



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE A BASE
DE CEMENTO PORTLAND TIPO I Y CANTO RODADO COMO
AGREGADO GRUESO PARA UNA RESISTENCIA DE
ESFUERZO A FLEXIÓN DE 28 KG/CM²**

Autores:

Izquierdo, Alejandro.

Ruiz, Rafael.

Tutor: De Macedo, Fernando.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego, Valencia, estado Carabobo.

Teléfono: (0241) 8714240 (máster) – Fax: (0241) 8712394.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE A BASE
DE CEMENTO PORTLAND TIPO I Y CANTO RODADO
COMO AGREGADO GRUESO PARA UNA RESISTENCIA DE
ESFUERZO A FLEXIÓN DE 28 KG/CM²**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Autores:

Izquierdo, Alejandro.

C.I.: 20.696.963.

Ruiz, Rafael

C.I.: 25.049.117

Tutor: Ing. De Macedo, Fernando

C.I.: 7.114.125.

San Diego, Enero 2019

ANEXO D



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

PLANILLA SOLICITUD: ANÁLISIS Y APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

DATOS PERSONALES		
Apellidos: Ruiz Piña.	Nombres: Rafael Elias.	C.I.: 25.049.117.
Dirección: Urbanización Vistamar, sector Uva de Playa, calle UD-1, casa número 6, Puerto Cabello, estado Carabobo.		Teléfono: 0412-5034310.
DATOS ACADÉMICOS		
Escuela: Ingeniería civil.	Índice Académico:	12.01.
DATOS DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO		
Autores		
Nombre: Rafael Ruiz _____ Teléfono: _0412-5034310_____		
Nombre: Alejandro Izquierdo _____ Teléfono: _0414-9483553_____		
Título del Trabajo. Diseño de mezcla de concreto permeable a base de cemento Portland tipo I y canto rodado como agregado grueso para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm ² .		
Breve Explicación: Realizar un diseño de mezcla para un concreto permeable, añadiéndole canto rodado como agregado grueso para evaluar su resistencia a la flexión y su factibilidad económica en la preparación		
Lugar donde se desarrollará el Proyecto. Framex, C.A. autopista variante Guacara-Bárbula, sector Hacienda Montesperino, lote B4-A, San Diego, estado Carabobo.		
Tiempo de Desarrollo Dos (2) semestres.		
Tutor Académico propuesto Fernando de Macedo.		

APROBADO NO APROBADO

COMITÉ DE EVALUACIÓN

COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

Cavaldo E. Rodríguez M
Nombre

[Firma]
Firma

06-JUN-2018
Fecha



DIRECCIÓN DE ESCUELA

JOSÉ A. R...
Nombre



06-06-2018
Fecha

ANEXO D



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

PLANILLA SOLICITUD: ANÁLISIS Y APROBACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

DATOS PERSONALES		
Apellidos: Izquierdo Bazán.	Nombres: Alejandro.	C.I.: 20.696.963.
Dirección: Avenida Don Julio Centeno, residencias Yuma 26, San Diego, estado Carabobo.		Teléfono: 0414-9483553.
DATOS ACADÉMICOS		
Escuela: Ingeniería civil.	Índice Académico:	11.21.
DATOS DEL PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO		
Autores		
Nombre: Rafael Ruiz _____ Teléfono: _0412-5034310 _____		
Nombre: Alejandro Izquierdo _____ Teléfono: _0414-9483553 _____		
Título del Trabajo. Diseño de mezcla de concreto permeable a base de cemento Portland tipo I y canto rodado como agregado grueso para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm ² .		
Breve Explicación: Realizar un diseño de mezcla para un concreto permeable, añadiéndole canto rodado como agregado grueso para evaluar su resistencia a la flexión y su factibilidad económica en la preparación		
Lugar donde se desarrollará el Proyecto. Framex, C.A. autopista variante Guacara-Bárbula, sector Hacienda Montaserino, lote B4-A, San Diego, estado Carabobo.		
Tiempo de Desarrollo Dos (2) semestres.		
Tutor Académico propuesto Fernando de Macedo.		

APROBADO NO APROBADO

COMITÉ DE EVALUACIÓN

COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

Osvaldo E. Rodríguez M [Firma]
 Nombre Firma

06-JUN-2018
 Fecha



DIRECCIÓN DE ESCUELA

José A. Ruiz [Firma]
 Nombre Firma

06-06-2018
 Fecha



Materias o áreas del conocimiento del Pensum que intervienen en la realización del Proyecto (Enumérelas)

1. Materiales y ensayos
2. Concreto armado.
3. Resistencia de materiales.
4. Hidrología.
5. Mecánica de los suelos.
6. Geología.

Sistemas de Contabilidad Estadística descriptiva.

Línea de Investigación:

Concreto y diseño de mezclas de concreto.
Escorrentía superficial del agua. Tipo de suelos.

ANEXOS:



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Fernando De Macedo, portador de la cédula de identidad N° 7.114.125, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos, Izquierdo, Alejandro y Ruiz, Rafael, portadores de la cédula de identidad N° 20.696.963 y 25.049.117 respectivamente, titulado **DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE A BASE DE CEMENTO PORTLAND TIPO I Y CANTO RODADO COMO AGREGADO GRUESO PARA UNA RESISTENCIA DE ESFUERZO A FLEXIÓN DE 28 KG/CM²**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Ing. Fernando De Macedo

Tutor Académico

Firma

Fecha



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

San Diego, 26 de Julio de dos mil dieciocho.

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado:

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE A BASE DE CEMENTO PORTLAND TIPO I Y CANTO RODADO COMO AGREGADO GRUESO PARA UNA RESISTENCIA DE ESFUERZO A FLEXIÓN DE 28 KG/CM².

Ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Fernando De Macedo

26/07/2018

Tutor Académico

Firma

Fecha

Ing. Alicia Yánez de Pizzella

27-7-2018

Tutor Metodológico

Firma

Fecha



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI -CV-023-2018-11CR

Valencia, 31 de octubre de 2018.

Ciudadano:

Alejandro Izquierdo

C.I.:20.696.963.

Rafael Ruiz

C.I.:25.049.117.

Presente.

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 01-2018 de fecha 31-10-2018 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE A BASE DE CEMENTO PORTLAND TIPO 1 Y CANTO RODADO COMO AGREGADO GRUESO PARA UNA RESISTENCIA DE ESFUERZO A FLEXIÓN DE 28 KG/CM². Presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Fernando De Macedo, C.I.' 7.1 14.125 y la Ing. Alicia Yáñez, C.I.: 4.598.880 como Tutores Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Zulay Salcedo
Decana de la Facultad de Ingeniería



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (I).

ZS/fr

DEDICATORIA

A Dios.

Por brindarnos la oportunidad de lograr alcanzar nuestros objetivos a pesar de los obstáculos presentados.

A nuestros padres.

Por inculcarnos disciplina y apoyarnos en todo momento a través de sus consejos.

A nosotros mismos.

Porque somos el resultado de nuestras acciones y que esforzándonos podemos alcanzar nuestros propósitos.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a nuestra casa de estudios la Universidad José Antonio Páez por abrirnos sus puertas y permitir desarrollarnos como profesionales dentro de sus instalaciones.

A nuestros profesores, porque a pesar de las adversidades mantienen su disponibilidad para ofrecernos sus conocimientos y consejos ya que son dignos de admirar por su sentido de responsabilidad y pertenencia.

A Framex, Compañía Anónima por prestarnos sus instalaciones, equipos y materiales para desarrollar este trabajo de grado.

A nuestro tutor Fernando De Macedo y Armando Gasperi, por la dedicación y apoyo brindado a este trabajo de grado y respeto a sus sugerencias.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA	3
1.1. Planteamiento del Problema.	3
1.2. Formulación del problema.	4
1.3. Objetivos del problema.	4
1.3.1. Objetivo general.	4
1.3.2. Objetivos específicos.	4
1.4 Justificación del problema.	5
1.5 Alcances.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de la investigación.	6
2.2. Bases teóricas.	8
2.2.1. Concreto:.....	8
2.2.2. Elementos del concreto.	8
2.2.2.1. Cemento:	9
2.2.2.2. Agregados:	9
2.2.2.3. Agua:	10
2.2.3. Clasificación del cemento Portland según la norma ASTM C-150.	11
2.2.4. Aditivos:	12
2.2.5. Concreto permeable:	12
2.2.5.1. Ventajas:.....	12
2.2.5.2. Desventajas:.....	13
2.2.6. Propiedades del concreto permeable.	14
2.2.6.1. En estado fresco:	14
2.2.6.2. Concreto permeable en estado endurecido:	15
2.2.7. Resistencia:.....	15
2.2.8. Diseño de Mezcla.	16

2.2.9. Parámetros estadísticos.....	18
2.2.9.1. Levantamiento de datos.....	18
2.2.9.2. Rango de clases (R):.....	18
2.2.9.3. Marca de clase (Xi):.....	18
2.2.9.4. Ancho de clase (C):.....	18
2.2.9.5. Histograma de frecuencia:.....	18
2.2.9.6. Curva de distribución normal:.....	18
También llamada curva de gauss, expresa la probabilidad o frecuencia de datos en torno a las medidas de tendencia central.....	18
2.2.9.7. Medidas de tendencia central:.....	18
2.2.9.8. Media (X):.....	19
2.2.9.9. Mediana (Me.):.....	19
2.2.9.10. Moda (Mo):.....	19
2.2.9.11. Desviación media (Dx):.....	20
2.2.9.12. Desviación estándar (S):.....	20
2.3. Bases legales.....	20
2.3.1. Normativa nacional.....	20
2.3.2. Normativa internacional.....	22
2.3. Definición de términos.....	22
CAPÍTULO III.....	26
MARCO METODOLÓGICO.....	26
3.1 Tipo de investigación.....	26
3.2. Nivel de investigación.....	26
3.3. Diseño de investigación.....	26
3.4. Población.....	27
3.5. Muestra.....	27
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.7. Fases metodológicas.....	27
CAPÍTULO IV.....	30
RESULTADOS.....	30

4.1. Fase I: Recopilar información sobre las ventajas, desventajas y usos del concreto permeable con canto rodado como agregado grueso.....	30
4.2. Fase II: Diseñar la mezcla para el concreto permeable con canto rodado para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm ²	31
4.2.1. Materiales.....	31
4.2.2. Ensayos preliminares.	32
4.2.2.1. Agregado grueso.	32
4.2.2.2. Agregado fino.	36
4.2.3. Diseño de mezclas.	40
4.2.3.1. Diseño de mezcla sin finos (muestra 1).....	40
4.2.3.2. Diseño de mezcla sin finos (Muestra 2).	46
4.2.3.3. Diseño de mezcla con finos (muestras desde la No. 3 hasta la No. 32). 51	
4.3. Deducir las características físicas y mecánicas del concreto permeable con canto rodado.	57
4.3.1. Ensayos de resistencia a flexión.....	57
4.3.1.1. Ensayos de viguetas sin arena.	60
4.3.1.2. Ensayos de viguetas con arena.	62
4.3.2. Análisis estadísticos.....	64
4.3.2.1. Análisis estadístico de ensayos a los 7 días.	64
4.3.2.2. Análisis estadístico de ensayos a los 28 días.	70
4.3.3. Ensayos de porosidad.	75
4.3.3.1. Porosidad de muestras sin arena.	76
4.3.3.2. Porosidad de muestras con arena.	76
4.3.4. Ensayos de permeabilidad.	79
4.4. Evaluar los resultados y factibilidad del uso del concreto permeable con canto rodado como agregado grueso para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm ²	81
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS	86

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características del concreto permeable	17
Cuadro 2. : Ventajas y desventajas del uso de concreto permeable.....	30
Cuadro 3. Análisis granulométrico del agregado grueso.	32
Cuadro 4. Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso.....	35
Cuadro 5. Peso específico y absorción del agregado grueso.	35
Cuadro 6. Peso unitario suelto y compacto del agregado fino.....	38
Cuadro 7. Peso específico y absorción del agregado fino.....	38
Cuadro 8. Cantidades absolutas de materiales (muestra 1).....	43
Cuadro 9. Cantidades reales de materiales (muestra 1).	45
Cuadro 10. Cantidades absolutas de materiales (muestra 2).....	49
Cuadro 11. Cantidades reales de materiales (muestra 2).	51
Cuadro 12. Cantidades absolutas (muestras desde la No. 3 hasta la No. 32).....	55
Cuadro 13. Cantidades reales de materiales (muestras desde la No. 3 hasta la No. 32).	56
Cuadro 14. Módulos de rotura de muestras sin arena	60
Cuadro 15. Módulos de rotura promedio para muestras sin arena.....	60
Cuadro 16. Módulos de rotura para muestras con arena.....	62
Cuadro 17. Módulos de rotura promedios para muestras con arena	63
Cuadro 18. Elementos de entrada.....	65
Cuadro 19. Datos clasificados por intervalos de clase.....	65
Cuadro 20. Parámetros estadísticos	68
Cuadro 21. Parámetros corregidos	68
Cuadro 22. Distribución normal de ensayos a los 7 días.	69
Cuadro 23. Elementos de entrada.....	70
Cuadro 24. Datos clasificados por intervalos de clases.	71
Cuadro 25. Parámetros estadísticos.....	73
Cuadro 26. Parámetros corregidos.	73
Cuadro 27. Distribución normal de ensayos a los 28 días.	74
Cuadro 28. Porosidad de muestras sin arena.....	76
Cuadro 29. Porosidad de muestras con arena (Muestras desde la No. 3 a No. 17).....	77
Cuadro 30. Porosidad de muestras con arena (Muestras desde la No. 18 a No. 32)...	78
Cuadro 31. Permeabilidad de las mezclas.....	80
Cuadro 32. Precios unitarios de los materiales	81
Cuadro 33. Costo total del concreto convencional.....	82
Cuadro 34. Costo total del concreto permeable.	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Requerimientos máximos para los porcentajes en peso de sustancias dañinas para agregados finos.....	9
Figura 2.Requerimientos máximos para los porcentajes en peso de sustancias dañinas para agregados gruesos.	10
Figura 3. Tamaño nominal de los agregados finos según COVENIN-255.....	11
Figura 4.Tamaño nominal de los agregados gruesos según COVENIN-269.....	11
Figura 5. Ficha técnica del aditivo tipo D.	31
Figura 6.Curva granulométrica del agregado grueso.	33
Figura 7.: Recipiente usado para los pesos unitarios.	34
Figura 8. Curva granulométrica del agregado fino.	37
Figura 9.Vidrio patrón Gardner.	40
Figura 10.Contenido de pasta versus vacíos para agregado de tamaño nominal No. 67 (3/4").	42
Figura 11.: Mezclas vaciadas en los encofrados.	44
Figura 12.Contenido de pasta versus vacíos para agregado de tamaño nominal No. 67 (3/4").	48
Figura 13. Contenido de pasta versus vacíos para agregado de tamaño nominal No. 67 (3/4").	52
Figura 14.Eschema de la máquina de ensayos a flexión.....	57
Figura 15. Ensayo en ejecución.	58
Figura 16.Registro del ensayo.....	59
Figura 17. Vigueta fracturada.	59
Figura 18.Resistencias de esfuerzos a flexión de muestras sin arena.	61
Figura 19.: Resistencias de esfuerzos a flexión de muestras con arena.	64
Figura 20. Definición de medida de tendencia central.....	66
Figura 21.: Curva de distribución normal de ensayos a los 7 días.....	69
Figura 22.Definición de medida de tendencia central.....	72
Figura 23. Curva de distribución normal de ensayos a los 7 días.....	74
Figura 24.Porosidad de muestras sin arena.	76
Figura 25. Porosidad de muestras con arena.	79
Figura 26.Ensayo de permeabilidad.....	80



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE A BASE DE CEMENTO PORTLAND TIPO I Y CANTO RODADO COMO AGREGADO GRUESO PARA UNA RESISTENCIA DE ESFUERZO A FLEXIÓN DE 28 KG/CM².

Autores: Izquierdo, Alejandro.
Ruiz, Rafael.

Tutor: Ing. Fernando De Macedo

Fecha: Enero 2019.

RESUMEN INFORMATIVO

Actualmente el hombre se ha dedicado a diseñar y experimentar con nuevos productos que ofrezcan un mejor acabado y calidad en las diferentes aplicaciones del concreto en el área de la construcción. Como resultado, en la presente investigación se busca obtener evidencia experimental del “Diseño de mezcla de concreto permeable a base de cemento portland tipo I y canto rodado como agregado grueso para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm²”. Apoyada en una investigación de tipo factible de carácter experimental, la cual consistió en el análisis previo mediante pruebas de la calidad de los materiales de los componentes de la mezcla a utilizar siguiendo lo establecido en las Normas COVENIN, ASTM-C 150 y ACI-311 2R., obteniendo finalmente un diseño único al cual se le aplicó 2 cargas puntuales cuyo comportamiento indicó que se puede preparar mezclas de concreto con canto rodado siempre y cuando el tamaño nominal máximo sea de 3/4", con un peso ideal entre 25 y 27 kg y peso unitario entre los 1940 kg/m³ y 2030 kg/m³, en cuanto a la porosidad se deduce que es inversamente proporcional a su resistencia y solo debe ser utilizado a zonas de cargas pequeñas. **Descriptores:** Concreto, diseño, agregado, resistencia.

INTRODUCCIÓN

Desde el principio de la humanidad, el hombre se ha caracterizado por emplear diversos materiales para la ejecución de obras civiles. Ya en la antigüedad, las grandes civilizaciones tenían conocimiento de la alfarería con la cual creaban elementos arquitectónicos que les permitían construir las grandes obras que aún persisten en la actualidad, para llevar a cabo estas construcciones algunas se empleaban ladrillos o rocas que se unían con otras a través de pastas creadas a partir de elementos rocosos pulverizados y mezclados con agua. Con el pasar del tiempo se ha tratado de desarrollar nuevos elementos constructivos que permitan la construcción de obras con el menor tiempo y económicamente factible.

Gran avance en los materiales, técnicas la construcción y miembros estructurales hubo en el siglo XIX cuando en el Reino Unido se logró obtener el ingrediente utilizado consumido en la construcción, el cemento Portland, que mezclado con agua y material geológico se constituye el cemento, también llamado roca instantánea; mezcla pastosa destinado en las obras civiles por su gran factibilidad en su durabilidad y manejo, capaz de adaptarse a cualquier forma que se desee el cual puede ser capaz de servir tanto como para unir dos elementos arquitectónicos o crear elementos estructurales.

El concreto permeable, variante del tradicional caracterizado que por su alto contenido por permitir la absorción del agua logrando mejorar sus condiciones físicas y químicas de origen y permitirle su paso al medio ambiente sin presentar algún impacto negativo al mismo.

El concreto permeable presenta la factibilidad de brindar una disminución en el uso del agua en su preparación, además de que como todas las mezclas posee la cualidad de poder investigar cómo mejorar la mezcla en función de la variación de sus componentes, bien sea en sus agregados o en la adición de aditivos según sea su propósito en la obra de la que formara parte.

De allí la importancia de esta investigación propuesta que se detalla de la siguiente manera:

Capítulo I: En él se señala el planteamiento del problema referente al objetivo de estudio, con su respectiva formulación. También en el cual se detalla los objetivos de la investigación tanto general como específicos, los cuales garantizan el éxito del trabajo en conjunto con la justificación que nos motiva a realizar esta investigación seguido por el alcance, es decir, los temas que abarcara este trabajo.

Capítulo II: Consiste en el marco teórico, que se basa en los antecedentes de la relacionados con el tema del presente trabajo, como también las bases teóricas que se aplicaron a las misma. Por último, la definición de los términos básicos contenidos dentro de la investigación.

Capítulo III: Se expone el marco metodológico donde se detalla el tipo y diseño de la investigación y se detallara de manera esquematizada las fases de la investigación según lo establecido en los objetivos específicos describiendo cada uno y dando claridad a como se realizarán cada uno de ellos.

Capítulo IV: Se muestra los materiales y equipos empleados para la realización de dicha investigación, así como también el tiempo que llevara ejecutarla.

Capítulo V: En esta etapa se presentan los resultados obtenidos, con la aplicación de los distintos tipos de instrumentos utilizados en la recolección de la información e interpretación. Se describen las conclusiones obtenidas del proceso de investigación, destacando el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos planteados, como medios para conseguir el objetivo general que enmarca el presente estudio. Y, por último, no menos importante, las recomendaciones que se consideran relevantes derivadas de las conclusiones.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema.

El concreto es el material resultante de mezclar un aglomerante llamado cemento al que se añade agua, agregados finos (arena) y gruesos (grava) y en algunos casos aditivos de manera proporcional según la función que vaya a prestar, representando uno los materiales indispensables en industria de la construcción a lo largo del tiempo debido a su durabilidad.

El agregado grueso es un material pétreo destinado a aportarle mayor resistencia al concreto y estabilidad. Generalmente constituido por piedra triturada o picada, se emplea por presentar una superficie rugosa que facilita la adherencia de los demás materiales a su superficie a diferencia del canto rodado o piedra de río la cual generalmente se descarta en la preparación de conglomerados debido a su superficie muy lisa a pesar de su gran resistencia debido a la erosión del material por el agua descartando sus fibras débiles y conservando las más fuertes.

Durante los últimos años se ha desarrollado una alternativa al concreto convencional; el concreto permeable o concreto ecológico el cual es aquel que permite, a diferencia del anterior, la entrada del aire y del agua.

Como antecedentes de este material constructivo se remonta a los años 70, en los Estados Unidos para aliviar la contaminación del agua en los sistemas sanitarios, mientras que en el Reino Unido, Francia y Alemania se realizaron estudios similares. Ideal para los países cercanos al Ecuador como Venezuela, el cual se caracteriza por presentar a lo largo del año estaciones de precipitación muy fuertes problemas en los sistemas de drenaje en muchas de sus arterias viales y una mala gestión en los procesos de recolección y saneamiento de aguas residuales y de lluvias que van dirigidas al medio ambiente. Al no tener registro de su aplicación representa una

alternativa como material constructivo de pavimentos permitiendo una solución a los problemas de drenajes y anegamientos de los caminos.

El agregado grueso constituye un componente muy importante en este material constructivo; sin embargo, la piedra picada algunas veces proviene de grandes rocas lisas depositadas en los lechos de los ríos y que posteriormente son trituradas; algunas veces no presentan una rugosidad uniforme en su superficie quedando una parte lisa de la misma y cierto porcentaje pasa por el tamiz empleado en la selección del material destinado a la preparación de la mezcla desempeñando un buen comportamiento del material final.

Debido a esto, sustancialmente en este estudio se evalúa si se pueden alcanzar la misma o mayor resistencia a la flexión tomando una muestra de concreto permeable compuesta por canto rodado como agregado grueso y compararla respecto a otra muestra convencional que contenga piedra triturada y poder conocer las ventajas y desventajas de trabajar con diversos materiales.

1.2. Formulación del problema

¿Podrá mejorar la resistencia de esfuerzo a flexión del concreto permeable sustituyendo la piedra triturada por canto rodado como agregado grueso a fin de mejorar económicamente su preparación?

1.3. Objetivos del problema

1.3.1. Objetivo general

Diseñar una mezcla de concreto permeable a base de cemento Portland tipo I y canto rodado como agregado grueso para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm².

1.3.2. Objetivos específicos

1. Recopilar información sobre las ventajas, desventajas y usos del concreto permeable con canto rodado como agregado grueso.

2. Diseñar la mezcla para el concreto permeable con canto rodado para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm².

3. Deducir las características físicas y mecánicas del concreto permeable con canto rodado.

4. Evaluar los resultados y factibilidad económica del uso del concreto permeable con canto rodado para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm².

1.4 Justificación del problema.

Esta investigación permitirá desde el punto de vista teórico ampliar los conocimientos sobre el diseño de mezcla de concreto permeable utilizando cemento como plastificante y como agregado grueso el canto rodado para obtener a resistencia de esfuerzo a flexión normativo, mejorando de esta manera la calidad del concreto con materiales presentes en los sitios de las obras, lo cual implica un aprovechamiento de estos materia prima, traduciéndose en un ahorro de tiempo y economía en la construcción de pavimentos.

Desde el punto de vista constructivo reducirá la acumulación de agua en la superficie del pavimento especialmente en lugares donde se requiere un área muy plana, reduciendo costos en los sistemas de drenaje, disminución de los accidentes de tránsito por el efecto de hidropelano (aquaplaning) en los neumáticos de los vehículos.

Desde el punto de vista ecológico servirá para depurar el agua de elementos contaminantes presentes sobre la superficie de la vía o camino, ayudando de esta manera a su conservación.

1.5 Alcances

Para lograr los objetivos planteados se empleará el uso del cemento Portland tipo I, canto rodado, arena y los aditivos necesarios para lograr una resistencia a la flexión de 28 kg/cm².

Esta investigación se realizó en la institución FRAMEX, C.A. empresa premezcladora de concreto ubicada en el Municipio San Diego del Estado Carabobo, durante el periodo Julio a Diciembre del 2018.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detallan las consideraciones teóricas que se encuentran relacionadas con la investigación iniciando con los antecedentes en los que se analizan diversos trabajos anteriores vinculados al problema propuesto. Seguidamente se exponen las bases teóricas donde se plantean los principales conocimientos del concreto, los tipos de materiales que lo componen, clasificación; igualmente se definió lo referente a concreto permeable estableciendo ventajas desventajas, aplicaciones y sus propiedades de resistencia siguiendo lo establecido en las Normas Venezolanas COVENIN e Internaciones como ASTM C 1363 y finalizando con un resumen de los términos a manejar en esta investigación, a continuación se detallan cada uno de estos aspectos:

2.1. Antecedentes de la investigación.

En este estudio, planteamos trabajos de investigación afines de las aplicaciones del concreto permeable y la variación de los resultados obtenidos a través de los ensayos según los tipos de materiales y aditivos empleados en su composición, siendo los mismos:

Para Moujir S, Y. Castañeda U, L. (2014). en su trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil **“Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos”** realizado en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, Colombia cuyo objetivo fue realizar un diseño de concreto poroso aplicado a estructuras de pavimento rígido, comparando la inclusión o no de agregados finos a la mezcla llegaron a la conclusión de que deja en evidencia el alto rendimiento de una mezcla con fino en comparación de otra carente de estos. Este trabajo representa una referencia para la designación del tamaño y relación de agregados que se tomarán para la preparación de nuestro diseño de mezcla.

Así mismo, Méndez, Natasha; Mosqueda, María (2016) señalan en su trabajo de investigación para optar al título de ingeniero civil **“Estudio de concreto permeable para pavimentos”** de la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela cuyo objetivo fue evaluar la resistencia del concreto permeable en el laboratorio de materiales, escuela de ingeniería civil, Universidad de Carabobo que hasta la fecha no hay registro de la aplicación de concreto permeable en Venezuela, llegaron a la conclusión que no hay registro de aplicación de este tipo de material en Venezuela, observaron que la resistencia a flexión oscila entre 25.96 kg/cm² y 12.16 kg/cm² y recomendaron usar agregado grueso del tamaño nominal 3/8”. Se tomó en consideración este trabajo por representar un potencial en la innovación de obras sustentables y como solución a los problemas de mantenimiento de las principales redes viales del país, así como también establecer algunos criterios y normas para el desarrollo de nuestra investigación.

Por otra parte, López Buitrago, Luis Carlos (2014) en su trabajo expuesto para optar al título de ingeniero de materiales **“Estudio de factibilidad en diferentes escenarios de mercado para la implementación de una empresa de fabricación de pavimentos en concretos de alta porosidad”** de la Universidad de Sanbuenaventura, Cali, Colombia se enfoca en estudiar la factibilidad para la implementación de una empresa de fabricación de pavimentos en concreto de alta porosidad, respondiendo a las necesidades en materia de infraestructura de la región, señala que existe un alto potencial de mercado en la aplicación de concreto permeable como pavimentos en proyectos de alta viabilidad, porque el riesgo la inversión es bajo y su recuperación es elevada y a corto plazo, además promueve el uso de tecnologías amigables con el medio ambiente, lo cual atrae la atención de los mayores inversionistas. Representa para nosotros un reflejo de la factibilidad económica que puede tener sobre todo por ser un país tropical por presentar periodos de precipitación en gran parte del año.

Finalmente, Barahona, Rene; Martínez, Marlon; Zelaya Steven (2013) en su investigación para optar al título de ingeniero civil **“Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras El Carmen, Aramuaca y**

La Pedrera de la zona oriental de El Salvador” de la Universidad de El Salvador cuyo objeto fue realizar un estudio del comportamiento del concreto permeable en función del tipo de agregado grueso utilizado concluyen que el uso del concreto permeable es ideal para superficies de baja intensidad de carga como zonas rurales y aceras. Sin embargo, se debe evitar su aplicación en suelos arcillosos porque requiere mayor inversión en la preparación de la capa granular haciendo que no sea económicamente viable una obra.

Según las pruebas ejecutadas el concreto más resiste es el que contiene agregados procedentes de la cantera el Carmen con un porcentaje al 15% de vacíos y que el concreto con mayor permeabilidad Resulta de la cantera La Pedrera con un porcentaje de vacíos del 25%. Finalmente, según el método probabilístico de la norma ACI 214, siete de nueve diseños de mezcla son aceptados ya que su distribución corresponde a una distribución normal, siendo los diseños de mezcla que no cumplen Aramuaca al 20% y El Carmen al 25%. Sirve de aporte porque nos permite considerar que el desempeño final del concreto dependerá de la calidad del material según su sitio de extracción y en qué casos debe aplicarse y en cuáles no.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Concreto

Lo define la Real Academia de la Lengua Española (2017) como el material resultante de mezclar cemento con piedra, arena y agua que al solidificarse es uno de los materiales más utilizado a nivel mundial en la industria de la construcción, por su resistencia, durabilidad y fácil manejo. Usado para pavimentos, edificio u otras estructuras, tiende a tener un peso específico, que varía entre 2200 kg/cm³ hasta 2400 kg/cm³, su densidad puede variar dependiendo de la cantidad y densidad de los agregados, aire acumulado, relación agua-cemento, entre otras variables.

2.2.2. Elementos del concreto

De igual manera Porrero, J. (2003) destaca que los componentes del concreto lo constituyen el cemento como material plastificante, los agregados y el agua:

2.2.2.1. Cemento:

Es un aglomerante que se forma por mezcla de caliza y arcilla calcinadas y molidas, donde se endurecerá después de aplicar agua, y al mezclarlo con agregados grueso y finos, creará una mezcla uniforme, plástica que fraguará y se endurecerá, adquiriendo consistencia pétreo al pasar los días, donde lo denominaremos concreto. Para la elaboración del concreto, el cemento más usado es el cemento Portland, donde se obtiene por la pulverización del Clinker portland con la adición de una o más formas de yeso, (sulfato de calcio), cuando el cemento portland se le agrega agua, se obtendrá una mezcla de características plásticas con propiedades adherentes que zonifican al transcurso del tiempo y endureciendo progresivamente hasta adquirir la resistencia adecuada.

2.2.2.2. Agregados:

Agregados finos:

Reside en arenas naturales, procedentes de canteras aluviales o producidas artificialmente. Las arenas naturales están definidas por fragmentos de roca limpios, duros, compactos y durables. Los agregados finos artificiales no deberán utilizarse rocas que se fracturen en partículas laminares y planas y deberán cumplir ciertos requisitos establecidos en las normas (ver figura 3) donde se debe evitar la presencia de arcillas, limos, álcalis, micas, materiales orgánicos u otras sustancias que puedan ocasionar el deterioro de la mezcla (ver figura 1).

Sustancia	Norma	Límite máximo
Material que pasa por el tamiz n.º 200	ASTM C 117	3%
Materiales ligeros	ASTM C 123	1%
Grumos de arcilla	ASTM C 142	3%
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)	-	2%
Pérdida por meteorización	ASTM C 88, método Na ₂ SO ₄	10%

Figura 1. Requerimientos máximos para los porcentajes en peso de sustancias dañinas para agregados finos.
Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Arena\(concreto\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Arena(concreto)).

Agregado grueso:

Está formado por roca o grava triturada cuyo tamaño mínimo debe ser de 4,8mm (ver figura 4), duro, resistente, limpio y sin materiales que puedan contaminar, como polvo, donde pueden ser removidos mediante un procedimiento adecuado. La calidad del agregado grueso deber cumplir con la norma ASTM C-33, o la norma aplicada en el país a evaluar el agregado y los porcentajes de sustancia que puedan comprometer el agregado grueso, deberán tener un porcentaje (ver figura 3).

Sustancia	Norma	Límite máximo (%)
Material que pasa por el tamiz n.º 200	ASTM C 117	0,5
Materiales ligeros	ASTM C 123	1
Grumos de arcilla	ASTM C 142	0,5
Otras sustancias dañinas	-	1
Pérdida por meteorización	ASTM C 88, método Na ₂ SO ₄	12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM C 131 y C 535	40

Figura 2. Requerimientos máximos para los porcentajes en peso de sustancias dañinas para agregados gruesos.
Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Grava_\(hormig%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Grava_(hormig%C3%B3n)).

2.2.2.3. Agua

En el concreto tiene dos funciones para aplicar, como puede ser para la elaboración de la mezcla y como curado para el concreto recién vaciado, se recomendando usar agua de un mismo origen o de composición química uniforme, ya que su calidad del puede influir en el comportamiento y las propiedades del concreto, donde cualquier sustancia adversa puede afectar su tiempo de fraguado, la resistencia del concreto, causar eflorescencia, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica, manchas en la superficie y una menor durabilidad.

Cedazos COVENIN (*)	Porcentaje que pasa		
9,51 mm; (3/8")	100		
4,76 mm; (#4)	85	-	100
2,38 mm; (#8)	60	-	95
1,19 mm; (#16)	40	-	80
595 μm; (#30)	20	-	60
297 μm; (#50)	8	-	30
149 μm; (#100)	2	-	10
75 μm; (#200)	0	-	5

Figura 3. Tamaño nominal de los agregados finos según COVENIN-255
Fuente: COVENIN-255

Piedra picada ó grava COVENIN	75 mm (3")	64,0 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")	38,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")	4,76 mm (N° 4)	2,38 mm (N° 8)	1,19 mm (N° 16)	595 μm (N° 30)	297 μm (N° 50)
N° 0	-	-	-	-	-	100	100	85	60	40	20	10	5	-
							a	a	a	a	a	a	a	
							80	50	25	15	5	0	0	
N° 1	-	-	-	100	100	90	45	20	7	-	-	-	-	-
					a	a	a	a	a					
					90	50	15	0	0					
N° 2			100	90	70	30	10	5	-	-	-	-	-	-
			a	a	a	a	a	a						
			95	75	35	5	0	0						
N° 3	100	100	95	60	10	5	-	-	-	-	-	-	-	-
		a	a	a	a	a								
		90	65	20	0	0								

Figura 4. Tamaño nominal de los agregados gruesos según COVENIN-269.
Fuente: COVENIN-269

2.2.3. Clasificación del cemento Portland según la norma ASTM C-150.

Cemento tipo I: Cemento Portland común, apto para toda obra que no requiere cementos con requisitos especiales.

Cemento tipo II: Cemento Portland de moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos, con un contenido máximo de 8% de C3A.

Cemento tipo III: Cemento Portland de alta resistencia inicial.

Cemento tipo IV: Cemento Portland de bajo calor de hidratación, con contenidos máximos de 35% de C3S y 7% de C3A.

Cemento tipo V: Cemento Portland resistente a los sulfatos, con un contenido máximo de 5% de C3A y la suma $C4AF + 2 C3A$, menor o igual a 20%.

2.2.4. Aditivos:

Son los agentes que se agregan al mezclado, donde pueden transmitir un control sobre la dosificación y así poder controlar el comportamiento del concreto en estado plástico, algunos aditivos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Aditivos impulsores de aire.

Aditivos reductores de agua.

Aditivos retardadores.

Aditivos aceleradores.

Aditivos súper-plastificantes.

2.2.5. Concreto permeable:

Moujir y Castañeda (2014) destacan que hoy día las ciudades modernas, son zonas de grandes tensiones que se ha transformado en superficies impermeables, que altera el ciclo del agua acumulándose en los drenajes donde transportan residuos trayendo como consecuencia la contaminación del ecosistema y desmejoramiento de la calidad de vida de la zona. La norma ACI 522R-10 establece, la colocación del concreto permeable deberá ser en áreas de alta permeabilidad, suelos naturales con una gran conductividad hidráulica, las áreas deberán tener pendientes mayores al 5%, el concreto permeable se elaborará sin refuerzo por el alto escurrimiento que ofrece el concreto permeable y nos puede originar grandes corrosiones en el acero.

2.2.5.1. Ventajas:

De igual manera, Moujir y Castañeda (2014) establecen que entre las ventajas del concreto permeable se mencionan las siguientes:

El gran aporte que nos ofrece el concreto permeable, al escurrimiento de las aguas pluviales, evitando la acumulación de las aguas.

Permite depurar las aguas de los contaminantes por efecto de los automóviles.

Permite un gran ingreso al suelo y el sub-suelo para alimentar los acuífero y áreas verdes cercanas.

Por la gran cantidad de los poros en el concreto permeable ayuda circular el aire por lo tanto hay menor retención de calor.

Disminuye los gradientes térmicos

El concreto permeable puede usarse en áreas de estacionamiento o en pavimentos de tráfico ligero y así reducirá el costo para planificaciones de construcciones de pozos de retención de aguas pluviales, instalaciones de tubo de drenaje y otros.

Sus bases y sistemas constructivos son más económicos que los piso y pavimentos con concreto tradicional.

Adquiere una resistencia entre 24 y 72 horas.

Su peso es un 20 a 25 % menor que el concreto convencional.

Las fisuras que ofrece el concreto permeable es mucho menor a la retracción por el porcentaje de vacíos contenidos, a comparación del concreto convencional.

El concreto nos genera grandes beneficios a la sociedad, económicamente, una gran ayuda al medio ambiente a la sustentabilidad, y puede tener una gran imagen por su forma porosa, para poder contar con estos grandes beneficios se debe contar con un adecuado mantenimiento.

2.2.5.2. Desventajas:

Los autores mencionados señalan también que las principales desventajas del concreto permeable son las siguientes:

Su uso tiene límites, es empleado más que todo a vías de tráfico ligero, porque ofrece poca fortaleza al desgaste.

No se recomienda usar sobre superficies expuestas a aguas negras porque debida a la contaminación que generan estas aguas pueden contaminar las aguas subterráneas.

Por la pérdida de permeabilidad al tiempo, se van saturando los espacios vacíos con material fino, donde se recomienda un mantenimiento a base de agua de presión.

Una mala elaboración del concreto permeable, por la mala compactación por una mala ejecución o el diseño inapropiado, esto puede generar que su capacidad de filtración reduzca.

Baja resistencia al congelamiento y descongelamiento del agua.

2.2.6. Propiedades del concreto permeable.

Barahona, Martínez y Zelaya (2013) señalan a su vez que las propiedades del concreto permeable son:

2.2.6.1. En estado fresco:

Asentamiento: también llamado “slump” reducción de altura de un material en estado plástico para medir su consistencia, el ensayo en general para el concreto permeable presenta un asentamiento nulo, y generalmente este ensayo no se considera para fines de calidez para el concreto permeable, solo es considerado un valor referencial de 0 a 1 cm, esto es debido generalmente a la mezcla que es muy rígida.

Peso unitario: Relación del peso por unidad de volumen de un material, el concreto posee un porcentaje de vacío que se encuentra entre 18% y 35% según la Norma ACI 522, en la cual posee una densidad menor que el concreto convencional, por lo que varía entre 1600 kg/m³ y 200 kg/m³, por lo cual es recomendable aplicarlo en pavimento de baja intensidad. Para el control de calidad el peso unitario es la medida que se usa porque algunas características como el asentamiento no pueden ser medidas con exactitud para el concreto permeable.

Fraguado: proceso de endurecimiento o pérdida de plasticidad del concreto, en el caso del concreto permeable su tiempo aproximado es de una hora.

2.2.6.2. Concreto permeable en estado endurecido:

Porosidad: Es una medida de los espacios de vacíos entre los agregados, la condición para que un concreto sea permeable es que el contenido de vacíos sea entre 15 a 25%, (investigaciones dadas), esto es debido a la ausencia del agregado fino. Existe una correlación entre el porcentaje de vacíos y la resistencia a compresión donde si la relación de vacíos aumenta la resistencia a compresión decrece y al contrario si disminuye la relación de vacíos aumenta la resistencia a compresión y la permeabilidad del concreto permeable disminuye.

Permeabilidad: Propiedad que permite la filtración de los fluidos, donde el material (concreto permeable) debe tener su adecuada porosidad para que el fluido pueda filtrarse, de este modo el concreto permeable disminuye la escorrentía y acumulaciones de agua en el pavimento. La norma ACI establece que la capacidad de filtración del concreto permeable oscila entre los 1200 l/min/m² y 3200 l/min/m² en función de la cantidad de vacíos que contenga la mezcla.

2.2.7. Resistencia:

Dichos autores señalan que la resistencia dependerá de las propiedades de la pasta y el agregado esa mezcla entre los dos, donde a mejor resistencia se debe mejorar la resistencia de la pasta, el espesor de la pasta alrededor del agregado y las conexiones entre ellos. Según estudios, estos datos pueden ser obtenidos usando tamaños pequeños del agregado y usando aditivos.

Aplicaciones para el concreto permeable.

Méndez y Mosqueda (2016) señalan que las aplicaciones más comunes del concreto permeable son:

Vialidades de tráfico ligero, ciclo vías y estacionamientos.

Jardines y patios.

Aplicaciones en muros estructurales que requieren características de peso ligero o de mejor aislamiento térmico.

Pavimentos, muros y pisos que necesiten mejoramiento de absorción acústica.

Capas de base para pavimento de cargas ligeras.

Auto lavados.

Rompeolas o muros marinos.

Terraplén para puentes.

Capas de superficie de losas deportivas.

Sistemas de drenaje.

Otros.

2.2.8. Diseño de Mezcla.

Según Mendoza, (2010) lo define como un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados, el diseño de mezcla es un procedimiento que permite calcular las proporciones exactas de los materiales que conforman el concreto, con el fin de cumplir con las expectativas de resistencia y durabilidad requeridas. La resistencia del concreto se refiere a la capacidad que posee la mezcla de resistir las cargas a compresión a las que será sometida. El diseño de mezcla juega un papel importante, debido a que la factibilidad de la resistencia dependerá en su mayor parte de los resultados y proporciones que arrojen dichos cálculos.

No existe un método exacto para diseñar una mezcla, pero existen parámetros mínimos que deben tomarse en cuenta de acuerdo al uso de los materiales, lo cual aumentara la eficacia del mismo, algunos métodos son probados en laboratorio y en plantas de preparación comercial. Se deben conocer algunos datos de entrada como lugar de la obra o condiciones ambientales, el tipo de obra o parte de la estructura a la cual se le realizara el diseño, la resistencia del diseño o algún dato relacionado, así como también se deben tomar en consideración las características más importantes de los agregados, la granulometría y el tamaño máximo.

Con respecto a la granulometría solo se deben usar piedras o arenas balanceadas en sus diferentes tamaños de granos, sin exceso o ausencia, el agua debe aplicarse con

una cantidad tal que se mantenga la trabajabilidad, la dosis debe ser lo más precisa posible ya que un exceso de agua disminuye la resistencia. Es necesario disponer de un procedimiento detallado, preciso y complejo para obtener resultados óptimos en cuanto a cantidades y proporciones de los componentes del concreto se refiere, así existe la posibilidad de tomar en cuenta los posibles cambios que afectan las características de los componentes, incrementando así mayores índices de calidad, reducido en los pasos siguientes:

- Selección del asentamiento.
- Elección del tamaño máximo de los agregados.
- Estimación de aire incorporado.
- Evaluación del contenido de agua.
- Determinación de resistencia de diseño.
- Selección relación agua-cemento.
- Cálculo de contenido de cemento.
- Estimación de porción de agregados.
- Ajuste de la mezcla.

Al ser un material que no estar normado, el Instituto Americano del Concreto (ACI) recomienda las siguientes consideraciones:

Cuadro 1. Características del concreto permeable

Propiedades	Rangos
Revenimiento (mm.)	0-20
Peso unitario (kg/m ³)	1600-2000
Tiempo de fraguado (hora)	1
Porosidad (%)	15-25
Permeabilidad (l/min/m ²)	1200-3200
Resistencia a compresión (Mpa.)	3,5-28
Resistencia a flexión (Mpa.)	1,8-3,8

Fuente: ACI 211.3R-02.

Para estar dentro de los rangos recomendados, se fijó que la resistencia a flexión será de 28 kg/cm² lo que equivale a 2,75 Mega pascales (MPa.).

2.2.9. Parámetros estadísticos.

Para estudiar los diseños de mezclas de concreto es necesario el uso de la estadística para predecir su ocurrencia, razón por la cual definiremos algunos términos descriptivos importantes según Piori (1996):

2.2.9.1. Levantamiento de datos.

Es la obtención de datos de una colección de datos que no han sido ordenados numéricamente.

2.2.9.2. Rango de clases (R):

Es la diferencia entre el mayor valor y el menor valor entre la colección de datos.

$$R = \text{Valor mayor} - \text{Valor menor}$$

2.2.9.3. Marca de clase (Xi):

Punto medio del intervalo de clase y se obtiene sumando los límites inferior y superior de la clase y dividiendo entre 2.

2.2.9.4. Ancho de clase (C):

Es la diferencia entre los límites reales de clase que lo forman.

$$C = \frac{R}{i}$$

2.2.9.5. Histograma de frecuencia:

Grafico que expresa en manera de rectángulos la cantidad de veces que se repite un valor (frecuencia).

2.2.9.6. Curva de distribución normal:

También llamada curva de gauss, expresa la probabilidad o frecuencia de datos en torno a las medidas de tendencia central.

2.2.9.7. Medidas de tendencia central:

Son las siguientes:

Media.

Mediana.

Moda.

Desviación media.

Desviación estándar.

2.2.9.8. Media (X):

Es el promedio de la colección de datos.

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

2.2.9.9. Mediana (Me.):

Es el valor de la distribución que supera y a la vez es superado a lo sumo por la mitad de los datos.

$$Me = \frac{-FM}{fm} * C$$

Donde:

Lm: Límite inferior de la clase medianal.

FM: Frecuencia ordinaria acumulada absoluta anterior a la clase medianal.

fm: Frecuencia ordinaria absoluta de la clase medianal.

2.2.9.10. Moda (Mo):

Es el valor de mayor frecuencia de una serie de datos.

$$Mo = li + \frac{D1}{D1 + D2} * C$$

Donde:

li: Límite inferior de la clase modal.

D1: Diferencia entre la frecuencia absoluta de la clase modal y la frecuencia ordinaria de la clase anterior.

D2: Diferencia entre la frecuencia absoluta de la clase modal y la frecuencia ordinaria de la clase siguiente.

2.2.9.11. Desviación media (Dx):

Indica la cantidad de datos que caerán alrededor de la media.

$$Dx = \frac{x_i - \bar{x} * f_i}{n}$$

2.2.9.12. Desviación estándar (S):

Indica la medida absoluta de dispersión de una distribución simétrica respecto al promedio aritmético.

$$S = \frac{\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 * f_i}{n}}}{n}$$

2.3. Bases legales.

En la actualidad Venezuela carece de normas para el manejo y diseño de mezclas de concreto permeable, contando solo con las normativas de las organizaciones internacionales ASTM y ACI, mientras que en el país solo contamos con las normas COVENIN para las pruebas de campo señaladas a continuación:

2.3.1. Normativa nacional.

Norma COVENIN 268:1998: Agregado fino determinación de la densidad y la absorción. Esta norma venezolana contempla el método de ensayo para determinar la densidad aparente, la densidad aparente con muestra saturada y de superficie seca, densidad nominal, y la absorción.

Norma COVENIN 269:1998: Agregado Grueso determinación de la densidad y la absorción. Establece el método de ensayo para determinar la densidad aparente, con muestras saturadas y de superficie seca, la densidad aparente y la absorción del agregado grueso.

Norma COVENIN 356:1994: Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones. Esta norma venezolana establece las características mínimas que

rigen para los materiales que se usan como aditivos químicos en mezcla de concreto a base de cemento Portland.

Norma COVENIN 342:2004: Concreto. Método para el mezclado en el laboratorio, La presente norma venezolana contempla los métodos de mezclado del concreto en el laboratorio, a mano o con máquina, del concreto destinado a estudiar alguna característica de los materiales componente de la mezcla, las proporciones de mezcla o condiciones de esta operación.

Norma COVENIN 342-79: Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo. Se especifica las dimensiones de disposición mínimas de las viguetas, expresión de los resultados en módulos de rotura y sus correcciones para las fracturas fuera del tercio central del miembro.

Norma COVENIN 340-79: Método para la elaboración y curado en el laboratorio de probetas de concreto para ensayos de flexión. Procedimiento para la elaboración y curado de las probetas en el laboratorio, y especifica el tipo de modelo a utilizar con sus correspondientes medidas, así como las técnicas de vibrado que depende del asentamiento del concreto.

Norma COVENIN 255:1998: Agregados. Composición granulométrica (Primera Revisión). Especifica los procedimientos para la clasificación de los agregados según su tamaño nominal, así como también los parámetros para su aceptación o rechazo.

Norma COVENIN 263-78: Métodos de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.

Norma COVENIN 28:1993: Cemento portland, Requisitos. Contempla los requisitos del cemento portland para ser usado en construcción.

Norma COVENIN 277:2000: Concreto, agregados. Requisitos (3ra. Revisión): Establece los estándares de calidad que requieren los materiales para preparar concreto.

.3.2. Normativa internacional.

Norma ASTM C-33: Especificaciones estándares para agregados de concreto. Define los requerimientos para la gradación y calidad de los agregados finos y gruesos, para el uso del concreto

Norma ASTM C 136: Método de prueba estándar para análisis de tamices de agregado fino y grueso. El método prueba el valor de la distribución de los tamaños de partículas de los agregados.

Norma ACI 301: Calidad del agua para el concreto.

Norma ACI 522-06: Propiedades mecánicas del concreto permeable. Contiene información sobre las técnicas de aplicación, métodos de diseño, materiales, propiedades, métodos constructivos, pruebas e inspecciones del concreto permeable.

Norma ACI 211.2R-98: Guía para la selección de proporciones para el concreto permeable y sin asentamiento. Contiene información referente a las porciones, dosificaciones para la elaboración del diseño de la mezcla del concreto permeable. Presenta guías, gráficos y tablas de los parámetros claves para el diseño como el volumen de pasta.

2.4. Definición de términos.

Absorción: Atracción desarrollada por un sólido sobre un líquido con la intención de que las moléculas de éste logren penetrar en su sustancia.

Acuífero: Un acuífero es un terreno rocoso permeable dispuesto bajo la superficie, en donde se acumula y por donde circula el agua subterránea. Una zona de saturación, que es la situada encima de la capa impermeable, donde el agua rellena completamente los poros de las rocas.

Agua: es una sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O). Generalmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, aunque la misma puede hallarse en su forma sólida llamada hielo y en su forma gaseosa denominada vapor. Es esencial e imprescindible para el origen y la supervivencia de la gran mayoría de todas las formas conocidas de vida ocupando tres

cuartas partes del planeta Tierra formando los lagos, ríos océanos y los otros componentes de la hidrósfera.

Agua pluvial: Las aguas pluviales son aquellas procedentes de la lluvia, la mayor parte de ellas no es absorbida por el suelo, sino que discurren por edificios, calles, estacionamientos y otras superficies artificiales siendo recolectadas en los sistemas de alcantarillado y finalmente descargadas al ambiente.

Arena: Conjunto de fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeño tamaño.

Canto rodado: Son fragmentos de roca pulidos y sueltos, susceptibles de ser transportados por medios naturales, como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, otros. Aunque no se hace distinción de forma, en general, un canto rodado adquiere una morfología redondeada, sin aristas y con la superficie lisa, debido al desgaste sufrido por los procesos erosivos durante el transporte, generalmente causados por la erosión de las corrientes de agua.

Cemento: Es un conglomerante formado a partir de una mezcla de yeso, caliza y arcilla calcinadas y trituradas, que tiene la propiedad de endurecerse después de entrar en contacto con el agua.

Clinker: el principal componente del cemento Portland, producto resultante de la molienda de rocas de arcilla y caliza horneadas a una temperatura oscilante entre los 1350 y 1450 °C. Se convierte en cemento cuando se le agrega una pequeña cantidad de yeso para que tenga la capacidad de fraguar.

Concreto: es un material empleado en la construcción, formado esencialmente cemento, arena, grava, agua y aditivos específicos.

Drenaje: Es el sistema de tuberías, accesorios y conexiones que permiten el desalojo de líquidos de un sitio.

Erosión: Es el proceso de desgaste o alteración de la morfología de los suelos y rocas debido a su exposición a los elementos.

Escorrentía: Corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales. En hidrología la escorrentía hace referencia a la lámina de

agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura respecto al suelo del agua de lluvia escurrida y extendida.

Fraguado: Proceso de endurecimiento o pérdida de plasticidad del hormigón u otros morteros producido por la desecación y re-cristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química de su combinación con el agua.

Gradiente térmico: También llamado gradiente de temperatura a la variación de temperatura por unidad de distancia. La unidad del gradiente térmico en el sistema internacional es el Kelvin por metro ($^{\circ}\text{K}/\text{m}$).

Grava: Rocas formadas por granos de tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros. Pueden ser producidas de manera artificial producto de su fragmentación en cuyo caso suele denominarse piedra partida o resultado de procesos naturales producto de los procesos erosivos.

Máquina de desgaste de Los Ángeles: Diseñada para determinar la resistencia a la abrasión de agregados por unidad de tiempo o revoluciones por minuto (RPM), está construido por un tambor de chapa de acero con tapa de acceso ajustable que contiene en su interior un juego de esferas de acero.

ASTM: La American Society for Testing and Materiales (ASTM) es una organización que publica y desarrolla acuerdos voluntarios y normas técnicas para una amplia gama de materiales, productos, sistemas y servicios contando con alrededor de 12.575 ejemplares de aplicación internacional.

ACI: El American Concrete Institute (ACI) es la organización de los Estados Unidos que desarrolla estándares, normas y recomendaciones técnicas con referencia al hormigón reforzado.

COVENIN: La Comisión Venezolana de Normas Industriales, fue desde 1958 hasta 2004 el ente encargado de velar por la estandarización y normalización bajo lineamientos de calidad en Venezuela. Estableció los requisitos mínimos para la elaboración de procedimientos, materiales, productos, actividades y demás aspectos que estas normas rigen en la que participaban entes gubernamentales y no gubernamentales especialistas en un área. A partir del año 2004, las actividades desarrolladas por COVENIN pasan a ser ejecutadas por FONDONORMA.

Pavimento: Es la base horizontal de una determinada construcción que sirve de apoyo a las personas, animales o cualquier pieza de mobiliario. Un pavimento puede tener diversos tipos de revestimiento (madera, cerámica, otros.). También se denomina pavimento a los conectores de vías de comunicación con asfaltos combinados naturales.

Permeabilidad: Capacidad que tiene un material de permitir a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable o no permeable si la cantidad de fluido es despreciable.

Peso unitario: Cantidad de peso (no confundir con masa) por unidad de volumen de un cuerpo, generalmente se expresa en kN/m^3 o kgf/m^3 .

Porosidad: La porosidad de un suelo viene dada por el porcentaje de huecos o separación entre las fibras existentes en el mismo frente al volumen total de un cuerpo. A efectos prácticos se calcula a partir de las densidades aparente y real del suelo

Tamizado: Es un método físico que consiste en clasificar un cuerpo según el tamaño de sus partículas a través de un separador mecánico que puede ser filtro, tamiz, criba, colador, entre otras.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación asumido es proyecto factible pues se utiliza el método de análisis, para lograr caracterizar el objeto de estudio o una situación concreta, señalando sus características y propiedades, analizando los resultados por medio de fenómenos tangibles y gráficos que muestren el desempeño de la mezcla de concreto permeable.

El nivel de investigación para este proyecto se considera descriptivo porque vamos a obtener información acerca del proceso para describir sus implicaciones, pues se estudiará el comportamiento del concreto permeable, actividad que se realiza explicando su desempeño a través de pruebas de campo donde los resultados se dan en ese mismo instante.

Así lo señala Hurtado, J (2000). “Los estudios descriptivos se refieren a aquellas investigaciones cuyo propósito es describir un evento que ocurre o se observa en un momento único del presente, utilizando para la recolección de los datos fuentes vivas y observando el evento en su contexto natural, sin introducir ningún tipo de modificaciones.”

3.3. Diseño de investigación

Según los autores Santa Salella y Feliberto Martins (2010), definen: “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten

en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa”. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado, para luego analizarlos y rectificar los errores cometidos hasta encontrar un comportamiento definido; tal es el caso las muestras realizadas que indicaron cual será la mejor preparación del diseño de 32 mezcla para concreto permeable.

3.4. Población

La población es un conjunto de individuos de la misma clase a estudiar. Según Tamayo, M (1997), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación”.

3.5. Muestra.

La muestra es la que puede determinar la problemática ya que les capaz de generar los datos con los cuales se identifican las fallas dentro del proceso. Según Tamayo, M (1997), afirma que la muestra “es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico”. Para nuestro caso de estudio, la muestra estará constituida por la cantidad de probetas ensayadas.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Según Hurtado (2000) expone que “la selección de técnicas e instrumentos de recolección de datos implica determinar por cuáles medios o procedimientos el investigador obtendrá la información necesaria para alcanzar los objetivos de la investigación.”, es decir, las técnicas e instrumentos de recolección de datos son la manera en la que se obtendrá la información en el desarrollo del trabajo de grado. En nuestro caso será de manera de observación directa ya que las consecuencias se dan me manera cualitativa, física y tangible.

3.7. Fases metodológicas.

Para ejecutar un trabajo de investigación es necesario realizar un cronograma esquematizado de las actividades a realizar en función de los objetivos específicos.

Fase I: Recopilar información sobre las ventajas, desventajas y usos del concreto permeable con canto rodado como agregado grueso.

Por el tipo de investigación a ejecutar, se requiere la consulta bibliográfica, haciendo énfasis en proyectos anteriores donde nos permitirán establecer criterios para exponer las normativas, ensayos y definición de términos básicos para su desarrollo.

Ante la falta de alguna normativa que regule la aplicación del concreto permeable, se extrajo información de trabajos de grados anteriores para establecer las ventajas y desventajas de la aplicación del concreto permeable a partir de las conclusiones y recomendaciones de las tesis tituladas “Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras El Carmen, Aramuaca y La Pedrera de la zona oriental de El Salvador.

Fase II: Diseñar la mezcla para el concreto permeable con canto rodado para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm².

Examinar a través de las pruebas de ensayos las propiedades físicas, químicas y mecánicas según lo establecido en las normas COVENIN 277:2000 que regula la calidad de los distintos tipos de materiales empleados en la preparación de concretos y concretos permeables. Entre los ensayos a realizar podemos citar:

Granulometría.

Absorción.

Peso específico de los materiales.

Peso unitario de los materiales.

Posteriormente, ante la ausencia de alguna normativa que establezca el procedimiento para la preparación de mezclas de concreto poroso, se tomara la normativa del ACI 311-2R según las conclusiones y recomendaciones de los trabajos de investigación anteriores, dichas mezclas se realizarán distintas mezclas de concreto en un formato de prueba llamado “viguetas”, las cuales variarán en función de las relaciones agua-cemento y porcentajes de agregado fino (si lo requiere).

Fase III: Deducir las características físicas y mecánicas del concreto permeable con canto rodado.

Una vez obtenidos los resultados de los distintos tipos de mezcla, procederemos a establecer un diseño único al cual se le realizaran las mismas pruebas descritas anteriormente estableciendo un total de población y muestra, a las cuales se le realizaran las siguientes pruebas:

Porosidad de las mezclas.

Ensayo de flexión de las muestras.

Permeabilidad.

Fase IV: Evaluar los resultados y factibilidad económica del uso del concreto permeable con canto rodado para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm².

Finalmente, se estudiará la rentabilidad de preparación del concreto permeable compuesto con canto rodado como agregado grueso haciendo un simple análisis de costo respecto a la preparación de una misma cantidad de concreto convencional.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

En este capítulo se detallan todos los ensayos y procedimientos realizados para el desarrollo del trabajo de grado, así como el respectivo análisis de cada fase.

4.1. Fase I: Recopilar información sobre las ventajas, desventajas y usos del concreto permeable con canto rodado como agregado grueso.

Cuadro 2. : Ventajas y desventajas del uso de concreto permeable

Ventajas	Desventajas
<p>Escurrimiento de las aguas pluviales.</p> <p>Depuran las aguas de los contaminantes</p> <p>Se utiliza en áreas de estacionamiento o en pavimentos de tráfico ligero</p> <p>Adquiere su resistencia mayor entre 24 y 72 horas.</p> <p>Su peso es un 20 a 25 % menor que el concreto convencional.</p> <p>Las fisuras en el concreto es mucho menor a la retracción</p>	<p>Su uso tiene límites, empleado en vías de tráfico ligero,</p> <p>No se recomienda usar sobre superficies expuestas a aguas negras pueden contaminar las aguas subterráneas.</p> <p>Por la pérdida de permeabilidad al tiempo, se van saturando los espacios vacíos con material fino,</p>

Fuente: Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

4.2. Fase II: Diseñar la mezcla para el concreto permeable con canto rodado para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm².

4.2.1. Materiales.

Agregado grueso: Se usó canto rodado procedente del río Acarigua, Estado Portuguesa de tamaño nominal de 3/4" para tener mejor maleabilidad de la pasta por la configuración del encofrado y tipo de mezcla.

Agregado fino: Está compuesto por arena lavada de río proveniente de Tinaquillo, Estado Cojedes.

Cemento: Clasificación Portland, tipo I, producido por la empresa Corporación Socialista del Cemento (CSC) (antigua Holcim), planta Puerto Cumarebo, Estado Falcón.

Aditivo: Tipo D, súper plastificante modelo VMAR VSC – 500 fabricado por la empresa Grace, Estado de Massachusetts, Estados Unidos (ver figura 5).



Figura 5. Ficha técnica del aditivo tipo D.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

4.2.2. Ensayos preliminares.

Al tratarse de materiales muy variables, es necesario realizar los ensayos previos para comprobar que estos cumplen con los estándares de calidad al momento de hacer la mezcla.

4.2.2.1. Agregado grueso.

Análisis granulométrico:

Se procedió a realizar el ensayo granulométrico del canto rodado donde se toma una muestra, se pesa y se introduce en la máquina tamizadora donde se clasifica por la cantidad retenida según su tamaño nominal (ver figura 6), dicho análisis viene indicado en el cuadro 3 y figura 7.

Cuadro 3. Análisis granulométrico del agregado grueso.

Análisis granulométrico - COVENIN 255					
Cedazo		Cantidad retenida	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
37,50 mm.	1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
25 mm.	1"	0,00	0,00	0,00	100,00
19 mm.	3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
12,50 mm.	1/2"	1443,00	62,41	62,41	37,59
9,50 mm.	3/8"	500,00	21,63	84,04	15,96
6,35 mm.	1/4"	332,80	14,39	98,43	1,57
4,75 mm.	No. 4	22,50	0,97	99,41	0,59
2,38 mm.	No. 8	11,30	0,49	99,90	0,10
1,19 mm.	No. 16	0,20	0,01	99,90	0,10
0,60 mm.	No. 30	0,00	0,00	99,90	0,10
0,30 mm.	No. 50	0,00	0,00	99,90	0,10
0,15 mm.	No.100	0,00	0,00	99,90	0,10
Fondo		2,20	0,10	100,00	0,00
Total		2312,00			

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

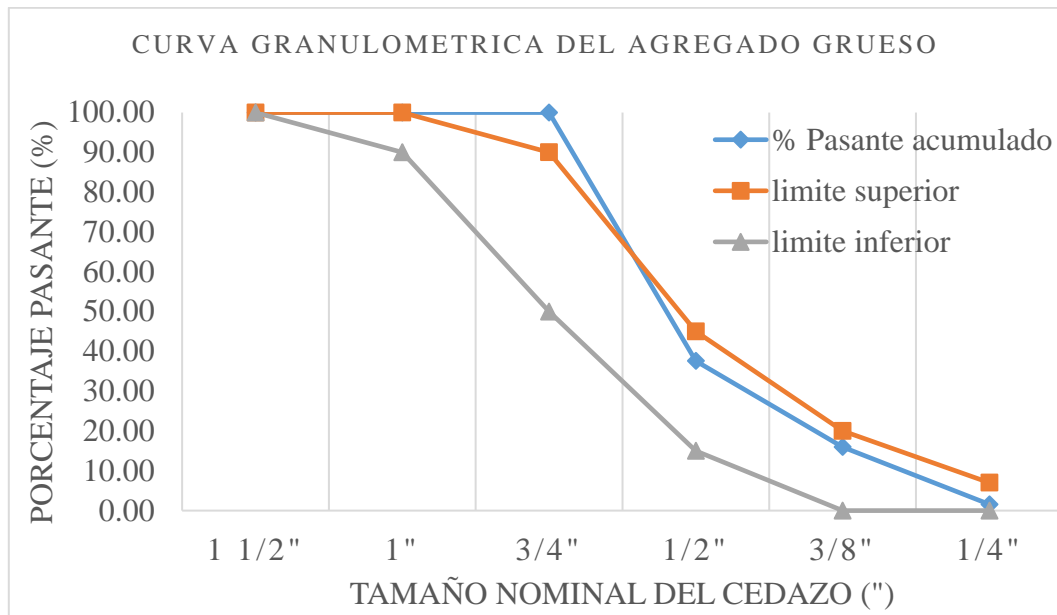


Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Como se observa, al seleccionar tamaño máximo 3/4" el pasante es del 100% y por eso es que la curva está fuera del límite superior.

Pasante #200:

Se tomó una muestra seca de piedra que se pesó y se lavó a través de la malla 200 para eliminar el polvo e impurezas contenidas y se secó en el horno. Luego volvió a pesar y por diferencia de peso se determina la cantidad de partículas descartadas.

Absorción del agregado grueso:

Se pesó una cantidad de muestra lavada y secada sumergida en agua durante 24 horas. Posteriormente, se extrae el agua sobrante que recubre la superficie de la piedra con un paño absorbente y se toma su peso para determinar el porcentaje de absorción por diferencias de pesos.

Peso unitario suelto y compacto:

Dentro de un recipiente previamente tarado y conocido su peso y volumen (ver figura 7) se le introdujo una muestra de piedra lavada y secada hasta llegar al tope del recipiente para anotar su peso con espacios de aire (peso suelto).

Inmediatamente se compactó dándole 25 golpes sobre una superficie dura a 3 capas de material para desalojar todos los espacios vacíos que pudiera contener hasta llenar nuevamente el recipiente al tope y se midió su peso compactado.



Figura 7.: Recipiente usado para los pesos unitarios.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Determinación del peso específico:

Inmediatamente, se introdujo el material en un recipiente sumergido en agua para determinar su peso en una balanza hidrostática, determinando así sus densidades aparente, absoluta y específica a través de las formulas y cuadros presentados a continuación.

De estos procedimientos se obtienen los siguientes datos:

Cuadro 4. Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso.

Peso unitario suelto y compacto - COVENIN 263	
Tara (g)	3,179
Volumen (dm3)	6,375
Tara + agregado sin compactar (g)	12,534
Tara + agregado compactado (g)	13,571
Peso unitario suelto (kg./m3)	1,467
Peso unitario compacto (kg./m3)	1,630

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Donde:

$$\text{Peso Unitario Suelto} = \frac{\text{Agregado sin Compactar} - \text{Tara}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Peso Unitario Compacto} = \frac{\text{Agregado Compactado} - \text{Tara}}{\text{Volumen}}$$

A partir de ellos se realizan las siguientes operaciones:

Cuadro 5. Peso específico y absorción del agregado grueso.

Peso específico y absorción del agregado grueso - COVENIN 269	
Peso muestra en el aire (g.)	747,50
Peso muestra SSS en el aire (g.)	752,30
Peso muestra saturada en agua (g.)	469,00
Peso específico	2,64
Peso específico SSS	2,66
Peso específico aparente	2,68
Porcentaje de absorción (%)	0,64
Porcentaje de vacíos (%)	38,22

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Donde:

$$ag = \frac{\text{Peso muestra en el aire}}{(\text{Peso muestra SSS en aire} - \text{Peso muestra saturada en agua})}$$

$$ag\ SSS = \frac{\text{Peso muestra SSS en aire}}{(\text{Peso muestra SSS en aire} - \text{Peso muestra saturada en agua})}$$

$$ag \text{ Ap.} = \frac{\text{Peso muestra en el aire}}{(\text{Peso muestra en el aire} - \text{Peso muestra saturada en agua})}$$

$$\% \text{ Abs.} = \frac{\text{Peso muestra SSS en el aire} - \text{Peso muestra en el Aire}}{\text{Peso muestra en el aire}} * 100$$

Análisis granulométrico - COVENIN 255

$$\% \text{ V} = \frac{\text{ag} - \text{Peso Unitario Compacto}}{\text{ag.}} * 100$$

aparente del agregado grueso.

% Abs.: Porcentaje de absorción del agregado grueso.

% V: Porcentaje de vacíos del agregado grueso.

4.2.2.2. Agregado fino.

De la misma manera que el agregado grueso, se ensayó la arena para analizar su granulometría y su grado de saturación.

Análisis granulométrico:

Se introduce una muestra pesada dentro de la maquina tamizadora donde se clasifica la cantidad retenida en función del tamaño nominal del cedazo.

Cedazo		Cantidad retenida (g.)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
9,51 mm.	3/8"	1,01	0,07	0,07	99,93
6,35 mm.	1/4"	119,63	8,40	8,47	91,53
4,75 mm.	No. 4	65,30	4,59	13,06	86,94
2,38 mm.	No. 8	161,10	11,32	24,38	75,62
1,19 mm.	No. 16	165,60	11,63	36,01	63,99
0,60 mm.	No. 30	248,30	17,44	53,45	46,55
0,30 mm.	No. 50	333,00	23,39	76,84	23,16
0,15 mm.	No.100	225,20	15,82	92,66	7,34
Fondo		104,50	7,34	100,00	0,00
Total		1423,64			

Cuadro 5: Análisis granulométrico del agregado fino.

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

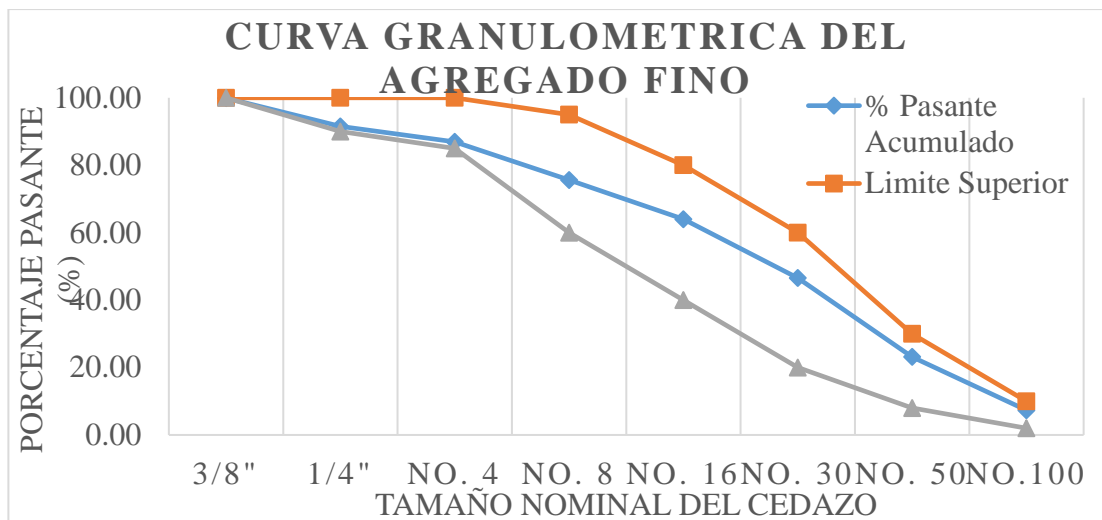


Figura 8. Curva granulométrica del agregado fino.

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Peso unitario suelto y compacto:

Se determinaron mediante la recopilación de los siguientes datos del cuadro 6 ingresando en un recipiente muestra del material sin compactar y compactado.

Cuadro 6. Peso unitario suelto y compacto del agregado fino.

Peso unitario suelto y compacto - COVENIN 263	
Tara (kg)	3,179
Volumen (dm ³)	6,375
Tara + agregado sin compactar (g)	13,647
Tara + agregado compactado (g)	14,425
Peso unitario suelto (kg./m ³)	1,642
Peso unitario compacto (kg./m ³)	1,764

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Pesos específicos:

Para realizar estos ensayos se tomó una muestra del agregado y se pesó, posteriormente se volvió a tomar su peso sumergiéndolo en un picnómetro y luego secándolo con un paño para obtener el peso saturado por superficie seca (S.S.S.), mostrando los siguientes datos y resultados en el cuadro 7.

Cuadro 7. Peso específico y absorción del agregado fino.

Peso específico y absorción del agregado fino - COVENIN 268	
c'	1049,50
va	261,70
s	607,30
b'	180,00
a'	600,00
Peso específico	2,34
Peso específico SSS	2,55
Peso específico aparente	2,60
Absorción (%)	1,22
Vacíos (%)	24,63

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Donde:

$$\text{Peso específico} = \frac{c'}{b' + 0.9976va + s - a'}$$

$$\text{Peso específico SSS} = \frac{s}{b' + 0.9976va + s - c'}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a'}{b' + 0.9976va + a' - c'}$$

$$\text{Absorción} = \frac{s - a'}{a'} * 100\%$$

$$\text{Vacíos} = \frac{\text{Peso específico} - \text{Peso unitario compacto}}{\text{Peso específico}} * 100\%$$

Donde

c': Peso del picnómetro con muestra y agua hasta la calibración.

b': Peso del picnómetro vacío.

Va: Volumen de agua añadida al picnómetro.

s: Peso de la muestra S.S.S.

a': Peso de la muestra seca en el aire.

Colorimetría:

A una muestra seca de arena pasada por el cedazo #4 se llena a 1/3 de la capacidad del frasco colorimétrico. Se llena a 2/3 el frasco con hidróxido de sodio al 3% en agua. Pasado 24 horas se toma la lectura de la muestra con el vidrio patrón Gardner de colorimetría indicado en la figura 8 y comparando el color estándar con el de la solución de NaOH que por norma no debe ser superior a 3 y cuyo resultado fue 1.



Figura 9. Vidrio patrón Gardner.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

4.2.3. Diseño de mezclas.

Inicialmente se comenzó a trabajar con un diseño carente de arena debido a que se requiere de un material que no sea macizo para permitir el paso del agua.

4.2.3.1. Diseño de mezcla sin finos (muestra 1).

Criterios:

Relación agua – cemento (Ra/c): Debe estar en el rango comprendido entre 0,35 y 0,45. Por lo tanto, se tomó un promedio: $R a/c = 0,40$.

Aditivo: La dosificación debe estar ente 0,1% y 0,6% en relación a la masa de cemento, para la cual usaremos un 0,6%.

Porosidad teórica: Para un concreto permeable se estipula entre 15% y 20%, esta se comprobará con la tabla contenido de pasta versus vacíos para agregados granulometría No 67.

Cemento: La cantidad de masa por unidad de volumen necesaria debe estar en un rango de 270 kg/m³ – 415 kg/m³. Por experiencia del técnico de laboratorio se usó 350 kg/m³.

Peso específico del cemento: 3,15 kg/cm³.

Masa del agregado por metro cubico: Sacando un promedio entre el peso unitario suelto y el peso unitario compacto de obtiene 1548 kg/m³.

Gravedad especifica= 2,66.

Volumen de la pasta (Vp):

Teniendo como datos la cantidad de cemento y la relación agua-cemento se obtiene el volumen de pasta.

$$Ra/c=0.40.$$

$$C = 350 \text{ kg/m}^3.$$

$$V_p = \frac{c}{\text{Peso específico del cemento}} + \left(\frac{c \cdot R_a}{\text{Peso específico del agua}} \right)$$

$$V_p\% = \frac{350}{3,15 \cdot 1000} + \frac{350 \cdot 0,4}{1000} \cdot 100$$

$$V_p\% = 25\%.$$

Porosidad teórica:

Teniendo el volumen de pasta se comprueba la porosidad teórica usando la gráfica de volumen de pasta versus vacíos para agregados granulometría No 67 (3/4”).

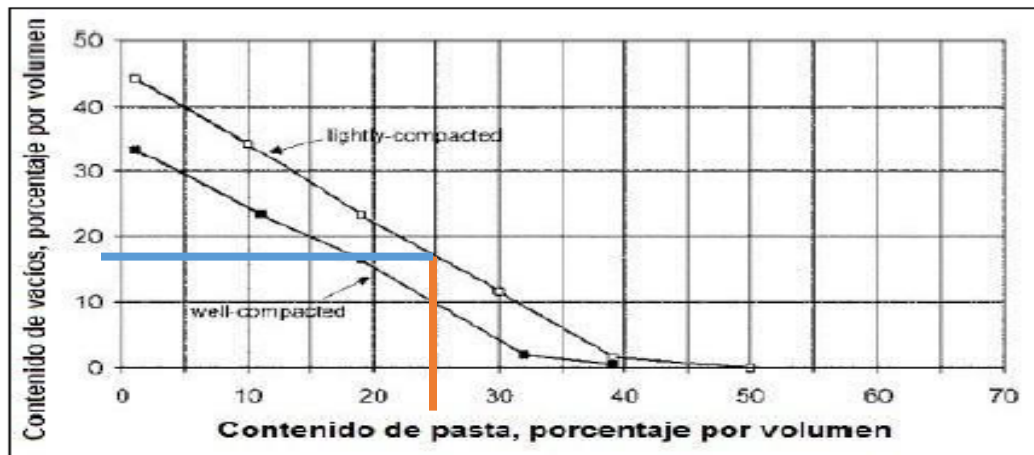


Figura 10. Contenido de pasta versus vacíos para agregado de tamaño nominal No. 67 (3/4").
Fuente: ACI 211. 3R-02. Apéndice 6 (1998).

Ingresando a la tabla con un contenido de pasta de 25% (línea naranja) y cruzando la línea de compactación ligera (lightly compacted) con la línea azul se obtiene una porosidad del 18% lo cual indica que estamos dentro de los parámetros del concreto permeable.

Volumen del agregado:

$$V_g = \frac{M_a}{G_s}$$

$$V_g = \frac{1548}{2,66 * 1000}$$

$$V_g = 0,582 \quad .$$

Volumen de cemento:

$$V_c = \frac{c}{\text{Peso específico del cemento}}$$

$$V_c = \frac{350}{3,15 * 1000}$$

$$V_c = 0,111 \quad .$$

Cantidad de agua necesaria (a):

$$a=c*Ra/c.$$

$$a=350*0,4$$

$$a = 140 \text{ kg/m}^3.$$

Volumen del agua:

$$V_a = \frac{a}{\text{Peso específico del agua}}$$

$$V_a = \frac{140}{1000}$$

$$0,14 \text{ .}$$

Cantidades absolutas:

Son las dosificaciones de los ingredientes para preparar 1 metro cúbico de material.

Cuadro 8. Cantidades absolutas de materiales (muestra 1)

Volúmenes totales (m3).			Pesos totales (kg/m3)		
Cemento	Agregado Grueso	Agua	Cemento	Agregado Grueso	Agua
0,111	0,582	0,14	350	1548	140

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Cantidades reales:

Para realizar el vaciado, es necesario prepara la mezcla en función del volumen a llenar, esto se determina calculando el volumen de los encofrados a utilizar. Para ello se emplearon 4 moldes; 2 para una edad de 7 días y 2 para 28 días en forma de paralelepípedo de 15 cm de ancho y alto y 60 cm. de largo y la mezcla sobrante se usó para el vaciado de las losetas de dimensiones 33 cm de ancho, 40 cm. de largo y 10 cm. de espesor (ver figura 10).



Figura 11.: Mezclas vaciadas en los encofrados.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

$$V_t = n * l * b * h$$

$$V_t = 4 * 0.60 * 0.15 * 0.15$$

$$V_t = 0,071 \text{m}^3$$

Donde:

n: Cantidad de moldes a usar.

l: Largo del molde de la vigueta.

b: Ancho del molde de la vigueta.

h: Altura del molde de la vigueta.

El cálculo real de las dosificaciones es el producto de la multiplicación del volumen total de los encofrados a utilizar (V_t) por el peso específico de los materiales.

Cemento (C):

$$C=c*Vt$$

$$C=350*0,071$$

$$C = 25 \text{ kg.}$$

Agregado grueso (Ag.)

$$Ag=Ma*Vt$$

$$Ag=1548*0,071$$

$$Ag=110,4 \text{ Kg.}$$

Agua (A):

$$A=a*Vd$$

$$A=140*0,071$$

$$A=10 \text{ l.}$$

Aditivo (Ad):

Se usó un 0.60% de la cantidad de cemento absoluta.

$$Ad=c*0,6\%$$

$$Ad=25*0,6\%$$

$$Ad=0,15 \text{ kg}$$

Cuadro 9.Cantidades reales de materiales (muestra 1).

Diseño de mezcla (muestra 1).			
Cemento (kg).	Agregado grueso (kg).	Agua (l).	Aditivo (kg)
25	110,4	10	0,15

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Debido a la alta cantidad de agua, la consistencia de la mezcla no fue la ideal ya que se desea que los agregados adquieran un aspecto brillante por toda su superficie y al momento del ensayo la resistencia adquirida no fue suficiente y la intención es que el agua solo hidrate y haga reaccionar químicamente los materiales.

4.2.3.2. Diseño de mezcla sin finos (Muestra 2).

Para este diseño se le incorporó el agua de manera gradual hasta que adquiriera la consistencia deseada, además que su colocación se produjo a modo de 3 capas y compactando 25 veces con una probeta de concreto de masa constante.

Criterios:

Aditivo: La dosificación debe estar entre 0,1% y 0,6% en relación a la masa de cemento, para la cual usaremos un 0,6%.

Porosidad teórica: Para un concreto permeable se estipula entre 15% y 20%, esta se comprobará con la tabla contenido de pasta versus vacíos para agregados granulometría No 67.

Cemento: La cantidad de masa por unidad de volumen necesaria debe estar en un rango de 270 kg/m³ – 415 kg/m³. Por experiencia del técnico de laboratorio se usó 350 kg/m³.

Peso específico del cemento: 3,15 kg/cm³.

Masa del agregado por metro cubico: Sacando un promedio entre el peso unitario suelto y el peso unitario compacto de obtiene 1548 kg/m³.

Cantidad de agua (a):

Se determina la cantidad de agua necesaria en base a la relación agua-cemento. Como el aditivo permite reducir la cantidad de agua ya conocida y lo que se requiere es de una mezcla seca entonces se le agrego en pocas cantidades hasta obtener la consistencia requerida.

Agua inicial = 10 l.

Agua final = 8,70 l.

$$Ar = (\text{Agua final.} / \text{Agua inicial}) * 100\%$$

$$Ar = \frac{8,70}{10} * 100\%$$

$$Ar = 13\%.$$

Ar: Porcentaje de reducción.

$$a = \frac{\text{Agua final}}{V_t}$$

$$a = \frac{8,70}{0,071}$$

$$a = 122,50 \text{ kg/m}^3.$$

Volumen del agua (Va):

$$Va = \frac{a}{\text{Peso específico del agua}}$$

$$Va = \frac{122,50}{1000}$$

$$Va = 0,12 \text{ .}$$

Relación agua-cemento (Ra/c):

$$Ra/c = \frac{a}{c}$$

$$Ra/c = \frac{122,50}{350}$$

$$Ra/c = 0,35.$$

Volumen de pasta (Vp):

Teniendo como dato la cantidad de cemento se obtiene el volumen de pasta.

$$C = 350 \text{ kg/m}^3.$$

$$V_p = \frac{c}{\text{Peso específico del cemento}} + \left(\frac{c * Ra/c}{\text{Peso específico del agua}} \right)$$

$$V_p\% = \frac{350}{3,15 \cdot 1000} + \frac{350 \cdot 0,35}{1000} \cdot 100$$

$$V_p = 23\%$$

Porosidad teórica:

Con el volumen de pasta se comprueba la porosidad teórica usando la figura 10 de volumen de pasta versus vacíos para agregados granulometría No 67 (3/4").

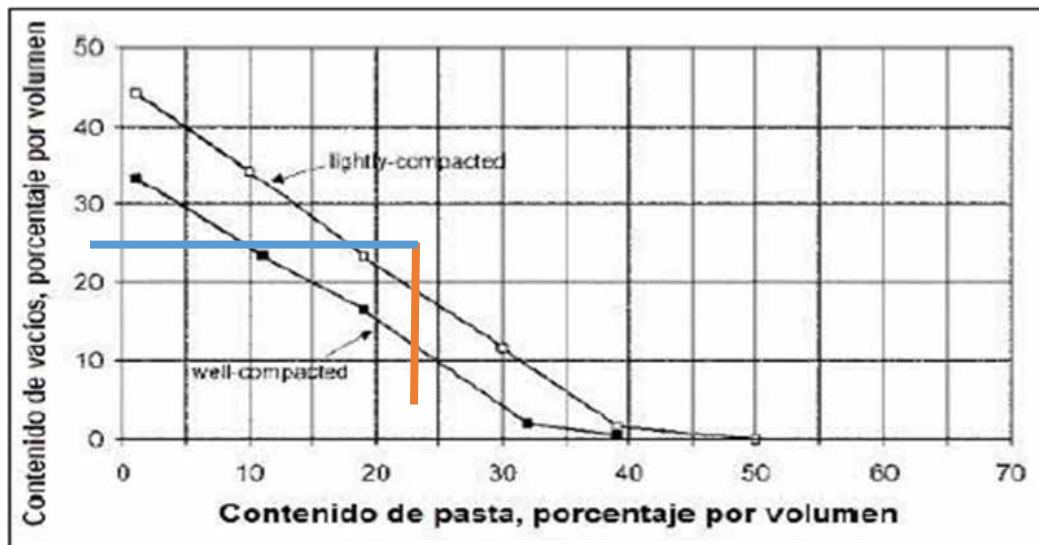


Figura 12. Contenido de pasta versus vacíos para agregado de tamaño nominal No. 67 (3/4").
Fuente: ACI 211. 3R-02. Apéndice 6 (1998).

Ingresando a la tabla con un contenido de pasta de 23% (línea naranja) y cruzando la línea de compactación ligera (lightly compacted) con la línea azul se obtiene una porosidad del 19% lo cual indica que estamos dentro de los parámetros del concreto permeable.

Volumen del agregado (Vg):

$$V_g = \frac{M_a}{G_s}$$

$$V_g = \frac{1548}{2,66 \cdot 1000}$$

$$V_g = 0,582$$

Volumen del cemento (Vc)

$$V_c = \frac{c}{\text{Peso específico del cemento}}$$

$$V_c = \frac{350}{3,15 * 1000}$$

$$V_c = 0,111 \quad .$$

Cantidades absolutas:

Son las dosificaciones de los ingredientes para preparar 1 metro cubico de material.

Cuadro 10. Cantidades absolutas de materiales (muestra 2).

Volúmenes totales (m3)			Pesos totales (kg/m3)		
Cemento	Agregado Grueso	Agua	Cemento	Agregado Grueso	Agua
0,111	0,582	0,12	350	1548	122,50

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Cantidades reales:

Para realizar el vaciado, es necesario prepara la mezcla en función del volumen a llenar, esto se determina calculando el volumen de los encofrados a utilizar. Para ello se emplearon 4 moldes; 2 para una edad de 7 días y 2 para 28 días en forma de paralelepípedo de 15 cm de ancho y alto y 60 cm. de largo y la mezcla sobrante se usó para el vaciado de las losetas de dimensiones 33 cm de ancho, 40 cm. de largo y 10 cm. de espesor.

$$V_t = n * l * b * h$$

$$V_t = 4 * 0.60 * 0.15 * 0.15$$

$$V_t = 0,071 \text{m}^3$$

Donde:

n: Cantidad de moldes a usar.

l: Largo del molde de la vigueta.

b: Ancho del molde de la vigueta.

h: Altura del molde de la vigueta.

Cemento:

$$C=c*Vt$$

$$C=350*0,071$$

$$C=25 \text{ Kg.}$$

Agregado grueso (Ag).

$$Ag=a*Vt$$

$$Ag=1548*0,071$$

$$Ag=110,4 \text{ Kg.}$$

Agua (A)

$$A=a*Vd$$

$$A=122,50*0,071$$

$$8,70 \text{ l.}$$

Aditivo (Ad).

$$Ad=c*0,6\%$$

$$Ad=25*0,6\%$$

$$Ad=0,15 \text{ kg.}$$

Cuadro 11. Cantidades reales de materiales (muestra 2).

Diseño de mezcla sin finos (muestra 2).			
Cemento (kg).	Agregado grueso 3/4" (kg).	Agua (l).	Aditivo (kg)
25	110,4	8,70	0,15

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Nuevamente la mezcla se tuvo que descartar ya que al igual que la primera no alcanzó una resistencia satisfactoria además de que en su manipulación se presentó desprendimiento del material.

4.2.3.3. Diseño de mezcla con finos (muestras desde la No. 3 hasta la No. 32).

Nuevamente se tomó la decisión de alterar el diseño de mezcla, para ello se agregó arena a la mezcla para obtener muestras más macizas, pero procurando reducir en lo mínimo la cantidad de vacíos para evitar tener problemas con la permeabilidad.

Criterios:

Relación agua – cemento (Ra/c): Debe estar en el rango comprendido entre 0,35 y 0,45. Para evitar cambios significativos en cuanto a la porosidad del material, se trabajó con en valor mínimo: $R a/c = 0,35$.

Aditivo: La dosificación debe estar ente 0,1% y 0,6% en relación a la masa de cemento, para la cual usaremos un 0,6%.

Porosidad teórica: Para un concreto permeable se estipula entre 15% y 20%, esta se comprobará con la tabla contenido de pasta versus vacíos para agregados granulometría No 67.

Cemento: La cantidad de masa por unidad de volumen necesaria debe estar en un rango de 270 kg/m³ – 415 kg/m³. Por experiencia del técnico de laboratorio se usó 350 kg/m³.

Peso específico del cemento: 3,15 kg/cm³.

Masa del agregado por metro cubico: Sacando un promedio entre el peso unitario suelto y el peso unitario compacto de obtiene 1548 kg/m3.

Arena: Se calculará en función del porcentaje de reducción permitido cuando se analice la cantidad de vacíos.

Volumen de pasta (Vp):

Teniendo como dato la cantidad de cemento y su relación se obtiene el volumen de pasta.

C = 350 kg/m3.

$$V_p = \frac{c}{\text{Peso específico del cemento}} + \left(\frac{c \cdot R_a}{c} \right) \frac{1}{\text{Peso específico del agua}}$$

$$V_p\% = \frac{350}{3,15 \cdot 1000} + \frac{350 \cdot 0,35}{1000} \cdot 100$$

$$V_p = 23\%.$$

Porosidad teórica:

Con el volumen de pasta se comprueba la porosidad teórica usando la figura 12 de volumen de pasta versus vacíos para agregados granulometría No 67 (3/4”).

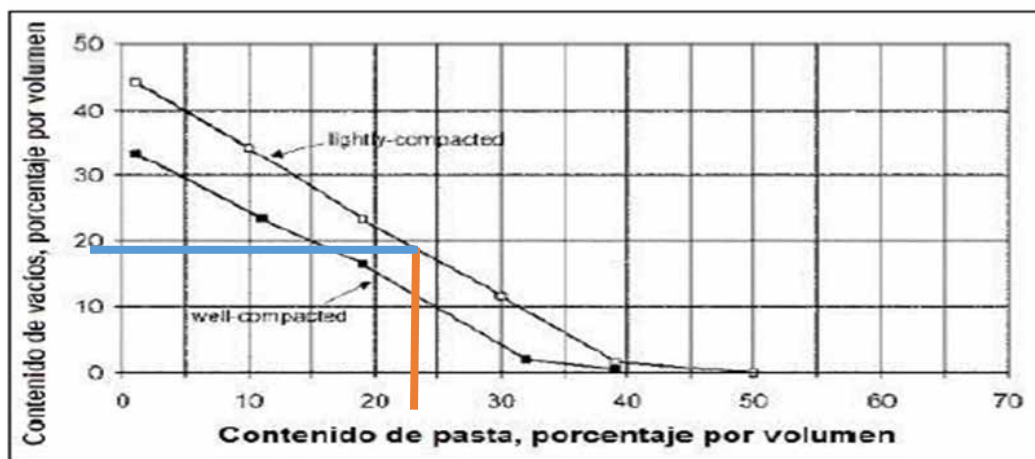


Figura 13. Contenido de pasta versus vacíos para agregado de tamaño nominal No. 67 (3/4”). Fuente: ACI 211. 3R-02. Apéndice 6 (1998).

Ingresando a la tabla con un contenido de pasta de 23% (línea naranja) y cruzando la línea de compactación ligera (lightly compacted) con la línea azul se obtiene una porosidad del 19% lo cual indica que estamos dentro de los parámetros del concreto permeable.

Volumen del agregado (Vg):

$$Vg = \frac{Ma}{Gs}$$

$$Vg = \frac{1548}{2,66 * 1000}$$

$$Vg = 0,582 \quad .$$

Volumen del cemento (Vc)

$$Vc = \frac{c}{\text{Peso específico del cemento}}$$

$$Vc = \frac{350}{3,15 * 1000}$$

$$Vc = 0,111 \quad .$$

Cantidad de agua (a):

Se determina la cantidad de agua necesaria en base a la relación agua-cemento.

$$c * Ra / c = a.$$

$$a = 350 * 0,35.$$

$$a = 122,50 \text{ kg/m}^3.$$

Volumen del agua (Va):

$$Va = \frac{a}{\text{Peso específico del agua}}$$

$$V_a = \frac{140}{1000}$$

$$V_a = 0,122 \quad .$$

Arena.

La cantidad de arena se determina reduciendo un 2% la relación de vacíos, siempre que el resultado este dentro de las recomendaciones establecidas según investigaciones anteriores, comprobando entonces que:

$$P_f = P_o - R$$

$$P_f = 17 - 2.$$

$$P_f = 15\%$$

Donde:

Pf: Porosidad final.

Po: Porosidad inicial.

R: Porcentaje de reducción

Conocida la densidad de la arena se calcula su cantidad para el porcentaje requerido.

$$= 2600 \text{ kg/m}^3.$$

$$\text{Arena} = 2600 * 2\%$$

$$\text{Arena} = 52 \text{ kg/m}^3.$$

Cantidades absolutas:

Son las dosificaciones de los ingredientes para preparar 1 metro cubico de material.

Cuadro 12. Cantidades absolutas (muestras desde la No. 3 hasta la No. 32)

Volúmenes totales (m ³)			Pesos totales (kg/m ³)			
Cemento	Agregado Grueso	Agua	Cemento	Agregado Grueso	Arena	Agua
0,111	0,582	0,122	350	1548	52	122,5

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Cantidades reales:

Para realizar el vaciado, es necesario prepara la mezcla en función del volumen a llenar, esto se determina calculando el volumen de los encofrados a utilizar. Para ello se emplearon 4 moldes; 2 para una edad de 7 días y 2 para 28 días en forma de paralelepípedo de 15 cm de ancho y alto y 60 cm. de largo y la mezcla sobrante se usó para el vaciado de las losetas de dimensiones 33 cm de ancho, 40 cm. de largo y 10 cm. de espesor.

$$V_t = n * l * b * h$$

$$V_t = 4 * 0.60 * 0.15 * 0.15$$

$$0,071 \text{ m}^3$$

Donde:

n: Cantidad de moldes a usar.

l: Largo del molde de la vigueta.

b: Ancho del molde de la vigueta.

h: Altura del molde de la vigueta.

Cemento:

$$C = c * V_t$$

$$C = 350 * 0,071$$

$$C=25 \text{ Kg.}$$

Agregado grueso (Ag).

$$Ag=a*Vt$$

$$Ag=1548*0,071$$

$$Ag=110,4 \text{ kg.}$$

Agua (A)

$$A=a*Vd.$$

$$A=122,50*0,071.$$

$$A=8,70 \text{ l.}$$

Aditivo (Ad).

$$Ad=c*0,6\%$$

$$Ad=25*0,6\%$$

$$Ad=0,15 \text{ kg.}$$

Agregado fino (Af).

$$Af = \text{Arena} * Vt$$

$$Af = 52 * 0,071.$$

$$Af \quad 3,69 \text{ kg.}$$

Cuadro 13. Cantidades reales de materiales (muestras desde la No. 3 hasta la No. 32).

Diseño de mezcla (muestras desde la No. 3 hasta la No. 32).				
Cemento (kg).	Agregado grueso (kg).	Agua (l).	Aditivo (kg)	Agregado fino (kg)
25	110,4	8,7	0,15	3,69

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

4.3. Deducir las características físicas y mecánicas del concreto permeable con canto rodado.

Se realizan todos los ensayos para evaluar la resistencia, porosidad y permeabilidad del concreto poroso.

4.3.1. Ensayos de resistencia a flexión.

Las muestras se desencofraron 24 horas después de haberlas vaciado, inmediatamente fueron sumergidas en agua de los estanques de curado hasta que alcanzaron la edad requerida para las pruebas y se dispusieron en la máquina de tal manera que quedaran centradas al eje neutro vertical, es decir, con extremos libre de 7,50cm. (3") según lo mostrado en la figura 13.

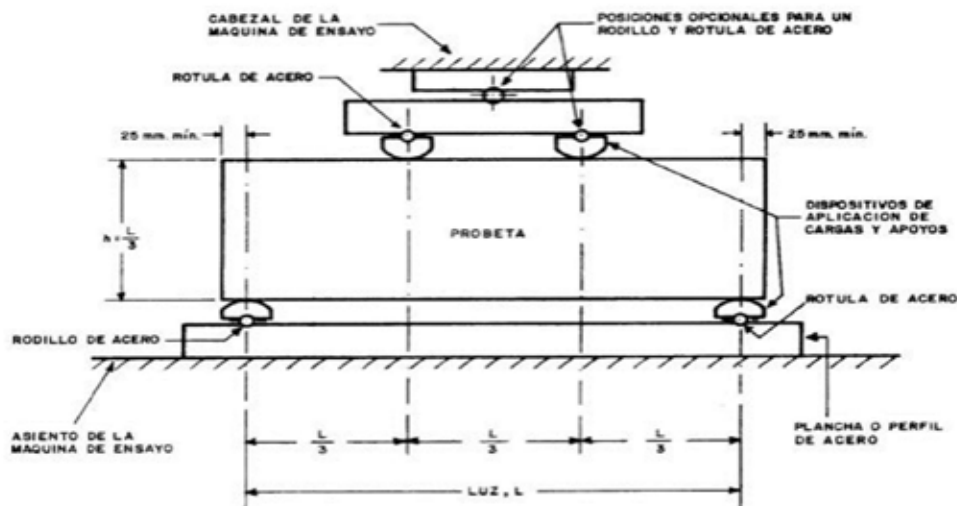


Figura 14. Esquema de la máquina de ensayos a flexión.

Fuente: COVENIN 342-79.

La máquina está compuesta por una pantalla digital en la que se registran de manera digital y gráfica la cantidad de esfuerzo aplicada contando con 2 cargas puntuales y 2 rodillos o apoyos en las que van dispuestas las viguetas y las siguientes especificaciones técnicas:

Marca: Controls.

Apreciación: 0.001 toneladas y 0,01 kg/cm².

Rango: 0 – 20 toneladas y 266.67 kg/cm².

Dicha máquina registra de manera digital la carga puntual expresada en toneladas y de manera automática expresaba el módulo de rotura calculado según la norma venezolana 342-79 (ver figuras 14 y 15).

$$f_r = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$

Donde:

fr: Módulo de rotura (kg/cm²).

P: Carga puntual aplicada (ton.).

L: Luz medida entre los apoyos de la máquina de ensayos (cm)

b: Ancho de la vigueta (cm.).

h: Altura de la vigueta (cm.).



Figura 15. Ensayo en ejecución.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).



Figura 16.Registro del ensayo.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Una vez terminado el ensayo, se anota el módulo de rotura para cada muestra según su edad, dichas muestras fracturaron dentro del tercio indicado según la norma 342-79 (ver figura 14).



Figura 17. Vigüeta fracturada.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

4.3.1.1. Ensayos de viguetas sin arena.

Se presenta el registro de los módulos de rotura aplicada a cada una de las muestras.

Cuadro 14. Módulos de rotura de muestras sin arena

Diseños de mezclas sin finos				
Muestras	Módulos de rotura (kg/cm ²)			
	7 días		28 días	
	A	B	A	B
1	11	12	11	12
2	12	15	10	11

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2019).

Para la realización de los siguientes análisis, se promediaron los resultados de los ensayos a flexión:

Cuadro 15. Módulos de rotura promedio para muestras sin arena.

Diseños de mezclas sin finos		
Muestras	Módulos de rotura (kg/cm ²)	
	7 días	28 días
1	11	12
2	14	11

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018)

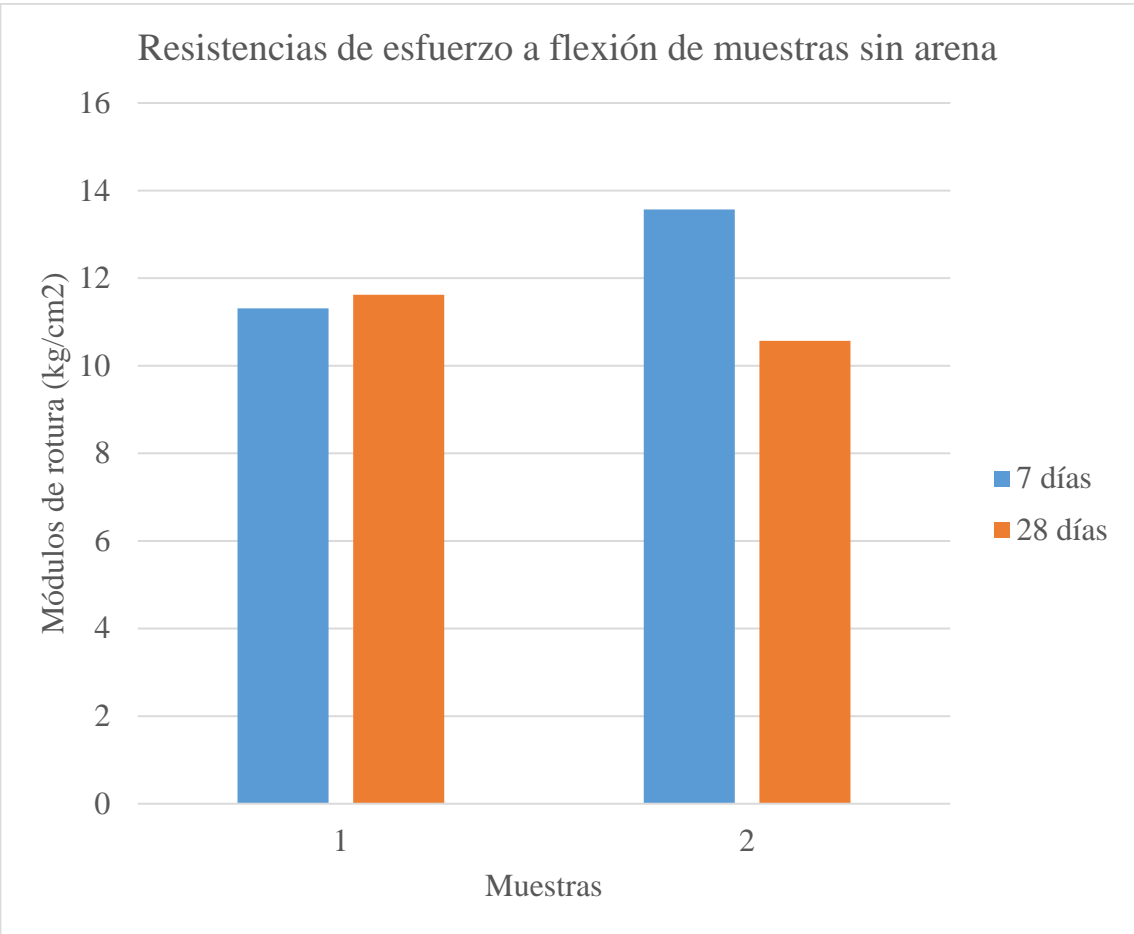


Figura 18. Resistencias de esfuerzos a flexión de muestras sin arena.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

4.3.1.2. Ensayos de viguetas con arena.

De igual manera que las muestras sin arena, a los resultados netos de los ensayos a flexión se le realizó un promedio para proseguir con los sucesivos análisis.

Cuadro 16. Módulos de rotura para muestras con arena

Diseños de mezclas con finos									
Muestras	Módulos de rotura (kg/cm ²)				Muestras	Módulos de rotura (kg/cm ²)			
	7 días		28 días			7 días		28 días	
	A	B	A	B		A	B	A	B
3	22	23	27	28	18	21	22	26	28
4	19	21	21	21	19	20	21	25	25
5	22	23	23	24	20	18	19	27	29
6	25	26	28	29	21	24	24	28	31
7	21	23	30	30	22	24	25	28	29
8	23	24	29	30	23	20	20	21	24
9	23	25	28	29	24	21	22	29	29
10	18	19	29	29	25	20	22	22	22
11	22	23	27	29	26	19	22	24	24
12	23	23	24	26	27	29	31	30	33
13	20	22	26	29	28	29	29	28	30
14	15	18	25	27	29	26	27	28	30
15	27	28	29	31	30	20	22	24	27
16	21	21	29	32	31	24	25	29	31
17	21	22	24	25	32	27	28	28	29

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018)

Cuadro 17. Módulos de rotura promedios para muestras con arena

Diseños de mezclas con finos					
Muestras	Módulos de rotura (kg/cm ²)		Muestras	Módulos de rotura (kg/cm ²)	
	7 días	28 días		7 días	28 días
3	22	28	18	22	27
4	20	21	19	21	25
5	23	24	20	19	28
6	25	29	21	24	29
7	22	30	22	24	28
8	23	30	23	20	23
9	24	28	24	22	29
10	19	29	25	21	22
11	23	28	26	21	24
12	23	25	27	30	32
13	21	27	28	29	29
14	17	26	29	26	29
15	27	30	30	21	26
16	21	30	31	25	30
17	22	25	32	27	29

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

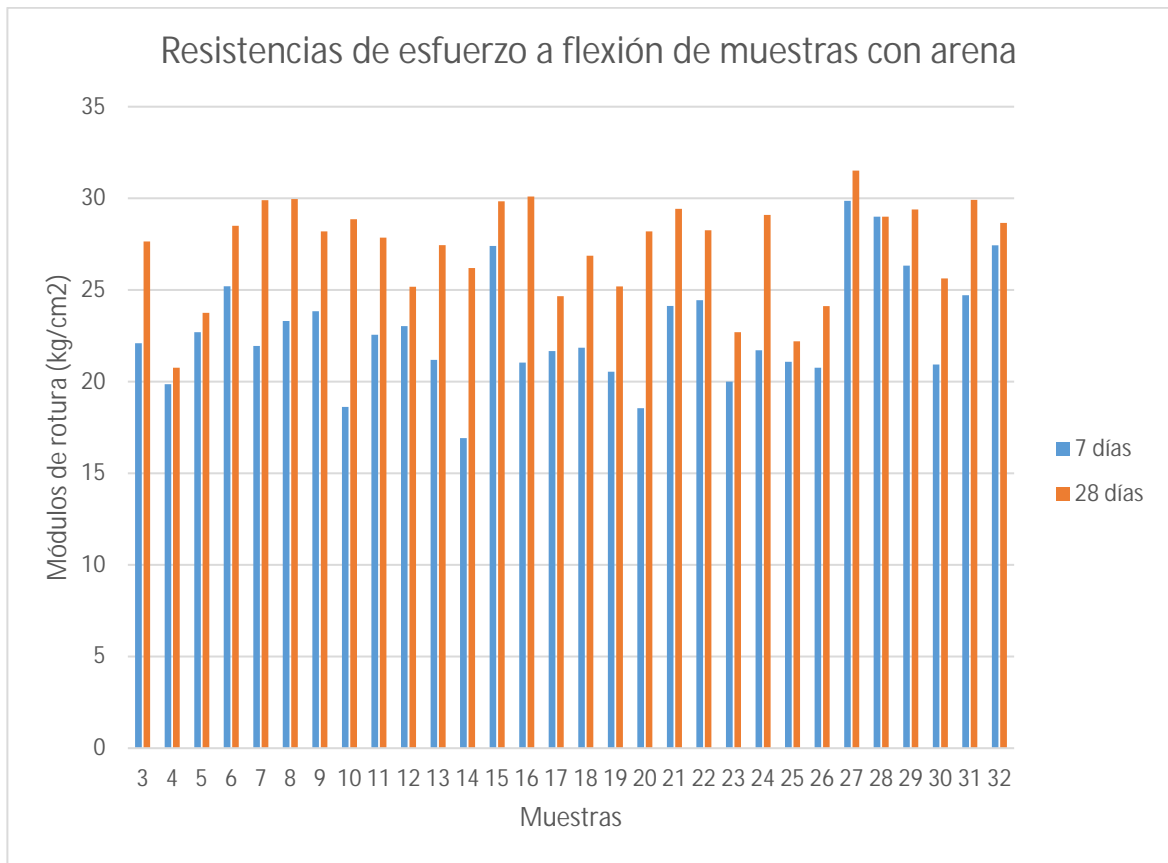


Figura 19: Resistencias de esfuerzos a flexión de muestras con arena.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

4.3.2. Análisis estadísticos.

4.3.2.1. Análisis estadístico de ensayos a los 7 días.

Inicialmente se procedió a trabajar en la clasificación de los datos, partiendo de la magnitud de los módulos de rotura expresados en el cuadro 15.

$$R = \text{Valor mayor} - \text{Valor menor}$$

$$R = 29,86 - 19,92.$$

$$R = 12,94.$$

$$i = 1 + 3,30 \log(n).$$

$$i = 1 + 3,30 \log(30).$$

$i = 5,87$, redondeando al entero mayor inmediato.

$$i = 6.$$

$$C = \frac{R}{i}$$

$$C = 12,94/6$$

C=2,16, se redondea al entero mayor inmediato

$$C = 3.$$

Donde:

R: Rango.

i: Cantidad de intervalos.

n: Cantidad de muestras.

C: Amplitud del intervalo.

Cuadro 18. Elementos de entrada

R (kg/cm2)	12,94	
n	30,00	
i	5,87	6,00
C (kg/cm2)	2,16	3,00

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Cuadro 19. Datos clasificados por intervalos de clase.

Límites de los intervalos		Frecuencias											
Absolutos		Reales		fi	FI	fi (%)	FI (%)	Xi	Xi*fi	Xi-Xm	Xi-Xm*fi	(Xi-Xm)^2	(Xi-Xm)^2*fi
16	19	15,50	19,5	3	3	10,00	10,00	17,50	175,00	5,26	52,60	27,67	276,68
19	22	19,51	22,5	13	16	43,33	53,33	21,01	910,22	1,76	76,05	3,08	133,47
22	25	22,51	25,5	9	25	30,00	83,33	24,01	720,15	1,25	37,35	1,55	46,50
25	28	25,51	28,5	3	28	10,00	93,33	27,01	270,05	4,25	42,45	18,02	180,20
28	31	28,51	31,5	2	30	6,67	100,00	30,01	200,03	7,25	48,30	52,49	349,93
				30		100,00			2275,45	19,75	256,75		986,78

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

FI= fi intervalo+FI anterior.

$$fi (%) = \frac{fi}{n} * 100$$

\bar{X} =promedio de las muestras.

$$Me = Lm + \frac{\frac{n}{2} - Fm}{fm} * C$$

Donde:

Me: Mediana.

Lm: Límite inferior de la clase mediana.

Fm: Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

fm: Frecuencia absoluta de la clase mediana.

$$Mo = Li + \frac{D1}{D1 + D2} * C.$$

Donde:

Mo: Moda

Li: Límite inferior de la clase modal.

D1: Diferencia entre la frecuencia absoluta de la clase modal y la frecuencia absoluta de la clase anterior.

D2: Diferencia entre la frecuencia absoluta de la clase modal y la frecuencia absoluta de la clase siguiente.

$$Dx = \frac{x_i - \bar{x} * f_i}{n}$$

Donde:

Dx: Desviación de la media.

$$S = \frac{\sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 * f_i}{n}}}{n}$$

Donde:

S: Desviación estándar.

Cuadro 20. Parámetros estadísticos

X	22,76
Me	22,27
Mo	21,65
Dx	8,56
S	5,74

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Descartando las muestras que estén fuera de la desviación estándar:

Cuadro 21. Parámetros corregidos

Media	22
DE.	2

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Donde:

Media: Media definitiva.

DE: Desviación estándar definitiva.

Cuadro 22. Distribución normal de ensayos a los 7 días.

Diseños de mezclas con finos			
Módulos de rotura (kg/cm ²)	Distribución normal	Módulos de rotura (kg/cm ²)	Distribución normal
7 días		7 días	
18,55	0,0425	22,09	0,1665
18,62	0,0446	22,56	0,1686
19,86	0,0913	22,70	0,1680
20,00	0,0975	23,03	0,1642
20,54	0,1206	23,31	0,1586
20,76	0,1296	23,84	0,1429
20,93	0,1362	24,13	0,1322
21,04	0,1403	24,44	0,1196
21,08	0,1417	24,71	0,1080
21,19	0,1455	25,20	0,0869
21,67	0,1592	26,33	0,0447
21,71	0,1601	27,40	0,0193
21,85	0,1629	27,40	0,0193
21,95	0,1646		

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

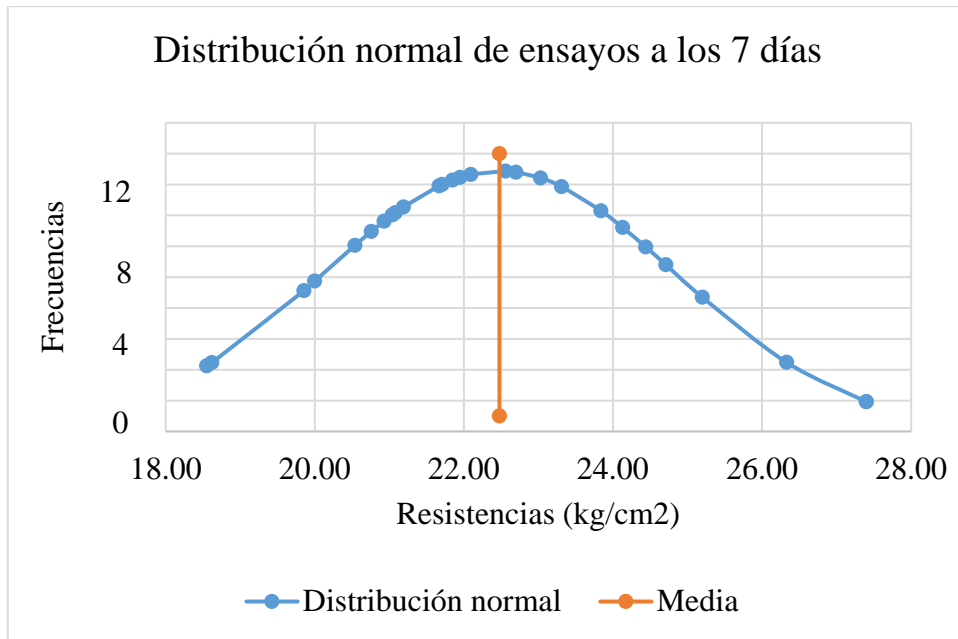


Figura 21. Curva de distribución normal de ensayos a los 7 días.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

4.3.2.2. Análisis estadístico de ensayos a los 28 días.

Se realiza el análisis de la misma manera que el caso anterior partiendo como datos iniciales las magnitudes de los módulos de rotura expresados en el cuadro XX.

$$R = \text{Valor mayor} - \text{Valor menor}$$

$$R = 31,51 - 20,76.$$

$$R = 10,75.$$

$$i = 1 + 3,30 \log(n).$$

$$i = 1 + 3,30 \log(30).$$

$i = 5,87$, redondeando al entero mayor inmediato.

$$i = 6.$$

$$C = \frac{R}{i}$$

$$C = 10,75/6$$

$C = 1,79$, se redondea al entero mayor inmediato

$$C = 2.$$

Donde:

R: Rango.

i: Cantidad de intervalos.

n: Cantidad de muestras.

C: Amplitud del intervalo.

Cuadro 23. Elementos de entrada

R (kg/cm ²)	10,75	
n	30,00	
i	5,87	6,00
C (kg/cm ²)	1,79	2,00

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Cuadro 24. Datos clasificados por intervalos de clases.

Límites de los intervalos		Frecuencias				Xi	Xi*fi	Xi-Xm	Xi-Xm*fi	(Xi-Xm)^2	(Xi-Xm)^2*fi
		fi	FI	fi (%)	FI (%)						
20	22	2	2	6,67	6,67	21,00	140,00	6,30	42,01	39,71	264,73
22	24	3	5	10,00	16,67	23,00	230,00	4,30	43,02	18,50	185,03
24	26	5	10	16,67	33,33	25,00	416,67	2,30	38,36	5,30	88,28
26	28	8	18	26,67	60,00	27,00	720,00	0,30	8,04	0,09	2,42
28	30	11	29	36,67	96,67	29,00	1063,33	1,70	62,28	2,88	105,78
30	32	1	30	3,33	100,00	31,00	103,33	3,70	12,33	13,68	45,60
		30		100,00			2570,00	14,90	206,03		691,84

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

FI= fi intervalo+FI anterior.

$$fi (%) = \frac{fi}{n} * 100$$

FI (%)= fi (%) intervalo + FI (%) anterior.

Donde:

fi: Frecuencia absoluta.

FI: Frecuencia absoluta acumulada.

fi (%): Frecuencia porcentual.

FI (%): Frecuencia acumulada porcentual

Xi: Marca de clase.

Xm: Media.

Posteriormente, se empleó el flujograma de la figura XX indicando el procedimiento por la línea roja para determinar la medida de tendencia central de la curva de distribución normal.

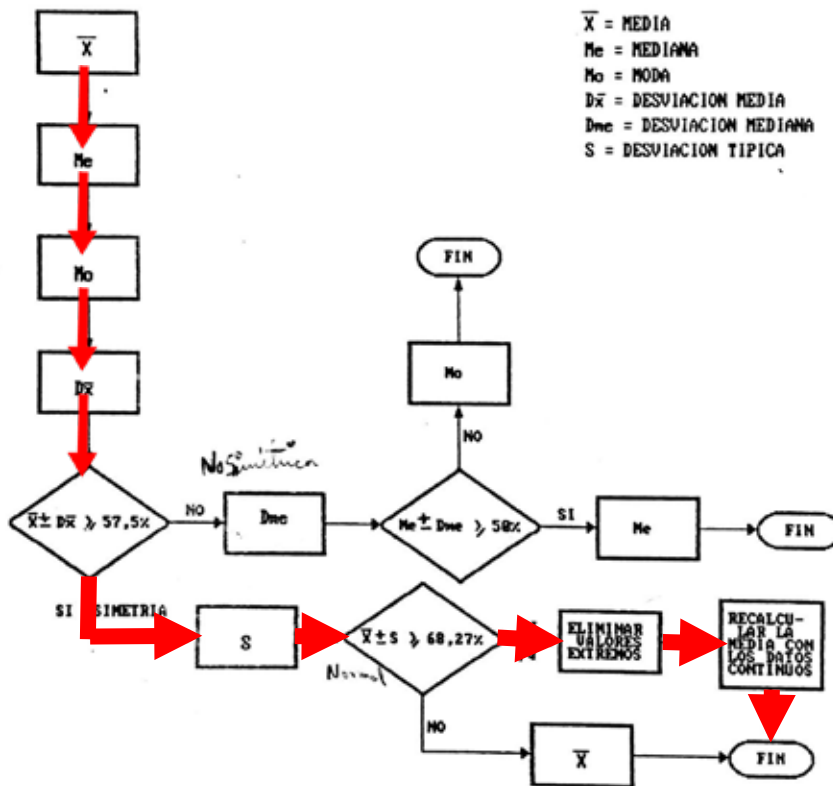


Figura 22. Definición de medida de tendencia central.
 Fuente: Piol, R. (1996).

\bar{X} = promedio de las muestras.

$$Me = Lm + \frac{\frac{n}{2} - Fm}{fm} * C$$

Donde:

Me: Mediana.

Lm: Límite inferior de la clase mediana.

Fm: Frecuencia acumulada anterior a la clase mediana.

fm: Frecuencia absoluta de la clase mediana.

$$Mo = Li + \frac{D1}{D1 + D2} * C.$$

Donde:

Mo: Moda

Li: Límite inferior de la clase modal.

D1: Diferencia entre la frecuencia absoluta de la clase modal y la frecuencia absoluta de la clase anterior.

D2: Diferencia entre la frecuencia absoluta de la clase modal y la frecuencia absoluta de la clase siguiente.

$$Dx = \frac{x_i - x * f_i}{n}$$

Donde:

Dx: Desviación de la media.

$$S = \frac{\sqrt{\frac{x_i - x^2 * f_i}{n}}}{n}$$

Donde:

S: Desviación estándar.

Cuadro 25. Parámetros estadísticos

X	27,30
Me	27,76
Mo	29,61
Dx	6,87
S	4,80

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Descartando las muestras que estén fuera de la desviación estándar:

Cuadro 26. Parámetros corregidos.

Media	28
DE.	2

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Donde:

Media: Media definitiva.

DE: Desviación estándar definitiva.

Cuadro 27. Distribución normal de ensayos a los 28 días.

Diseños de mezclas con finos			
Módulos de rotura (kg/cm ²)	Distribución normal	Módulos de rotura (kg/cm ²)	Distribución normal
28 días		28 días	
22,70	0,0145	28,26	0,1729
23,75	0,0371	28,50	0,1675
24,12	0,0491	28,66	0,1630
24,66	0,0702	28,86	0,1563
25,18	0,0938	29,00	0,1511
25,19	0,0942	29,10	0,1472
25,63	0,1154	29,39	0,1347
26,20	0,1416	29,43	0,1329
26,87	0,1658	29,84	0,1137
27,45	0,1768	29,90	0,1108
27,65	0,1779	29,92	0,1098
27,86	0,1777	29,96	0,1079
28,20	0,1740	30,10	0,1012
28,20	0,1740		

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

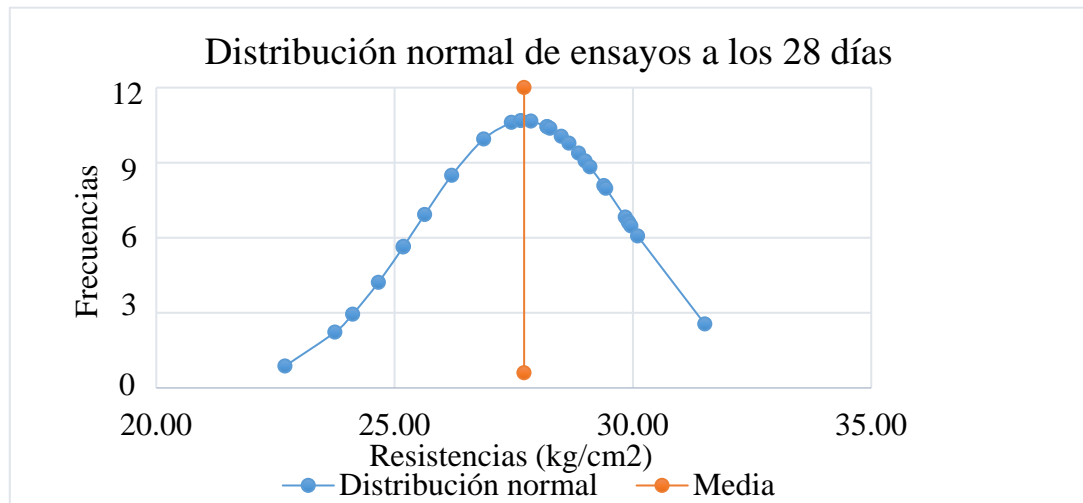


Figura 23. Curva de distribución normal de ensayos a los 7 días.

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Se observa en la curva de distribución normal que la resistencia con mayor frecuencia es de 27.87 kg/cm² que a efectos prácticos es 28 kg/cm². Por lo tanto, las mezclas cumplieron con la resistencia de diseño.

4.3.3. Ensayos de porosidad.

Peso unitario:

Se define como la cantidad de peso retenida por unidad de volumen; para este caso se promediaron los pesos de las viguetas y se dividió por el volumen de la misma.

$$PU \text{ viga} = \frac{P_{pv}}{V_v}$$

Donde:

PU viga: Peso unitario de la vigueta (kg/m³).

Ppv: Peso promedio de la vigueta (kg)

Vv: Volumen de la vigueta (m³)

Vv = 0,0135 m³.

Porcentaje de porosidad:

Es la cantidad de vacíos que contiene el bloque de cemento respecto a su peso unitario.

$$P = 100 - \left(\frac{PU \text{ viga}}{PU \text{ ideal}} * 100\% \right)$$

Donde:

P: Porcentaje de porosidad (%).

PU ideal: Peso unitario de una viga ideal de concreto macizo (kg/m³).

PU ideal = 2400 kg/m³.

4.3.3.1. Porosidad de muestras sin arena.

Cuadro 28. Porosidad de muestras sin arena.

Muestras sin arena					
	Pesos totales (kg)		Pesos promedios (kg)	Peso Unitario (kg/m ³)	Porosidad (%)
1	23	24	24	1751	27
	23	24			
2	24	24	24	1769	26
	24	24			

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

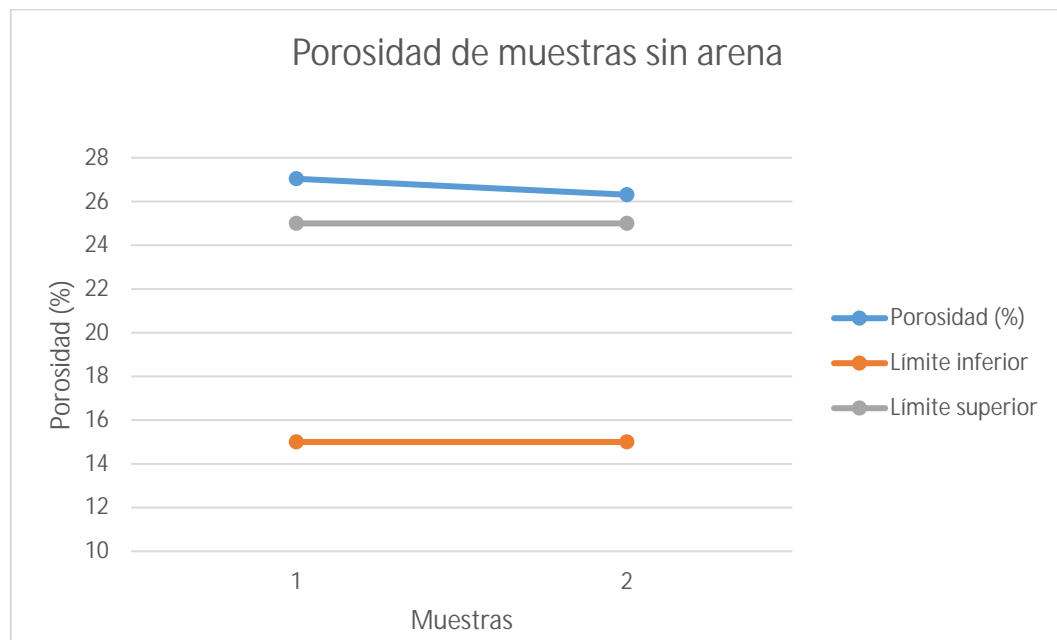


Figura 24. Porosidad de muestras sin arena.

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Se puede apreciar que mientras más porosa (mayor cantidad de aire tenga la mezcla seca) menor es su resistencia.

4.3.3.2. Porosidad de muestras con arena.

En vista de la baja resistencia adquirida por las muestras sin arena, siguientes mezclas con agregado fino se compactaron con mayor intensidad y por 3 capas teniendo la precaución de que no adquirieran un aspecto tan macizo.

Cuadro 29. Porosidad de muestras con arena (Muestras desde la No. 3 a No. 17).

Muestras con arena					
	Pesos totales (kg)		Pesos promedios (kg)	Peso Unitario (kg/m ³)	Porosidad (%)
3	25	27	27	1966	18
	27	27			
4	25	26	26	1912	20
	25	27			
5	26	26	26	1947	19
	26	27			
6	25	27	27	1971	18
	27	27			
7	27	27	27	2015	16
	28	27			
8	28	27	27	2029	15
	27	27			
9	26	27	27	1987	17
	27	27			
10	27	27	27	1994	17
	27	27			
11	27	28	27	2014	16
12	26	25	26	1926	20
	26	27			
13	27	27	27	2011	16
	26	28			
14	27	26	27	1980	18
	27	27			
15	27	26	27	2018	16
	28	28			
16	28	27	27	2024	16
	26	28			
17	26	27	26	1952	19
	26	26			

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Cuadro 30. Porosidad de muestras con arena (Muestras desde la No. 18 a No. 32).

Muestras con arena					
	Pesos totales (kg)		Pesos promedios (kg)	Peso Unitario (kg/m ³)	Porosidad (%)
18	27	27	27	1989	17
	27	26			
19	27	26	26	1935	19
	26	26			
20	28	25	27	1981	17
	27	27			
21	27	27	27	2028	16
	28	28			
22	28	26	27	1987	17
	27	26			
23	27	28	27	2023	16
	26	27			
24	27	28	28	2039	15
	27	28			
25	25	26	26	1901	21
	26	25			
26	26	27	26	1943	19
	27	26			
27	27	26	27	2029	15
	28	28			
28	26	28	27	2008	16
	28	27			
29	27	28	27	2022	16
	26	29			
30	26	27	26	1931	20
	25	26			
31	26	28	27	2023	16
	28	27			
32	27	27	27	2025	16
	28	27			

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

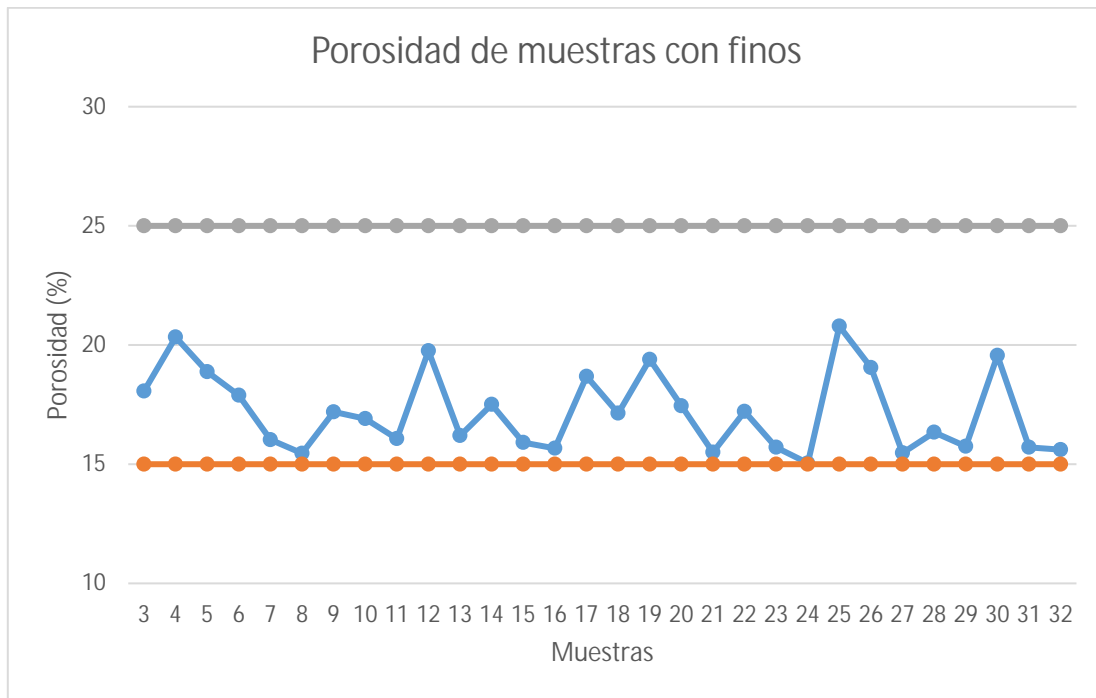


Figura 25. Porosidad de muestras con arena.
Fuente: Izquierdo y Ruiz (2018).

Como se puede apreciar, se logró alcanzar el porcentaje mínimo y se puede apreciar que mientras más se compacte la mezcla mayor resistencia tendrá.

4.3.4. Ensayos de permeabilidad.

Se realizó como se indica en la figura 25, sobre un recipiente vacío se colocaron las losetas, a la cual se le fijó un trozo de tubo de PVC de diámetro de 3" y un área de 0,0046 m² con plastilina mediante el cual se midió cierta cantidad de agua que se vertió dentro del tubo mientras se medía el tiempo que transcurría el paso del agua.



Figura 26. Ensayo de permeabilidad.
Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

Cuadro 31. Permeabilidad de las mezclas.

Pruebas		Volumen (l)	Tiempo (s)	Caudal		Permeabilidad (l/m ² /min)
				l/s	l/min.	
Loseta sin finos	1	9,11	45	0,2024	12,15	2664
	2	10,156	45	0,2257	13,54	2969
	3	10,672	45	0,2372	14,23	3120
Loseta con finos	A	8,596	45	0,1910	11,46	2513
	B	10,597	56	0,1892	11,35	2490
	C	9,568	50	0,1914	11,48	2518

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018).

$$\text{Caudal (l/s)} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$\text{Caudal (l/min.)} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} * 60$$

$$\text{Permeabilidad (l/m}^2\text{/min.)} = \frac{\text{Caudal (l/min)}}{\text{Área de la tubería}}$$

4.4. Evaluar los resultados y factibilidad del uso del concreto permeable con canto rodado como agregado grueso para una resistencia de esfuerzo a flexión de 28 kg/cm².

Se realizó el análisis de costo de preparación del concreto permeable en comparación con el costo del concreto convencional

Factibilidad económica del concreto permeable.

Se estudia y se compara el costo de preparación de 1 m³ de material respecto a un diseño de mezcla convencional para pavimentos, estos precios se encuentran ajustados a la fecha 12 de diciembre de 2018.

Cuadro 32.Precios unitarios de los materiales

Materiales	Precios unitarios		
	bs./ton.	bs./m ³	bs./l.
Cemento	8500	-	-
Arena	-	4000	-
Piedra	-	6000	-
Aditivo	-	-	753
Aditivo CP	-	-	2200

Fuente: Framex, C.A. (2018).

Cuadro 33. Costo total del concreto convencional

Diseño de mezcla de concreto convencional			
Materiales	Cantidades		Total (bs.)
	kg.	l.	
Cemento	360	-	3060,00
Arena	1209	-	3224,00
pedra	800	-	3096,77
Aditivo	-	1,25	941,25
Costo total del concreto f'c = 250 kg/cm2 (bs.)			10322,02

Fuente: Framex, C.A. (2018)

Cuadro 34. Costo total del concreto permeable.

Diseño de mezcla de concreto permeable			
Materiales	Cantidades		Total (bs.)
	kg.	l.	
Cemento	350	-	2975,00
Arena	78	-	208,00
Piedra	1548	-	5992,26
Aditivo	-	1,59	3498,00
Costo total del concreto permeable (bs.)			12673,26

Fuente: Izquierdo, Ruiz (2018)

Debido a la actual situación económica y la alta inflación se puede interpretar los costos través de diferencia de precios expresados en porcentaje ya que esto es lo que se mantiene constante a través del tiempo.

$$Dc (\%) = \frac{CCP}{CCV} * 100$$

Donde:

Dc: Diferencia de costos (%).

CCP: Costo total del concreto permeable (bs.)

CCV: Costo total del concreto convencional f'c=250 kg/cm2.

$$Dc (\%) = \frac{12673,26}{10322,02} * 100$$

$$Dc (\%) = 122,78 = 123\%$$

Se puede decir que el concreto permeable es un 23% más costoso que el concreto convencional. Sin embargo, dependiendo del tipo de obra y otras condiciones presentadas en campo o el proyecto puede representar más factibilidad en simplificación y ahorro de costos en otras actividades o áreas.

CONCLUSIONES

Agregado grueso.

Se comprueba que se puede preparar mezclas de concreto con canto rodado siempre y cuando de tamaño nominal máximo de 3/4" y esté presente el uso de aditivos tipo D ya que le ofrecen mayor adherencia a las caras lisas de los granos de arena, evita su desprendimiento, permiten la reducción del contenido de agua sin alterar la relación agua-cemento además de que por la pequeña magnitud de esfuerzo su uso debe ser solo para zonas de cargas pequeñas y que el caso o condiciones de la obra lo permitan.

Resistencias.

La resistencia está estrechamente relacionada con la porosidad, ya que mientras menor era la relación de vacíos mejor comportamiento a flexión se observaba, es decir, "mientras menos compacta sea la mezcla, mayor es su porosidad y menor su resistencia", es por ello que la mezcla ideal fue la que tenía agregados finos, ya que este le otorgo la resistencia necesitada.

Porosidad y peso unitario.

Se observó que la muestra ideal fue la que no presento desprendimiento de material en su manipulación además que al contener agregado fino incremento su densidad. Por lo tanto, para las condiciones ideales de diseño se deben cumplir las siguientes características:

El peso ideal debe estar entre los 25 kg. y 27 kg.

Peso unitario entre los 1940 kg/m³ y 2030 kg/m³.

Porosidad abarca un rango entre el 15% y 16%.

Permeabilidad.

A pesar de la gran reducción de porosidades ambas mezclas ofrecieron un comportamiento similar de en cuanto a la absorción de agua, lo cual indican que es una excelente solución a sitios donde persiste graves problemas de inundación.

RECOMENDACIONES

Instruir al personal de la obra para su colocación a través de la mecanización del sistema de compactación y acabado final ya que es un material muy delicado de manipular.

Realizar investigaciones acerca de la porosidad real y la resistencia a flexión en pavimentos permeables.

Evaluar previamente el tipo de obra y otros factores asociados a su construcción ya que su aplicación puede significar un gran impacto en cuanto a labores de drenajes y ahorro de costos.

Para efectos prácticos de aplicación y calidad de la obra, se recomienda aplicarlo en solicitudes no mayor a la expuesta.

REFERENCIAS

- Balestrini, M. (2001). **Como se elabora el proyecto de investigación**. Quinta Edición. Editorial BL Consultores Asociados. Caracas, Venezuela.
- Méndez, N.; Mosqueda, M. (2016). **Estudio de la resistencia del concreto permeable para pavimentos**. Tesis de grado. Universidad de Carabobo. Facultad de ingeniería. Valencia, Venezuela.
- Flores, C.; Pacompia, I. **Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c 175 kg/cm² en la ciudad de Puno**. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de ingeniería y arquitectura. Puno, Perú.
- Barahona, R. (2013). **Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras El Carmen, Araumaca y La Pedrera de la zona oriental de El Salvador**. Tesis de grado. Universidad de El Salvador. Departamento de ingeniería y arquitectura. San Salvador, El Salvador.
- Moujir S, Y. Castañeda U, L. (2014). **Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos**. Tesis de Ingeniería, Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia.
- COVENIN 277 (2000) **Concreto, agregados, requisitos**. Tercera revisión. Caracas.
- Hurtado, J. (2000). **Metodología de investigación holística**. Tercera Edición. Editorial SYPAL. Caracas, Venezuela.
- Robles, F. (2008). **Los 15 Tipos de Investigación Científica y sus Características**. (Artículo). Disponible: https://www.lifeder.com/tipos-investigacion-cientifica/#Tipos_de_investigacion_según_el_objetivo.
- Arismendi, E. (2013). **Tipos y diseño de la investigación**. (Artículo). Disponible: http://planificaciondeproyctosemirarismendi.blogspot.com/2013/04/tipos-y-diseño-de-la-investigación_21.html
- ASTM C33 (2007). **Especificación Normalizada de Agregados para Concreto**. West Conshohocken, PA, 19428-2959, Estados Unidos de América.

- Martins, F; Palella, S (2006). **Metodología de la investigación cualitativa**, Segunda Edición, Editorial FEDUPEL, Caracas, Venezuela.
- Tamayo, M (1997). **El proceso de la investigación científica**, Cuarta Edición, Editorial Limusa, México D.F., México.
- Porras Morales, J (2017). **Metodología de diseño para concretos permeables y sus respectivas correlaciones de permeabilidad**. Proyecto final. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de ingeniería en construcción. Costa Rica.
- Solano Cerdas, C (2009). **Análisis de la flexotracción del concreto permeable**, Proyecto Final. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de ingeniería en construcción. Costa Rica.
- Piori, R (1996). **Curso básico de formación profesional de valuación**. Sociedad de ingeniería de tasación de Venezuela SOITAVE del centro, Valencia, Venezuela.
- COVENIN-268 (1998). **Agregado fino determinación de la densidad y la absorción**. Caracas, Venezuela.
- COVENIN-269 (1998). **Agregado Grueso determinación de la densidad y la absorción**. Caracas, Venezuela.
- COVENIN-356 (1994). **Aditivos químicos utilizados en el concreto**. Caracas, Venezuela.
- COVENIN-342 (2004). **Concreto. Método para el mezclado en el laboratorio**. Caracas, Venezuela.
- COVENIN-342 (1979). **Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción por flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo**. Caracas, Venezuela.
- COVENIN-340 (1979). **Método para la elaboración y curado en el laboratorio de probetas de concreto para ensayos de flexión**. Caracas, Venezuela.
- COVENIN-255 (1998). **Agregados. Composición granulométrica** (Primera Revisión). Caracas, Venezuela.
- COVENIN 263 (1978). **Métodos de ensayo para determinar el peso unitario del agregado**. Caracas, Venezuela.
- COVENIN-28 (1993). **Cemento Portland**, Requisitos Caracas, Venezuela.

ASTM C-136 (2006). **Método de prueba estándar para análisis de tamices de agregado fino y grueso.** West Conshohocken, PA, 19428-2959, Estados Unidos de América.

ACI-301 (2016). **Calidad del agua para el concreto.** Farmington Hills, Michigan, Estados Unidos de América.

ACI-522 (2006). **Propiedades mecánicas del concreto permeable.** Farmington Hills, Michigan, Estados Unidos de América.

ACI 211.2R (1998). **Concretos sin asentamientos.** Farmington Hills, Michigan, Estados Unidos de América.