se obtuvo una densidad mayor de 2013.33kg/m³ para un contenido de vacíos de 19.47% que fue el menor obtenido.



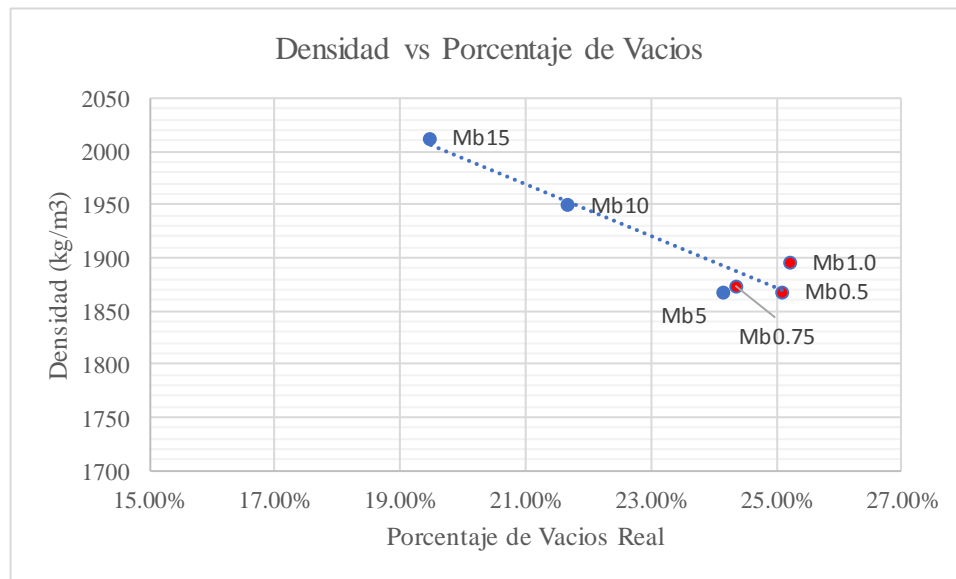


Figura 69. Grafica de la densidad y contenido de vacíos real del concreto permeable. Elaboración propia.

3.1.3. Diseño Experimental.

Un problema frecuente que se presenta es comparar la media de dos procesos que se hacen en orden aleatorio.

Hipótesis Para Comparar Dos Medias

Sean dos procesos con medias μ_x y μ_y y varianzas σ_x^2 y σ_y^2 , respectivamente. Interesa investigar si las medias de dichos procesos pueden considerarse estadísticamente iguales. Para ello se plantean las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_x = \mu_y \dots (\text{Hipotesis Nula})$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y \dots (\text{Hipotesis Alternativa})$$

Ecuaciones que se pueden escribir:

$$H_0: \mu_x - \mu_y = 0 \dots (1)$$

$$H_A: \mu_x - \mu_y \neq 0 \dots (2)$$



El estadístico de prueba adecuado para probar la hipótesis de igualdad de medias está dado por:

$$t_0 = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}} \dots (3)$$

El cual sigue una distribución T de Student con $n_x + n_y - 2$ grados de libertad, donde S_p^2 es un estimador de la varianza muestral común, suponiendo que dichas varianzas desconocidas sean iguales, y se calcula como:

$$S_p^2 = \frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2} \dots (4)$$

Con S_x^2 y S_y^2 las varianzas muestrales de los datos de cada proceso.

A continuación, se explica el procedimiento seguido para la validación de hipótesis.

Hipótesis para Comparar Dos Medias: Resistencia a la Compresión

Se plantea la hipótesis de igualdad de medias con la alternativa bilateral, puesto que no hay ninguna conjetura acerca de cuál grupo experimental puede reportar valores mayores. El planteamiento es:

$$H_0: \mu_x = \mu_y \dots (\text{Hipotesis Nula})$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y \dots (\text{Hipotesis Alterna})$$

El cual se desea probar con un nivel de significancia del 10% ($\alpha = 0.10$), definido cuando se calculó el tamaño de muestra en el Capítulo I.



Tabla 55
Parámetros Estadísticos de la Resistencia a la Compresión para Probetas con Agregado Fino y Aditivo Plastificante

Tipo de Probeta	Resistencia a la Compresión			\bar{X}	n	S^2	S
Mezcla Base con Agregado Fino (5%,10% y 15%)	170.22	183.29	186.74	180.21	15	129.44	11.377
	165.29	171.97	200.04				
	163.65	180.46	188.84				
	176.39	173.39	202.47				
	176.84	176.56	187.02				
Mezcla Base con Aditivo Plastificante (0.5%, 0.75% y 1%)	178.76	192.29	192.4	184.26	15	80.42	8.9677
	180.18	171.46	201.79				
	185.27	194.49	184.03				
	181.31	177.12	193.87				
	174.63	183.29	173.05				

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 55 podemos resumir los siguientes parámetros estadísticos: las medias

$\bar{X} = 180.21 \text{kg/cm}^2$ y $\bar{Y} = 184.26 \text{kg/cm}^2$, $n_x = n_y = 15$, las varianzas $S_x^2 = 129.44$ y $S_y^2 = 80.42$, las desviaciones estándar $S_x = 11.377$ y $S_y = 11.377$.

Con la ecuación (4) un estimador de la varianza muestral común.

$$S_p^2 = 104.93$$

El estadístico de prueba se calcula a partir de la ecuación (3).

$$t_0 = -0.106$$

De la tabla de distribución T de student con $15+15-2 = 28$ grados de libertad, se obtiene el punto crítico $t_{(0.05,28)} = 1.701$.

La tabla T de student se muestra en la figura 70.

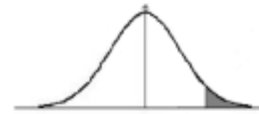


Distribución t de student

En los renglones se ubican los grados de libertad

En las columnas son las áreas mas usadas.

La tabla solo los valores del eje x (t_{area})



g.l.	$t_{0.1}$	$t_{0.05}$	$t_{0.025}$	$t_{0.01}$	$t_{0.005}$
1	3.0777	6.3138	12.7062	31.8205	63.6567
2	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	1.3406	1.7531	2.1314	2.6025	2.9467
16	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564

Figura 70. Tabla T de Student, Mellado B, s.f. Recuperado de <http://www.uaaan.mx>

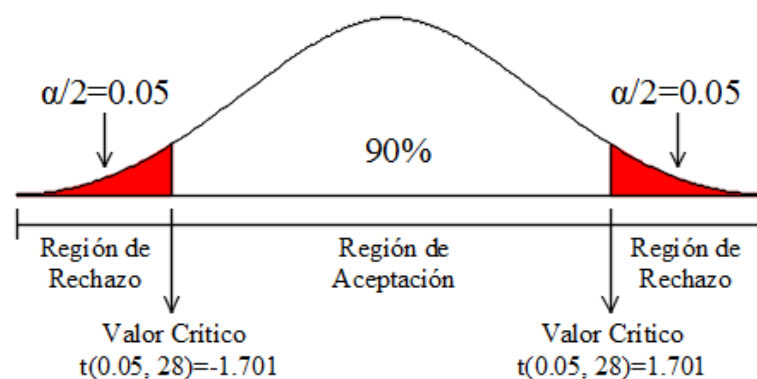


Figura 71. Curva de Distribución T de Student, Elaboración propia.



Como $|t_0| = 0.106 < 1.701 = t_{\alpha/2}$, no se rechaza H_0 , por lo que se concluye ambos grupos experimentales reportan en promedio la misma resistencia a la compresión a los 28 días.

Hipótesis para Comparar Dos Medias: Permeabilidad

Al igual que para la resistencia a la compresión de los resultados, se plantea la hipótesis de igualdad de medias con la alternativa bilateral. El planteamiento es:

$$H_0: \mu_x = \mu_y \dots (\text{Hipotesis Nula})$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y \dots (\text{Hipotesis Alterna})$$

El cual se desea probar también con un nivel de significancia de 10% ($\alpha = 0.10$).

Tabla 56

Parámetros Estadísticos de la Permeabilidad para Probetas con Agregado Fino y Aditivo Plastificante

Tipo de Probeta	Coeficiente de Permeabilidad			\bar{X}	n	S^2	S
Mezcla Base con Agregado Fino (5%,10% y 15%)	1.07	0.90	0.62	0.8773	15	0.0454	0.2131
	1.17	0.94	0.61				
	1.10	0.89	0.60				
	1.07	0.94	0.61				
Mezcla Base con Aditivo Plastificante (0.5%, 0.75% y 1%)	1.15	0.85	0.64	1.194	15	0.0029	0.0537
	1.18	1.14	1.21				
	1.18	1.27	1.16				
	1.25	1.20	1.20				
	1.12	1.11	1.14				
	1.28	1.25	1.22				

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 56 podemos resumir los siguientes parámetros estadísticos: las medias

$\bar{X} = 0.877cm/s$ y $\bar{Y} = 1.194cm/s$, $n_x = n_y = 15$, las varianzas $S_x^2 = 0.0454$ y



$S_y^2 = 0.0029$, las desviaciones estándar $S_x = 0.213$ y $S_y = 0.0537$.

Con la ecuación (4) un estimador de la varianza muestral común.

$$S_p^2 = 0.0241$$

El estadístico de prueba se calcula a partir de la ecuación (3).

$$t_0 = -35.93$$

De la tabla de distribución T de student con $15+15-2 = 28$ grados de libertad, se obtiene el punto crítico $t_{(0.05,28)} = 1.701$.

Como $|t_0| = 35.93 > 1.701 = t_{\alpha/2}$, se rechaza H_0 , por lo que se concluye ambos grupos experimentales no reportan en promedio la misma permeabilidad.

Se cumple la hipótesis alterna, es decir, $H_A: \mu_x \neq \mu_y$. Ahora será necesario determinar si es de la forma $H_A: \mu_x > \mu_y$ o $H_A: \mu_x < \mu_y$ como se explica a continuación.

1.- Se rechaza la hipótesis $H_0: \mu_x = \mu_y$ y se acepta $H_A: \mu_x > \mu_y$, si $t_0 > t_\alpha$.

2.- Se rechaza la hipótesis $H_0: \mu_x = \mu_y$ y se acepta $H_A: \mu_x < \mu_y$, si $t_0 < -t_\alpha$.

De la tabla T de se student obtenemos el valor de $t_\alpha = 1.312$, luego lo comparamos con el estadístico de prueba $t_0 = -35.93$, finalmente se cumple:

$$t_0 = -35.93 < -t_\alpha = -1.312.$$

Se concluye que la permeabilidad promedio de las probetas que incluyen aditivo plastificante resultan ser más permeables que las probetas con agregado fino.



De acuerdo a nuestro estudio, se ha comparado la permeabilidad y resistencia a la compresión de dos grupos experimentales: el primero trata del concreto permeable con la adición de agregado fino en 5%, 10% y 15% y el otro hace uso de aditivo plastificante en dosis de 0.5%, 0.75% y 1.0% respecto al peso del cemento.

La comparación de la resistencia a la compresión y permeabilidad de ambos grupos, se realizó mediante la hipótesis que compara dos medias, el cual sigue la distribución probabilística T de student con 28 grados de libertad y un nivel de confianza de 90%. A continuación, se discuten los resultados obtenidos en esta investigación.

De la tabla 50 y figura 65 se explica que la adición de agregado fino en la mezcla aumenta la resistencia a la compresión, vemos que para porcentajes de 5%, 10% y 15% de agregado fino se obtienen resistencias promedias de 170.48kg/cm², 177.14kg/cm² y 193.02kg/cm², esto se debe a que el agregado fino reduce los vacíos dejado por la piedra chancada, convirtiéndola en una estructura más densa y resistente, sin embargo, como se explica más adelante se debe tener cuidado en no tapar los vacíos interconectados, el cual se verificará con la medición de la permeabilidad. Por otra parte, el uso de aditivo plastificante en la mezcla hace que su resistencia a la compresión aumenta, tal como observa en la tabla 51 y figura 66, se han obtenido resistencias a la compresión de 180.82kg/cm², 181.46kg/cm² y 192.42kg/cm² para dosis de 0.5%, 0.75% y 1% del peso del cemento respectivamente. El incremento de la resistencia a la compresión con el uso de aditivo plastificante se debe a que se reduce la relación agua/cemento en la mezcla, esto debido a que su valor es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión, en nuestro estudio se redujo la relación



agua/cemento de 0.34 a 0.30, para el cual se obtuvo la mayor resistencia a la compresión de 192.42kg/cm². Por último, el uso de agregado fino y aditivo plastificante en la mezcla incrementan la resistencia a la compresión, sin embargo si comparamos los promedios generales obtenidos para ambos grupos experimentales como se observa en la tabla 55, se obtienen 180.21kg/cm² y 184.26kg/cm² respectivamente, lo cual mediante la distribución T de student se determinó la igualdad de medias, es decir, que es posible alcanzar una misma resistencia a la compresión adicionando a la mezcla agregado fino o aditivo plastificante.

En cuanto a la permeabilidad respecto al uso del agregado fino en la mezcla en proporciones de 5%, 10% y 15%, se obtuvieron coeficientes de permeabilidad promedio de 1.11cm/s, 0.905cm/s y 0.615cm/s, tal como se observa en la tabla 52 y figura 67, es claro que el coeficiente de permeabilidad se reduce conforme se incrementa el contenido de agregado fino, esto sucede como ya se explicó en el párrafo anterior a que el agregado fino reduce los vacíos dejado por la piedra chancada, debiéndose tener cuidado en obtener un coeficiente de permeabilidad mínimo de 0.14cm/s de acuerdo al ACI 522R-10. Por otro lado, la permeabilidad obtenida con el uso del aditivo plastificante es de 1.20cm/s, 1.19cm/s y 1.186cm/s para las dosis de 0.5%, 0.75% y 1.0%, el cual se verifica que no modifica sustancialmente la permeabilidad. Finalmente se comparó ambos grupos experimentales mediante la distribución T de student, con lo que se recalcó que el uso del agregado fino en la mezcla reduce la permeabilidad hasta en un 50% comparado con el uso del aditivo plastificante.



Conclusiones

Se acepta la hipótesis nula N° 1, debido a que el concreto poroso con el uso de agregado fino disminuye su permeabilidad hasta un 50% y no aumenta su resistencia a la compresión, respecto al concreto sin él, según lo verificado mediante la hipótesis para comparar dos medias, el cual sigue una distribución T de student de 28 grados de libertad.

Se acepta la hipótesis nula N° 2, como se verificó el uso de aditivo plastificante no disminuye la permeabilidad, por el contrario de lo verificado se obtuvo un coeficiente de permeabilidad promedio de 1.194cm/s el cual es un valor elevado de acuerdo al ACI 522R-10 que recomienda trabajar con un rango entre 0.14cm/s a 1.22cm/s, por otra parte su resistencia a la compresión no aumenta, respecto al concreto sin él, debido a que se obtuvieron promedios de 184.26kg/cm² y 182.21kg/cm² respectivamente, las cuales luego de comparar ambas medias siguiendo la distribución T de student, resultaron ser iguales.

Se acepta la hipótesis nula N° 3, debido a que existe variación en la permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso del agregado fino comparado al uso del aditivo plastificante, debido a que el primero reduce sustancialmente la permeabilidad llegando a obtenerse un valor promedio de 0.615cm/s; el uso de aditivo plastificante por el contrario no modifica la permeabilidad y registra un promedio de 1.194cm/s, valor que es aproximadamente el doble del caso anterior. En cuanto a su resistencia a la compresión se verificó que, aunque sus medias



resultan ser diferentes, estadísticamente ambos grupos alcanzan mismas resistencias.

La densidad y contenido de vacíos del concreto permeable en estado endurecido son inversamente proporcionales, este efecto se puede visualizar claramente para las mezclas con agregado fino, donde para el menor contenido de vacíos real obtenido de 19.47%, se obtuvo la mayor densidad igual a 2013.33kg/m³.

De lo estudiado el uso de agregado fino incrementa la resistencia a la compresión, tal como se muestra en la tabla 50 y figura 65, se observa que para cada incremento de 5% de agregado fino, la resistencia a la compresión aumenta en 7kg/cm², esto se debe a que el agregado fino cubre los vacíos dejado por la piedra chancada que posee una granulometría mayor, este hecho disminuye la permeabilidad como se puede observar en la tabla 52 y figura 67, donde la permeabilidad se reduce de 1.113cm/s para un contenido de 5% de agregado fino a 0.615cm/s para concreto con 15% de agregado fino. El uso del aditivo plastificante en la mezcla tiene un comportamiento distinto a lo verificado para el agregado fino, la tabla 51 y figura 66 muestran los resultados de la resistencia a compresión, se observa que a medida se incrementa al aditivo plastificante de 0.5% a 1% , la resistencia a la compresión aumenta de 180.82kg/cm² a 192.42kg/cm², esto debido a que el aditivo plastificante reduce el contenido de agua en la mezcla, sin perder trabajabilidad y obteniendo el mismo revenimiento. Finalmente, como se observa 53 y figura 68, la permeabilidad del concreto poroso con el uso de aditivo plastificante no se afecta, es decir, que los vacíos dejados por la piedra chancada se mantienen.



Recomendaciones

Debido a que las propiedades del concreto permeable difieren con las del concreto convencional, el primero se recomienda diseñar con el ACI 211.3R-02 y ACI 522R-10, mientras que el concreto convencional se diseña con el ACI 211.1.

Se recomienda durante el proceso de diseño de mezcla, la verificación del contenido de vacíos teórico, debido a que por lo general se obtienen porcentajes de vacíos elevados que tendrán que ser compensados con pasta y/o agregado. También es importante hacer las mezclas de prueba que nos van a permitir verificar las propiedades en estado fresco de la mezcla con respecto al diseño de la mezcla teórica.

Estudiar y explicar el desempeño del aditivo plastificante en las propiedades del concreto permeable recién mezclado y endurecido.

Estudiar la influencia del tipo de compactación, debido si se ejerce un alto grado de compactación, se eliminarán los vacíos existentes y generará una disminución en la capacidad de infiltración del concreto permeable.

Estudiar y simular el comportamiento de las mezclas de concreto permeable en su estado fresco y endurecido, mediante modelos basados en métodos numéricos, como lo es el método de elementos finitos, que es utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.



Referencias Bibliográficas

- ACI 522R-10 (2010). Report on Pervious Concrete. American Concrete Institute
- ACI 211.3R-02 (2009). Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete
- ASTM C1754 / C1754M . (2012). Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, U.S.A
- Fernández, J. y Navas, A. (2010). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad (tesis de pregrado). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Moujir, Y. y Castañeda, L. (2014). Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia.
- Benites, J. (2014). Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregado de la cantera rio Jequetepeque y el aditivo Chemaplst (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Choque, H. y Ccana, J. (2016). Evaluación de la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso elaborado con agregado de las canteras Vicho y Zurite, adicionando aditivo súper plastificante de densidad 1.2kg/l para una resistencia de 210kg/cm² (tesis de pregrado). Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú.



Guizado, A. y Curi, E. (2017). Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Ottazzi, P. (2004). Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de Diseño y Comportamiento de concreto armado (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

Ecocreto. (1996-2017). Sistema para infiltrar o recuperar el agua pluvial por medio de pisos y pavimentos porosos. México: Concreto ecológico. Recuperado de <http://www.concretopermeable.com>

Sánchez, H. (2006), Metodología y diseño de la investigación científica. Lima, Perú. Visión universitaria.

Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2008), Análisis y diseño de experimentos. Guadalajara, México. Mc Graw Hill.



ANEXOS



“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DEL CONCRETO POROSO CON EL USO DE AGREGADO FINO Y ADITIVO
PLASTIFICANTE”

Tesista: Gamarra Rojas, Ronald Abelardo



PROYECTO DE TESIS



“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DEL CONCRETO POROSO CON EL USO DE AGREGADO FINO Y ADITIVO
PLASTIFICANTE”

Tesista: Gamarra Rojas, Ronald Abelardo





FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE TESIS

“Estudio Comparativo de la Permeabilidad y la Resistencia a la
compresión del Concreto Poroso con el uso de Agregado Fino y Aditivo
Plastificante”

TESISTA

Bach. Ing. Civil Gamarra Rojas, Ronald Abelardo

ASESOR

M.Sc. Erasmo Alejandro, Fernández Sixto

HUÁNUCO – PERÚ

2018



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

El concreto permeable hace posible que el agua de lluvia se infiltre al subsuelo.

Fernández y Navas (2010) definen que:

Es una mezcla de cemento, agua y agregado grueso que puede ser usado en pavimentos de bajo volumen de tránsito, calles de urbanizaciones, estacionamientos, entre otros; la resistencia a compresión y la permeabilidad son sus características más importantes, que pueden modificarse con la adición de agregado fino en poca cantidad y/o de aditivos que mejoran las resistencias y no afecta de forma importante la permeabilidad. (p. 10).

Por lo antes expresado y con la finalidad de mejorar las características de este concreto existen investigaciones realizados por universidades, institutos, entre otros, que estudiaron las principales variables que afectan el comportamiento del concreto permeable, según el ACI 522R-10.

Una variable importante a tomar en cuenta es la adición del contenido de agregado fino en la mezcla. **Moujir y Castañeda (2014)** afirman que:

La resistencia promedio a la compresión y a la flexión de la mezcla con finos, es 7.71% y 3.0% mayor que la mezcla sin finos respectivamente, también que la permeabilidad promedio de la mezcla sin finos, es mayor que la mezcla con finos en 44%, debido a que hay un volumen mayor de vacíos en los intersticios del agregado grueso y que son ocupados en una mezcla con agregado fino. (p. 132)

De lo mencionado, el agregado fino incrementa la resistencia del concreto poroso, pero disminuye considerablemente su permeabilidad, esto hace que busquemos nuevas tecnologías para lograr un desempeño adecuado del material. Una de las maneras de controlar este inconveniente es el uso de aditivos. **Benites (2014)** concluyo que:



La resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso utilizando cemento Portland tipo I, agua potable, piedra chancada de 3/8” y aditivo Chemaplast a la edad de 28 días alcanza un valor de 7.556 Mpa y su permeabilidad es de 0.321 cm/s que se encuentra dentro del rango que normalmente posee este tipo de concreto según el ACI 522R-10. (p. 80)

Se debe tener presente si bien el uso de aditivo en la mezcla en reemplazo de del agregado fino no reduce sustancialmente la permeabilidad, no se debe perder de vista en alcanzar resistencias adecuadas.

La evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad adicionando aditivo superplastificante de densidad 1.2kg/l, usando porcentajes del 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5% con respecto al peso del cemento, tamaño nominal del agregado grueso 1/2” y un porcentaje de vacíos del 15%, llegan alcanzar una resistencia a la compresión a los 28 días de 213.93 kg/cm² para la mezcla considerada con 1.5% de aditivo superplastificante, así mismo se determinó la permeabilidad de 0.651 cm/s en promedio el cual se encuentra dentro del rango establecido por la ACI-522R. (Choque y Ccana, 2016)

1.2. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

El concreto permeable hace posible que el agua de lluvia se recupere o se infiltre al subsuelo, ayudando así a la recarga de los mantos acuíferos de las ciudades y proporcionando otras ventajas que los pavimentos comunes no tienen, como son la eliminación de charcos y baches. (Econcrete, 1996-2017)

El inconveniente de este tipo de concreto es su baja resistencia al desgaste en comparación al concreto convencional, es por ello necesario incrementar su resistencia a la compresión, lo que se logra agregando a la mezcla un porcentaje de agregado fino, que no se debe abusar, porque pueden ocasionar el taponamiento de los poros



interconectados en la estructura del concreto, otra manera de incrementar su resistencia sin sacrificar su permeabilidad sería el uso de aditivos.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL

- ❖ ¿En cuánto variará la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino comparado con el uso de aditivo plastificante?

1.3.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ❖ ¿Qué valores alcanzara la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino?
- ❖ ¿Qué valores alcanzara la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de aditivo plastificante?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino y aditivo plastificante.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Determinar la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de agregado fino.
- ❖ Determinar la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso con el uso de aditivo plastificante.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Debido a la baja resistencia a la compresión, el concreto permeable está limitado al uso en pavimentos de bajo volumen de tránsito como estacionamientos, calles de urbanizaciones, etc.



El uso de agregado fino en la mezcla genera resistencias mayores, pero sin llegar al punto en el que se colmaten los vacíos del material y se disminuya la permeabilidad del concreto poroso.

Es importante la investigación, porque el efecto de los aditivos en las mezclas mejora las resistencias y no afecta de forma importante la permeabilidad.

1.6. LIMITACIONES

El estudio se centrará en medir la permeabilidad y la resistencia a la compresión del concreto poroso a los 28 días, para una mezcla básica (agua, cemento y agregado grueso), mezcla con la adición de finos y finalmente con la adición de aditivo plastificante.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso será de 3/8” proveniente de la cantera de Andabamba, la relación $a/c=0.35$ y se trabajará con un contenido de vacíos del 15%.

La investigación se realizará para un concreto permeable, usando componentes que cumplan con las normas ACI-522R-10 y la ASTM C192 para su elaboración y medición.

2. MARCO TEORICO

2.1. REVISION DE ESTUDIOS REALIZADOS

El concreto permeable es un material relativamente nuevo y novedoso que en la actualidad aún tiene limitaciones de uso, debido a su baja resistencia, pero que se siguen investigando la manera de mejorarla sin perjudicar una de sus propiedades más importantes, como es su permeabilidad, tal como la realizada por la Universidad Javeriana de Colombia que se presenta a continuación.

Moujir Y. y Castañeda L. (2014), Estudiaron una serie de pruebas para dos tipos de mezclas de concreto permeable, con y sin agregados finos, para medir su resistencia a



la compresión y a flexión, permeabilidad, módulo de elasticidad, módulo de rotura, porcentaje de vacíos, entre otros, con el fin de verificar las características del concreto permeable que se debe utilizar en obras de construcción para infraestructura vial.

De los resultados obtenidos se resalta que la resistencia promedio a la compresión y a la flexión de la mezcla con finos, es 7.71% y 3.0% mayor que la mezcla sin finos respectivamente, también que la permeabilidad promedio de la mezcla sin finos, es mayor que la mezcla con finos, debido a que hay un volumen mayor de vacíos en los intersticios del agregado grueso y que son ocupados en una mezcla con agregado fino. Otro de los factores que también se investigaron fue la del uso de aditivos plastificante y superplastificante.

Choque H. y Ccana J. (2016), Estudiaron la evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto poroso elaborado con agregado de las canteras Viche y Zurite, adicionando aditivo superplastificante de densidad 1.2kg/l para una resistencia 210kg/cm².

A continuación, se exponen los criterios de inclusión que se utilizaron en la presente investigación:

El Concreto Poroso tendrá una resistencia de 210 kg/cm².

El concreto está fabricado con agregado de las canteras de Vicho y Zurite.

El Concreto Poroso será elaborado con agua potable del cusco.

El cemento utilizado para el diseño de mezcla es Cemento portland IP.

La permeabilidad en el Concreto Poroso.

Se utilizará aditivo súper plastificante de densidad 1.2 kg/l

Los elementos de evaluación de la muestra son probetas de 0.15 m de diámetro y 0.30 m de altura.



Los elementos de evaluación para la prueba de permeabilidad tendrán un diámetro de 10.16 (4”) y altura 20.3 cm.

El tamaño máximo nominal del agregado grueso es 1/2”.

Donde concluyeron que la elaboración de concreto poroso alcanza la resistencia a compresión para el cual fue diseñado, llegando a 213.93 kg/cm², así mismo se determinó la permeabilidad de 0.651 cm/s en promedio el cual se encuentra dentro del rango establecido por la ACI-522R.

Benites J. (2014), Investigo la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso. En la cual se elaboró la mezcla utilizando cemento Portland tipo I, agua potable, piedra chancada de 3/8” y aditivo Chemaplast.

En la investigación se busca comparar si la resistencia y permeabilidad del concreto elaborado con materiales de Cajamarca se encuentran dentro del rango definido por la normas ACI y ASTM. El experimento ha consistido en diseñar una mezcla utilizando el valor medio del rango recomendado de la relación agua-cemento, con un porcentaje de vacíos del 20% que es adecuado según la literatura y con el valor medio de un aditivo tipo Plastificante según su hoja técnica. A continuación en laboratorio, siguiendo los procedimientos de la literatura se han moldeado y curado probetas para luego de 7, 14 y 28 días ensayarlas a compresión y permeabilidad obteniendo resultados donde la resistencia promedio es de 6.030 MPa, 7.148 MPa y 7.556 MPa respectivamente siendo baja pero que está dentro del rango de 2.8 MPa a 28 MPa que especifica la norma ACI 522R-1 O y la permeabilidad medida a través de su coeficiente de permeabilidad promedio es de 0.321 cm/s que está dentro del rango de 0.2 cm/s a 0.54 cm/s que también establece la norma antes mencionada.



2.2. MARCO SITUACIONAL

La aplicación del concreto poroso en diversos países es diversa. Los pisos y pavimentos permeables han sido utilizados con éxito en México desde el año 1996 y en los Estados Unidos desde 1999, bajo todo tipo de temperatura y condiciones climáticas.

En Puerto Rico (2016), incorporaron en la elaboración del concreto permeable, nano partículas de sílice para mejorar su resistencia por tratarse de un material con huecos. También en nuestro país, el uso de tiras de plásticos en el diseño ha llevado alcanzar resultados óptimos en cuanto a su permeabilidad y resistencia a la compresión.

En nuestra localidad el uso del concreto permeable es poco aplicado, debido que aún no es muy conocido la aplicación y las ventajas que posee sobre otros tipos de pavimentos, pero que ya se van estudiando con los materiales y condiciones de nuestro medio.

2.3. DEFINICIONES DE TERMINOS BASICOS

2.3.1. CONCRETO:

El concreto es la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos; el cual en estado fresco es manejable y puede adaptarse fácilmente a la forma que se requiera, con especial cuidado en la vibración para permitirle fluir más fácilmente en las cimbras y entre el acero de refuerzo, para después mantenerlo en curado y garantizar que la reacción del agua con el cemento se lleve a cabo satisfactoriamente, y el concreto endurezca y gane resistencia mecánica con el paso del tiempo, con el fin de que sea capaz de resistir las cargas impuestas, que sea durable y tenga una estética adecuada según sea su función.

2.3.2. CONCRETO PERMEABLE:

El concreto permeable, también conocido como concreto poroso, de granulometría discontinua o de alta porosidad, consiste principalmente en cementa Portland normal, agregado grueso de tamaño uniforme, agua y, en ocasiones, un poco de finos. La combinación forma una aglomeración de agregados gruesos rodeados por una delgada capa de pasta de cementa endurecida en sus puntos de contacto.

Esta configuración produce gran des huecos entre el agregado grueso, que deja que el agua se filtre en mayor cantidad que en el concreto convencional.

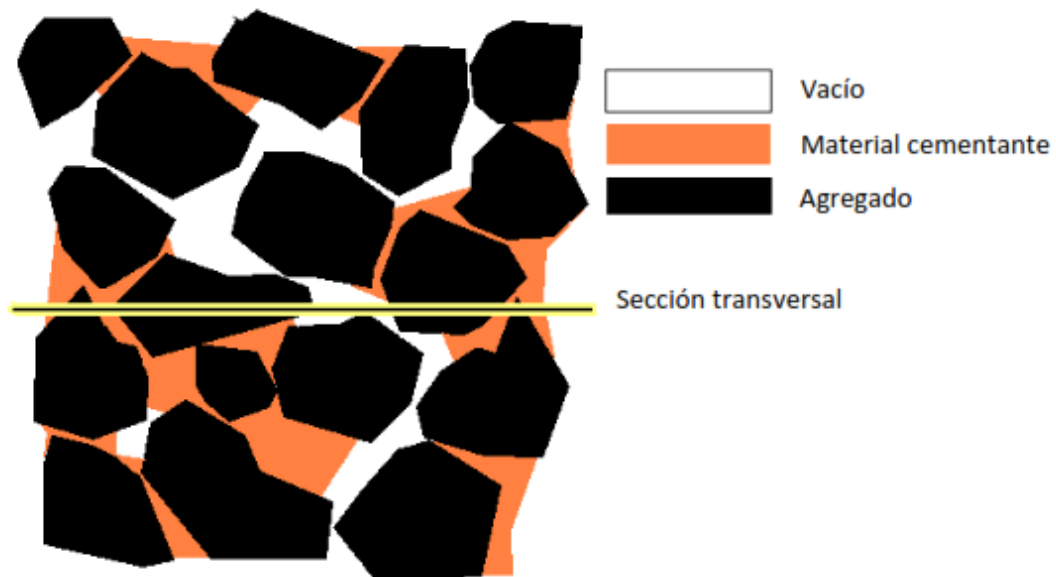


Imagen 01. Estructura Interna de un Concreto Permeable
Fuente: Schaefer et al.

a) Propiedades en estado endurecido

❖ Resistencia a la Compresión

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C39.

La resistencia a compresión del concreto permeable se ve afectada principalmente por la proporción de la matriz y el esfuerzo de compactación



durante la colocación. Depende primordialmente de las propiedades de la pasta y de la relación entre la pasta y el agregado. Para mejorar la resistencia del concreto permeable, se deben mejorar tres aspectos: la resistencia de la pasta, la pasta alrededor del agregado y la cohesión entre el agregado y la pasta.

❖ **Resistencia a la flexión**

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de medir que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. Se determina de acuerdo a la norma ASTM C78.

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 ordinario, comúnmente es 30% de la resistencia a la compresión, es decir, relativamente más alta que en el concreto ordinario (FCPA, 1990).

La resistencia a la flexión en concretos permeables generalmente se encuentra en el rango de 10.5 kg/cm² y 40.0 kg/cm². Existen varios factores que influyen en la resistencia a la flexión, principalmente el grado de compactación, porosidad, y la proporción agregado-cemento. Sin embargo, la típica aplicación constructiva del concreto permeable no requiere la medida de resistencia a la flexión para el diseño.

❖ **Permeabilidad**

La permeabilidad es una propiedad que permite la filtración de un fluido, a través de los espacios interconectados en el concreto.



El sistema de vacíos presente en la estructura del concreto es el que le da esta propiedad.

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz. Un concreto, cuanto más poroso sea, será más permeable y tendrá una posibilidad de absorción capilar más importante. Por lo tanto, la capacidad de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de huecos de aire. Las pruebas han demostrado que se requiere un contenido mínimo de huecos de aire de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa (Meininger, 1988).

Puesto que la capacidad de filtración se incrementa a medida que se incrementa el contenido de huecos de aire y, en consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión, el reto en el proporcionamiento de una mezcla de concreto permeable consiste en lograr un equilibrio entre la capacidad de filtración aceptable y una resistencia a la compresión también aceptable.

2.3.3. AGREGADOS:

Generalmente se entiende por "agregado" a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. El concreto es un material compuesto básicamente por agregado y pasta cementicia, elementos de comportamientos bien diferenciados:

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011.

b) Clasificación de los agregados

Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:



❖ **Por su naturaleza.**

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global).

- **El agregado fino**, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
- **El agregado grueso**, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.
- **Por su densidad.**

Se pueden clasificar en agregado de peso específico normal comprendidos entre 2.50 gr/cm³ a 2.75 gr/cm³, ligeros con pesos específicos menores a 2.5 gr/cm³, y agregado pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75 gr/cm³.

❖ **Por su origen, forma y textura superficial.**

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

Sub angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.

Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.

Redondeada: Bordes casi eliminados.

Muy Redondeada: Sin caras ni borde.



2.3.4. ADITIVO:

Un aditivo es definido, tanto por el Comité 116R del ACI como por la Norma ASTM C 125, como “un material que, no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado”.

Nuestra Norma técnica peruana NTP 339.086 define a los aditivos como sustancias añadidas a los componentes fundamentales del concreto con el propósito de modificar alguna de sus propiedades. Los aditivos se añaden a las mezclas de concreto generalmente durante el proceso de mezclado con el propósito de modificar una o algunas de sus propiedades NTP, a fin de permitir que sean más adecuados para el trabajo solicitado.

2.3.5. ADITIVO PLASTIFICANTE:

Los plastificantes son productos químicos que se pueden añadir al concreto para mejorar su manejabilidad. La resistencia del concreto es inversamente proporcional a la cantidad de agua añadida o al coeficiente de la relación agua cemento (A/C) con el fin de producir concretos más resistentes, se reduce la cantidad de agua añadida, lo que consigue mezclas de difícil manejo, haciendo necesario el uso de aditivos plastificantes y superplastificantes.

3. HIPOTESIS, VARIABLES, INDICADORES Y DEFINICIONES OPERACIONALES

3.1. HIPOTESIS GENERAL Y ESPECÍFICAS

3.1.1. Hipótesis General

La permeabilidad del concreto poroso con el uso de agregado fino disminuye y su resistencia a la compresión no aumenta, comparado con el uso de aditivo plastificante.



3.1.2. Hipótesis Nula

La permeabilidad del concreto poroso con el uso de agregado fino no disminuye y su resistencia a la compresión aumenta, comparado con el uso de aditivo plastificante.

3.2. SISTEMA DE VARIABLES-DIMENSIONES E INDICADORES:

3.2.1. Variable Dependiente

Permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto poroso.

3.2.2. Variable Independiente

Concreto poroso con fino y con aditivo.

3.2.3. Variable Interviniente

- Relación agua cemento (a/c)
- Tamaño máximo de agregado.

3.3. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES:

Tabla 01. Operacionalización de Variables.

Fuente: Elaboración Propia.

Variables	Tipo de Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Permeabilidad y Resistencia a la compresión del concreto poroso	Variable Dependiente	Coeficiente de permeabilidad	k	mm
		Resistencia a la compresión	f'c	Kg/cm ²
Concreto poroso con fino y con aditivo	Variables Independientes	Dosificación	Porcentaje de fino	%
		Dosificación	Porcentaje de aditivo	%
Relacion de agua - cemento y tamaño de agregado grueso.	Variables intervinientes	Relacion de agua - cemento	a/c	
		Tamaño de agregado grueso		



4. MARCO METODOLÓGICO

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Por un lado: es del tipo **aplicativo**; y por otro: es del tipo **sustantiva-explicativa** (Barriga C. 1984; Piscoya L.1982)

Es del tipo aplicativo porque busca conocer para hacer, para actuar, para modificar; le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal; también es una investigación sustantiva-explicativa, porque está orientada al descubrimiento de los factores causales que han podido inducir o afectar la ocurrencia de un fenómeno. (Sánchez H. y Reyes C. 2006).

4.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN:

La presente investigación se ajusta a un nivel de estudios **explicativos o de comparación de hipótesis causales**, guarda correspondencia con lo que hemos denominado investigación sustantiva-explicativa. (Sánchez H. y Reyes C. 2006).

4.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Es **experimental**, debido a que se manipulará rigurosamente la variable independiente para el control del diseño de mezclas, según indica Monje C. (2011), tendrá un control directo de los procedimientos estadísticos del diseño de mezclas empleando un grupo control para comparar con los obtenidos en el grupo experimental, en el cual uno tendrá un tratamiento causal añadiendo a la mezcla aditivo y agregado fino y el otro de manera convencional.



5. UNIVERSO, POBLACION Y MUESTRA

5.1. DETERMINACIÓN DEL UNIVERSO/POBLACIÓN

Para nuestro proyecto de investigación el universo será el concreto permeable en condiciones de temperatura templada.

5.2. POBLACIÓN

Concreto permeable con agregado fino y con aditivo plastificante en condiciones de temperatura templada.

5.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

En la selección de las muestras para un diseño experimental, se considerará un grupo control y grupo experimental, aunque existen varios métodos para estimar el tamaño muestral, muchas veces tienen poca aplicabilidad por que requieren cierto conocimiento previo sobre la varianza del error experimental. Si recurrimos a la experiencia que el número de réplicas en la mayoría de las situaciones experimentales en las que se involucra un factor varía entre cinco y diez, incluso puede llegar hasta 30. (Gutiérrez & De la Vara, 2008)

$$N(\text{n}^\circ \text{ de muestra}) = k(\text{n}^\circ \text{ de tratamientos o puntos de diseño}).n(\text{n}^\circ \text{ de replicas})$$

Tabla 02. Puntos de diseño o tratamiento.

Fuente: Elaboración Propia.

Concreto poroso con fino	Concreto poroso con aditivo	Tratamiento (ki)
10%	-	Tratamiento 1
15%	-	Tratamiento 2
20%	-	Tratamiento 3
-	1%	Tratamiento 4
-	1.50%	Tratamiento 5
-	2%	Tratamiento 6
		k=6

n: número de réplicas (10)

$$N = k.n = (6).(10) = 60 \text{ muestras}$$



Tabla 03. Muestra de Grupo Experimental I.

Fuente: Elaboración Propia.

ki	Descripción	Tipo	Resistencia a la compresión	Permabilidad	Parcial
	Grupo Experimental I				
k1	Concreto Permeable con Agregado Fino	10%	5	5	10
k2	Concreto Permeable con Agregado Fino	15%	5	5	10
k3	Concreto Permeable con Agregado Fino	20%	5	5	10
Total de Muestras					30

Porcentajes respecto al peso del agregado grueso.

Tabla 04. Muestra de Grupo Experimental II.

Fuente: Elaboración Propia.

kj	Descripción	Tipo	Resistencia a la compresión	Permabilidad	Parcial
	Grupo Experimental II				
k4	Concreto Permeable con Aditivo Plastificante	1.0%	5	5	10
k5	Concreto Permeable con Aditivo Plastificante	1.5%	5	5	10
k6	Concreto Permeable con Aditivo Plastificante	2.0%	5	5	10
Total de Muestras					30

Porcentajes respecto al peso del cemento.

El grupo control estará conformado por 10 muestras de concreto permeable sin finos y sin aditivos.

Finalmente se tendrá 60 muestras experimentales y 10 de control.



6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

6.1. FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 05. Fuentes, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Fuente: Elaboración Propia.

FUENTES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
Serán físicas y electrónicas.	Se utilizará la técnica de la recolección. La Observación	Equipo para medir la compresión y permeabilidad del concreto. Cámara fotográfica. Memorias portátiles de almacenamiento.

6.2. PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS

Ensayos de laboratorio de agregados:

- Granulometría.
- Tamaño máximo y máximo nominal.
- Peso específico.
- Contenido de humedad.
- Absorción.
- Peso unitario seco compactado.

Ensayos de laboratorio Concreto Poroso:

- Resistencia a compresión.
- Permeabilidad.



El procesamiento de los datos se realizará con las hojas de cálculo del programa Microsoft Excel, para ser presentados luego en gráficos y cuadros estadísticos para su respectivo análisis y su explicación final.

7. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y PRESUPUESTALES

7.1. POTENCIAL HUMANO

Asesor de Tesis:

M. Sc. Erasmo Alejandro Fernández Sixto.

Tesista:

Bach. Ing. Civil Ronald Abelardo Gamarra Rojas.

7.2. RECURSOS MATERIALES

Laptop y memoria portátil.

Cámara fotográfica

Componentes para la elaboración del concreto poroso.

Revisión bibliográfica.

7.3. RECURSOS FINANCIEROS

Los gastos que se generarán se harán por parte del tesista. Se gestionará el apoyo del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura en la Universidad Nacional Hermilio Valdizán – Huánuco.



7.4. PRESUPUESTO

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial
1	Revision Bibliografica (revistas, internet)	Glb	1	100.00	100.00
2	Utiles de escritorio e impresiones.	Glb	1	300.00	300.00
3	Materiales (AG,AF,ccmento,aditivo,etc)	Glb	1	1500.00	1500.00
4	Trabajo de campo	Glb	1	500.00	500.00
5	Elaboración de Probetas	Und	140	10.00	1400.00
6	Ensayo a compresión y permeabilidad a los 28 dias.	Und	140	10.00	1400.00
7	Movilidad y viaticos	Glb	1	300.00	300.00
8	Procesamiento de Datos	Glb	1	200.00	200.0
9	Otros	Glb	1	500.00	500.0
				PRESUPUESTO	6200.00

8. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

CRONOGRAMA DE ACCIONES

DURACION MES 1 MES 2 MES 3 MES 4 MES 5 MES 6

Revision Bibliografica (revistas, internet)	30 Dias	■					
Adquisicion de ateriales (AG,AF,ccmento,aditivo,etc)	10 Dias		■				
Trabajo de campo	10 Dias			■			
Elaboración de Probetas	30 Dias			■			
Ensayo a compresión y permeabilidad a los 28 dias.	30 Dias			■			
Movilidad y viaticos	60 Dias			■	■		
Procesamiento de Datos	30 Dias				■		
Elaboración de informe final	30 Dias					■	



9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Fernández, J. y Navas, A. (2010). Tesis: “Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad”.

Moujir, Y. y Castañeda, L. (2014). Tesis: “Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos”.

Benites, J. (2014). Tesis: “Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregado de la cantera rio Jequetepeque y el aditivo Chemaplst”

Choque, H. y Ccana, J. (2016). Tesis: “Evaluación de la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto poroso elaborado con agregado de las canteras Vicho y Zurite, adicionando aditivo súper plastificante de densidad 1.2kg/l para una resistencia de 210kg/cm²”

Ecocreto. (1996-2017). Sistema para infiltrar o recuperar el agua pluvial por medio de pisos y pavimentos porosos. México: Concreto ecológico. Recuperado de <http://www.concretopermeable.com>

Ottazzi, P. (2004). Tesis: “Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de Diseño y Comportamiento de concreto armado”.

Montgomery (2006), “Diseño y análisis de experimentos” - 2da Edición

Sánchez, H. (2006), Metodología y diseño de la investigación científica. Edit. Visión universitaria.



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En la ciudad universitaria de Cayhuayna a los trece del mes de junio del 2019, siendo las doce horas, se dio cumplimiento a la Resolución de Decano N° 311-2019-UNHEVAL-FICA-D y la Resolución de Decano N° 338-2019-UNHEVAL-FICA de fecha 07.JUN .2019, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, para lo cual en el Auditorio de la Facultad, los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación de Tesis titulada "**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO POROSO CON EL USO DE AGREGADO FINO Y ADITIVO PLASTIFICANTE – HUÁNUCO 2019**" para optar el Título de Ingeniero Civil **Ronald Abelardo GAMARRA ROJAS**.

Finalizado el acto de sustentación, se procedió a deliberar la calificación, obteniendo luego el resultado siguiente:

Miembros del Jurado Declararon APROBADO con la nota de : DIECISEIS (16)

Con el calificativo de : BUENO

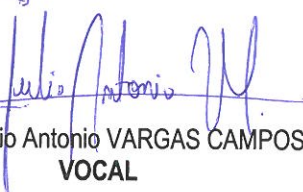
Dándose por concluido dicho acto a las: 1:30 pm del mismo día 13/06/19

Con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.

OBSERVACIONES: NINGUNA


Dra. Ana María MATOS RAMIREZ
PRESIDENTE


Ing. Jorge ZEVALLOS HUARANGA
SECRETARIO


Ing. Julio Antonio VARGAS CAMPOS
VOCAL

c.c
Archivo.

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN		REGLAMENTO DE REGISTRO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR GRADOS ACÁDEMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES			
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN		RESPONSABLE DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNHEVAL	VERSION	FECHA	PAGINA
		OFICINA DE BIBLIOTECA CENTRAL	0.0	06/01/2017	1 de 2

ANEXO 2

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS ELECTRÓNICAS DE PREGRADO

1. IDENTIFICACIÓN PERSONAL (especificar los datos de los autores de la tesis)

Apellidos y Nombres: GAMAREA ROJAS, RONALD ABELARDO
 DNI: 44461653 Correo electrónico: ronald.work.ic@gmail.com

Teléfonos: Casa 062286913 Celular 962574069 Oficina —

Apellidos y Nombres: _____

DNI: _____ Correo electrónico: _____

Teléfonos: Casa _____ Celular _____ Oficina _____

Apellidos y Nombres: _____

DNI: _____ Correo electrónico: _____

Teléfonos: Casa _____ Celular _____ Oficina _____

2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS

Pregrado	
Facultad de:	<u>INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA</u>
E. P. :	<u>INGENIERIA CIVIL</u>

Título Profesional obtenido:

INGENIERO CIVIL

Título de la tesis:

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN		REGLAMENTO DE REGISTRO DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR GRADOS ACÁDEMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES			
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN		RESPONSABLE DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNHEVAL	VERSION	FECHA	PAGINA
		OFICINA DE BIBLIOTECA CENTRAL	0.0	06/01/2017	2 de 2

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PERMEABILIDAD Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DEL CONCRETO POROSO CON EL USO DE AGREGADO FINO Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Tipo de acceso que autoriza(n) el (los) autor(es):

Marcar "X"	Categoría de Acceso	Descripción del Acceso
X	PÚBLICO	Es público y accesible al documento a texto completo por cualquier tipo de usuario que consulta el repositorio.
	RESTRINGIDO	Solo permite el acceso al registro del metadato con información básica, más no al texto completo

Al elegir la opción "Público", a través de la presente autorizo o autorizamos de manera gratuita al Repositorio Institucional – UNHEVAL, a publicar la versión electrónica de esta tesis en el Portal Web repositorio.unheval.edu.pe, por un plazo indefinido, consintiendo que con dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita, pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla, siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente.

En caso haya(n) marcado la opción "Restringido", por favor detallar las razones por las que se eligió este tipo de acceso:

Asimismo, pedimos indicar el período de tiempo en que la tesis tendría el tipo de acceso restringido:

- () 1 año
- () 2 años
- () 3 años
- () 4 años

Luego del período señalado por usted(es), automáticamente la tesis pasará a ser de acceso público.

Fecha de firma: 25 DE JUNIO 2019

Firma del autor y/o autores:

