



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN PERMEABLE PARA
EMPLEARLO EN PROYECTOS URBANÍSTICOS DE INTERÉS SOCIAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

AUTOR:

Ismael Andrés Santos Cayo

TUTOR:

Ing. Blas Cruz Carpio

Samborondón, Octubre 2014

CERTIFICACIÓN FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del estudiante **Ismael Andrés Santos Cayo**, que cursa sus estudios en la escuela de Ingeniería Civil, dictado en la Facultad de Arquitectura de la UEES.

CERTIFICO:

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN PERMEABLE PARA EMPLEARLOS EN PROYECTOS URBANISTICOS DE INTERÉS SOCIAL**, presentado por el estudiante **Ismael Andrés Santos Cayo** con cédula de ciudadanía N°. 0924807357; como requisito previo para optar el Grado Académico de Ingeniero Civil y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes necesarios de carácter académico y científico, para presentarse a la Defensa Final.

Tutor: Ing. Blas Cruz Carpio

Samborondón, Octubre 2014

DEDICATORIA

A Dios, por el camino recorrido a largo de mi carrea profesional y permitirme llegar a este momento especial de mi vida. Para mis padres, familiares y amigos que de alguna u otra forma me apoyaron durante toda mi carrera e incentivaron esta investigación.

Ismael Andrés Santos Cayo

RECONOCIMIENTO

Gracias a las empresas Construladesa Suelos y Hormigones S.A., Progecon S.A., Euclid Chemical, Holcim S.A. y en particular a los Ingenieros Luis Santos Gutiérrez, Boanerges de la Pared, Patricia Monroy, Xavier Arce y Blas Cruz por los conocimientos impartidos.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR.....	i
DEDICATORIA	ii
RECONOCIMIENTO.....	iii
INDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE GRÁFICAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	7
1.1 Planteamiento del problema	7
1.2 Formulación del problema.....	8
1.3 Sistematización del problema	8
1.4 Objetivos de la investigación.....	8
1.4.1 Objetivo general.....	8
1.4.2 Objetivos específicos	8
1.5 Justificación	9
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	13
2.1 Fundamentación teórica	13
2.1.1 Generalidades del hormigón permeable	13
2.1.2 Ventajas sobre el uso del hormigón permeable.....	14
2.1.2.1 Aplicación del hormigón permeable	14
2.1.3 Características de los materiales que constituyen el hormigón Permeable	15
2.1.3.1 Agregados.....	16
2.1.3.1.1 Agregado grueso	16
2.1.3.1.2 Agregado fino.....	16
2.1.3.1.3 Relación agregado fino y agregado grueso	17

2.1.3.2 Cemento	17
2.1.3.3 Agua.....	18
2.1.3.4 Aditivo	18
2.1.4 Propiedades del hormigón permeable	19
2.1.4.1 Hormigón permeable en estado fresco.....	19
2.1.4.2 Hormigón permeable en estado endurecido.....	20
2.1.4.3 Contenido de vacíos y peso unitario.....	24
2.1.4.4 Tasa de filtración.....	24
2.1.5 Métodos de diseño de mezclas de hormigón permeable	26
2.1.5.1 Proporcionamiento de la mezcla	26
2.1.5.2 Cantidad de agregado grueso	27
2.1.5.3 Procedimiento de dosificación	29
2.2 Formulación de la hipótesis	32
2.3 Definiciones conceptuales	32
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	37
3.1 Diseño de la investigación	37
3.2 Población y muestra	38
3.3 Instrumentos de recolección de datos	40
3.4 Técnicas de investigación y pasos a utilizar	41
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS... 45	
4.1 Agregados.....	45
4.1.1 Agregado grueso	45
4.1.1.1 Granulometría.....	46
4.1.1.2 Abrasión de los ángeles	47
4.1.1.3 Desgaste por sulfato	48
4.1.2 Agregado fino.....	48
4.1.2.1 Granulometría.....	49
4.1.2.2 Contenido de materia orgánica (colorimetría)	49
4.1.2.3 Desgaste por sulfato	50
4.1.3 Cemento	50

4.1.3.1 Tipo de cemento	50
4.1.3.2 Componentes químicos y características físicas del cemento	51
4.1.4 Aditivo	51
4.1.4.1 Tipos de aditivos	51
4.1.5 Agua	52
4.2 Diseño de mezclas de hormigón permeable	52
4.2.1 Parámetros de dosificación para los diseños de hormigón permeable	52
4.2.2 Hormigón permeable sin aditivo.....	53
4.2.3 Hormigón permeable con aditivo	54
4.3 Elaboración de las mezclas de hormigón permeable.....	57
4.3.1 Muestreo	57
4.3.2 Asentamiento del hormigón permeable en estado fresco	57
4.3.3 Densidad del hormigón permeable en estado fresco	58
4.4 Elaboración de las probetas cilíndricas y vigas rectangulares	58
4.4.1 Muestreo de cilindros	58
4.4.2 Muestreo de vigas.....	59
4.4.3 Curado	60
4.5 Determinación de la resistencia a compresión y flexión en las muestra de hormigón permeable	60
4.5.1 Resistencia a la compresión	60
4.5.2 Resistencia a la flexión	61
4.6 Permeabilidad “permeámetro de carga variable – comité ACI 522”.....	62
4.7 Análisis e interpretación de los diseños de hormigón permeable	63
4.7.1 Resultados de los diseños sin aditivo	63
4.7.1.1 Resultados de los ensayos a la compresión	63
4.7.1.2 Resultados de los ensayos a la flexión	68
4.7.1.3 Resultados de los ensayos de permeabilidad	73
4.7.1.4 Interpretación de los resultados de los diseños sin aditivo	73
4.7.2 Resultados de los diseños con aditivo	77
4.7.2.1 Resultados de los ensayos a la compresión	77

4.7.2.2 Resultados de los ensayos a la flexión	82
4.7.2.3 Resultados de los ensayos de permeabilidad.....	87
4.7.2.4 Interpretación de los resultados de los diseños con aditivo	87
CAPÍTULO V: LA PROPUESTA	93
CAPÍTULO VI: FACTIBILIDAD, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
6.1 Factibilidad.....	97
6.2 Conclusiones	97
6.3 Recomendaciones	100
BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXOS	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ilustración del hormigón permeable	13
Figura 2.2 – Aplicaciones del hormigón permeable	15
Figura 2.3 – Agregado grueso ¾” proporcionado por la cantera progecon	16
Figura 2.4 – Agregado fino proporcionado por la cantera progecon	17
Figura 2.5 – Influencia del agua en la mezcla del hormigón permeable	18
Figura 2.6 – Hormigón permeable en estado fresco	19
Figura 2.7 – Resistencia a la compresión versus contenido de aire en especímenes de hormigón permeable	20
Figura 2.8 – Resistencia a la compresión versus peso unitario (densidad) en hormigón permeable.....	21
Figura 2.9 – Contenido de aire para dos grados de compactación versus la relación agua/material	22
Figura 2.10 – Resistencia a la flexión versus contenido de vacíos	22
Figura 2.11 – Comparación entre la resistencia a la flexión versus resistencia a la compresión	23
Figura 2.12 – Resistencia a la flexión versus porcentaje de porosidad	23
Figura 2.13 – Percolación versus contenido de vacíos en cilindros.....	24
Figura 2.14 – Permeámetro de carga variable	25
Figura 2.15 – Contenido de vacíos mínimo para la percolación basada en pruebas y métodos de ensayo de la NA-NRMCA	28
Figura 2.16 – Relación entre contenido de vacíos y resistencia a la compresión a los 28 días para agregado de tamaño n°8 y n° 67 de la norma ASTM C 33.....	28
Figura 2.17 – Relación entre pasta cementante y contenido de vacíos para agregado de tamaño n°8 según designación de la norma ASTM C 33	29
Figura 4.1 – Ensayo para determinar la gravedad específica, densidad y la absorción del agregado grueso según la norma ASTM C 127.....	46

Figura 4.2 – Ensayo para determinar la granulometría de los agregados según la norma ASTM C 33	47
Figura 4.3 – Ensayo para determinar el desgaste por abrasión del agregado grueso según la norma ASTM C 131	47
Figura 4.4 – Ensayo para determinar la solidez del agregado mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio según la norma ASTM C 88	48
Figura 4.5 – Ensayo para determinar la gravedad específica, densidad y la absorción del agregado grueso según la norma ASTM C 128.....	49
Figura 4.6 – Ensayo para determinar la granulometría de los agregados según la norma ASTM C 33	49
Figura 4.7 – Ensayo para determinar las impurezas orgánicas del agregado fino según la norma ASTM C 40	50
Figura 4.8 – Ensayo para determinar el desgaste por abrasión del agregado grueso según la norma ASTM C 131	50
Figura 4.9 – Cemento Holcim tipo GU.....	51
Figura 4.10 – Elaboración de las mezclas de hormigón permeable elaborado en laboratorio según la norma ASTM C 94	57
Figura 4.11 – Ensayo de asentamiento al hormigón en estado fresco según la norma ASTM C 143	57
Figura 4.12 – Ensayo para determinar la densidad (peso unitario) según la norma ASTM C 1688.....	58
Figura 4.13 – Elaboración de cilindros de hormigón permeable	59
Figura 4.14 – Elaboración de vigas rectangulares de hormigón permeable	59
Figura 4.15 – Desencofrado de cilindros y vigas para luego ser colocados en las piscinas de curado	60
Figura 4.16 – Ensayo para determinar la resistencia a la compresión según la norma ASTM C 39	61

Figura 4.17 – Ensayo para determinar la resistencia a la flexión según la norma ASTM C 79.....	62
Figura 4.18 – Ensayo de permeabilidad recomendado por el comité ACI 522.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño patrón #1	63
Gráfica 4.2 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño patrón #2	64
Gráfica 4.3 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño patrón #3	65
Gráfica 4.4 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño patrón #4	66
Gráfica 4.5 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño patrón #5	67
Gráfica 4.6 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño patrón #1	68
Gráfica 4.7 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño patrón #2	69
Gráfica 4.8 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño patrón #3	70
Gráfica 4.9 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño patrón #4	71
Gráfica 4.10 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño patrón #5.....	72
Gráfica 4.11 – Influencia de la resistencia a la compresión y flexión respecto a la relación agua/cemento (a/c) de los diseños patrones	74
Gráfica 4.12 – Influencia de la resistencia a la compresión y flexión respecto al porcentaje de vacíos y porcentaje de arena en los diseños patrones.....	75
Gráfica 4.13 – Influencia de la permeabilidad respecto al porcentaje de vacíos y porcentaje de arena en los diseños patrones	75

Gráfica 4.14 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño #1 con aditivo	77
Gráfica 4.15 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño #2 con aditivo	78
Gráfica 4.16 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño #3 con aditivo	79
Gráfica 4.17 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño #4 con aditivo	80
Gráfica 4.18 – Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño #5 con aditivo	81
Gráfica 4.19 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño #1 con aditivo	82
Gráfica 4.20 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño #2 con aditivo	83
Gráfica 4.21 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño #3 con aditivo	84
Gráfica 4.22 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño #4 con aditivo	85
Gráfica 4.23 – Crecimiento de la resistencia a la flexión del diseño #5 con aditivo	86
Gráfica 4.24 – Influencia de la resistencia a la compresión y flexión respecto a la relación agua/cemento (a/c) de los diseños con aditivo	88
Gráfica 4.25 – Influencia de la resistencia a la compresión y flexión respecto al porcentaje de vacíos y porcentaje de arena en los diseños con aditivo	89
Gráfica 4.26 – Influencia de la permeabilidad respecto al porcentaje de vacíos y porcentaje de arena en los diseños con aditivo	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 – Rangos recomendables de dosificación para hormigón permeable.....	26
Tabla 2.2 – Valores efectivos de b/bo.....	27
Tabla 3.1– Muestra seleccionada para la investigación de los diseño patrones (Sin Aditivo)	39
Tabla 3.2 – Muestra seleccionada para la investigación de los diseños con aditivo	39
Tabla 3.3 – Total de diseños ymuestras para la investigación	40
Tabla 4.1 – Características del agregado grueso	45
Tabla 4.2 – Características del agregado fino	48
Tabla 4.3 – Rango típico de proporciones del hormigón permeable.....	53
Tabla 4.4 – Dosificación del diseño patrón #1	53
Tabla 4.5 – Dosificación del diseño patrón #2	53
Tabla 4.6 – Dosificación del diseño patrón #3	54
Tabla 4.7 – Dosificación del diseño patrón #4	54
Tabla 4.8 – Dosificación del diseño patrón #5	54
Tabla 4.9 – Dosificación del diseño #1 con aditivo	55
Tabla 4.10 – Dosificación del diseño #2 con aditivo	55
Tabla 4.11 – Dosificación del diseño #3 con aditivo	56
Tabla 4.12 – Dosificación del diseño #4 con aditivo	56
Tabla 4.13 – Dosificación del diseño #5 con aditivo	56
Tabla 4.14 – Densidades de los diseños de hormigón permeable sin aditivo y con aditivo.....	58
Tabla 4.15 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño patrón #1	63
Tabla 4.16 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño patrón #2	64

Tabla 4.17 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño patrón #3.....	65
Tabla 4.18 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño patrón #4.....	66
Tabla 4.19 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño patrón #5.....	67
Tabla 4.20 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #1	68
Tabla 4.21 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #2	69
Tabla 4.22 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #3	70
Tabla 4.23 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #4	71
Tabla 4.24 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #5	72
Tabla 4.25 – Resumen de resultados de permeabilidad de los diseños patrones.....	73
Tabla 4.26 – Resumen de resultados de los diseños patrones.....	73
Tabla 4.27 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #1 con aditivo.....	77
Tabla 4.28 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #2 con aditivo.....	78
Tabla 4.29 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #3 con aditivo.....	79
Tabla 4.30 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #4 con aditivo.....	80
Tabla 4.31 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #5 con aditivo.....	81

Tabla 4.32 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #1 con aditivo	82
Tabla 4.33 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #2 con aditivo	83
Tabla 4.34 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #3 con aditivo	84
Tabla 4.35 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #4 con aditivo	85
Tabla 4.36 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #5 con aditivo	86
Tabla 4.37 – Resumen de resultados de permeabilidad de los diseños con aditivo	87
Tabla 4.38 – Resumen de resultados de los diseños con aditivo	87

RESUMEN

El hormigón permeable conocido también como hormigón sin finos, presenta un alto grado de porosidad de tal forma que permite el paso del agua a través de estructura. Este tipo de hormigón se ha utilizado durante muchos años en Estados Unidos, Japón, Colombia y México, como capa de rodadura, bases y sub-bases drenantes, ciclovías, áreas deportivas (canchas de fútbol, tenis, basket) aceras, camineras, pasos peatonales, entre otras aplicaciones. Recientemente en nuestro país ha ganado mayor atención, debido a que este tipo de hormigón se lo considera como un material de construcción sostenible (ecológico), por su eficiente manejo de las aguas lluvias.

Para poder tener éxito en el diseño de mezclas de hormigón permeable, hay que conocer bien sus implicaciones como son: porcentaje de vacíos, relación a/c, permeabilidad y resistencia. Este proyecto está destinado a que este tipo de hormigón pueda ser empleado como una capa drenante para proyectos urbanísticos de interés social, con el fin de aprovechar su alto grado de permeabilidad y que además, actúe como un sistema de drenaje permitiendo el escurrimiento del agua dentro de su estructura porosa hacia el suelo.

Para poder cumplir con la finalidad de este proyecto y para que en nuestro medio se lo utilice, se realizaron varios diseños con ciertos parámetros de dosificación (relación agua/cemento, relación agregado fino/agregado grueso, relación agregado grueso/cemento, porcentaje de vacíos), que diferencian al hormigón convencional. Además, para cada diseño se procedió a tomar muestras en probetas cilíndricas y vigas rectangulares para ser evaluados en laboratorio a ensayos a la compresión, flexión y permeabilidad.

Con el desarrollo de este proyecto, se pretende aportar en beneficio a futuras investigaciones, dando a conocer detalladamente los parámetros que se deben seguir para realizar mezclas de hormigón permeable y a su vez analizando sus comportamientos mecánicos e hidráulicos (resistencia a compresión, flexión y permeabilidad).

Los agregados utilizados para esta investigación fueron proporcionados de la cantera Progecon, las pruebas de laboratorio se realizó en Construladesa Suelos y Hormigones S.A., y los aditivos fueron proporcionado por la empresa Euclid Ecuador S.A.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Guayaquil, a lo largo de los años se ha podido notar bastante deterioro de las vías en calles construidas con hormigón convencional, situación que pudo generarse debido a deficiencias en el diseño hidráulico o a las condiciones topográficas del suelo. Además, hay que mencionar que nuestra ciudad está expuesta a intensos periodos de lluvias en época de invierno, causando grandes inundaciones y que a su vez hacen colapsar los sistemas de drenaje; por lo que se necesita que disminuya el caudal para evitar inundaciones en la superficie de pavimento.

El hormigón permeable es una alternativa eficiente respecto al manejo de las aguas pluvias, que en los últimos años se ha desarrollado a nivel mundial. Sus aplicaciones en la construcción son: capa de rodadura, capa drenante, pavimento de tráfico ligero (estacionamientos, calles residenciales, ciclovías, etc.), canchas deportivas (fútbol, tenis, basket, etc.), áreas verdes (camineras, parterres, paso peatonal, etc.).

Del cual, se obtiene una capa porosa que permite el paso del agua a través de su estructura almacenándola directamente al suelo; siempre y cuando las condiciones del terreno natural lo permitan o a su vez pueda ser trasladada a un sistema de recolección de agua. Logrando así disminuir la acumulación de agua en la superficie y el escurrimiento superficial aguas abajo.

En el desarrollo del proyecto se describen las variables que se deben tener en consideración, respecto al diseño y elaboración de hormigón permeable específicamente como capa drenante en superficies de hormigón. Además, se plantea la problemática de la presente investigación y se trabaja sobre la

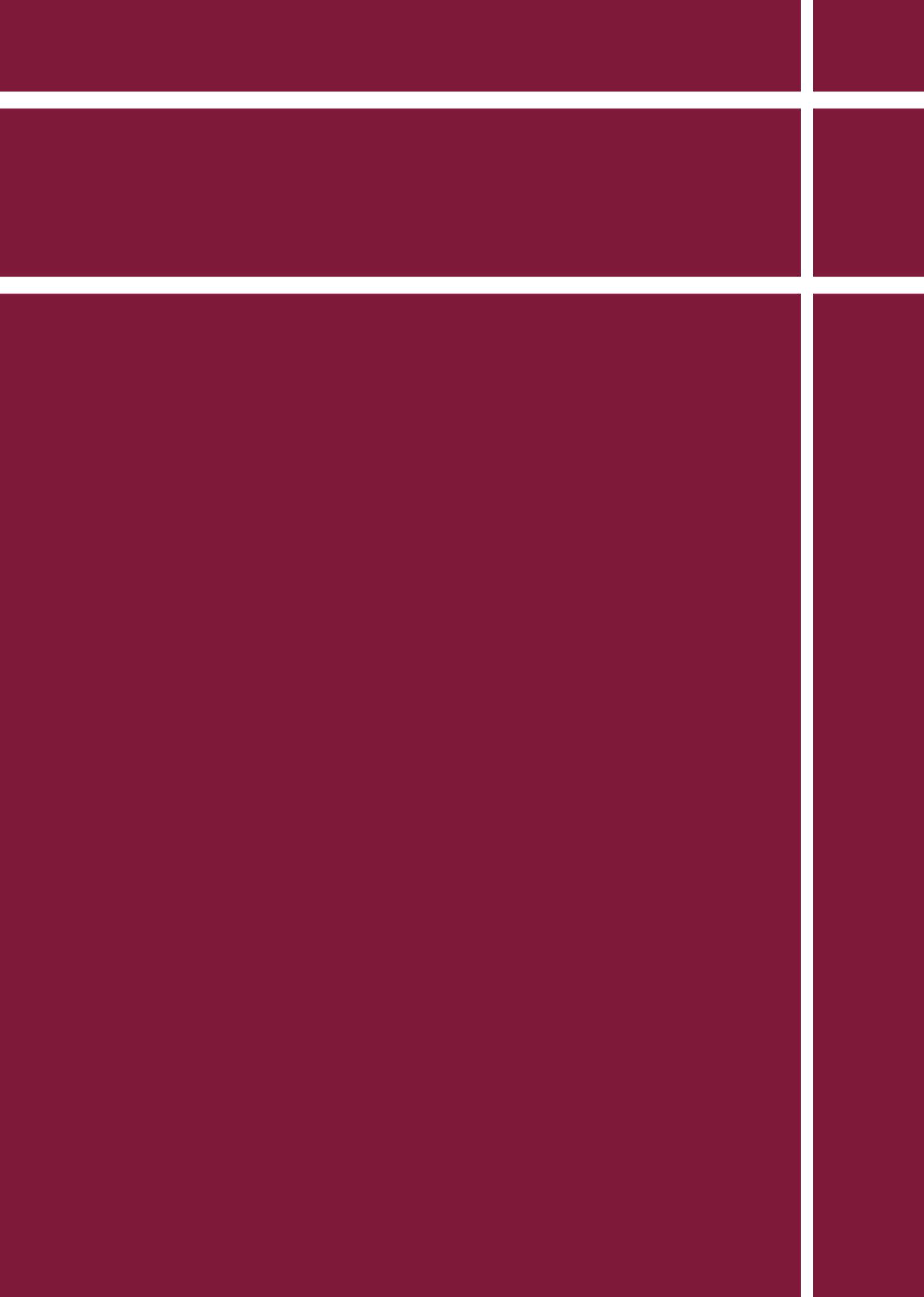
base de los objetivos, formulación, sistematización y justificación que motivaron el estudio de la misma.

El punto de partida para esta investigación es tener claro los conceptos relacionados con los parámetros de dosificación, para elaborar diseños de hormigón permeable; cuya propuesta principal de este proyecto es “Diseñar Mezclas de Hormigón Permeable Para Emplearlo En Proyectos Urbanísticos De Interés Social” y a su vez dar a conocer los comportamientos mecánicos e hidráulicos (resistencia compresión, flexión y permeabilidad) de este hormigón, elaborados con materiales del medio local.

Finalmente, se concluirá tomando como base los resultados obtenidos en laboratorio de los diseños de hormigón permeable (resistencia y permeabilidad); que permita demostrar las dosificaciones que cumplieron con los parámetros antes mencionados y poder aplicarlos como una solución eficiente, rápida y practica en el manejo de las aguas lluvias.

CAPITULO 1

EL PROBLEMA



CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En Guayaquil, existe una gran demanda en la construcción de pavimentos impermeables, sobre todo en áreas de importante desarrollo urbano. Esto genera un gran impacto en la disminución de la capacidad de recarga natural de agua en el suelo e incrementa de forma considerable problemas en la evacuación del agua producida por las fuertes lluvias que sufre nuestra ciudad en época de invierno.

Ante esta problemática de acumulación de agua en la superficie del pavimento, a causa de periodos intensos de lluvias y un posible colapso del sistema de drenaje por el aumento del caudal debido a la escorrentía, se plantea como solución diseñar mezclas de hormigón permeable que cumplan con ciertos parámetros de resistencia y permeabilidad; para poder emplearlo en proyectos urbanísticos de interés social, a través de una capa drenante permeable. De tal forma que, ayude a impedir que se acumule el agua en la superficie de pavimento y trasladarlo a su respectivo sistema de alcantarillado.

En el Ecuador aún no se han desarrollado proyectos que involucren el uso del hormigón permeable, de tal forma que surge una oportunidad en esta investigación de poder conocer y poner en práctica una técnica muy eficiente en varios países.

1.2 Formulación del problema

Identificar los parámetros de dosificación que se deben tener en consideración para poder realizar un diseño de hormigón permeable.

Identificar como influye la adición en porcentaje de agregado fino respecto a la permeabilidad de cada diseño.

Identificar las ventajas y desventajas que existen al implementar el hormigón permeable como capa de rodadura, con respecto al hormigón convencional.

1.3 Sistematización del problema

¿Qué diseño presenta mejor comportamiento mecánico (resistencia) tanto a la compresión y flexión?

¿Qué diseño presenta un mejor comportamiento hidráulico (permeabilidad)?

¿Qué diseño puede ser considerado aceptable para emplearlo como una capa drenante permeable con valores aceptables de resistencia y permeabilidad?

1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Diseñar mezclas de hormigón permeable para emplearlo en proyectos urbanísticos de interés social.

1.4.2 Objetivos Específicos

Determinar cuáles son los parámetros para diseñar una mezcla de hormigón permeable.

Evaluar el comportamiento mecánico e hidráulico (resistencia y permeabilidad), para cada uno de los diseños de hormigón permeable.

Identificar que diseño cumple con los parámetros de resistencia y permeabilidad para poder ser empleado como una capa drenante permeable.

1.5 Justificación

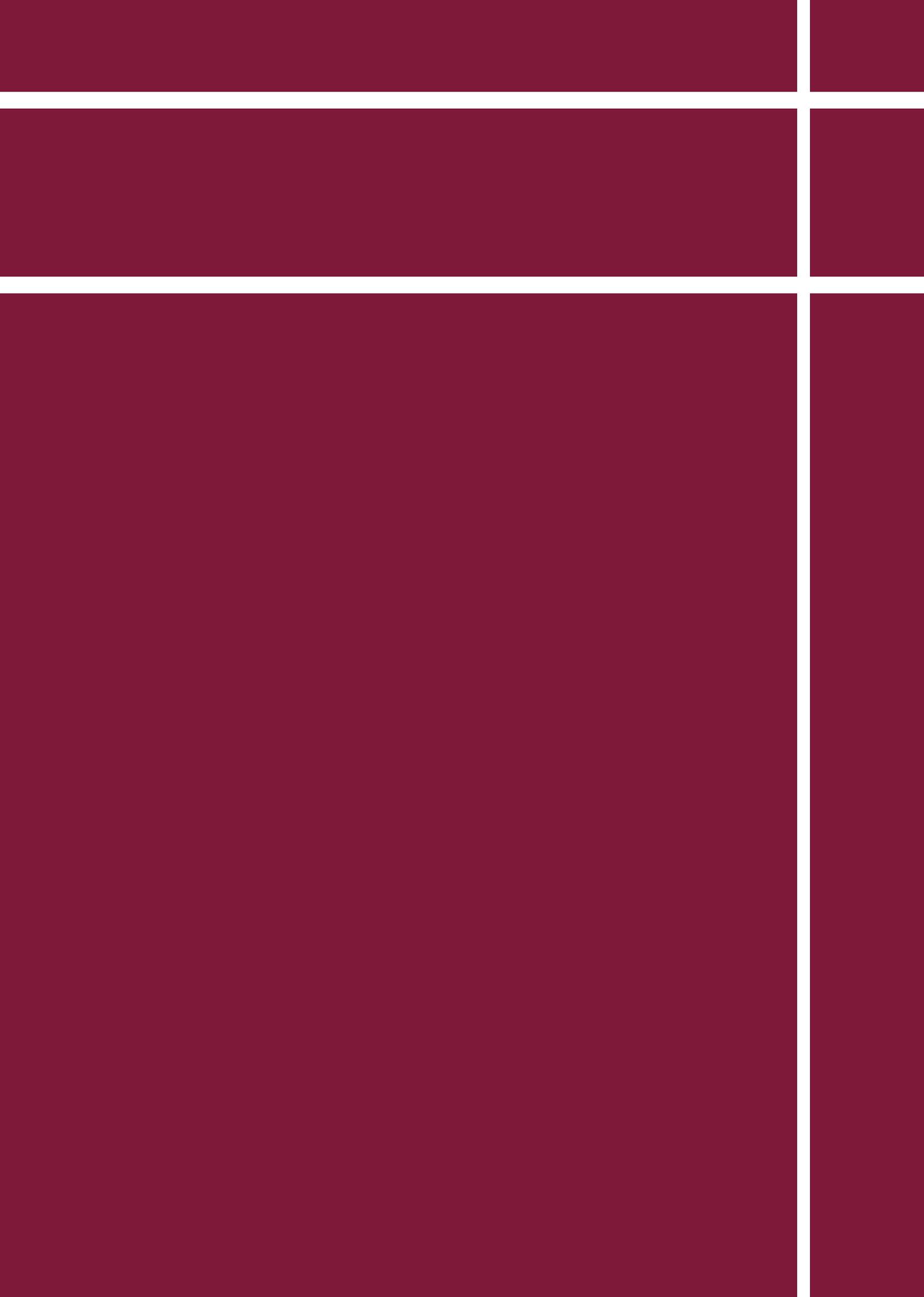
La idea de este estudio tiene como finalidad darle un impulso a la utilización del hormigón permeable en la construcción, dando a conocer el diseño de la mezcla y su comportamiento mecánico e hidráulico. Proporcionando así, una guía completa al lector sobre los parámetros a considerar para el diseño de este tipo de hormigón.

Además, esta investigación permite dar una solución eficiente, rápida y practica ya que este tipo de hormigón posee un alto grado de permeabilidad, lo cual permite que el agua filtre hacia el suelo a través de su estructura porosa, permitiendo tener una permeabilidad promedio de 1 a 1,5 cm/s (10 a 30 mm/s).

Esta solución permite recargar los mantos acuíferos, disminución de inundaciones en las vías, evitando considerablemente la saturación y posible colapso del sistema de drenajes en época de lluvia.

CAPITULO 2

MARCO REFERENCIAL



CAPTÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 Fundamentación Teórica

2.1.1 Generalidades del hormigón permeable

El hormigón permeable también conocido como hormigón sin agregado fino, está compuesto principalmente de agregado grueso, cemento, agua. La combinación de estos elementos forma un aglomerado rodeado de una delgada capa de cemento endurecida en sus puntos de contacto. Generando en su interior vacío, con lo cual el agua puede infiltrarse dentro de su estructura porosa (ver figura 2.1)



Figura 2.1 – Ilustración del hormigón permeable.

El contenido de vacíos puede variar del 10% a 30%, con esfuerzos a la compresión de 2.8 a 28 MPa (400 a 4000 psi). Además, el coeficiente de permeabilidad varía con el tamaño del agregado grueso, generalmente el rango de permeabilidad está entre 0,14 a 1,22 cm/s según comité ACI 522.

2.1.2 Ventajas sobre el uso del hormigón permeable

Las ventajas al utilizar el hormigón permeable en pavimentos, a diferencia del hormigón convencional según el comité ACI 522 son:

- Controlar la contaminación que arrastra la corriente en las aguas lluvias.
- Incremento de las instalaciones de parqueo, eliminando áreas para la retención de agua.
- Controla la escorrentía de aguas lluvias.
- Reduce el deslizamiento sobre la superficie de caminos y carreteras.
- Reduce el deslumbramiento sobre la superficie de rodadura en gran medida, particularmente cuando está mojado por la noche.
- Reduce la interacción del ruido entre la llanta y el pavimento.
- Elimina o reduce el tamaño de las alcantarillas.
- Permite que el aire y el agua lleguen a las raíces de los árboles, aun cuando el pavimento esté dentro de la línea de goteo.

2.1.2.1 Aplicación del hormigón permeable

Las aplicaciones más usadas por ingenieros en la construcción de pavimentos son (ver figura 2.2):

- Estacionamientos de tráfico ligero y parqueaderos
- Vías internas de urbanizaciones
- Uso arquitectónico / coloreado
- Ciclovías, aceras, camineras
- Fuentes artificiales
- Áreas deportivas y recreativas
- Andenes



a) Vía de tránsito ligero (calles residenciales), b) Estacionamientos, c) Camineras, d) Lagunas artificiales, e) Parques, f) Andenes.

Figura 2.2 – Aplicaciones del hormigón permeable.

2.1.3 Características de los materiales que constituyen el hormigón permeable

El hormigón permeable contiene un porcentaje de vacíos, según el diseño y al uso que le asigne; cuya función principal es permitir el paso del agua a través de su estructura porosa.

Unos de los factores muy importantes a tener en consideración para el diseño de mezclas de hormigón permeable son: granulometría, cantidad de cemento, relación a/c, aditivo y contenido de vacíos. Estas variables tienen una función determinante, cuando lo que se requiere es tener buenos resultados tanto en resistencia y permeabilidad.

Se debe utilizar agregados que estén dentro de los límites granulométricos según la norma ASTM C 33, y completamente limpios libres de impurezas perjudiciales como arcillas, limos, materia orgánica, etc. Este punto es un factor clave para obtener hormigones de alta calidad, de igual forma si solo

se requiere obtener porcentajes elevados de vacíos en el diseño (a mayor porcentaje de vacíos, la resistencia disminuye considerablemente).

Un hormigón es más resistente cuando mayor sea la compacidad del árido. Además al existir menor porcentaje de vacíos en el diseño, la cantidad de pasta de cemento será menor y el hormigón más económico.

2.1.3.1 Agregados

2.1.3.1.1 Agregado Grueso

El agregado grueso deberá cumplir con ciertos requerimientos como indica la norma “Especificación Normalizada Para agregados Para Concreto” (ASTM C33, 2013). La cual expone que el tamaño máximo nominal del agregado grueso generalmente es de 3/4” a 3/8” (19 a 9.5 mm), y además, son los más comunes al momento de realizar diseños de hormigón permeable.



Figura 2.3 – Agregado grueso 3/4”, proporcionado por la cantera Progecon.

2.1.3.1.2 Agregado Fino

El agregado fino deberá cumplir con ciertos requerimientos como indica la norma “Especificación Normalizada Para Agregados Para Concreto” (ASTM C33, 2013), si se lo utiliza en el diseño no deberá exceder de 0.10 m³ por cada 1.0 m³ de hormigón permeable.



Figura 2.4 – Agregado fino, proporcionado por cantera Progecon.

2.1.3.1.3 Relación entre el agregado fino y el agregado grueso (F/G)

La relación (F/G) tiene gran influencia, respecto al comportamiento del hormigón permeable. Está relacionado con el tamaño máximo del agregado grueso, es decir; a mayor tamaño del agregado la relación (F/G) debe ser menor.

Según estudios realizados por estudiantes de la Universidad de Medellín, indican que el valor (F/G) debe oscilar entre 0.05 y 0.30 (Meneses Ospina & Bravo Erazo, 2007). Si se usa valores elevados de (F/G) se originan efectos en función de la relación a/c en estado fresco del concreto. Ya que al tener una relación a/c elevada, existirá mayor fluidez en la pasta de cemento, provocando que el mortero vaya a las partes bajas de la estructura; disminuyendo la permeabilidad y la adherencia uniforme de los agregados.

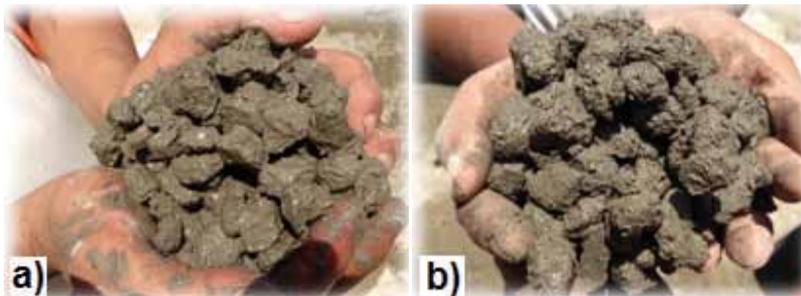
2.1.3.2 Cemento

El Cemento Portland es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, permitiendo la unión de fragmentos minerales entre sí. Se compone principalmente de silicatos de calcio y de aluminio, provenientes de la combinación de calizas, arcillas y yeso.

El cemento utilizado para esta investigación fue tipo GU fabricado por la cementera HOLCIM, además es el que más se utiliza en el mercado y fácil de conseguir en cualquier lugar del país.

2.1.3.3 Agua

El agua debe estar libre de materiales que afecten de manera significativa la resistencia y durabilidad del hormigón, así como también de componentes desgasten el acero de refuerzo. La relación a/c para un hormigón permeable típico debe estar en el rango de 0.30 a 0.40, ya que una cantidad excesiva de agua genera mayor fluidez de la pasta de cemento y selle totalmente los poros afectando la permeabilidad. Una cantidad insuficiente de agua genera una mezcla muy seca y poco manejable con una baja resistencia (ver figura 2.5).



a) Relación agua/cemento óptimo (0,30 – 0,40), b) Baja relación de agua/cemento.

Figura 2.5 – Influencia del uso de agua en la mezcla de hormigón permeable

El agua utilizada para esta investigación es tipo potable obtenida de las tuberías de la red pública de agua potable de la ciudad

2.1.3.4 Aditivo

Los aditivos se utilizan en el hormigón permeable para los siguientes beneficios:

- Reductores de agua: se lo utiliza con el fin de reducir la cantidad de cemento en proporción a la reducción del obtenido de agua, así conservara la relación agua/cemento de diseño e incrementará la resistencia debido a la eficiencia de hidratación de la reacción entre el cemento y el agua.
- Retardantes: se lo utiliza con el fin de retardar el fraguado del hormigón, evitando agrietamientos por contracción o planeación en pavimentos de tráfico pesado. Otro beneficio es para estabilizar y controlar la hidratación del cemento durante su elaboración.
- Colorantes: se lo utiliza con el fin de darle color al hormigón sin alterar sus propiedades de dosificación.

2.1.4 Propiedades de hormigón permeable

2.1.4.1 Hormigón permeable en estado fresco

El hormigón permeable en estado fresco es totalmente rígido, con un revenimiento generalmente menor que 3/4" (20 mm). Para esta investigación se pudo observar que en todos los diseños el revenimiento es nulo. Cuando se lo coloca y compacta, los agregados están completamente adheridos dando una estructura totalmente porosa en su interior (ver figura 2.6).



Figura 2.6 - Hormigón permeable en estado fresco.

2.1.4.2 Hormigón permeable en estado endurecido

La resistencia del hormigón a compresión se verá afectada por la proporción de la mezcla del diseño y la fuerza de compactación al momento de colocarlo en sitio.

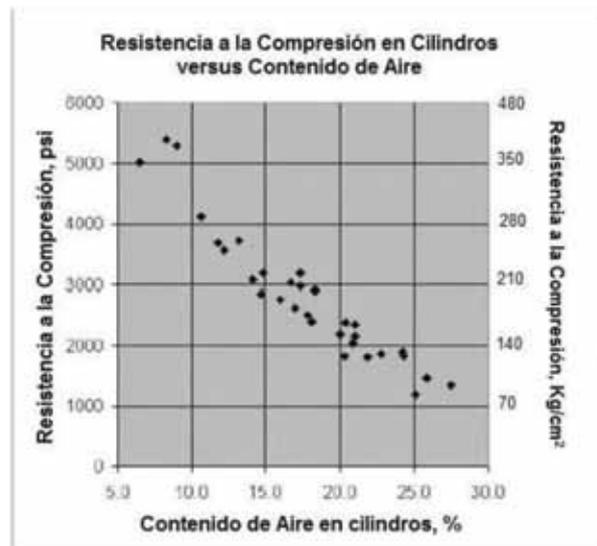


Figura 2.7 – Gráfico de la resistencia a la compresión versus contenido de aire en especímenes de concreto permeable (Meininger, 1988).

En la figura 2.7 podemos observar la relación entre la resistencia compresión y el contenido de vacíos en cilindros de concreto permeable (Meininger, 1988). Su estudio se enfoca en una serie de pruebas de laboratorio, utilizando dos tipos de agregado grueso para emplearlo en las mezclas de concreto permeable y la fuerza de compactación fue variable.

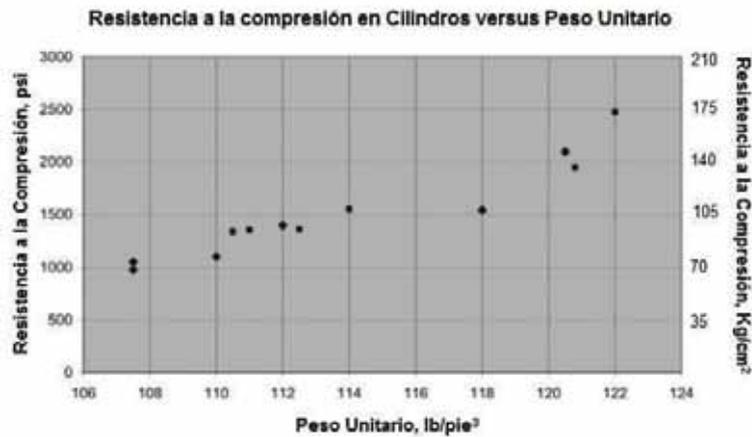


Figura 2.8 - Gráfica de la resistencia a la compresión versus peso unitario en concreto permeable (Mulligan, 2005).

En la figura 2.8 podemos observar la relación entre la resistencia a la compresión y el peso unitario del concreto permeable (Mulligan, 2005). Para este análisis se muestra el uso de un solo tipo de agregado grueso, lo único que varía es la fuerza de compactación y la relación agua/cemento.

Como se indicó anteriormente, unos de los factores importantes a tomar en consideración para el diseño de mezclas de hormigón permeable si se quiere obtener excelente resultados de resistencia a la compresión; hay que tomar muy en cuenta la relación agua/cemento. Si se usa una alta relación agua/cemento puede presentar una pasta de cemento muy fluida logrando así tapar toda la estructura porosa y a su vez perdiendo porcentaje de vacíos. Al igual que si se utiliza una baja relación a/c no existirá una adecuada adherencia uniforme de los agregados y generará problemas al momento de colocar en el sitio.

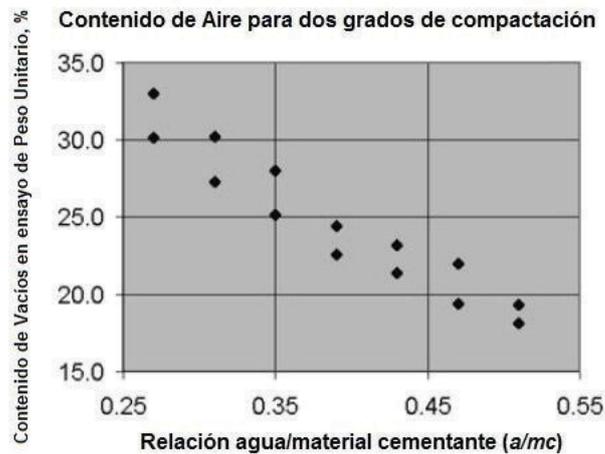


Figura 2.9 – Gráfico de contenido de aire para dos grados de compactación versus la relación agua/material cementante (a/mc) (Meininger, 1988).

Otro factor que presenta un gran impacto en la resistencia del hormigón permeable es la cantidad de pasta de cemento alrededor del agregado. Analizando la figura 2.9 (Meininger, 1988) demuestra que una relación (a/mc) de 0.26 a 0.45 es aceptable para obtener un buen recubrimiento del agregado y manejo de la pasta de cemento.



Figura 2.10 – Gráfico de la resistencia a la flexión en vigas versus contenido de vacíos(Meininger, 1988).

En la figura 2.10 (Meininger, 1988) muestra la relación de la resistencia a la flexión y contenido de vacíos en base a vigas ensayadas en laboratorio.

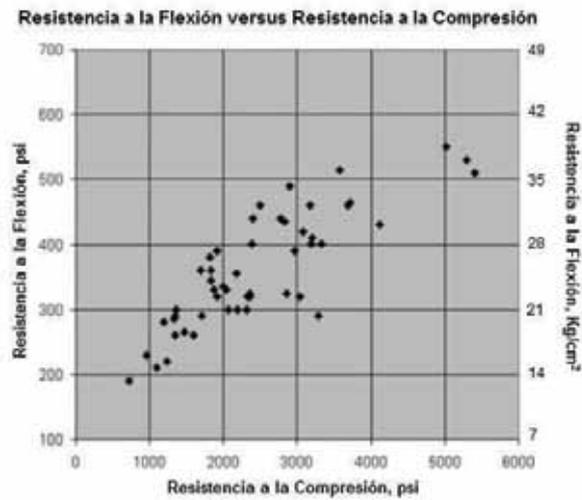


Figura 2.11 – Grafica de la comparación entre la resistencia a la flexión versus resistencia a la compresión (Meininger, 1988).

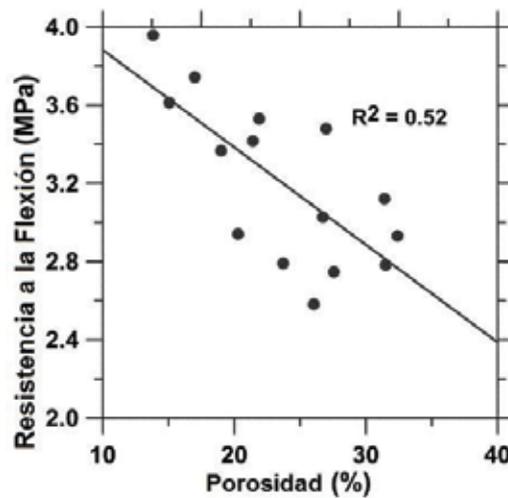


Figura 2.12 – Relación de la resistencia a la flexión versus porcentaje de porosidad (Neithalath, 2005).

La figura 2.11 (Meininger, 1988) muestra la relación de resistencia a flexión y compresión en base a ensayos realizados en laboratorio, de igual forma con respecto a la relación a la resistencia a flexión y porosidad como se indica en la figura 2.12. (Neithalath, 2005).

2.1.4.3 Contenido de vacíos y peso unitario

La densidad o peso unitario y contenido de vacíos del hormigón permeable se lo puede obtener mediante la norma ASTM C1688. Además hay que tener en cuenta que el contenido de vacíos depende varios factores: granulometría del agregado, contenido de material cementante, relación a/mc, fuerza de compactación.

2.1.4.4 Tasa de Filtración

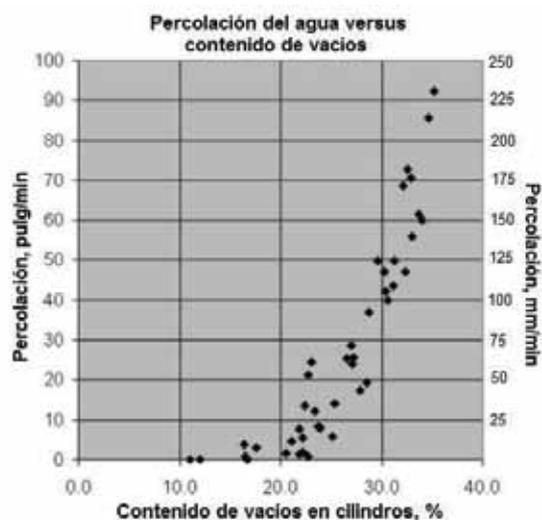


Figura 2.13 – Percolación versus contenido de vacíos en cilindros (Meininger, 1988).

Una de las funciones más importantes que se puede aprovechar con el uso del hormigón permeable, es su capacidad de filtración a través de su estructura porosa. Si la tasa de filtración aumenta, el contenido de vacíos igual. Esta relación a su vez disminuye la resistencia a la compresión, de tal forma que para tener éxitos en el diseño de mezclas de hormigón permeable

hay que lograr un equilibrio entre una tasa de filtración y resistencia a la compresión aceptables.

La permeabilidad es uno de los factores principales que caracterizan al hormigón permeable del hormigón convencional. Este factor se lo puede medir mediante un permeámetro de carga variable como se muestra en la figura 2.14 (Neithalath, Weiss, & Olek, 2006). La muestra de forma cilíndrica se encuentra envuelta de una fina capa de látex, evitando que el agua se disperse por las paredes exteriores de la muestra. Luego se añade agua al cilindro graduado saturando completamente la muestra y el tubo de drenaje, hasta llegar a la parte superior de la tubería de drenaje con respecto al nivel del cilindro graduado.



Figura 2.14 – Permeámetro de carga variable
(Neithalath, Weiss, & Olek, 2006).

Saturada completamente de agua la probeta se cierra la válvula. Se aplica una carga de agua llenando el cilindro graduado, se abre la válvula y se mide el tiempo (s) en que el agua desciende desde una altura h_1 de 290 mm (11.6

pulgadas) hasta un punto final **h2** de 70 mm (2.8 pulgadas). La permeabilidad **k** (mm/s) puede ser expresada de la siguiente forma:

$$K = A / t$$

Donde **A** es igual a una constante de 192 mm (7.7 pulgadas)

2.1.5 Métodos de diseños de mezclas de hormigón permeable

Según el Comité ACI 211.3-02 en el apéndice 6, da a conocer un método para dosificar hormigón permeable sin asentamiento (revenimiento cero), que es utilizado para pavimentos de tráfico ligero entre otras aplicaciones; donde el drenaje y la percolación es lo que más se requiere.

2.1.5.1 Proporcionamiento de la mezcla

La relación agregado/cemento y relación agua/cemento son las variables a tomar en consideración ya que afectan directamente las características mecánicas del hormigón (resistencia). El uso de aditivo en la mezcla de hormigón permeable se verá afectada en la relación agua/cemento, solo se aplica cuando se requiere obtener beneficios respecto a la trabajabilidad y tiempo de fraguado; para así mejorar la calidad y durabilidad de hormigón.

MATERIALES	RANGO
Material Cementante, Kg/cm ³	270 a 415
Agregado, Kg/cm ³	1190 a 1480
Relación agua/cemento	0.26 a 0.45
Relación agregado grueso/cemento	4 a 4.5
Relación agregado fino/agregado grueso	0 a 1

Tabla 2.1 – Rangos recomendables de dosificación para hormigón permeable (Pervious Pavement, s.f.).

En la tabla 2.1, podemos observar que el rango de la relación agua/cemento puede variar del 0.26 a 0.45; esto dependerá principalmente de las características granulométrica de los agregados gruesos a utilizar para la

elaboración del hormigón permeable. Deberá existir una cantidad aceptable de material cementante que permita un mejor recubrimiento hacia las caras del agregado, logrando una mezcla uniforme y manejable.

2.1.5.2 Cantidad de agregado grueso

Las pruebas realizadas por la National Aggregates Association – National Ready Mixed Concrete Association en base al peso volumétrico seco-varillado del agregado grueso (b/b_o) según la norma ASTM C 29, puede ser una opción aplicable para el proporcionamiento del hormigón permeable. Es decir:

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

b_o : volumen de agregado grueso por unidad de volumen de agregado grueso

Porcentaje de Agregado Fino	b/b_o	
	ASTM C 33 Tamaño N° 8	ASTM C 33 Tamaño N° 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Tabla 2.2 – Valores efectivos de b/b_o (Comité ACI 211.3R, 1998).

La tabla 2.2 muestra los valores b/b_o para agregado grueso de tamaño N° 8 y N° 67 según la norma ASTM C 33, respecto al porcentaje de agregado fino que se requiera proporcionar en la mezcla de hormigón permeable.

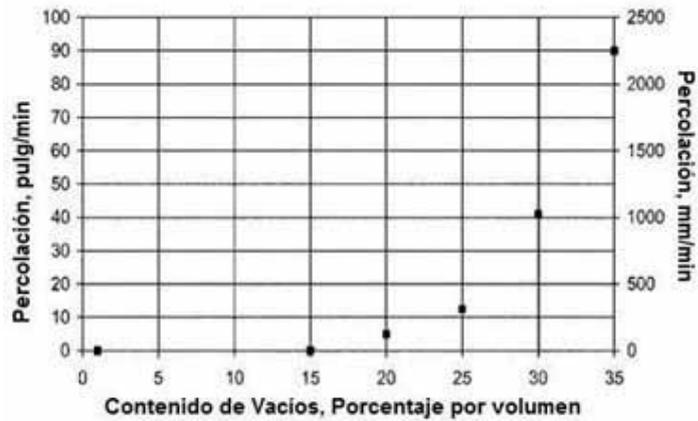


Figura 2.15 – Contenido de vacíos mínimo para la percolación basada en pruebas y métodos de ensayo de la NAA-NRMCA (Comité ACI 211.3R, 1998).

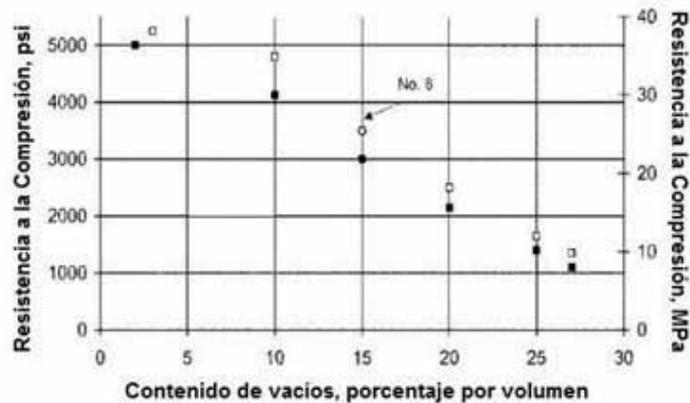


Figura 2.16 – Relación entre contenido de vacíos y resistencia a la compresión a los 28 días para agregados de tamaño N° 8 y N° 67 de la norma ASTM C 33 (Comité ACI 211.3R, 1998).

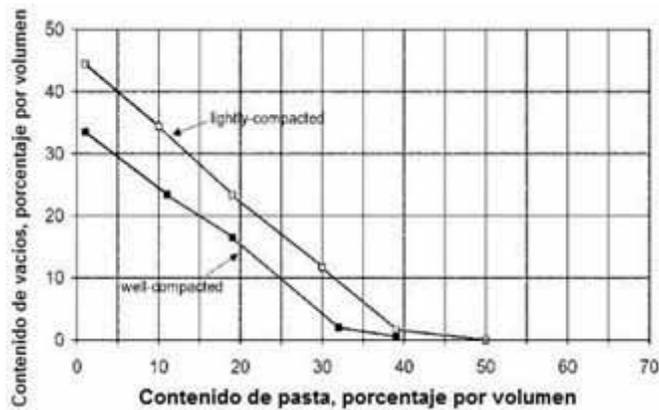


Figura 2.17 – Relación entre pasta cementante y contenido de vacíos para agregados de tamaño N° 8 según designación de la Norma ASTM C 33 (Comité ACI 211.3R, 1998).

2.1.5.3 Procedimiento de dosificación

El proceso de realizar mezclar de hormigón permeable tiene dos particularidades: el éxito o el fracaso. Para lo cual se tiene que manejar bien los balances entre el porcentaje de vacíos, resistencia y permeabilidad. Claro está que se deben realizar pruebas de laboratorio para ir corrigiendo ciertos parámetros, que ayuden a sacar conclusiones favorables y poder alcanzar los beneficios que se requieran ejecutar en la ingeniería.

En el reporte ACI 522-10 “Reporte sobre Concreto Permeable” hace referencia el método b/bo para realizar pruebas sobre mezclas de hormigón permeable mediante 8 pasos:

- Determinación del peso del agregado
- Ajustar el peso en estado saturado superficialmente seco (SSS)
- Determinación del volumen de pasta de cemento
- Determinación del contenido cementante
- Determinación del contenido de agua
- Determinación del volumen sólido

- Evaluar el contenido de vacíos
- Determinación de las cantidades para someter a ensayos previos

Para tener una idea acerca del proceso para dosificar una mezcla de hormigón permeable se da como referencia el siguiente ejemplo:

- Se necesita una mezcla de hormigón permeable con las siguientes características:

Datos:

Relación agua/cemento: 0.38

Porcentaje de vacíos: 20%

Peso específico del cemento (densidad): 3.15

Peso volumétrico seco varillado agregado 3/8": 1741.21 kg/m³

Peso específico de agregado 3/8" (Gravedad específica): 2.75

Absorción del agregado: 1.2%

No se utiliza fino en la mezcla

- Determinación del peso del agregado

Para un agregado N° 8 sin presencia de agregado fino, en la tabla 2.2 que hace referencia a las pruebas de mezcla según el Comité ACI 211.3, el valor b/b_o es de 0.99.

$$W_a = 1741.2 \text{ kg/m}^3 \times 0.99 = 1723.8 \text{ kg}$$

- Ajuste del peso en estado saturado superficialmente seco

Donde el porcentaje de absorción es del 1.2%

$$W_{ssd} = 1723.8 \text{ kg} \times 1.012 = 1744.5 \text{ kg (SSS)}$$

- Determinación del volumen de pasta de cemento

Tomando como referencia la figura 2.17, tenemos un porcentaje de vacíos del 20% (para este ejemplo) para un agregado bien compactado, por lo cual podemos encontrar un porcentaje de pasta de cemento del 15%. Entonces quince por ciento para un metro cúbico es 0.15 metros cúbicos. Nuestro volumen de pasta de cemento $VP = 0.15 \text{ m}^3$.

- Determinación del contenido de cemento

$$c = [VP/(0.315 + w/c)]$$

$$c = [(150)/(0.315 + 0.38)]$$

$$c = 215.82 \approx 216 \text{ kg}$$

- Determinación del contenido de agua

$$W = c (w/c)$$

$$W = 216 \text{ kg} (0.38) = 82.1 \text{ kg}$$

- Determinación de volumen sólido

$$\text{Volumen de agregado } V_a = 1744.5/2750 = 0.634 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen del cemento } V_c = 216/3150 = 0.069 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agua } V_w = 82.1/1000 = 0.0821 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Sólido } V_s = V_a + V_c + V_w = 0.634 + 0.069 + 0.0821 = 0.7851 \text{ m}^3$$

- Determinación del porcentaje de vacíos

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (V_{\text{tot}} - V_s)/V_{\text{tot}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (1 - 0.7851) \times 100 = 21.49\%$$

- Revisar la porosidad estimada

Nuestro porcentaje de vacíos es de 21.49%, tomando como referencia la figura 2.13 indica una tasa de percolación aproximada de 220 mm/min.

- Determinación de las cantidades para ensayos previos

Cemento = 216 kg Agua = 82.1 kg Agregado N° 8 = 1744.5 kg (SSS)

Densidad = 2042.6 kg Peso Total = 2042.6 kg

2.2 Formulación de la hipótesis

Los resultados de resistencia y permeabilidad que se obtengan de los diseños de mezclas de hormigón permeable planteado como objetivo principal de esta investigación, podrían ser aceptables para usos ingenieriles (ver capítulo 2, sección 2.1.2.1) con el fin de aprovechar su eficiente capacidad de drenaje.

2.3 Definiciones Conceptuales

Agregados.- Conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial con diferentes características físicas, cuya clasificación y calificación se lo puede determinar mediante normas de calidad (ASTM).

Para poder realizar diseños de hormigón se necesita conocer ciertas características de los agregados, tales como:

- **Absorción:** se determina con el peso de la muestra saturada superficialmente seca y encontrando nuevamente el peso luego de que la muestra haya sido secada en el horno, la relación de los pesos expresados como porcentaje es la absorción.
- **Granulometría de los agregados:** una granulometría adecuada de los agregados es muy importante al momento de realizar diseños de hormigón, de tal forma que deberá cumplir con gradaciones especificadas en la Norma ASTM C 33.
- **Gravedad específica:** está definida como la relación entre la masa de un volumen de material saturado superficialmente seco respecto al peso del mismo material sumergido en agua.

- **Peso Volumétrico:** es el peso por unidad de volumen de agregado, que se determina pesando los agregados requeridos para llenar un recipiente de volumen conocido.

Agregado Fino.- arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado de partículas de mayor tamaño, comprendido entre los pasantes de la maya N° 200 y la malla N°4.

Agregado Grueso.- grava natural o triturada con tamaño nominal mayor al tamiz N° 4 (4.75 mm) y menor a 3 pulgadas (75 mm).

Cemento.- el cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, permitiendo la unión de fragmentos minerales entre sí.

Desgaste por sulfato.- permite conocer la solidez del agregado mediante uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

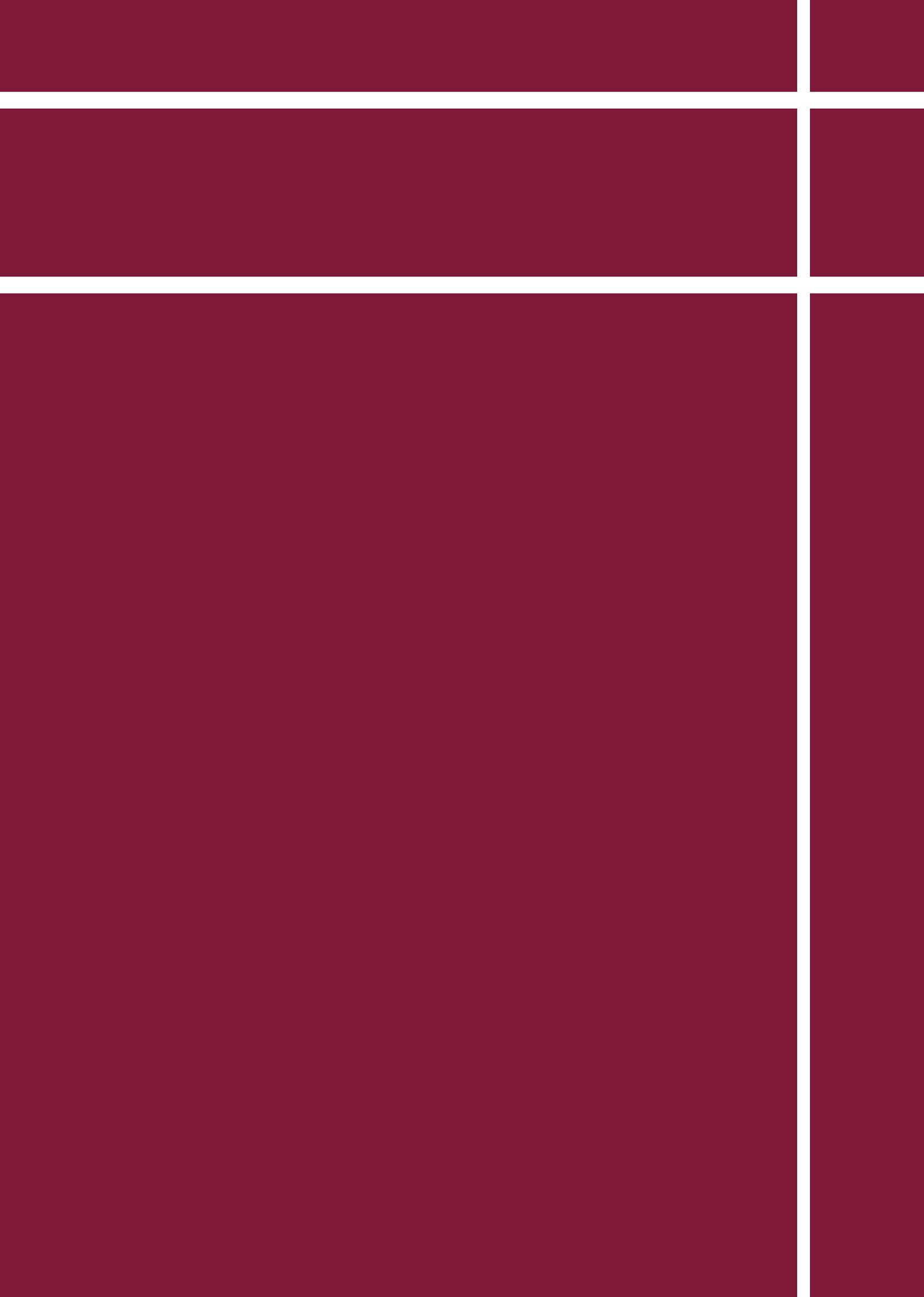
Hormigón Permeable.- es un tipo de hormigón compuesto por agregado grueso, cemento, agua y aditivo; con un alto porcentaje de porosidad permitiendo filtrar el agua dentro de su estructura porosa.

Permeabilidad.- es la capacidad de filtración con que el agua u otros líquidos pueden pasan por el hormigón. Para esta investigación se utilizó un permeámetro de carga variable recomendado por el comité ACI.

Pruebas de laboratorio.- conjunto de ensayos que se lo emplea a materiales de diferentes áreas ya sea suelos, hormigón y asfalto, basados a normas técnicas de calidad (ASTM).

CAPITULO 3

METODOLOGÍA



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Diseño de la investigación

Para la presente investigación cuyo enfoque está relacionado a diseños de mezclas de hormigón permeable, lo primero que se requiere es obtener los materiales que conlleve a la realización del estudio planteado. En nuestro medio específicamente Guayaquil, tiene una alta gama de canteras y empresas que se dedican a vender materiales para la construcción; del cual se detalla lo siguiente:

- Agregados (arena y piedra) – Cantera Progecon S.A.
- Aditivos – Euclid Ecuador S.A.
- Prueba de laboratorio – Construladesa Suelos y Hormigones S.A.

Luego se procede a realizar ensayos preliminares a los agregados en laboratorio que me permita conocer sus propiedades físicas y que a su vez, cumplan con las especificaciones de las normas ASTM para cada uno de los ensayos. Los ensayos preliminares para elaborar diseños de hormigón son:

- Análisis granulométrico
- Gravedad específica y absorción
- Peso volumétrico suelto y varillado
- Abrasión
- Desgaste por sulfato

Una vez obtenido los resultados de los agregados, se procederá a plantear los parámetros de dosificación que se requieran analizar en la investigación.

De esta forma se decidió realizar 10 mezclas de hormigón permeable detalladas de la siguiente manera:

- 5 diseños patrones (sin aditivo)
- 5 diseños finales (con aditivo)

Para poder verificar el comportamiento mecánico (resistencia) e hidráulico (permeabilidad) de cada uno de los diseños, se procederá a tomar muestras en probetas cilíndricas y vigas rectangulares para ser ensayadas en laboratorio a pruebas a la compresión y flexión (7, 14, 21 y 28 días). Para las pruebas de permeabilidad se montara un equipo con material PVC, simulando un permeámetro de carga variable adoptado por el comité ACI 522 y que servirá para medir su capacidad de filtración.

Luego se recopilará todos los resultados y se realizará varios análisis respecto al comportamiento mecánico (resistencia) e hidráulico (permeabilidad) de cada diseño. También se analizará la relación agua/cemento y porcentaje de vacíos respecto a los resultados de resistencia y permeabilidad.

Finalmente se darán conclusiones y recomendaciones que puedan aportar a futuras investigaciones. Además, se podrá validar o no nuestra hipótesis planteada con el fin de aplicarlos para usos específicos ingenieriles antes mencionados.

3.2 Población y muestra

Para poder hacer una cuantía de muestras representativa primero hay que establecer la población que es parte de la investigación. Para este estudio se establece como población a todos los diseños de mezclas de hormigón permeable con ciertos parámetros de dosificación, en donde se analizará por separado cada diseño en particular en base a sus resultados mecánicos e hidráulicos y así emitir conclusiones independientes de cada diseño.

En las siguientes tablas se puede observar la distribución de las muestras para la investigación:

DISEÑOS DE MEZCLAS DE HORMIGON PERMEABLE					
DISEÑOS PATRONES (SIN ADITIVO)	PARÁMETROS DE DOSIFICACIÓN		Nº DE MUESTRAS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO		
	% VACÍOS	% ARENA	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	PERMEABILIDAD
DISEÑO #1	15	0	20	12	2
DISEÑO #2	13	5	20	12	2
DISEÑO #3	15	5	20	12	2
DISEÑO #4	17	10	20	12	2
DISEÑO #5	20	10	20	12	2
CANTIDAD			100	60	10
TOTAL DE MUESTRAS PARA INVESTIGACIÓN			170		

Tabla 3.1 – Muestra seleccionada para la investigación de los diseños patrones sin aditivo.

DISEÑOS DE MEZCLAS DE HORMIGON PERMEABLE					
DISEÑOS CON ADITIVO	PARÁMETROS DE DOSIFICACIÓN		Nº DE MUESTRAS PARA ENSAYOS DE LABORATORIO		
	% VACÍOS	% ARENA	COMPRESIÓN	FLEXIÓN	PERMEABILIDAD
DISEÑO #1	15	0	20	12	2
DISEÑO #2	13	5	20	12	2
DISEÑO #3	15	5	20	12	2
DISEÑO #4	17	10	20	12	2
DISEÑO #5	20	10	20	12	2
CANTIDAD			100	60	10
TOTAL DE MUESTRAS PARA INVESTIGACIÓN			170		

Tabla 3.2 – Muestra seleccionada para la investigación de los diseños con aditivo.

RESUMEN DE MUESTRAS PARA INVESTIGACIÓN	
Nº TOTAL DE DISEÑOS	Nº TOTAL DE MUESTRAS
10	340

Tabla 3.3 – Total de diseños y muestras para la investigación.

3.3 Instrumentos de recolección de datos

Respecto a los instrumentos para la recolección de datos para esta investigación, se determinará a partir de los resultados de los ensayos de laboratorio. Para lo cual se lo clasifico en 2 fases:

Fase 1: Determinación de las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezclas de hormigón permeable.

- Ensayo para determinar la granulometría de los agregados (ASTM C33, 2013).
- Ensayo para determinar la gravedad específica, densidad y la absorción del agregado grueso (ASTM C127, 2012).
- Ensayo para determinar la gravedad específica, densidad y la absorción del agregado fino (ASTM C128, 2012).
- Ensayo para determinar el desgaste por abrasión del agregado grueso (ASTM C131, 2006).
- Ensayo para determinar la solidez del agregado mediante el uso sulfato de sodio o sulfato de magnesio (ASTM C88, 2013).
- Ensayo para determinar las impurezas orgánicas del agregado fino (ASTM C40, 2011).

Fase 2: Determinación de las propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón.

- Especificaciones para hormigón premezclado (ASTM C94, 2014).
- Ensayo para determinar el revenimiento en el hormigón en estado fresco (ASTM C143, 2012).
- Ensayo para determinar la densidad del hormigón en estado fresco (ASTM C1688, 2013).
- Ensayo para la preparación y curado de los especímenes de hormigón en campo (ASTM C31, 2012).
- Ensayo para determinar la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de hormigón (ASTM C39, 2014).
- Ensayo para determinar la resistencia a la flexión en vigas de hormigón (ASTM C78, 2010).
- Ensayo para determinar la permeabilidad del hormigón permeable mediante un permeámetro de carga variable recomendado por el comité del American Concrete Institute (ACI 522R, 2011).

3.4 Técnicas de investigación y pasos a utilizar

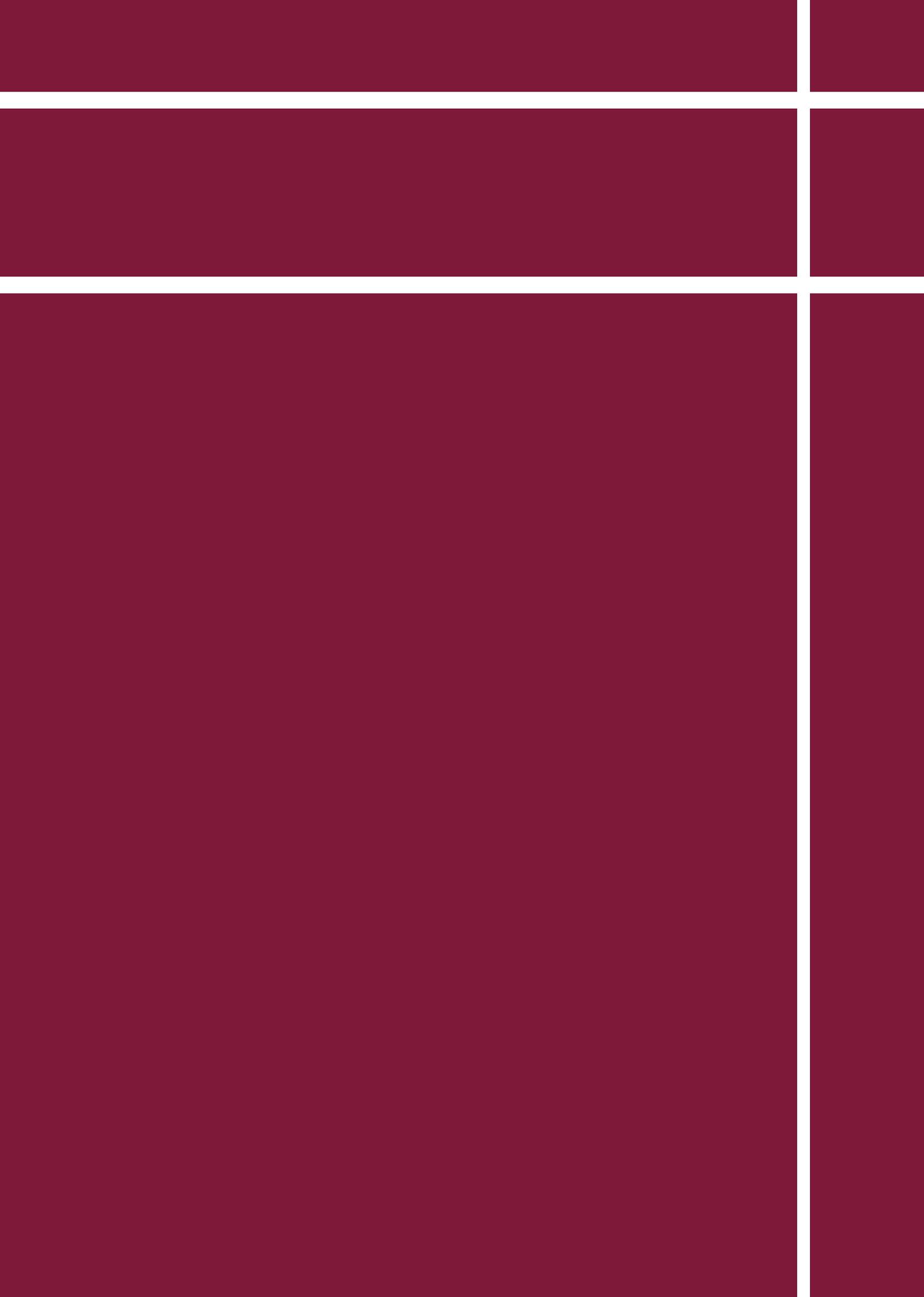
Para esta investigación se puede acceder a documentos, informes y tesis de grado, con lo cual se pretende recolectar la mayor información posible; con el fin de proporcionar al lector una idea clara de las variables, ventajas, aplicaciones y limitaciones del estudio planteado. Las técnicas para realizar una investigación son procedimientos e instrumentos que han sido diseñados para acceder a información o conocimiento. Los pasos utilizados para nuestro estudio son:

- Tema.
- Delimitación del tema.
- Formulación del problema.

- Planteamiento del problema.
- Determinación de los instrumentos de recolección de datos.
- Análisis de los resultados.
- Comprobación o validación de la hipótesis.
- Conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO 4

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS



CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo se lo desarrollará en dos fases como se mencionó en el Capítulo 3 (ver índice 3.3). Concluida estas dos fases, se procederá a analizar los resultados e interpretación de los mismos.

Los ensayos previos a los agregados, elaboración de las mezclas, elaboración de las muestras de cilindros y vigas para su respectiva rotura, y permeabilidad mediante un permeámetro de carga variable elaborado con tubería PVC; se lo realizó en las instalaciones de la empresa Construladesa Suelos y Hormigones S.A.

Fase 1: Determinación de las propiedades físicas de los agregados para el diseño de mezclas de hormigón permeable.

4.1 Agregados

Los agregados utilizados para esta investigación tanto piedra y arena fueron proporcionados por la cantera Progecon. El material clasifica geológicamente como lutitas silisifacadas principalmente y hay presencia de grauwacas y areniscas líticas.

4.1.1 Agregado grueso

La piedra de la cantera Progecon tiene las siguientes características (Ver Anexo A):

PVS (Kg/m³)	PVV (Kg/m³)	DSSS (Kg/m³)	ABS. (%)	T.M.N.
1.312	1.406	2.427	1,42	3/4"

Tabla 4.1 – Características del agregado grueso.

PVS: Peso volumétrico seco

PVV: Peso volumétrico varillado

DSSS: Densidad saturada superficialmente seca

ABS.: Porcentaje de absorción

T.M.N.: Tamaño máximo nominal



a) Peso volumétrico Suelto (PPV), b) Peso volumétrico Varillado (PVV), c) Absorción y Gravedad Específica.

Figura 4.1 - Ensayo para determinar la gravedad específica, densidad y la absorción del agregado grueso según la norma ASTM C 127.

4.1.1.1 Granulometría

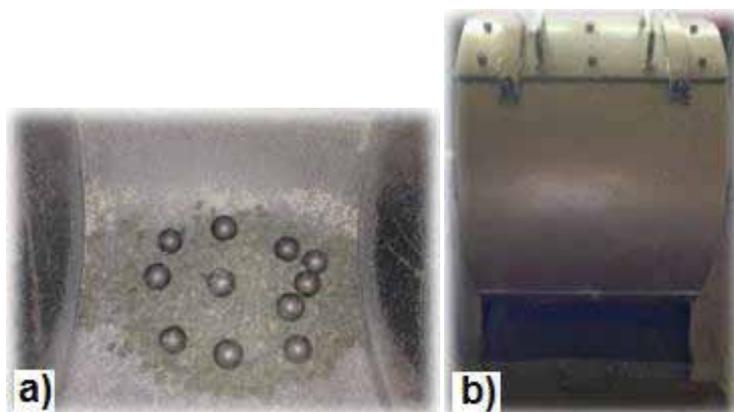
La piedra utilizada clasifica granulométricamente según la norma ASTM C33, como agregado N° 6 (19 mm a 9.5 mm) – tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ " (Ver Anexo A).



Figura 4.2 - Ensayo para determinar la granulometría de los agregados según la norma ASTM C33.

4.1.1.2 Abrasión de los ángeles

La piedra según la norma ASTM C131 presenta un desgaste del 19.68%, lo cual es aceptable ya que el máximo porcentaje permisible para desgaste por abrasión es del 50% (Ver Anexo C).



a) Metodo B, según indica la norma ASTM C 131 , b) Tambor giratorio (Maquina de abrasión de los ángeles).

Figura 4.3 - Ensayo para determinar el desgaste por abrasión del agregado grueso según la norma ASTM C131.

4.1.1.3 Desgaste por sulfato

La piedra según la norma ASTM C88 presenta un desgaste del 11.83%, lo cual es aceptable ya que el máximo porcentaje permisible para desgaste por sulfato es del 12% (Ver Anexo C).



a) Muestras para ensayo de sulfato, b) Canecas con sulfato de magnesio.

Figura 4.4 - Ensayo para determinar la solidez del agregado mediante el uso sulfato de sodio o sulfato de magnesio según la norma ASTM C 88.

4.1.2 Agregado Fino

La arena de la cantera Progecon tiene las siguientes características (Ver Anexo B).

PVS (Kg/m³)	DSSS (Kg/m³)	ABS. (%)	M.F.
1.659	2.618	0,36	3,5

Tabla 4.2 – Características del agregado fino.

PVS: Peso volumétrico seco

DSSS: Densidad saturada superficialmente seca

ABS.: Porcentaje de absorción

M.F.: Módulo de finura



a) Peso volumétrico suelto (PVS), b) absorción y gravedad específica.

Figura 4.5 - Ensayo para determinar la gravedad específica, densidad y la absorción del agregado fino según la norma ASTM C 128.

4.1.2.1 Granulometría

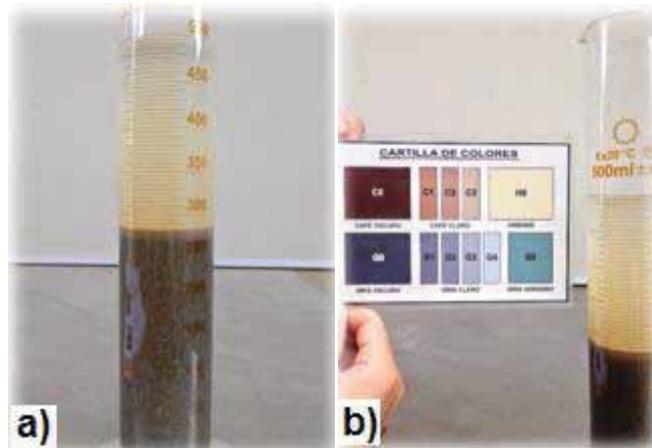
La arena utilizada clasificada granulométricamente cumple con las especificaciones de la norma ASTM C33 (Ver Anexo B).



Figura 4.6 - Ensayo para determinar la granulometría de los agregados según la norma ASTM C33.

4.1.2.2 Contenido de materia orgánica (Colorimetría)

La arena utilizada clasifica como N° 1 según la norma ASTM C40, lo cual la encasilla como aceptable para la utilización en mezclas de concreto (Ver Anexo D).



a) Muestra de agregado fino saturado en probeta cilíndrica, b) Tabla de color estándar de Gardner clasifica como N° 1 de la placa orgánica.

Figura 4.7 - Ensayo para determinar las impurezas orgánicas del agregado fino según norma ASTM C40.

4.1.2.3 Desgaste por sulfato

La arena según la norma ASTM C88 presenta un desgaste del 11.47%, lo cual es aceptable ya que el máximo porcentaje permisible para desgaste por sulfato es del 12% (Ver Anexo D).



Figura 4.8 - Ensayo para determinar la solidez del agregado mediante el uso sulfato de sodio o sulfato de magnesio según la norma ASTM C 88.

4.1.3 Cemento

4.1.3.1 Tipo de cemento

El cemento tipo GU fue utilizado a lo largo de este trabajo, proporcionado por la cementera HOLCIM S.A.



Figura 4.9 – Cemento Holcim Tipo GU.

4.1.3.2 Componentes químicos y características físicas del cemento

La calidad del cemento es un factor fundamental que influye directamente en la resistencia y durabilidad del concreto, es por esto que las empresas que lo fabrican llevan un control estricto de sus productos. Este control se deriva de ensayos tanto químicos como físicos del cemento. Los análisis químicos y otros ensayos del cemento tipo GU de HOLCIM fueron proporcionados por la empresa (Ver Anexo E).

4.1.4 Aditivo

4.1.4.1 Tipos de aditivo

Para esta investigación se utilizaron aditivos proporcionados por la empresa Euclid Ecuador S.A., de las cuales se escogieron 2 tipos de aditivos que han sido implementados para la fabricación de hormigón permeable en otros países, dando excelentes resultados.

- **Plastol 6000:** aditivo hiperplastificante para concretos especiales, reductor de agua a base de policarboxilatos, utilizado específicamente para aumentar la manejabilidad del hormigón (Ver Anexo F).
- **Eucon W.O.:** estabilizador para cemento y aditivo retardante. Estabiliza la hidratación del cemento para optimizar el uso del agua, al momento de realizar la mezcla del hormigón (Ver Anexo F).

4.1.5 Agua

El agua para utilizar en las mezclas de hormigón debe estar libre de materiales que afecten de forma significativa la resistencia y durabilidad del hormigón. Para esta investigación se utilizó agua potable obtenida de las tuberías de la red pública de agua potable de la ciudad.

4.2 Diseño de mezclas de hormigón permeable

Cabe recalcar que hasta el día de hoy no existe alguna norma que indique como elaborar diseños de hormigón permeable, de tal forma que los diseños elaborados a lo largo de nuestro estudio han sido puestos en práctica a base de investigación, informes, tesis, conclusiones y recomendaciones para lograr analizar ciertos parámetros que influyen al estudio de tipo de hormigón.

El enfoque de esta investigación es analizar el comportamiento mecánico (resistencia) e hidráulico (permeabilidad) con ciertos parámetros de dosificación, confinados con agregados locales (cantera Progecon) y aditivos (Euclid). Además, lograr obtener resultados aceptables dando un equilibrio entre resistencia y permeabilidad, para ponerlo en la práctica ingenieril.

4.2.1 Parámetros de dosificación para los diseños de hormigón permeable

Para este estudio se realizaron 10 mezclas de hormigón permeable, con ciertos parámetros de dosificación como la relación agua/cemento, relación agregado fino/agregado grueso, relación agregado grueso/cemento y porcentaje de vacíos, como lo sugiere el comité ACI 522 – “Reporte previo del concreto” (Ver tabla 4.3).

Cantidad de cemento	270 a 415 kg/m³
Agregado Grueso	1190 a 1480 kg/m³
Relación agua/cemento	0.30 a 0.40
Relación agregado grueso/cemento	4 a 4.5
Relación agregado fino/grueso	0 a 1

Tabla 4.3 – Rango típico de proporciones del hormigón permeable (ACI 522R, 2011).

4.2.2 Hormigón permeable sin aditivo

Para esta primera parte se realizaron 5 diseños sin aditivo, con los siguientes parámetros de dosificación y para poder identificarlos se les asignó un color diferente a cada diseño. A estos 5 diseños se los ha denominado Diseños Patrones (Ver Anexo G).

DISEÑO PATRON #1		UNIDADES	% Vacíos	15
Cemento	350	kg	% Arena	0
Agua	137	lts	Rel. (A/C)	0,39
Piedra	1.392	kg	Rel. (AG/C)	3,98
Arena	N/A	kg	Rel. (AF/AG)	0
Rev.	0	cm	Color	

Tabla 4.4 – Dosificación del diseño patrón #1.

DISEÑO PATRON #2		UNIDADES	% Vacíos	13
Cemento	355	kg	% Arena	5
Agua	128	lts	Rel. (A/C)	0,36
Piedra	1.350	kg	Rel. (AG/C)	3,8
Arena	153	kg	Rel. (AF/AG)	0,11
Rev.	0	cm	Color	

Tabla 4.5 – Dosificación del diseño patrón #2.

DISEÑO PATRON #3		UNIDADES
Cemento	342	kg
Agua	120	lts
Piedra	1.350	kg
Arena	133	kg
Rev.	0	cm

% Vacíos	15
% Arena	5
Rel. (A/C)	0,35
Rel. (AG/C)	3,95
Rel. (AF/AG)	0,10
Color	

Tabla 4.6 – Dosificación del diseño patrón #3.

DISEÑO PATRON #4		UNIDADES
Cemento	327	kg
Agua	115	lts
Piedra	1.308	kg
Arena	154	kg
Rev.	0	cm

% Vacíos	17
% Arena	10
Rel. (A/C)	0,35
Rel. (AG/C)	4,0
Rel. (AF/AG)	0,12
Color	

Tabla 4.7 – Dosificación del diseño patrón #4.

DISEÑO PATRON #5		UNIDADES
Cemento	321	kg
Agua	109	lts
Piedra	1.308	kg
Arena	96	kg
Rev.	0	cm

% Vacíos	20
% Arena	10
Rel. (A/C)	0,34
Rel. (AG/C)	4,07
Rel. (AF/AG)	0,07
Color	

Tabla 4.8 – Dosificación del diseño patrón #5.

4.2.3 Hormigón permeable con aditivo

Al igual que los diseños patrones se establecieron las dosificaciones, lo único que cambia es la incorporación de los aditivos Plastol 6000 y Eucon WO en ciertas cantidades específicas como indica su cartilla técnica.

- Plastol 6000: 4 cc por cada kg de cemento.
- Eucon WO: 2 cc por cada kg de cemento.

Con la adición de los aditivos se logró una mejor adherencia y distribución de los agregados con la pasta de cemento, de igual manera se puede observar un hormigón más trabajable sin excesiva segregación y fraguado rápido del hormigón al elaborar las muestras tanto en cilindros como vigas. En las siguientes tablas se muestran las dosificaciones de los 5 diseños finales, con la adición específica de cada aditivo (Ver Anexo L).

DISEÑO #1 CON ADITIVO		UNIDADES
Cemento	350	kg
Agua	137	lts
Adit. Plastol 6000	1.400	cc
Adit. Eucon WO	700	cc
Piedra	1.392	kg
Arena	N/A	kg
Rev.	0	cm

% Vacíos	15
% Arena	0
Rel. (A/C)	0,39
Rel. (AG/C)	3,98
Rel. (AF/AG)	0
Color	

Tabla 4.9 – Dosificación del diseño #1 con aditivo.

DISEÑO #2 CON ADITIVO		UNIDADES
Cemento	355	kg
Agua	128	lts
Adit. Plastol 6000	1.420	cc
Adit. Eucon WO	710	cc
Piedra	1.350	kg
Arena	153	kg
Rev.	0	cm

% Vacíos	13
% Arena	5
Rel. (A/C)	0,36
Rel. (AG/C)	3,80
Rel. (AF/AG)	0,11
Color	

Tabla 4.10– Dosificación del diseño #2 con aditivo.

DISEÑO #3 CON ADITIVO		UNIDADES
Cemento	342	kg
Agua	120	lts
Adit. Plastol 6000	1.368	cc
Adit. Eucon WO	684	cc
Piedra	1.350	kg
Arena	133	kg
Rev.	0	cm

% Vacíos	15
% Arena	5
Rel. (A/C)	0,35
Rel. (AG/C)	3,95
Rel. (AF/AG)	0,10
Color	

Tabla 4.11 – Dosificación del diseño #3 con aditivo.

DISEÑO #4 CON ADITIVO		UNIDADES
Cemento	327	kg
Agua	115	lts
Adit. Plastol 6000	1.308	cc
Adit. Eucon WO	654	cc
Piedra	1.308	kg
Arena	154	kg
Rev.	0	cm

% Vacíos	17
% Arena	10
Rel. (A/C)	0,35
Rel. (AG/C)	4,00
Rel. (AF/AG)	0,12
Color	

Tabla 4.12 – Dosificación del diseño #4 con aditivo.

DISEÑO #5 CON ADITIVO		UNIDADES
Cemento	321	kg
Agua	109	lts
Adit. Plastol 6000	1.284	cc
Adit. Eucon WO	642	cc
Piedra	1.308	kg
Arena	96	kg
Rev.	0	cm

% Vacíos	20
% Arena	10
Rel. (A/C)	0,34
Rel. (AG/C)	4,07
Rel. (AF/AG)	0,07
Color	

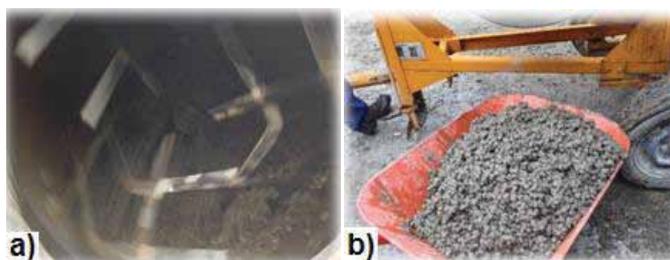
Tabla 4.13 – Dosificación del diseño #5 con aditivo.

Fase 2: Determinación de las propiedades en estado fresco y endurecido del hormigón.

4.3 Elaboración de las mezclas de hormigón permeable

4.3.1 Muestreo

Para la preparación de las mezclas de los diseños se pesaron los agregados, cemento, agua y aditivo. Toda la preparación y comprobación de los diseños se realizó en las instalaciones de Construladesa Suelos y Hormigones S.A.

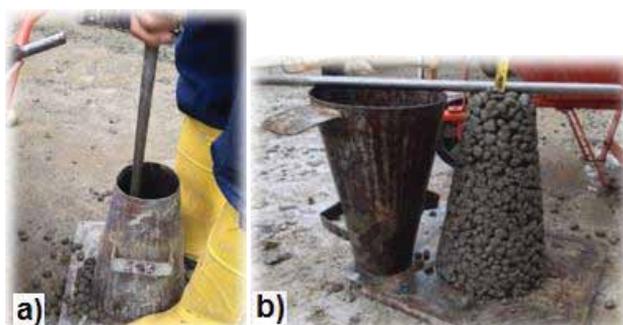


a) Elaboración de la mezcla de hormigón permeable, b) Muestreo del hormigón.

Figura 4.10 – Elaboración de la mezcla de hormigón permeable elaborada en laboratorio según la norma ASTM C94.

4.3.2 Asentamiento del hormigón permeable en estado fresco

Luego se procedió a aplicar la norma ASTM C143, con el fin de verificar el asentamiento (revenimiento) del hormigón permeable en estado fresco. El revenimiento para todos los diseños fue nulo (cero).



a) Ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrams, b) Medición del asentamiento

Figura 4.11 – Ensayo de asentamiento al hormigón en estado fresco según la norma ASTM C143.

4.3.3 Densidad del hormigón permeable en estado fresco

Se realizó el ensayo según la norma ASTM C1688, del cual se determinó la densidad del hormigón permeable en estado fresco (Ver Anexo H).



- a) Compactación de la muestra en recipiente metálico usando un martillo de 2.5 lb,
 b) Enrazado a la muestra de hormigón, c) Densidad del hormigón en estado fresco.

Figura 4.12 – Ensayo para determinar la densidad (peso unitario) y contenido de vacíos según norma ASTM C1688.

COMPROBACIÓN DE DISEÑOS PATRONES (SIN ADITIVO)						UNIDADES
Densidad del Hormigón en Estado Fresco	1.793,10	1.724,66	1.697,32	1.677,49	1.661,29	kg/m ³
COMPROBACIÓN DE DISEÑOS (CON ADITIVO)						UNIDADES
Densidad del Hormigón en Estado Fresco	1.922,01	1.895,83	1.855,60	1.815,38	1.776,46	kg/m ³

Tabla 4.14 – Densidades de los diseños de hormigón permeable sin aditivo y con aditivo.

4.4 Elaboración de las probetas cilíndricas y vigas rectangulares

4.4.1 Muestreo de cilindros

Para la comprobación de la resistencia a compresión se prepararon 20 cilindros en moldes de 10x20 cm para cada diseño, con el fin de ensayarlos a los 7, 14, 21 y 28 días según la norma ASTM C39.

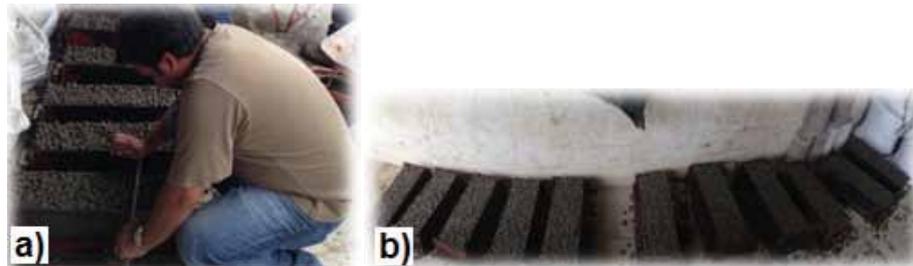


a) Muestreo del hormigón, b) Preparación de las muestras en probetas cilíndricas,
c) Temperatura de curado inicial (17°C a 27°C).

Figura 4.13 – Elaboración de cilindros de hormigón permeable.

4.4.2 Muestreo de vigas

Para la comprobación de la resistencia a la flexión se prepararon 12 vigas rectangulares en moldes de 15 x 57 cm para cada diseño, con el fin de ensayarlos a los 7, 14, 21 y 28 días según la norma ASTM C 39.



a) Preparación de las muestras en vigas rectangulares, b) Temperatura de curado inicial (17°C a 27°C).

Figura 4.14 - Elaboración de vigas rectangulares de hormigón permeable.

4.4.3 Curado

Al día siguiente de elaborar cilindros y vigas, se los desencofra y se los coloca en la piscina de curado siguiendo la norma ASTM C 31.



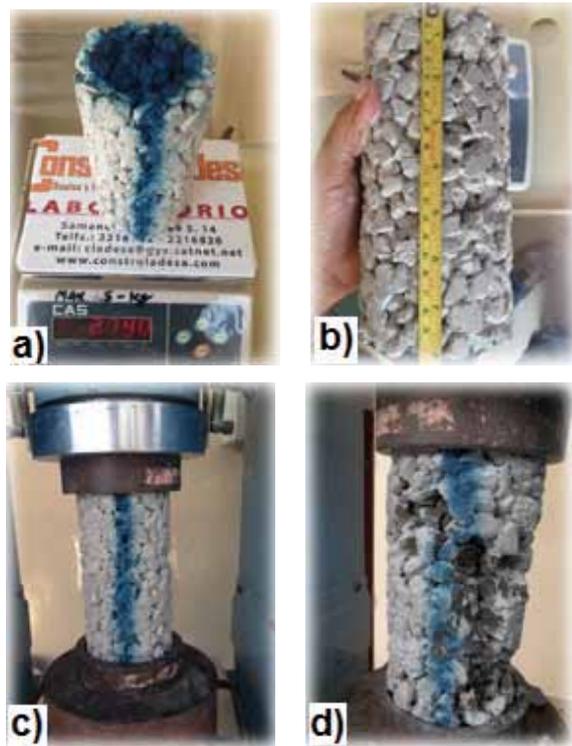
- a) Desencofrado de vigas, b) Colocación de las muestras de hormigón en piscinas de curado, c) Desencofrado de cilindros.

Figura 4.15 – Desencofrado de cilindros y vigas para luego ser colocados en las piscinas de curado.

4.5 Determinación de la resistencia a compresión y flexión en las muestras elaboradas de hormigón permeable

4.5.1 Resistencia a la compresión

Se ensayaron las muestras cilíndricas según la norma ASTM C 39, para cada día de rotura establecido (7, 14, 21 y 28 días). Además, al retirar los cilindros de las piscinas de curado se estableció un tiempo de 5 minutos o menos con el fin de que el agua acumulada dentro de su estructura drene. Finalmente, como se mencionó en la sección 4.4.2 de este capítulo se procedió a colocar una capa de pintura en las paredes exteriores del cilindro; con el propósito de relacionar cada diseño a ensayar.

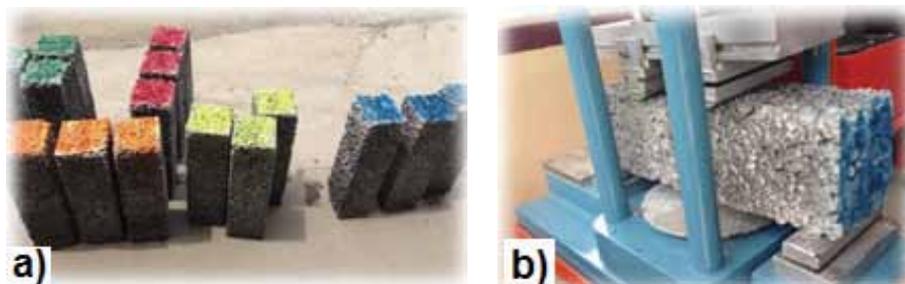


a) Peso de la muestra cilíndrica, b) Medición del diámetro y altura del cilindro, c) colocación de la muestra cilíndrica para previa rotura, d) Rotura de la muestra cilíndrica.

Figura 4.16 – Ensayo para determinar la resistencia a la compresión según la norma ASTM C 39.

4.5.2 Resistencia a la flexión

De igual forma se procedió a ensayar las vigas siguiendo los parámetros establecidos por la norma ASTM C 79.



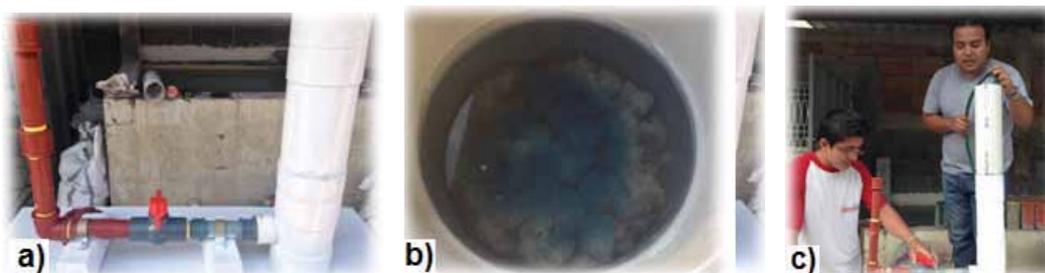


- a) Muestras de las vigas rectangulares, b) Muestra sometida a ensayo a la flexión,
c) Rotura de la viga rectangular.

Figura 4.17 - Ensayo para determinar la resistencia a la flexión según la norma ASTM C 79.

4.6 Permeabilidad “Permeámetro de carga variable – Comité ACI 522”

Para poder evaluar este parámetro no existe normativa, sin embargo el comité ACI 522 hace referencia a un aparato para calcular la permeabilidad del hormigón permeable mediante un permeámetro de carga variable. Para lo cual se elaboró un permeámetro con tubería PVC con propósito de poder calcular la permeabilidad de los diseños. En este ensayo se moldearon 2 cilindros de 15 cm de altura y 10 cm de diámetro, que luego se le aplicara una carga de agua de 30 cm a 7 cm sobre la superficie de la muestra. Las unidades para el cálculo de permeabilidad son en mm/s.



- a) Permeámetro de carga variable elaborado con tubería PVC, b) Muestra cilíndrica dentro del permeámetro, c) Carga de agua a una altura de 30 cm.

Figura 4.18 – Ensayo de permeabilidad recomendado por el comité ACI 522.

4.7 Análisis e interpretación de los diseños de hormigón permeable

4.7.1 Resultados de los diseños patrones

Todos los resultados de los ensayos a compresión y flexión de los diseños patrones están en los anexos (Ver Anexos I y J).

4.7.1.1 Resultados de ensayos a la compresión

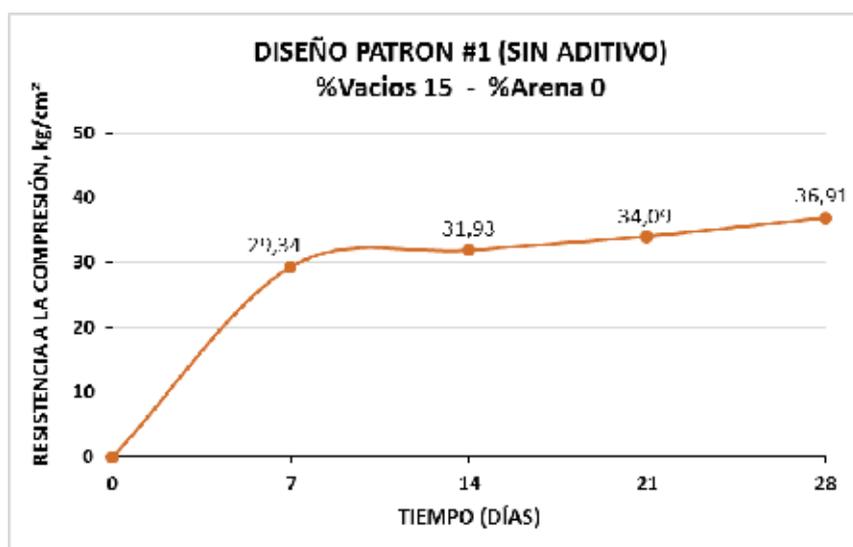
- Diseño patrón #1

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #1		
EIDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	29,34	2,88
14	31,93	3,13
21	34,09	3,34
28	36,91	3,62

% VACÍOS	% ARENA
15	0

Rel. (A/C)	0,39
COLOR	

Tabla 4.15 – Resumen de resultados de resistencia a compresión del diseño patrón #1.



Gráfica 4.1 Crecimiento de resistencia a compresión del diseño patrón #1.

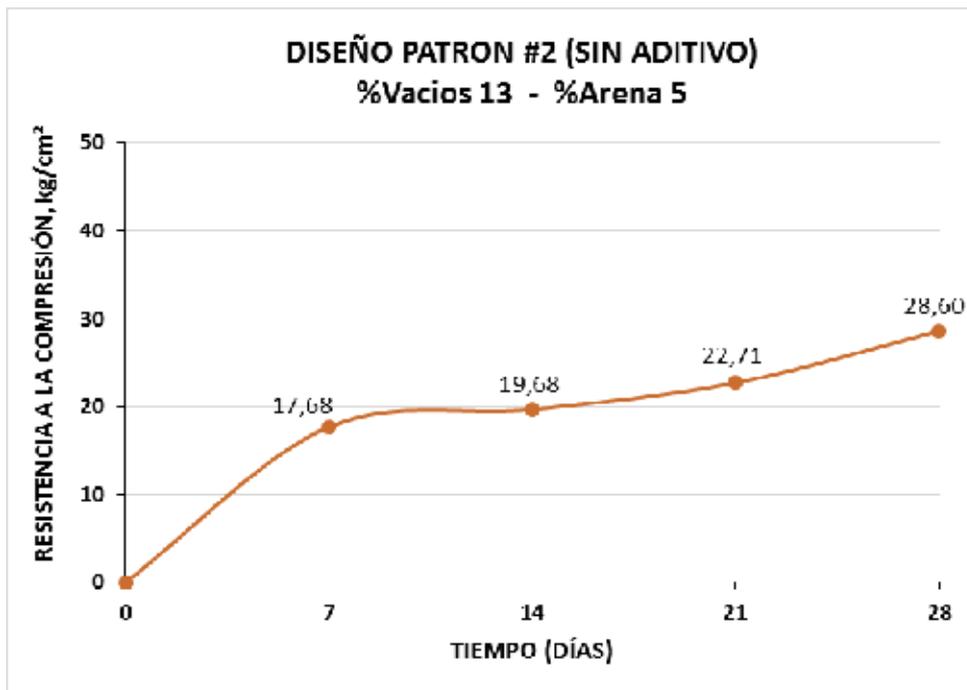
- Diseño patrón #2

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #2		
EJEMPLARES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	17,68	1,73
14	19,68	1,93
21	22,71	2,23
28	28,60	2,80

% VACÍOS	% ARENA
13	5

Rel. (A/C)	0,36
COLOR	

Tabla 4.16 – Resumen de resultados de resistencia a compresión del diseño patrón #2.



Gráfica 4.2 Crecimiento de resistencia a compresión del diseño patrón #2.

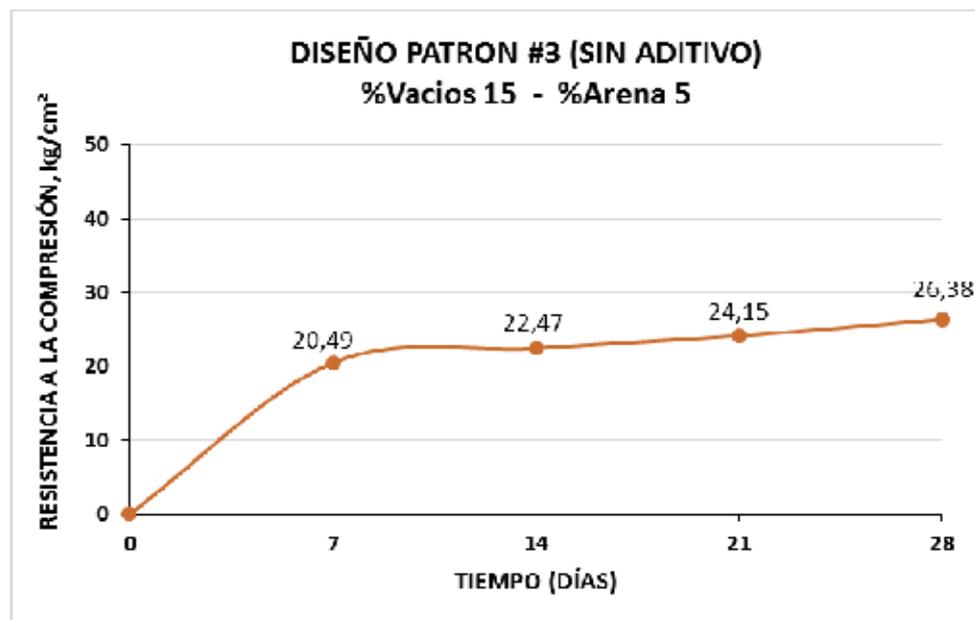
- Diseño patrón #3

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #3		
EIDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	20,49	2,01
14	22,47	2,20
21	24,15	2,37
28	26,38	2,59

% VACÍOS	% ARENA
15	5

Rel. (A/C)	0,35
COLOR	

Tabla 4.17 – Resumen de resultados de resistencia a compresión del diseño patrón #3.



Gráfica 4.3 Crecimiento de resistencia a compresión del diseño patrón #3.

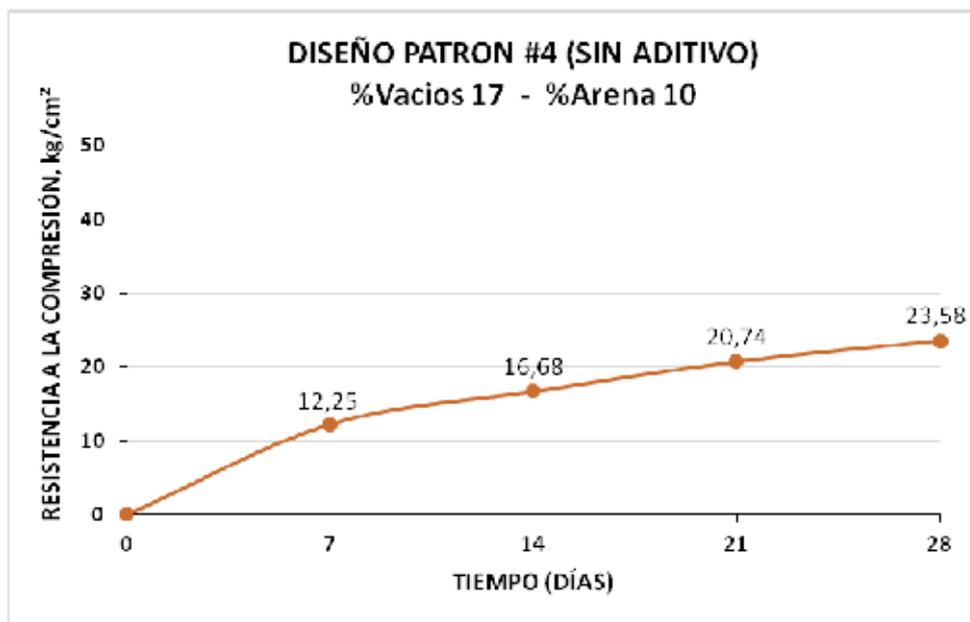
- Diseño patrón #4

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #4		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	12,25	1,20
14	16,68	1,64
21	20,74	2,03
28	23,58	2,31

% VACÍOS	% ARENA
17	10

Rel. (A/C)	0,35
COLOR	

Tabla 4.18 – Resumen de resultados de resistencia a compresión del diseño patrón #4.



Gráfica 4.4 Crecimiento de resistencia a compresión – Diseño patrón #4.

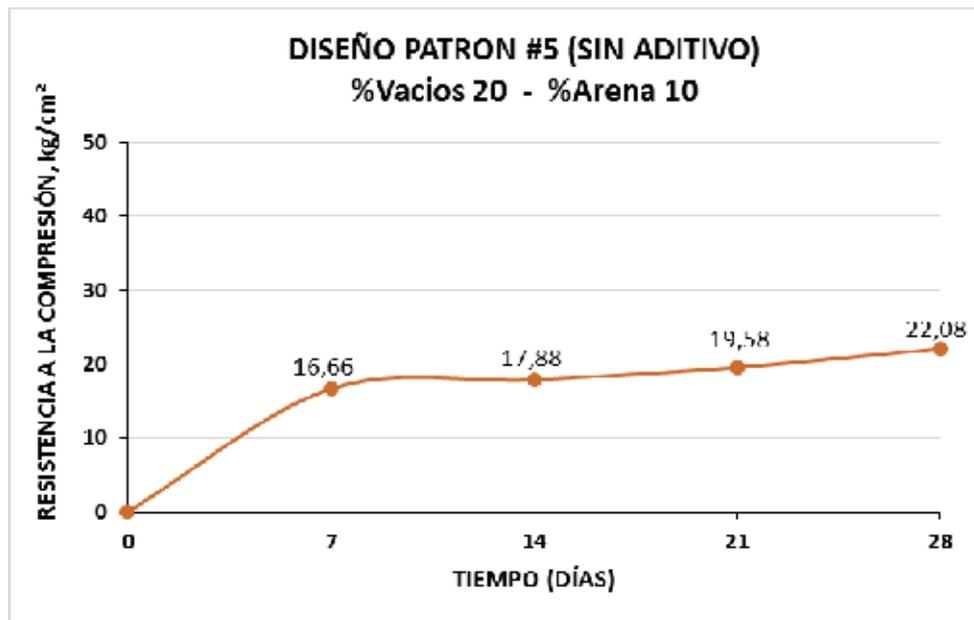
- Diseño patrón #5

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #5		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	16,66	1,63
14	17,88	1,75
21	19,58	1,92
28	22,08	2,17

% VACÍOS	% ARENA
20	10

Rel. (A/C)	0,34
COLOR	

Tabla 4.19 – Resumen de resultados de resistencia a compresión del diseño patrón #5.



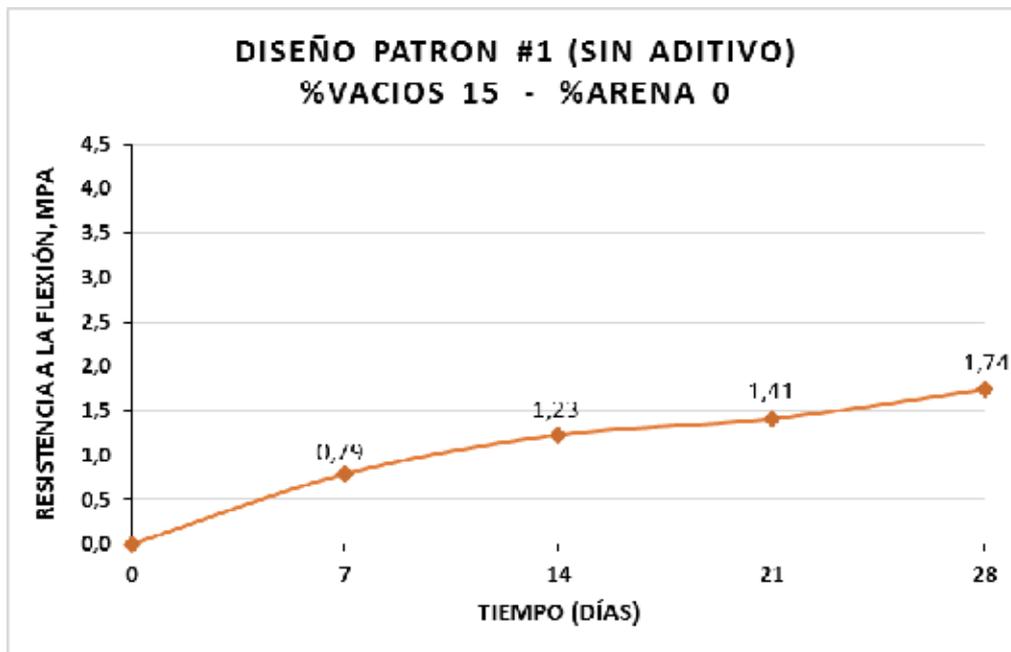
Gráfica 4.5 Crecimiento de resistencia a compresión – Diseño patrón #5.

4.7.1.2 Resultados de ensayos a la flexión

- Diseño patrón #1

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #1			
EDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA	% VACÍOS	% ARENA
	Mpa		
7	0,79	15	0
14	1,23		
21	1,41	ReI. (A/C)	0,39
28	1,74	COLOR	

Tabla 4.20 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #1.

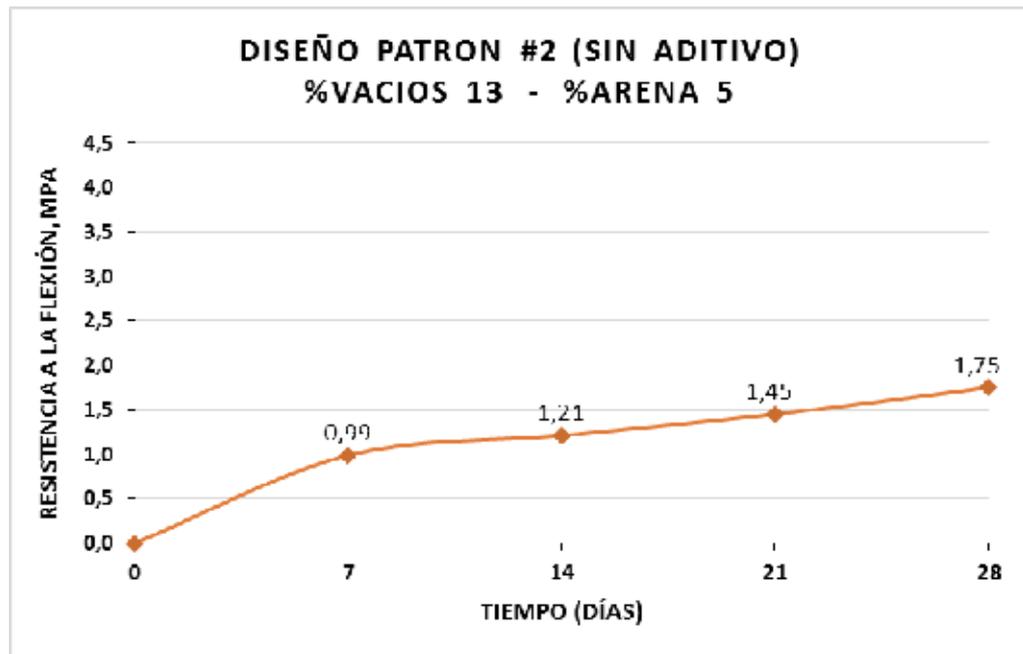


Gráfica 4.6 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño patrón #1.

- Diseño patrón #2

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #2		% VACÍOS	% ARENA
EIDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA	13	5
	Mpa	Rel. (A/C)	0,36
7	0,99	COLOR	
14	1,21		
21	1,45		
28	1,75		

Tabla 4.21 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #2.

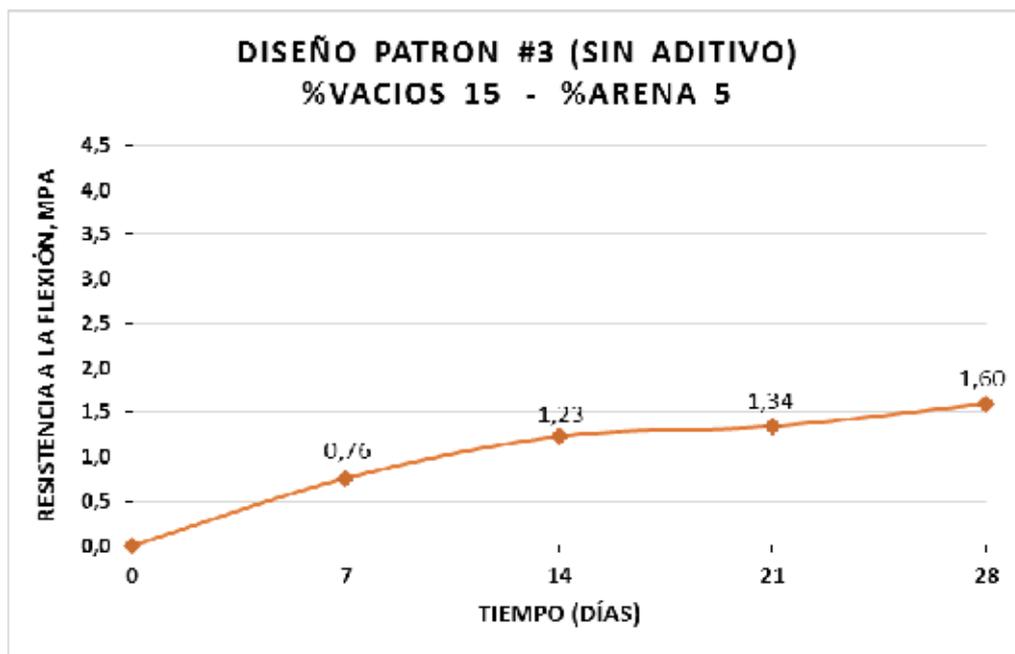


Gráfica 4.7 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño patrón #2.

- Diseño patrón #3

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #3			
EDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA	% VACÍOS	% ARENA
	Mpa	15	5
7	0,76	Rel. (A/C)	0,35
14	1,23	COLOR	
21	1,34		
28	1,60		

Tabla 4.22 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #3.

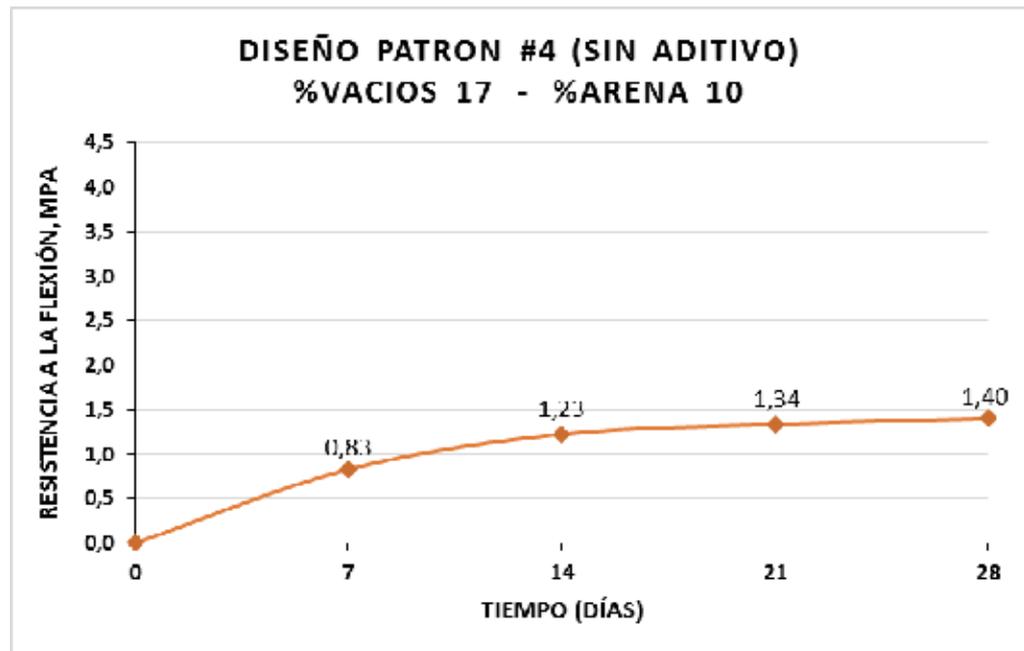


Gráfica 4.8 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño patrón #3.

- Diseño patrón #4

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #4			
EJEMPLARES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA	% VACÍOS	% ARENA
	Mpa		
7	0,83	17	10
14	1,23		
21	1,34	Rel. (A/C)	0,35
28	1,40	COLOR	

Tabla 4.23 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #4.

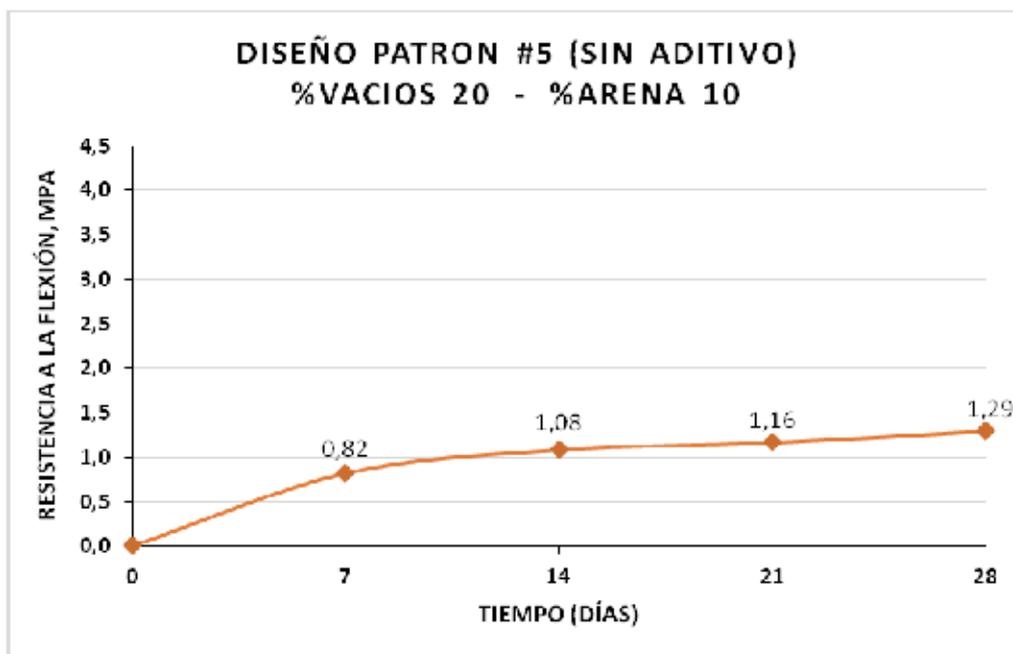


Gráfica 4.9 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño patrón #4.

- Diseño patrón #5

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #5		% VACÍOS	% ARENA
EDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA	20	10
	Mpa	Rel. (A/C)	0,34
7	0,82	COLOR	
14	1,08		
21	1,16		
28	1,29		

Tabla 4.24 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño patrón #5.



Gráfica 4.10 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño patrón #5.

4.7.1.3 Resultados de ensayos de permeabilidad

Se ensayaron 2 muestras cilíndricas para cada diseño, registrando 3 lecturas de tiempo con el fin de obtener un promedio aproximado de permeabilidad. Las muestras cilíndricas de hormigón permeable fueron ensayadas a los 7 días desde su elaboración en un permeámetro de carga variable (Ver Anexo K).

RESUMEN DE RESULTADOS DE PERMEABILIDAD - DISEÑOS PATRONES						
EDAD DE ENSAYO	DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5	UNIDADES
7 DÍAS	16,94	13,34	14,28	15,33	16,06	mm/s

Tabla 4.25 – Resumen de resultados de permeabilidad de los diseños patrones.

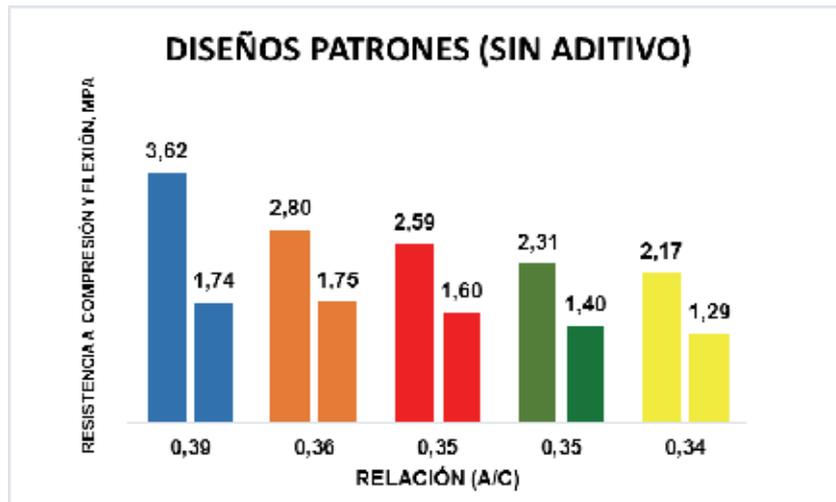
4.7.1.4 Interpretación de los diseños patrones

	DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5	UNIDADES
COLOR						
%VACÍOS	15	13	15	17	20	%
% ARENA	0	5	5	10	10	%
Rel. (A/C)	0,39	0,36	0,35	0,35	0,34	
COMPRESIÓN (28 DÍAS)	3,62	2,80	2,59	2,31	2,17	MPa
FLEXIÓN (28 DÍAS)	1,74	1,75	1,60	1,40	1,29	MPa
PERMEABILIDAD (7 DÍAS)	16,94	13,34	14,28	15,33	16,06	mm/s

Tabla 4.26 Resumen de resultados de los diseños patrones.

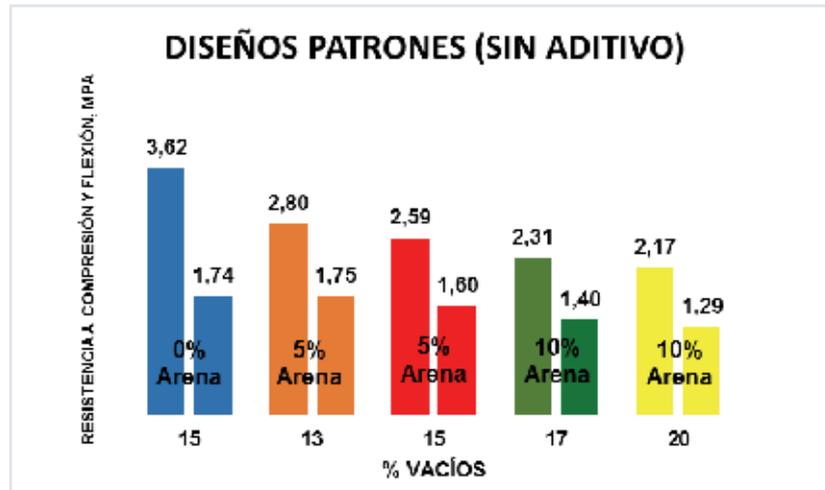
En la tabla 4.26, se puede observar resultados a la compresión que están entre 2.17 a 3.62 MPa, es decir que los diseños patrones #1 y #2 cumplen con el rango típico de resistencia a la compresión de 2.8 a 28 MPa según el

comité ACI 522. Si comparamos los resultados tanto a compresión y flexión podemos observar una notable diferencia de resistencia en cada diseño, dando resultados a la flexión entre 1.29 a 1.75 MPa cumpliendo con el rango típico de resistencia de 1 a 4 Mpa (Ver gráfica 4.11). Esta diferencia de resistencias depende de los parámetros de dosificación que se le ha asignado a cada diseño.



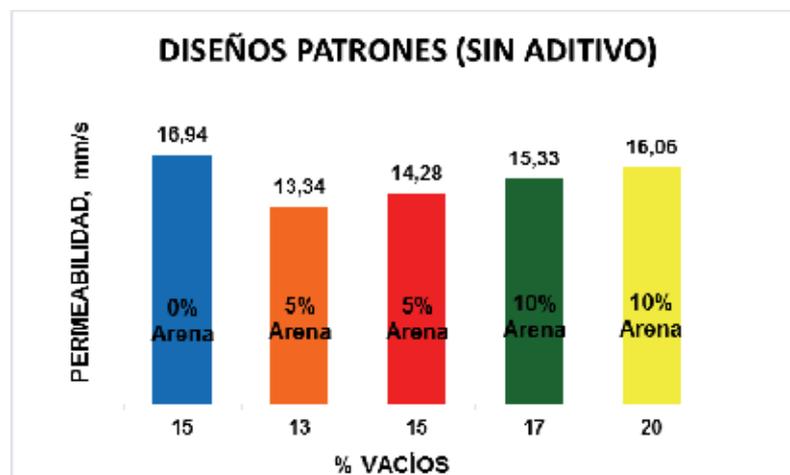
Gráfica 4.11 – Influencia de la resistencia a la compresión y flexión respecto a la relación agua/cemento (A/C) de los diseños patrones.

Unos de los parámetros de dosificación que se observa en la gráfica 4.11 es la relación agua/cemento. Para una relación agua/cemento de 0.39 y 0.36 en los diseños #1 y #2 presentan resultados aceptables para hormigón permeable. A diferencia de los diseños #3, 4 y 5 con relación agua/cemento de 0.35 y 0.34.



Gráfica 4.12 – Influencia de la resistencia a la compresión y flexión respecto al porcentaje de vacíos en los diseños patrones.

En la gráfica 4.12, si utilizamos un porcentaje de vacíos mayor la resistencia será menor o viceversa. Esto podemos observar claramente en los diseños #4 y 5, donde sus porcentajes de vacios son de 17% y 20% respectivamente, afectando directamente en la resistencia.



Gráfica 4.13 – Influencia de la permeabilidad respecto al porcentaje de vacíos y porcentaje de arena en los diseños patrones.

Respecto a la porosidad del hormigón, a mayor porcentaje de vacíos mayor será la permeabilidad o viceversa. Esto va relacionado directamente con las adiciones de arena, es decir; adiciones mayores al 5% respecto a su porcentaje de vacios la permeabilidad se verá afectada. En la gráfica 4.13, tenemos nuestros diseños con diferentes porcentajes de vacíos del 13, 15, 17 y 20% con adiciones de arena de 0, 5 y 10% respectivamente. Del cual se obtienen permeabilidades entre 13.34 a 16.94 mm/s (1.33 a 1.69 cm/s) cumpliendo con el rango tipo para hormigón permeable de 0.14 a 1.22 cm/s según comité ACI 522.

Para nuestro primer análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los diseños patrones podemos concluir lo siguiente:

- Se elaboraron 5 diseños patrones con el fin de observar sus comportamientos mecánicos (resistencia) e hidráulico (permeabilidad), con ciertos parámetros de dosificación que diferencian del hormigón convencional.
- Respecto a resistencia tanto compresión y flexión, solo los diseños #1 y 2 alcanzaron resultados favorables.
- En cuanto a la permeabilidad todos los diseños alcanzaron resultados favorables.
- Utilizar un porcentaje de vacios mayor al 15% afecta directamente en la resistencia.
- Adicionando agregado fino mayor al 5%, afecta directamente en la permeabilidad, mas no en la resistencia.
- Pero si lo que se requiere es aprovechar su capacidad de filtración, podemos concluir que todos los diseños son totalmente aceptables.

4.7.2 Resultados de diseños con aditivo

Todos los resultados de los ensayos a compresión y flexión se encuentran en los anexos (Ver Anexos N y O).

4.7.2.1 Resultados de ensayos a la compresión

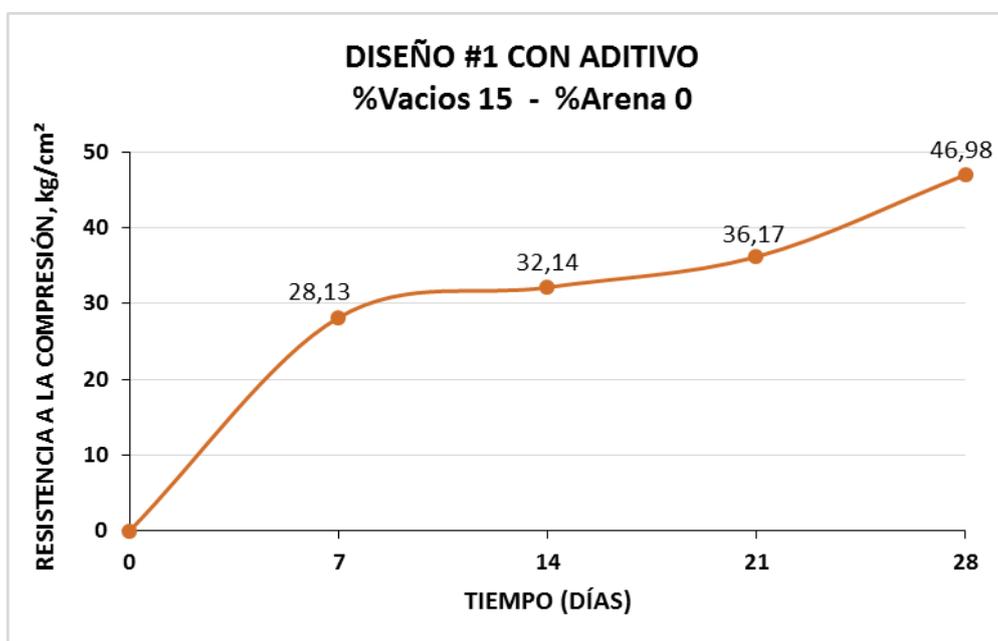
- Diseño #1 con aditivo

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #1 CON ADITIVO		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	28,13	2,76
14	32,14	3,15
21	36,17	3,55
28	46,98	4,61

% VACÍOS	% ARENA
15	0

Rel. (A/C)	0,39
COLOR	

Tabla 4.27 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #1 con aditivo.



Gráfica 4.14 Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño #1 con aditivo.

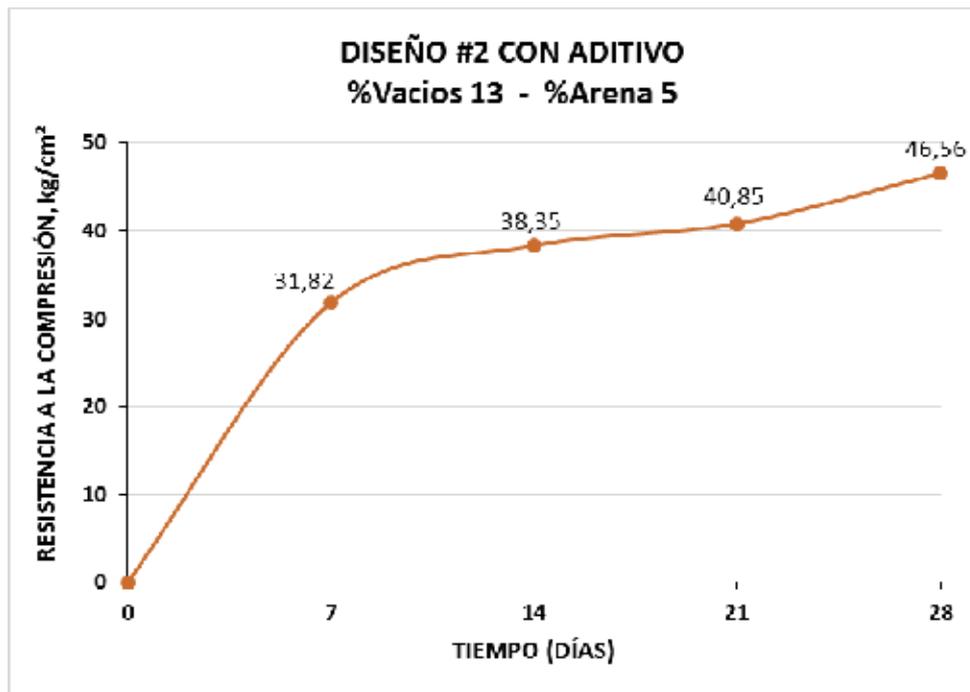
- Diseño #2 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #2 CON ADITIVO		
EJES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	31,82	3,12
14	38,35	3,76
21	40,85	4,01
28	46,56	4,57

% VACÍOS	% ARENA
13	5

Rel. (A/C)	0,36
COLOR	

Tabla 4.28 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #2 con aditivo.



Gráfica 4.15 Crecimiento de la resistencia a la compresión del diseño #2 con aditivo.

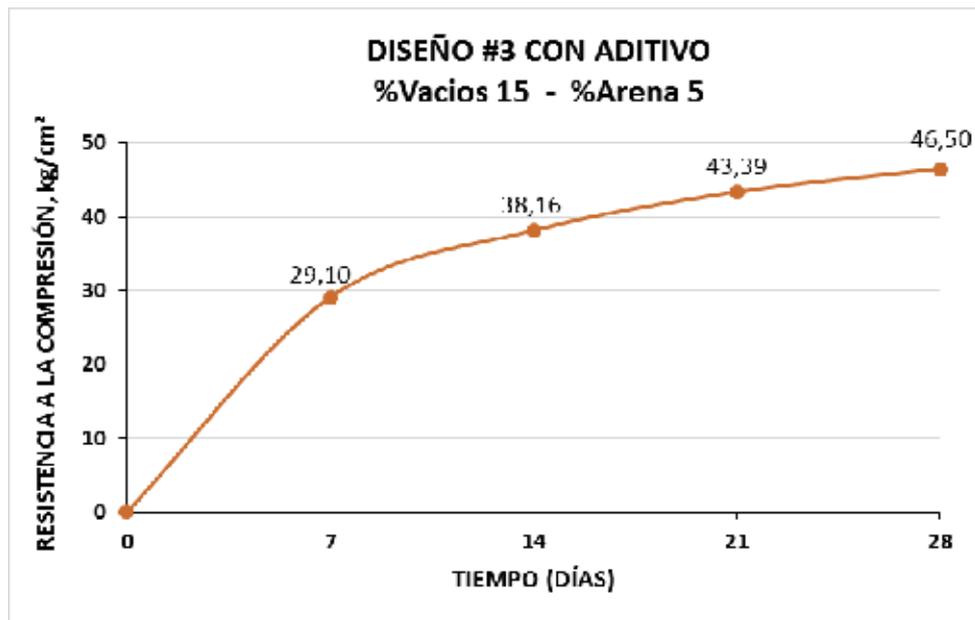
- Diseño #3 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #3 CON ADITIVO		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	29,10	2,85
14	38,16	3,74
21	43,39	4,26
28	46,50	4,56

% VACÍOS	% ARENA
15	5

Rel. (A/C)	0,35
COLOR	

Tabla 4.29 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #3 con aditivo.



Gráfica 4.16 Crecimiento de resistencia a la compresión del diseño #3 con aditivo.

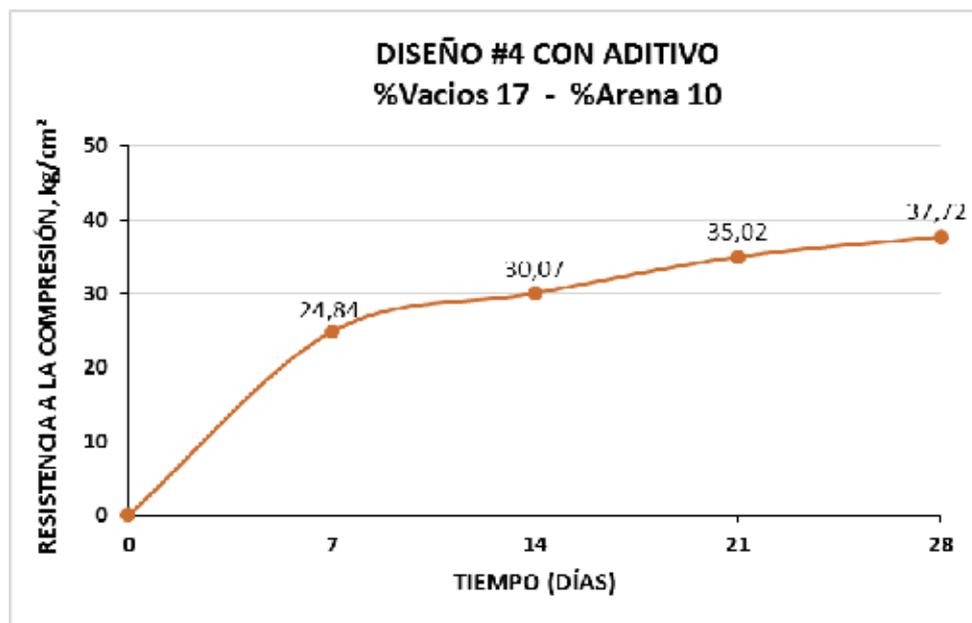
- Diseño #4 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #4 CON ADITIVO		
EIDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	24,84	2,44
14	30,07	2,95
21	35,02	3,43
28	37,72	3,70

% VACÍOS	% ARENA
17	10

Rel. (A/C)	0,35
COLOR	

Tabla 4.30 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #4 con aditivo.



Gráfica 4.17 Crecimiento de resistencia a la compresión del diseño #4 con aditivo.

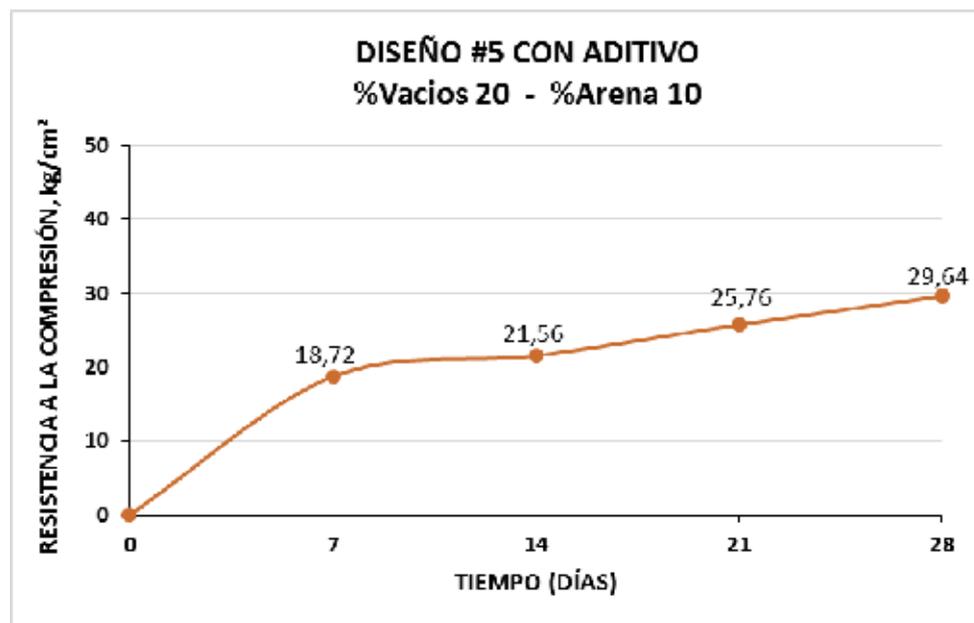
- Diseño #5 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #5 CON ADITIVO		
EIDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	18,72	1,84
14	21,56	2,11
21	25,76	2,53
28	29,64	2,91

% VACÍOS	% ARENA
20	10

Rel. (A/C)	0,34
COLOR	

Tabla 4.31 – Resumen de resultados de resistencia a la compresión del diseño #5 con aditivo.



Gráfica 4.18 Crecimiento de resistencia a la compresión del diseño #5 con aditivo.

4.7.2.2 Resultados de ensayos a la flexión

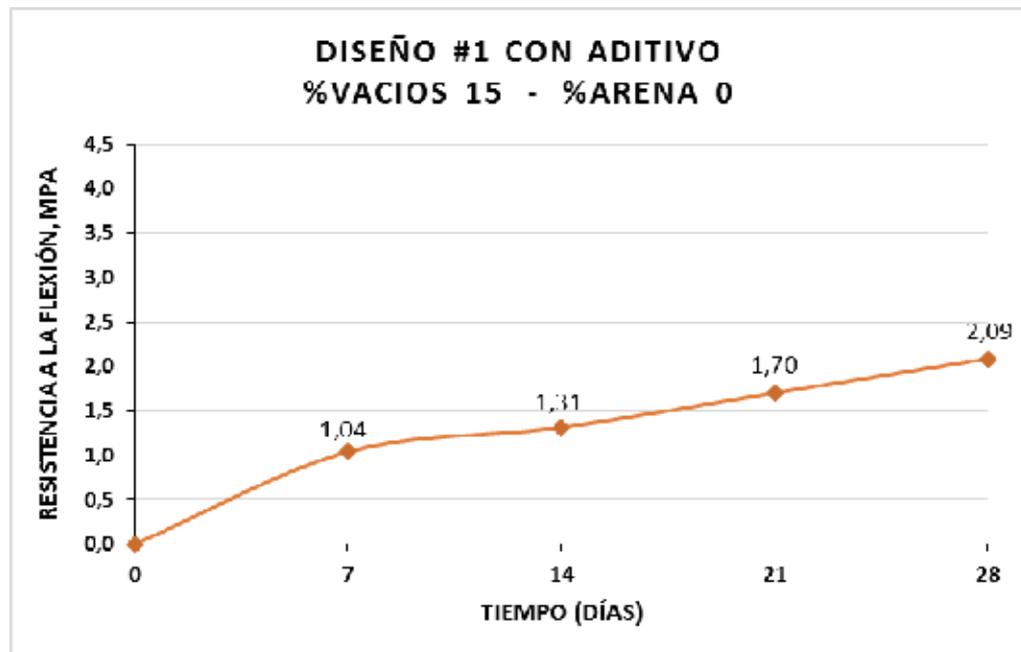
- Diseño #1 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #1 CON ADITIVO	
EDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	1,04
14	1,31
21	1,70
28	2,09

% VACÍOS	% ARENA
15	0

Rel. (A/C)	0,39
COLOR	

Tabla 4.32 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #1 con aditivo.



Gráfica 4.19 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño #1 con aditivo.

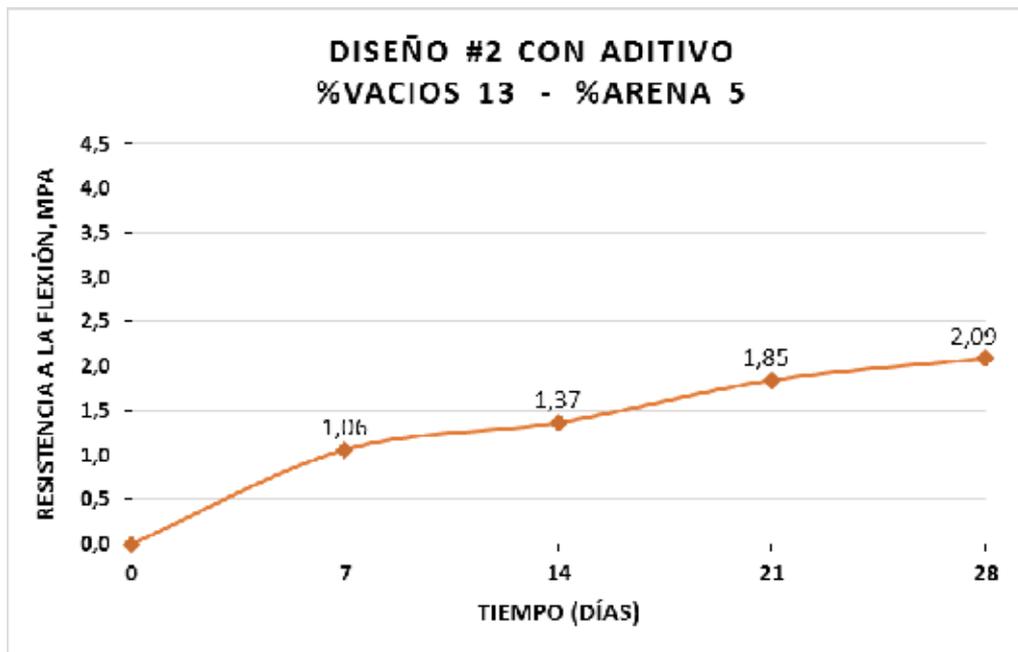
- Diseño #2 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #2 CON ADITIVO	
EIDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	1,06
14	1,37
21	1,85
28	2,09

% VACÍOS	% ARENA
13	5

Rel. (A/C)	0,36
COLOR	

Tabla 4.33 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #2 con aditivo.

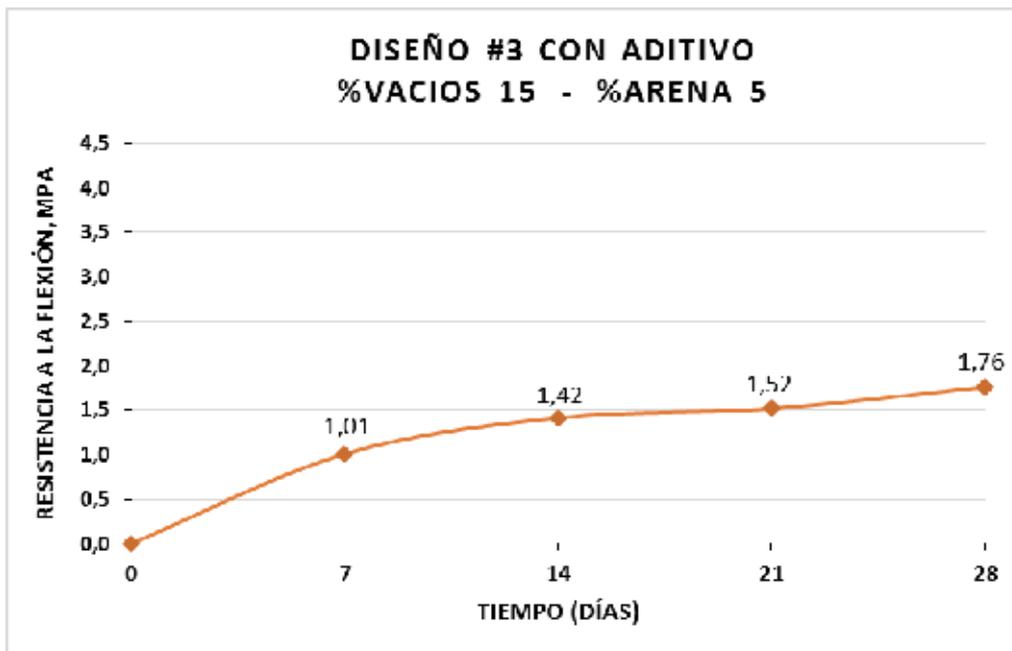


Gráfica 4.20 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño #2 con aditivo.

- Diseño #3 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #3 CON ADITIVO			
EIDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA	% VACÍOS	% ARENA
	Mpa	15	5
7	1,01	Rel. (A/C)	0,35
14	1,42	COLOR	
21	1,52		
28	1,76		

Tabla 4.34 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #3 con aditivo.

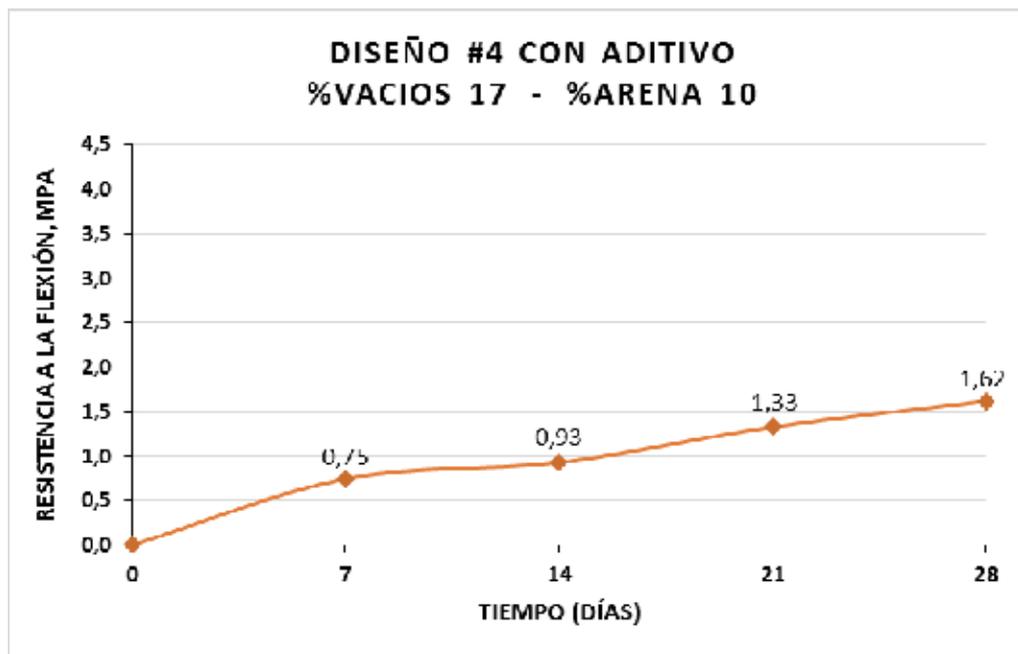


Gráfica 4.21 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño #3 con aditivo

- Diseño #4 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #4 CON ADITIVO			
EJEMPLARES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA	% VACÍOS	% ARENA
	Mpa		
7	0,75	17	10
14	0,93		
21	1,33	Rel. (A/C)	0,35
28	1,62	COLOR	

Tabla 4.35 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #4 con aditivo.

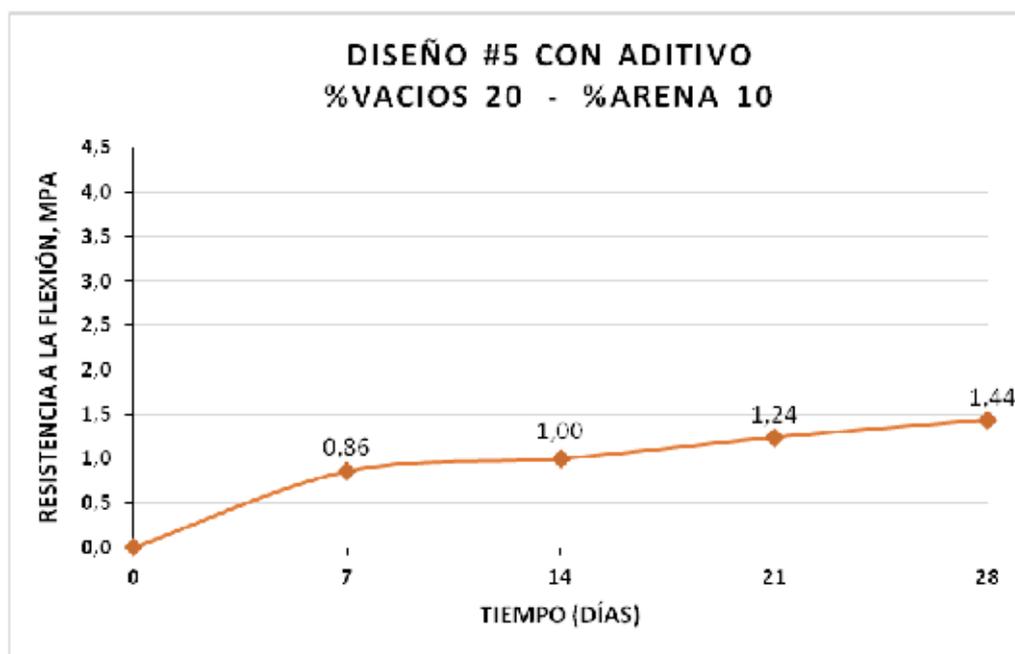


Gráfica 4.22 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño #4 con aditivo.

- Diseño #5 con aditivo:

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #5 CON ADITIVO			
EIDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA	% VACÍOS	% ARENA
	Mpa	20	10
7	0,86		
14	1,00		
21	1,24	Rel. (A/C)	0,34
28	1,44	COLOR	

Tabla 4.36 – Resumen de resultados de resistencia a la flexión del diseño #5 con aditivo.



Gráfica 4.23 Crecimiento de resistencia a la flexión del diseño #5 con aditivo.

4.7.2.3 Resultados de ensayos de permeabilidad

Se ensayaron 2 muestras cilíndricas para cada diseño, registrando 3 lecturas de tiempo con el fin de obtener un promedio aproximado de permeabilidad. Las muestras cilíndricas de hormigón permeable fueron ensayadas a los 7 días desde su elaboración en un permeámetro de carga variable (Ver Anexo P).

RESUMEN DE RESULTADOS DE PERMEABILIDAD - DISEÑOS CON ADITIVO						
EDAD DE ENSAYO	DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5	UNIDADES
7 DÍAS	16,68	13,47	14,16	15,25	15,96	mm/s

Tabla 4.37 – Resumen de resultados de permeabilidad de los diseños con aditivo.

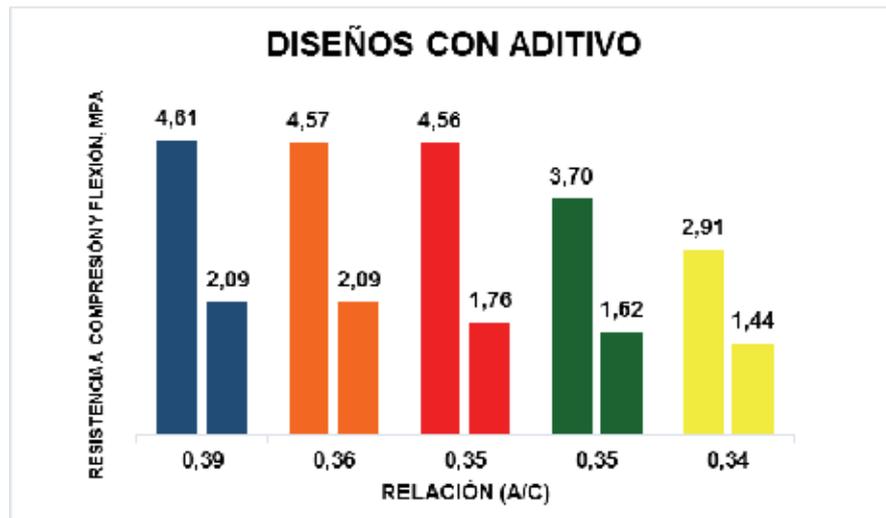
4.7.2.4 Interpretación de los diseños con aditivo

	DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5	UNIDADES
COLOR						
%VACÍOS	15	13	15	17	20	%
% ARENA	0	5	5	10	10	%
Rel. (A/C)	0,39	0,36	0,35	0,35	0,34	
COMPRESIÓN (28 DÍAS)	4,61	4,57	4,56	3,70	2,91	MPa
FLEXIÓN (28 DÍAS)	2,09	2,09	1,76	1,62	1,44	MPa
PERMEABILIDAD (7 DÍAS)	16,68	13,47	14,16	15,25	15,96	mm/s

Tabla 4.38 - Resumen de resultados de los diseños con aditivo.

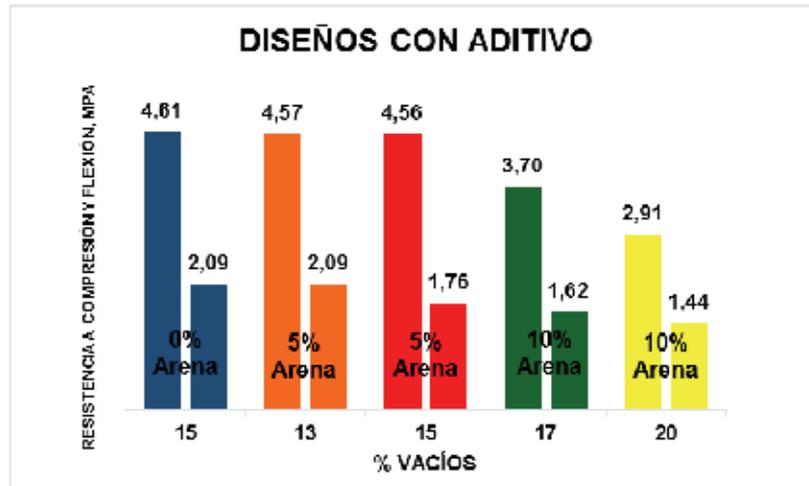
En la tabla 4.38, se observa un incremento en la resistencia a compresión del 21% a 43% respectivamente. Dando como resultados que están entre 2.91 a 4.61 MPa, de tal forma que todos los diseños con aditivo cumplen con el rango típico de resistencia a la compresión de 2.8 a 28 MPa según el comité

ACI 522. De la misma forma se puede observar un incremento en la resistencia a la flexión entre 9% a 16% respectivamente. Dando como resultados entre 1.44 a 2.09 MPa (Ver gráfica 4.24). Si comparamos los resultados tanto a compresión y flexión respecto a los diseños patrones, se demuestra que la inclusión de aditivos a la mezcla de hormigón ayuda notablemente a alcanzar un incremento en la resistencia.



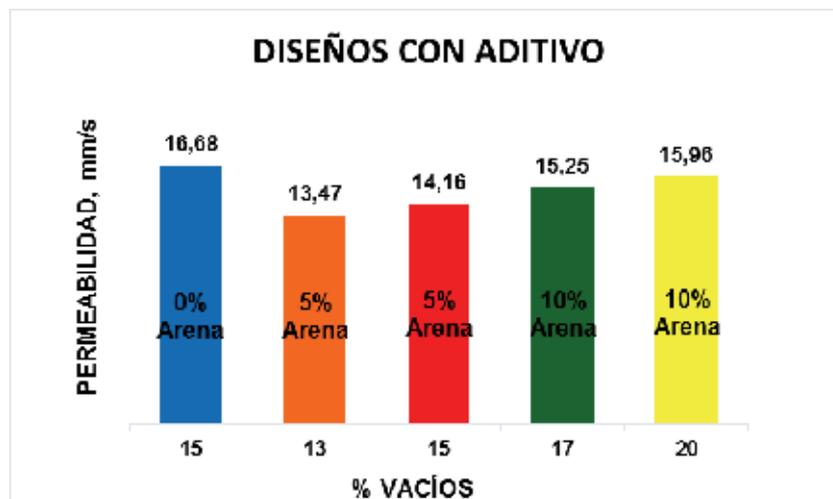
Gráfica 4.24 – Influencia de la resistencia a la compresión y flexión respecto a la relación agua/cemento (A/C) de los diseños con aditivo.

A diferencia de los diseños patrones con relación agua/cemento de 0.36 y 0.39, a la cual se agregó aditivo a las mezclas se obtuvo resultados favorables en resistencia. En la gráfica 4.24, se puede observar que una relación (A/C) entre 0.39 a 0.34 son aceptables para la elaboración de hormigón permeable.



Gráfica 4.25 – Influencia de la resistencia a compresión y flexión respecto al porcentaje de vacíos en los diseños con aditivo.

En la gráfica 4.25, se puede observar que adiciones de arena mayores al 5% respecto a su porcentaje de vacíos disminuye su permeabilidad. Además, se puede observar que adiciones de arena hasta un 5% ayuda notablemente en la resistencia dependiendo de los parámetros de diseño que se requiera obtener. Para esta comprobación con aditivo se puede utilizar un porcentaje entre 0 a 5% de agregado fino sin ningún problema.



Gráfica 4.26 – Influencia de la permeabilidad respecto al porcentaje de vacíos y porcentaje de arena en los diseños con aditivo.

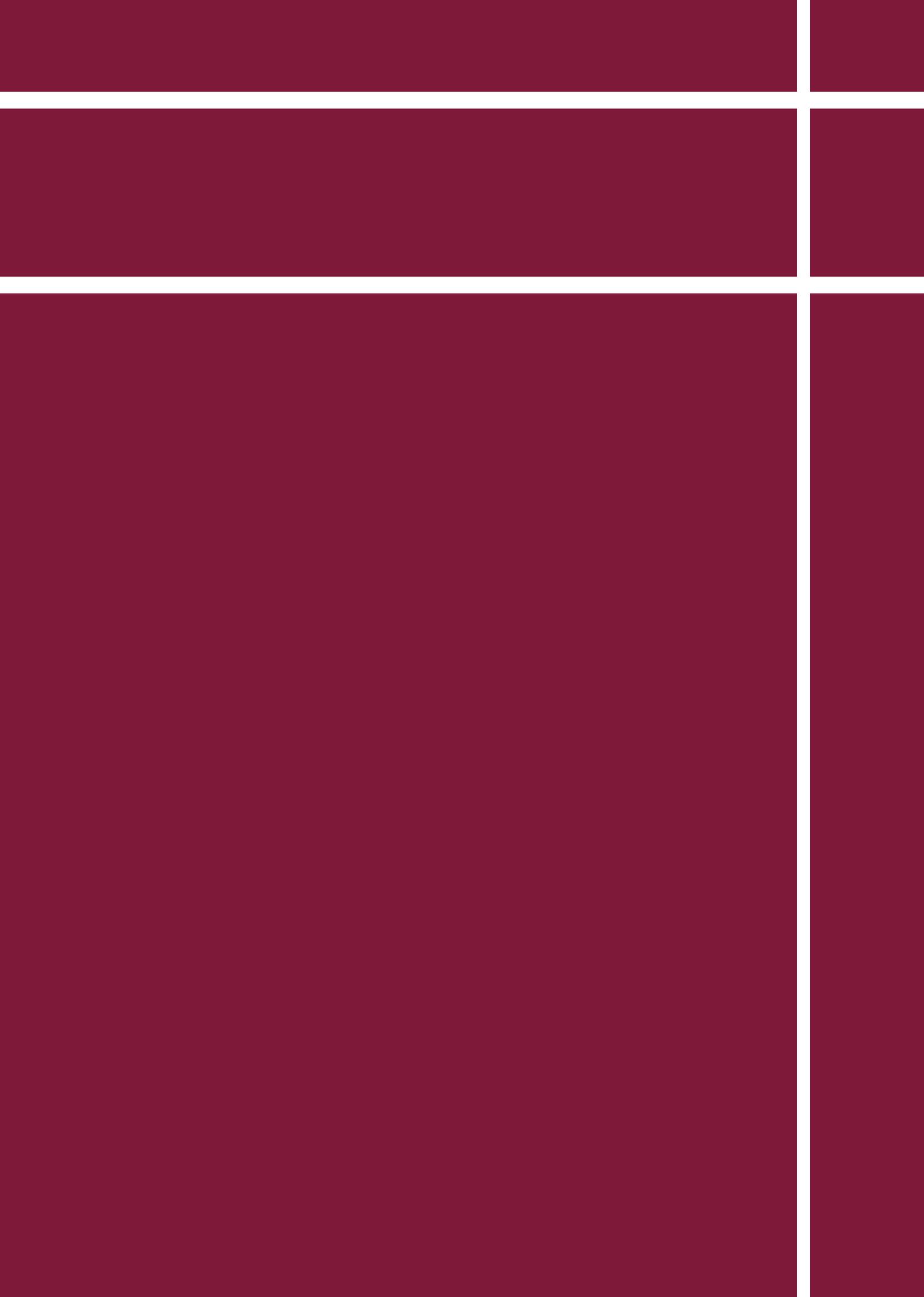
Respecto a la porosidad del hormigón, a mayor porcentaje de vacíos mayor será la permeabilidad o viceversa. En la gráfica 4.26, se puede observar que la permeabilidad se mantiene respecto a los resultados de los diseños patrones entre 13.47 a 16.68 mm/s (1.33 a 1.66 cm/s) y además cumplen con el rango típico de permeabilidad entre 0.14 a 1.22 cm/s según el comité ACI 522. Lo que sí afecta directamente a la permeabilidad es la adición de agregado fino a las mezclas, perdiendo notablemente su porcentaje de vacíos y capacidad de filtración.

Para nuestro último análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los diseños con aditivo podemos concluir lo siguiente:

- Se volvieron a elaborar 5 diseños del cual se agregó a la mezcla 2 tipos de aditivos Plastol 6000 y Eucon WO, con el fin de observar alguna mejoría respecto a su comportamiento a compresión y flexión utilizando los mismos parámetros de diseño.
- Respecto a la resistencia a compresión y flexión se pudo comprobar un incremento favorable con la adición de los aditivos, superando las expectativas esperadas de nuestros diseños patrones.
- En cuanto a la permeabilidad los resultados son totalmente satisfactorios.
- Pero si lo que se requiere es tener un equilibrio entre la resistencia y permeabilidad, podemos concluir que los 5 diseños cumplen con todos los parámetros que involucra al hormigón permeable y puede ser aplicado como una capa drenante donde se requiera aprovechar principalmente su capacidad de filtración gracias al ser una estructura totalmente porosa.

CAPITULO 5

LA PROPUESTA

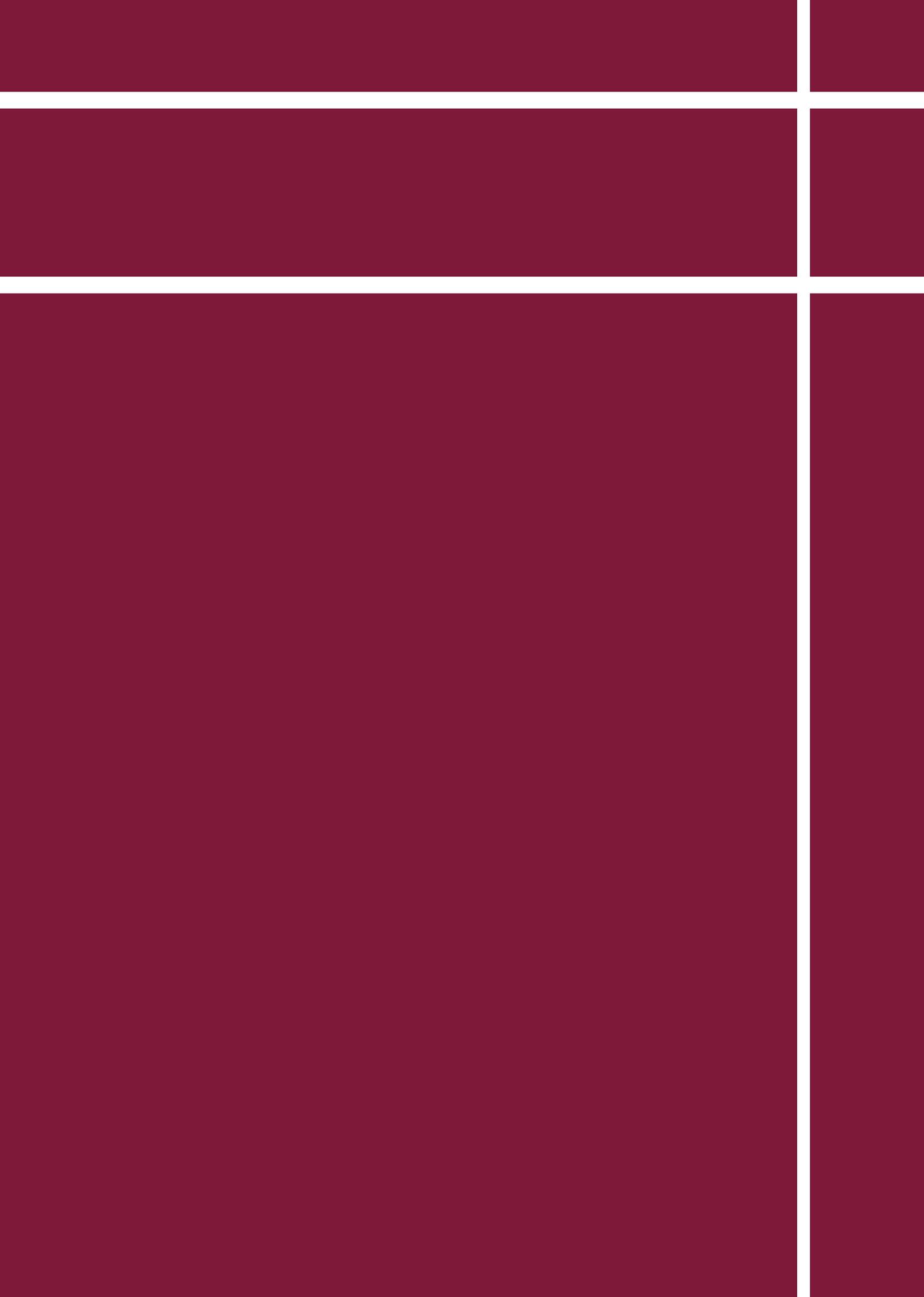


CAPÍTULO V: LA PROPUESTA

Mostrar al hormigón permeable como una solución ecológica aprovechando su eficiente capacidad de filtración, utilizando su estructura porosa de alto grado de permeabilidad como una capa drenante en sitios específicos ingenieriles como por ejemplo: ciclovías, camineras, vías internas de urbanizaciones, parqueaderos, fuentes artificiales, usos arquitectónicos, etc. Además, analizando los comportamientos mecánicos e hidráulicos se determinará el diseño que presente excelentes resultados a compresión, flexión y permeabilidad; para que el constructor y el usuario tengan una idea de las ventajas que se obtienen de este tipo de hormigón.

CAPITULO 6

FACTIBILIDAD, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO VI: FACTIBILIDAD, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Factibilidad

La factibilidad se refiere a la disponibilidad de los recursos para llevar a cabo nuestro estudio. Existen 2 aspectos básicos para medir la factibilidad:

- **Operativo:** los recursos básicos para la elaboración de los diseños de hormigón permeable, se lo puede obtener de diversas empresas y canteras que se dedican a proporcionar materiales para construcción. Para nuestro estudio los recursos fueron proporcionados por: los agregados (Cantera Progecon), cemento tipo GU (Holcim) y aditivos (Euclid).
- **Técnico:** todos los análisis, ensayos y comprobación de resultados se realizaron en un laboratorio (Construladesa Suelos y Hormigones S.A.), cumpliendo con estándares de calidad como indican las normas ASTM.

6.2 Conclusiones

Con base al análisis de los resultados de los ensayos se pueden presentar las siguientes conclusiones derivadas de los diseños expuesto en el siguiente trabajo:

- La metodología de los diseños se realizaron a base de experiencias elaboradas por American Concrete Institute (ACI) siguiendo los reportes de su comité ACI 522, con la finalidad de ajustar las variables de dosificación que involucra a este tipo de hormigón.

- Los materiales utilizados en esta investigación son aptos para elaborar éste tipo de hormigón, cumpliendo con las exigencias establecidas por las normas ASTM.
- Los diseños de hormigón elaborados en laboratorio cumple con las características y parámetros de dosificación para un hormigón permeable, donde las propiedades mecánicas e hidráulicas son favorables.
- La permeabilidad en los diseños de hormigón permeable fueron elevadas y superiores al valor de referencia según el comité ACI 522, logrando valores entre 1.33 a 1.69 cm/s respectivamente.
- La adición de aditivos plastificantes y reductores de agua de bajo rango en pequeñas proporciones, aumentan la resistencia a compresión y flexión dependiendo de los parámetros de dosificación que se requiera en el diseño.
- Adicionar un porcentaje mayor de 5% de agregado fino, afecta en la permeabilidad. Siempre y cuando el porcentaje de vacíos sea mayor de 15%.
- La densidad del hormigón permeable dependerá de la cantidad de agregado grueso y cemento que se requiera en el diseño. Esto se verá afectado directamente en la resistencia del hormigón.
- La densidad del hormigón está relacionada con la resistencia que puede alcanzar un diseño. Para nuestros diseños patrones se pudo notar densidades bajas entre 1660 y 1793, a diferencia de los resultados obtenidos con aditivos entre 1776 y 1922 generando un incremento en la resistencia del hormigón. Para este caso mientras más permeable es el hormigón su densidad es menor por lo tanto la resistencia disminuye.
- La resistencia a la flexión del hormigón permeable en estudios realizados en Colombia, tiene valores promedio de 2.5 MPa (Reyes, 2002); de igual manera los estudios realizados en Argentina son de

2.2 MPa (Luco, 1998). Para nuestra investigación los resultados a la flexión están entre 1.29 a 2.09 MPa.

- Respecto al costo de elaboración del hormigón permeable, el metro cúbico de este hormigón resulta aproximadamente un 30% más económico que un hormigón simple $f'c = 140 \text{ Kg/cm}^2$ (Zhindón Arévalo, 2010).
- Es importante seguir realizando investigaciones que tenga como enfoque principal analizar la resistencia a la flexión, con el propósito de alcanzar excelentes resultados y poder definir el uso de este material como parte estructural de un pavimento.
- Respecto a la manejabilidad del material en estado fresco al momento de realizar las mezclas de los diseños patrones, se observó segregación en el hormigón por tal motivo se decidió utilizar aditivos que ayuden a estabilizar la mezcla y adherencia de los agregados para poder elaborar de las muestras.
- Para la toma de las muestras de cilindros y vigas se deberán compactar bien los agregados, para que la mezcla sea uniforme y no afecte en la resistencia.
- El curado es un punto muy importante a tener en consideración ya que al momento de retirar las vigas de las piscinas de curado a los 28 días se pueden observar pequeños desprendimientos del agregado que pudo haber afectado en la resistencia a la flexión. De tal manera se espera que para próximas investigaciones se enfoquen en esta interrogativa tan importante que afecta al desempeño y evaluación de la resistencia.
- Es importante aclarar que los resultados de los diseños de mezclas de hormigón permeable tanto a compresión, flexión y permeabilidad son altamente confiables y pueden ser utilizados para futuras investigaciones. De igual manera se lo puede implementar para usos ingenieriles específicos como: capa drenante, capa de rodadura,

camineras, ciclovías, orillas de piscinas, fuentes artificiales, usos arquitectónicos y parqueaderos; donde se requiera aprovechar su eficiente capacidad de filtración. Hay que tener presente que este tipo de hormigón al tener una estructura totalmente porosa favorece la evaporación posterior del agua almacenada en el suelo.

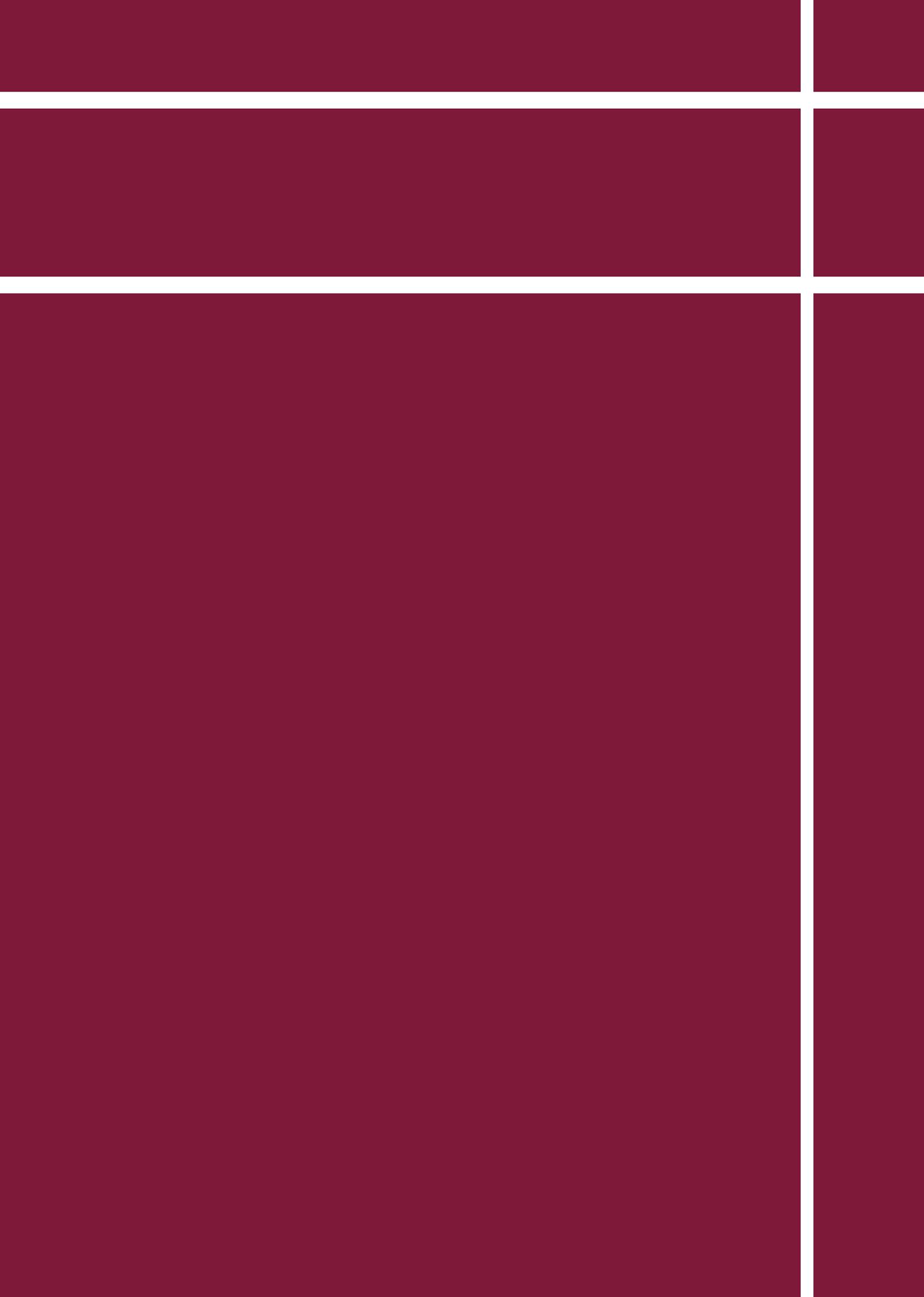
- No aplica para estructura de pavimento de tráfico pesado, ya que se requiere de otros análisis que me permitan asegurar su buen funcionamiento. Los análisis requeridos para su uso en pavimentos son: estudio de la topografía del suelo, capacidad de soporte del suelo (CBR), determinar la densidad del suelo (Próctor), permeabilidad, límites y consistencia del suelo.

6.3 Recomendaciones

- Antes de establecer los parámetros de dosificación hay que tener bien claro las variables que implican a la elaboración del hormigón permeable como: relación agua/cemento (A/C), relación agregado fino/agregado grueso, cantidad de material cementante, porcentaje de vacíos, estructura y forma de los agregados.
- Se recomienda que el agregado a utilizar debe estar libre de impurezas como: polvo, limo, arcillas y sustancias orgánicas que pueda repercutir en la resistencia.
- De igual manera el agua no debe contener impurezas que afecten la calidad del hormigón.
- El uso de aditivos es opcional, pero para este tipo de hormigón es fundamental ya que el fraguado es rápido comparado al de un hormigón convencional. Además, se evitará la segregación y mayor manejabilidad en la mezcla al momento de preparar las muestras en cilindros y vigas.

- Si se desea utilizar agregado fino a la mezcla de hormigón, se recomienda agregar un 5% como máximo. Caso contrario no utilizarlo ya que este tipo de hormigón no lleva agregado fino.
- Si lo que se requiere es tener un equilibrio entre la resistencia y permeabilidad utilizar un porcentaje de vacíos entre 10% y 15%, siempre que se utilice los parámetros de dosificación correctamente.
- Llevar a cabo más mezclas de hormigón permeable utilizando diferentes tipo de agregados tanto en forma y tamaño. También implementar otro tipo de cemento de alto desempeño tipo HE.
- Es importante realizar pruebas previas de diseño incrementando cemento y agregado en un 10%, hasta lograr obtener los resultados de resistencia deseados.
- Estudiar a fondo el efecto que produce el proceso de cura en las muestras de hormigón permeable, y demostrar de qué forma incide en la resistencia a compresión y flexión.
- Realizar una evaluación económica respecto a la elaboración y colocación del hormigón permeable en comparación del hormigón convencional para aplicarlo como parte estructural de pavimento.
- Se recomienda seguir investigando sobre el comportamiento de este tipo de hormigón, ya que posee muchas ventajas y aplicaciones que se pueden implementar en Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

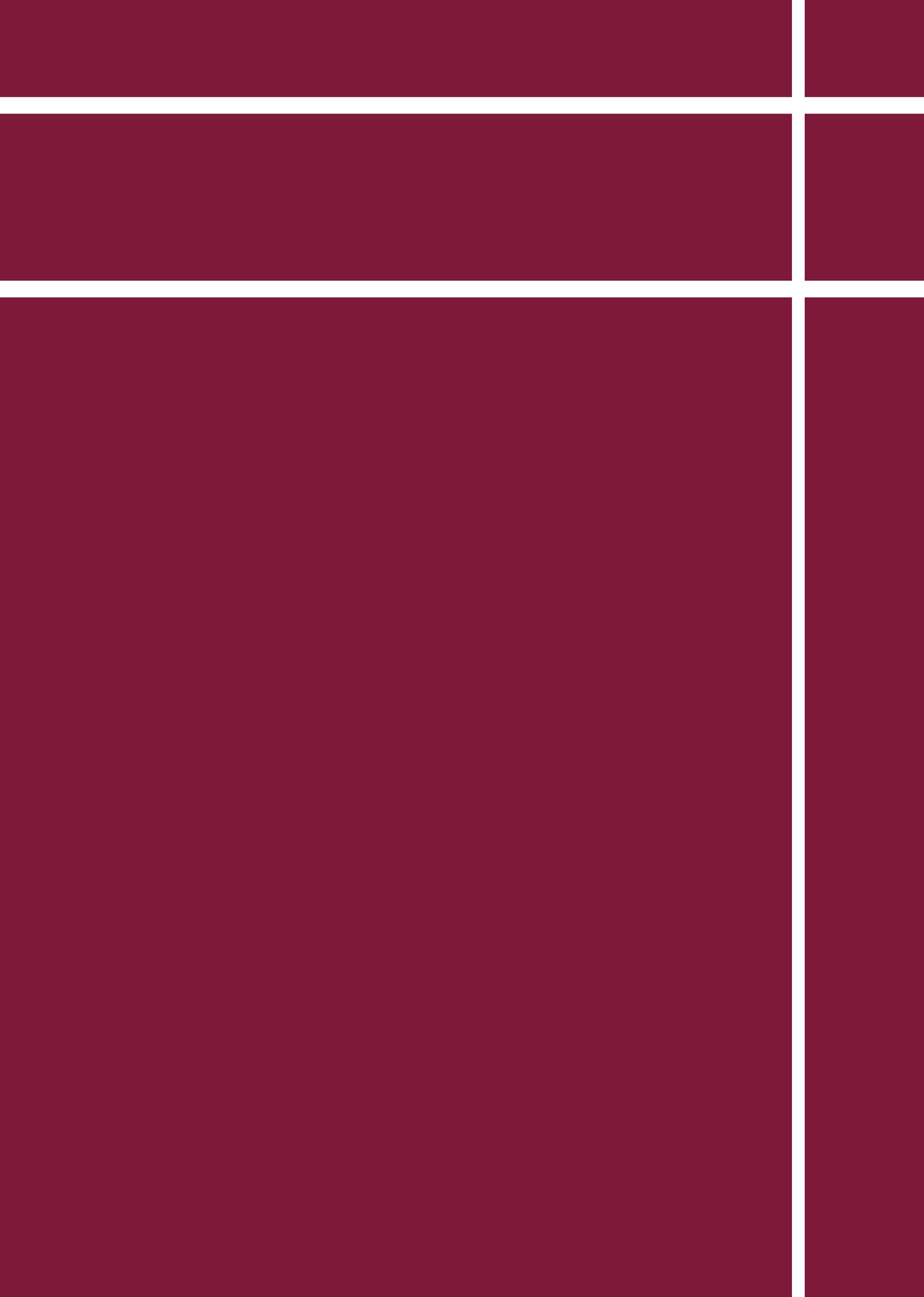
- ACI 522R. (2011). *Report on Previous Concrete*. United States: American Concrete Institute.
- ASTM C127. (2012). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C128. (2012). *Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C131. (2006). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C143. (2012). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. United States: ASTM International Standard Methods.
- ASTM C1688. (2013). *Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Previous Concrete*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C31. (2012). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C33. (2013). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. United States: ASTM Internacional Standars Methods.
- ASTM C39. (2014). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C40. (2011). *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. United States: ASTM International Standards Methods.

- ASTM C78. (2010). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C88. (2013). *Test on Soundness of Aggregate Using Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate: A Study of the Mechanisms of Damage*. United States: ASTM International Standards Methods.
- ASTM C94. (2014). *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete*. United States: ASTM International Standards Methods.
- Comité ACI 211.3R. (1998). *Guía para seleccionar proporciones de concreto sin revenimiento*. American Concrete Institute, United States.
- Luco, L. F. (1998). *Estado del arte en el uso de concreto poroso*. Buenos Aires: Asociación Argentina de carreteras .
- Meininger, R. (1988). *No-Fines Pervious Concrete for Paving*.
- Meneses Ospina, C., & Bravo Erazo, C. (2007). *Resistencia Mecánica y Condiciones de Obra del Concreto Poroso en los Pavimentos según el tipo de Granulometría*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Mulligan. (2005). *Attainable Compressive Strength of Pervious Concrete Paving Systems*. United States: University of Central Florida.
- Neithalath. (2005). *Modeling the effects of pore structure on the acoustic absorption of Enhanced Porosity Concrete*. Japan: Journal of Advanced Concrete Technology.
- Neithalath, N., Weiss, J., & Olek, J. (2006). *Predicting the permeability of Pervious Concrete (Enhanced Porosity Concrete) from Non-Destructive Electrical Measurements*. United States: Purdue University.
- Pervious Pavement*. (s.f.). Obtenido de www.perviouspavement.org/mixture%20proportioning.htm
- Reyes, F. (2002). Concretos Porosos. (G. C. Javeriana, Ed.) *Revista Noticreto*.

Rosell, J. J. (Octubre - Diciembre de 1986). La práctica del concreto poroso.
Revista Carreteras.

Zhindón Arévalo, R. C. (2010). *Utilización del hormigón poroso para revestimiento de taludes.* Escuela Politécnica Nacional, Quito.

ANEXOS



ANEXOS

Anexo A: granulometría, gravedad específica, peso volumétrico suelto, peso volumétrico varillado y absorción del agregado grueso.

Anexo B: granulometría, gravedad específica, peso volumétrico suelto, peso volumétrico varillado y absorción del agregado fino.

Anexo C: abrasión y sulfato del agregado grueso.

Anexo D: sulfato y colorimetría del agregado fino.

Anexo E: ficha técnica del cemento Holcim Tipo GU.

Anexo F: ficha técnica de los aditivos Euclid.

Anexo G: dosificación de los diseños patrones

Anexo H: resultados de las densidades de los diseños patrones en estado fresco.

Anexo I: resultados de los ensayos a la compresión de los diseños patrones (sin aditivo).

Anexo J: resultados de los ensayos a la flexión de los diseños patrones (sin aditivo).

Anexo K: resultados de permeabilidad de los diseños patrones (sin aditivo).

Anexo L: dosificación de los diseños con aditivo.

Anexo M: resultados de las densidades de los diseños con aditivo en estado fresco.

Anexo N: resultados de ensayos a la compresión de los diseños con aditivo.

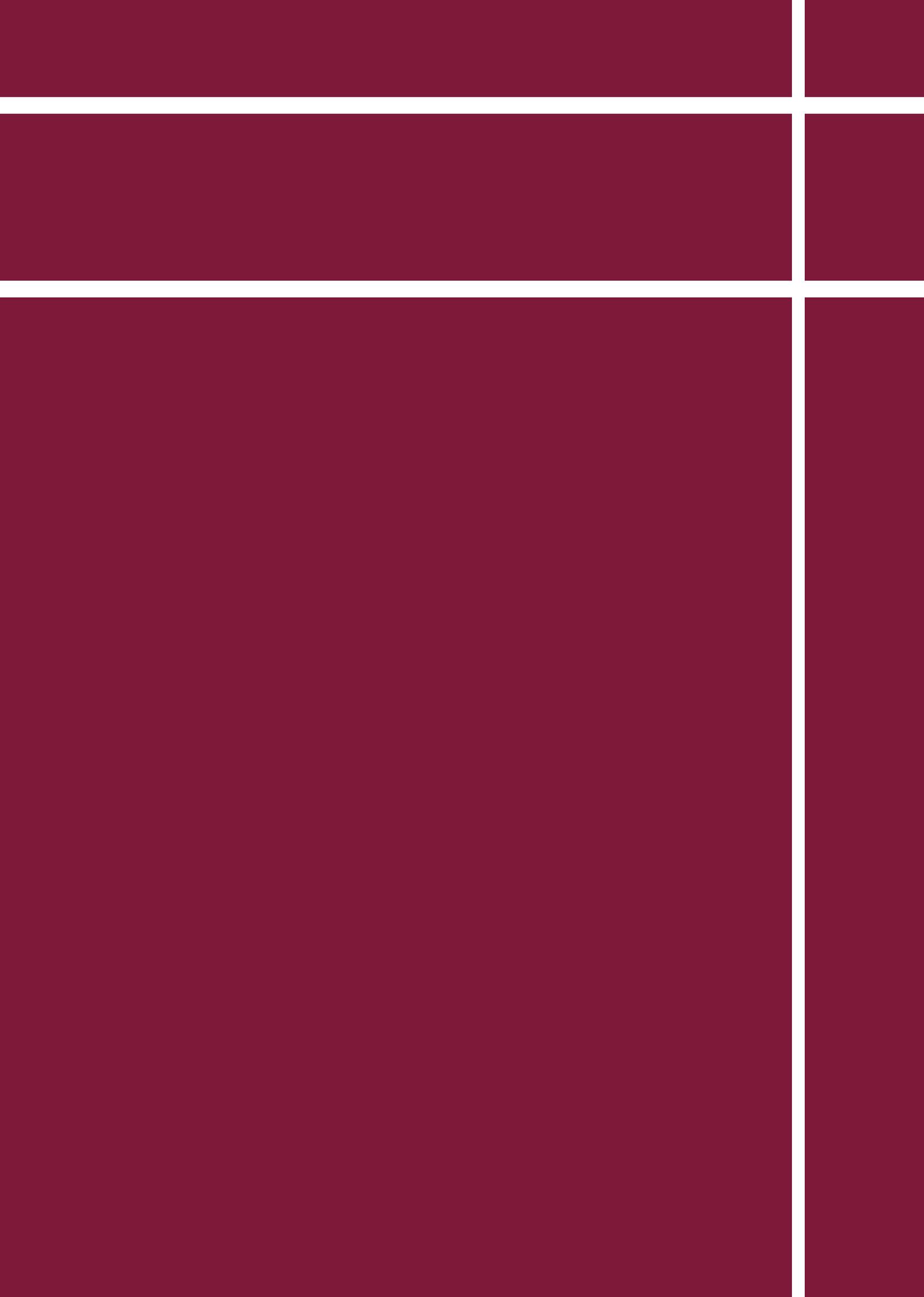
Anexo O: resultados de ensayos a la flexión de los diseños con aditivo.

Anexo P: resultados de permeabilidad de los diseños con aditivo.

Anexo Q: resumen de los resultados de los diseños de hormigón permeable.

Anexo R: fotos.

ANEXO A



Solicitado por : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
Proyecto : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE
Localización :
Fuente del Material : CANTERA PROGECON
Tipo de Material : PIEDRA 3/4"
Descrip. del Material : PIEDRA TRITURADA
Fecha : 31/01/14

Muestra : 1

Datos:

A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa	=	<u>986,00</u>	gr
B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	=	<u>1.000,00</u>	gr
Peso de la canastilla sumergida + material	=	<u>1.745,00</u>	gr
Peso de la canastilla sumergida	=	<u>1.157</u>	gr
C = Peso de la muestra, sumergida en agua	=	<u>588</u>	gr

GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA

$$\text{Gravedad específica de masa con superficie seca} = \frac{B}{B - C} \times 1000 = \frac{1.000,00}{1000 - 588} \times 1000$$

$$\text{Gravedad específica de masa con superficie seca} = \frac{1.000,00}{412} \times 1000$$

$$\text{Gravedad específica de masa con superficie seca} = \underline{2.427} \text{ Kg/m}^3$$

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100 = \frac{1000 - 986}{986,00} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{14,00}{986,00} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \underline{1,42\%}$$

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (P.V.S.)

A = Peso del recipiente = 6.852,00 gr

B = Peso del recipiente + la muestra = 9.638,00 gr

C = Volumen del recipiente = 0,002124 m³

$$\text{P.V.S.} = \frac{B - A}{C} \div 1.000 = \frac{9638 - 6852}{0,002124} \div 1.000$$

$$\text{P.V.S.} = \underline{1.312} \text{ Kg/m}^3$$

PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (P.V.V.)

A = Peso del recipiente = 6.852,00 gr

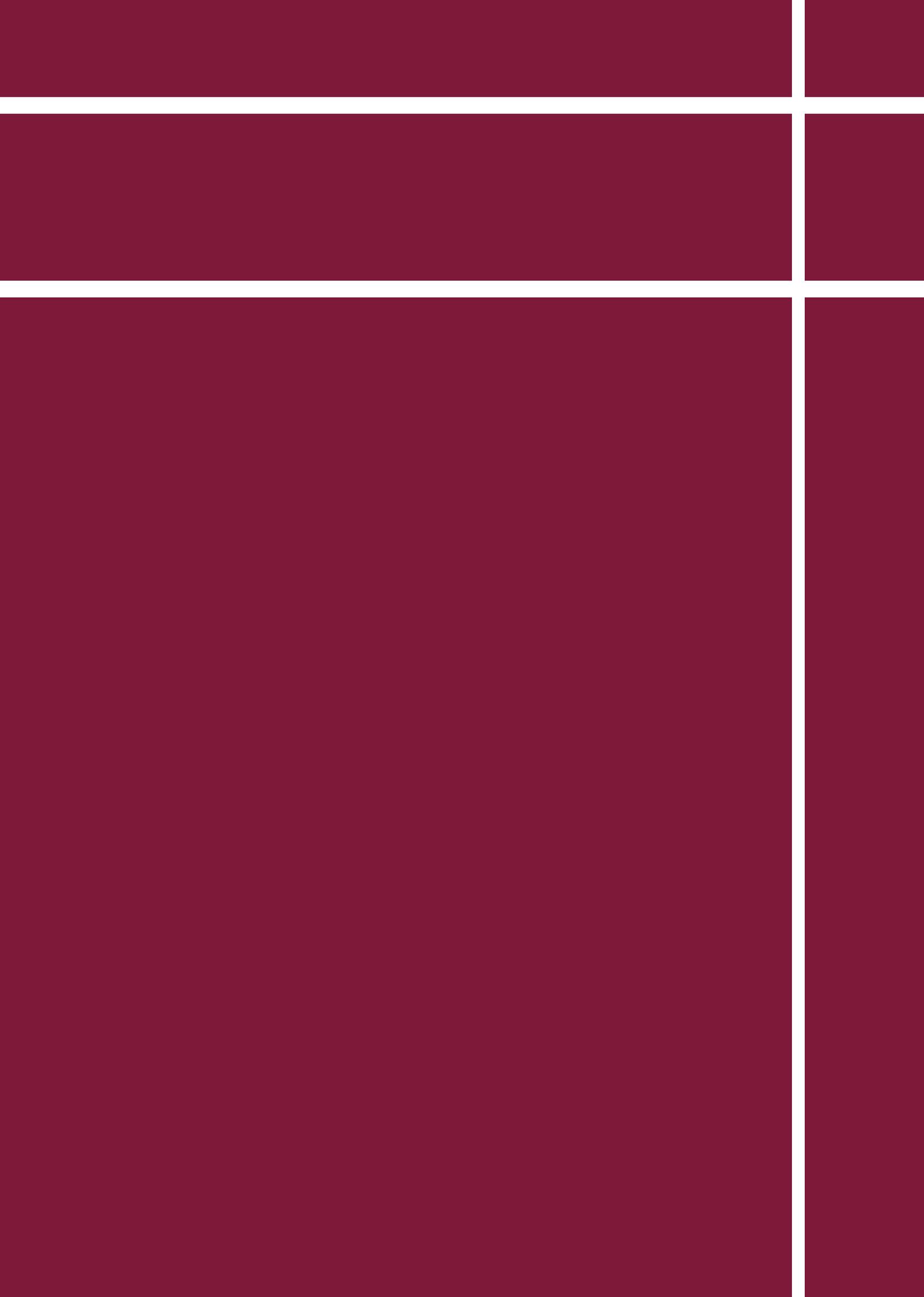
B = Peso del recipiente + la muestra = 9.838,00 gr

C = Volumen del recipiente = 0,002124 m³

$$\text{P.V.V.} = \frac{B - A}{C} \div 1.000 = \frac{9838 - 6852}{0,002124} \div 1.000$$

$$\text{P.V.V.} = \underline{1.406} \text{ Kg/m}^3$$

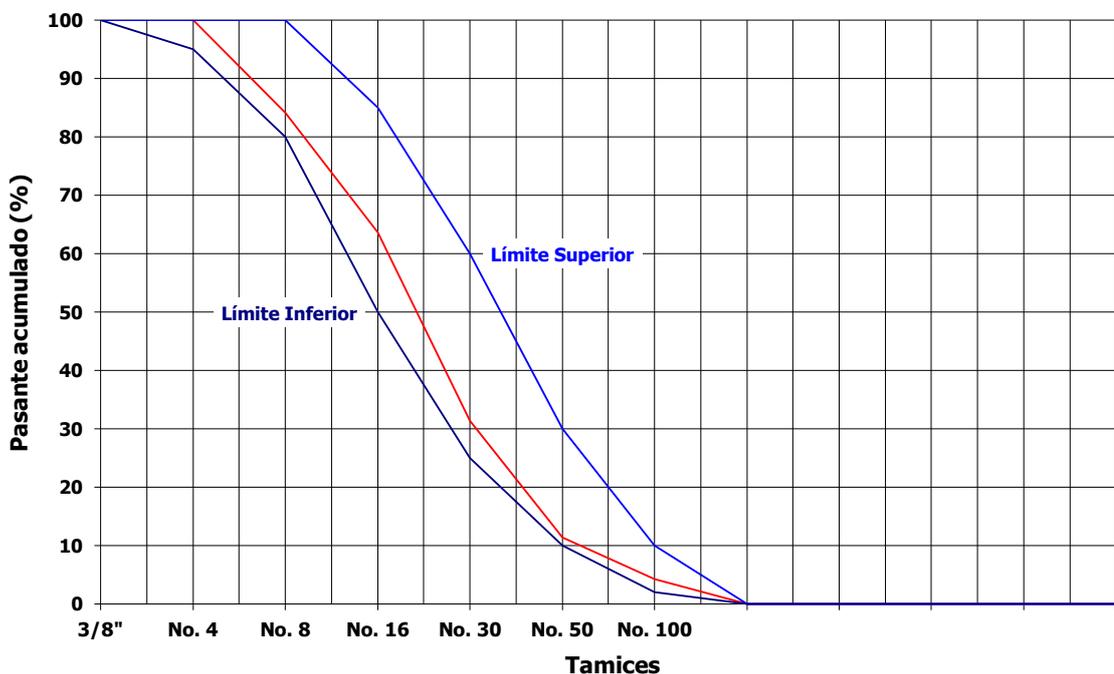
ANEXO B



Obra : TESIS DE GRADO
 Solicitado por : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
 Fiscaliza :
 Procedencia : CANTERA PROGECON
 Fecha : 31/01/2014 Contrato

**ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO FINO
 PARA HORMIGÓN**

Clasificación :						
Tamiz INEN (ASTM) Nº	mm	Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Especificaciones A.S.T.M. C 33
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,00	
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00	
1"	25,0	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00	100
No. 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00	95 a 100
No. 8	2,36	790,92	15,82	15,82	84,18	80 a 100
No. 16	1,18	1025,84	20,52	36,34	63,66	50 a 85
No. 30	0,60	1613,16	32,26	68,60	31,40	25 a 60
No. 50	0,30	998,43	19,97	88,57	11,43	10 a 30
No. 100	0,15	360,22	7,20	95,77	4,23	2 a 10
FONDO		211,43	4,23	100,00	0,00	
ε =		5.000,00	mo =		3,05	



Solicitado por : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
Proyecto : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE
Localización :
Fuente del Material : CANTERA PROGECON
Tipo de Material : ARENA
Descrip. del Material :
Fecha : 31/01/14 **Muestra :** 2

Datos:

A = Peso de la muestra (SSS) = $\frac{500,00}{}$ gr
 B = Peso picnómetro + agua = $\frac{907,20}{}$ gr
 C = Peso + agua + arena = $\frac{1.216,20}{}$ gr
 D = Peso seco en la estufa = $\frac{498,20}{}$ gr

GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA

$$\text{Gravedad específica de masa con superficie seca} = \frac{A}{B + A - C} \times 1000 = \frac{500,00}{907,2 + 500 - 1216,2} \times 1000$$

$$\text{Gravedad específica de masa con superficie seca} = \frac{500,00}{191,00} \times 1000$$

$$\text{Gravedad específica de masa con superficie seca} = \frac{2.618}{} \text{ Kg/m}^3$$

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{A - D}{D} \times 100 = \frac{500 - 498,2}{498,20} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{1,80}{498,20} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{0,36\%}{}$$

PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (P.V.S.)

$$A = \text{Peso del recipiente} = \frac{6.852,00}{} \text{ gr}$$

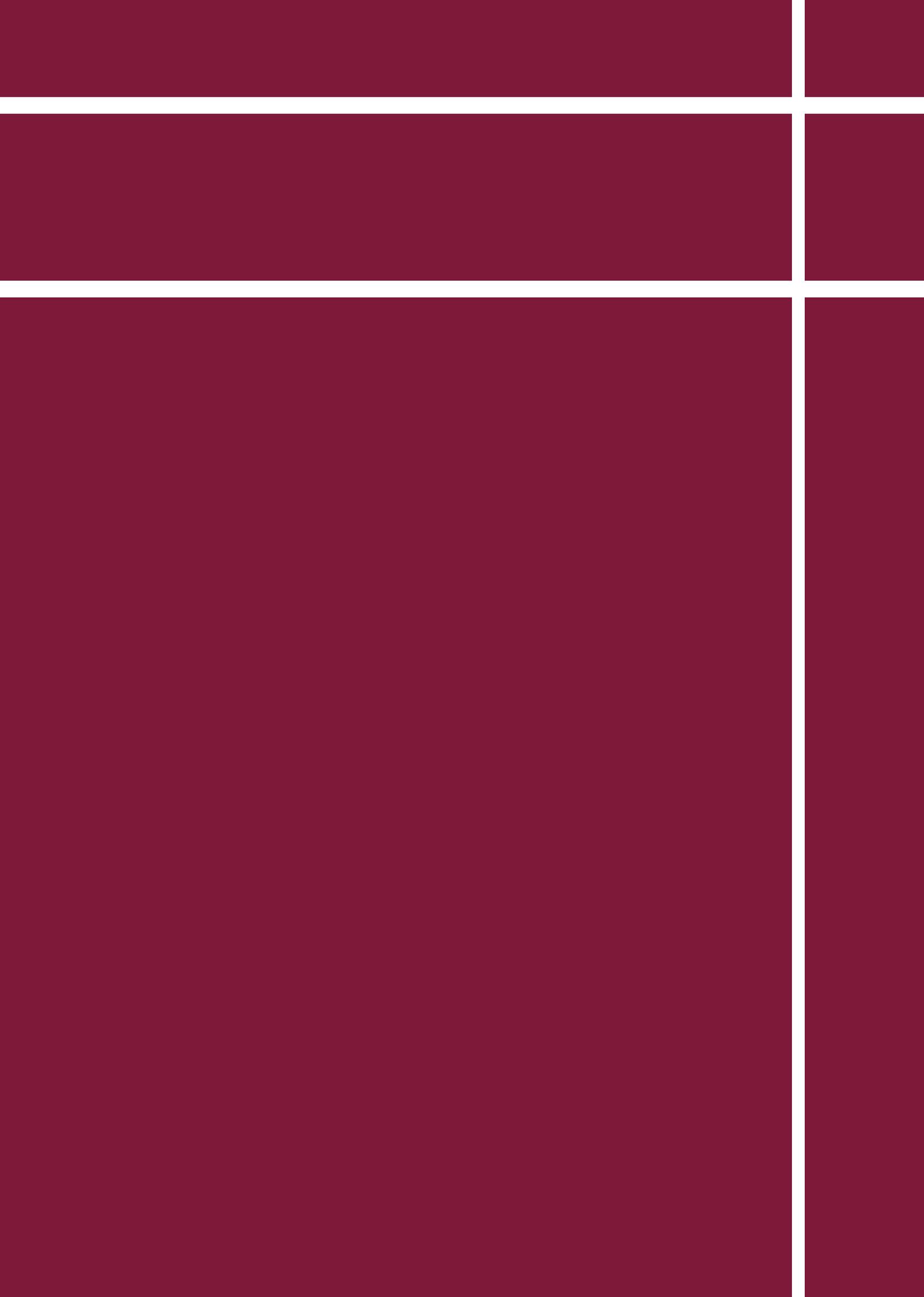
$$B = \text{Peso del recipiente + la muestra} = \frac{10.376,00}{} \text{ gr}$$

$$C = \text{Volumen del recipiente} = \frac{0,002124}{} \text{ m}^3$$

$$\text{P.V.S.} = \frac{B - A}{C} \div 1.000 = \frac{10376 - 6852}{0,002124} \div 1.000$$

$$\text{P.V.S.} = \frac{1.659}{} \text{ Kg/m}^3$$

ANEXO C





ABRASIÓN DE LOS ANGELES

Fecha : 01/febrero/2014
Contratista :
Solicitado por : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
Obra : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE
Localización :
Fiscaliza :
Fuente del Material : CANTERA PROGECON
Descripción : PIEDRA 3/4"
Muestra : 1

MALLAS		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUÉS POR TAMIZ N° 12	% DE PERDIDA
PASA	RETIENE			
1 1/2"	1"			
1"	3/4"			
3/4"	1/2"	2500,00		
1/2"	3/8"	2500,00		
3/8"	1/4"			
1/4"	N° 4			
N° 4	N° 8			
	TOTAL	5000,00	4016,00	19,68

$$\% \text{ DE PERDIDA} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 =$$

% DE PERDIDA : 19,68

OBSERVACIONES : NORMA A.S.T.M. C-131, CLASIFICACIÓN B, 11 CARGAS ABRASIVAS, TIEMPO 15 MIN.



Solicitado por : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
Obra : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE
Localización :
Fiscaliza :
Fuente Material : CANTERA PROGECON
Descripción : PIEDRA 3/4"
Muestra : 1

Fecha : 07/02/14

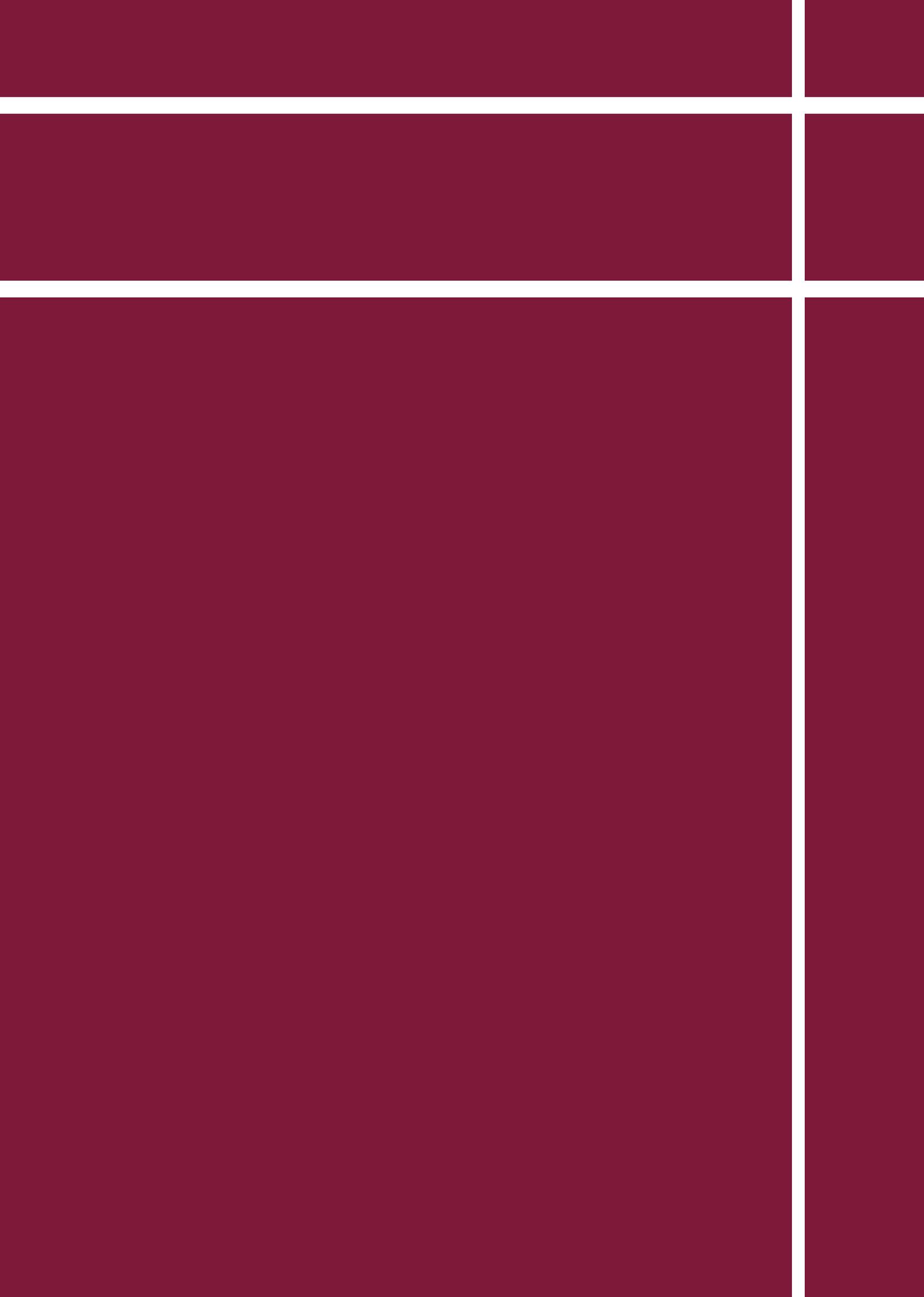
**PRUEBA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO
 POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO**

TAMIZ		GRANULOMERÍA PESO ACUMULADO	RETENIDO PARCIAL %	PESO ANTES DEL ENSAYO gr.	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO gr.	PERDIDA REAL %	PÉRDIDA CORREGIDA %
PASA	RETIENE						
2 1/2"	1 1/2"	0,00	0,00				
1 1/2"	3/4"	0,00	0,00				
3/4"	3/8"	3.008,00	44,16	1.000,00	866,00	13,40	5,92
3/8"	Nº 4"	90,00	2,90				5,92
TOTAL		3107,00				$\Sigma =$	11,83

PORCENTAJE DE DESGASTE (%) :	11,83
OBSERVACIONES	
NORMA A SEGUIR :	INEN 863 CUMPLE

NOTA : NORMA INEN 863 SIMILAR ASTM C88

ANEXO D





Solicitado por : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
Obra : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE
Localización :
Fiscaliza :
Fuente del Material : CANTERA PROGECON
Descripción : ARENA
Muestra : 2 **Fecha** : 07/02/14

**PRUEBA AL DESGASTE DEL AGREGADO FINO
POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO**

TAMIZ		GRANULOMETRÍA PESO ACUMULADO	RETENIDO PARCIAL %	PESO ANTES DEL ENSAYO gr.	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO gr.	PÉRDIDA REAL %	PÉRDIDA CORREGIDA %
PASA	RETIENE						
	3/8"						
3/8"	Nº 4	0,00	0,00				
Nº 4	Nº 8	404,00	15,82	100,00	88,00	12,00	1,89
Nº 8	Nº 16	928,00	20,52	100,00	94,00	6,00	1,23
Nº 16	Nº 30	1752,00	32,26	100,00	84,00	16,00	5,16
Nº 30	Nº 50	2262,00	19,97	100,00	84,00	16,00	3,19
Nº 50	Nº 100	2446,00	7,20				
Nº 100		2554,00	4,23				
TOTAL		2554,00				$\Sigma =$	11,47

PORCENTAJE DE DESGASTE (%) :		11,47
OBSERVACIONES		
NORMA A SEGUIR :	INEN 863	CUMPLE



DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS **(NORMA ASTM C 40)**

Solicitado por : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
Obra : TESIS DE GRADO – HORMIGÓN PERMEABLE
Fiscaliza :
Tipo de Material : ARENA – CANTERA PROGECON
Fecha : 03/02/14
Muestra : 1

DEL ENSAYO REALIZADO EN SOLUCIÓN ESTANDAR (SOLUCIÓN DE HIDROXIDO DE SODIO), TENEMOS QUE DE ACUERDO A LA TABLA DE COLOR ESTANDAR GARDNER, COINCIDE CON EL NÚMERO 1 DE LA PLACA ORGÁNICA.

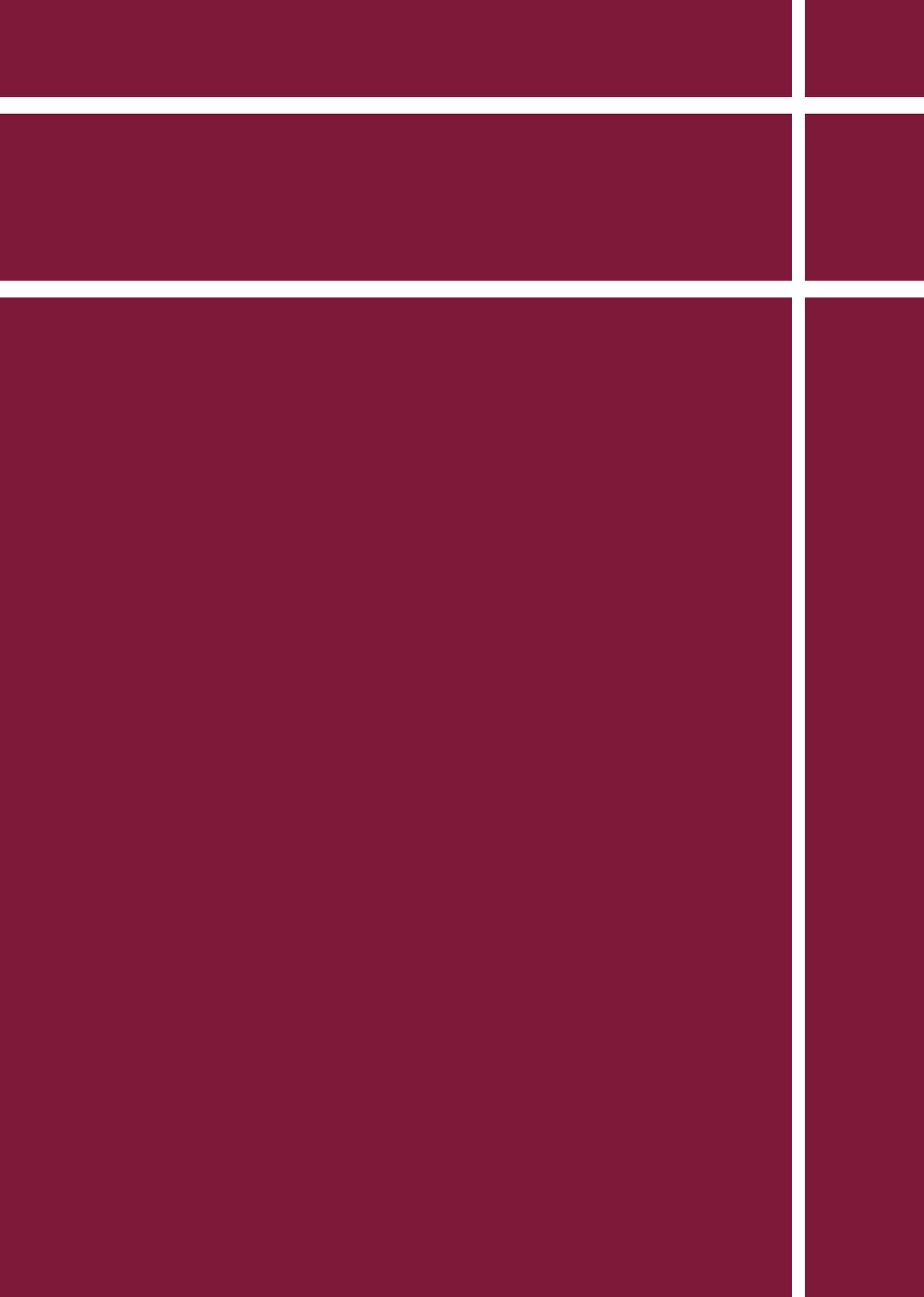
Color Estándar Gardner

5
8
11
14
16

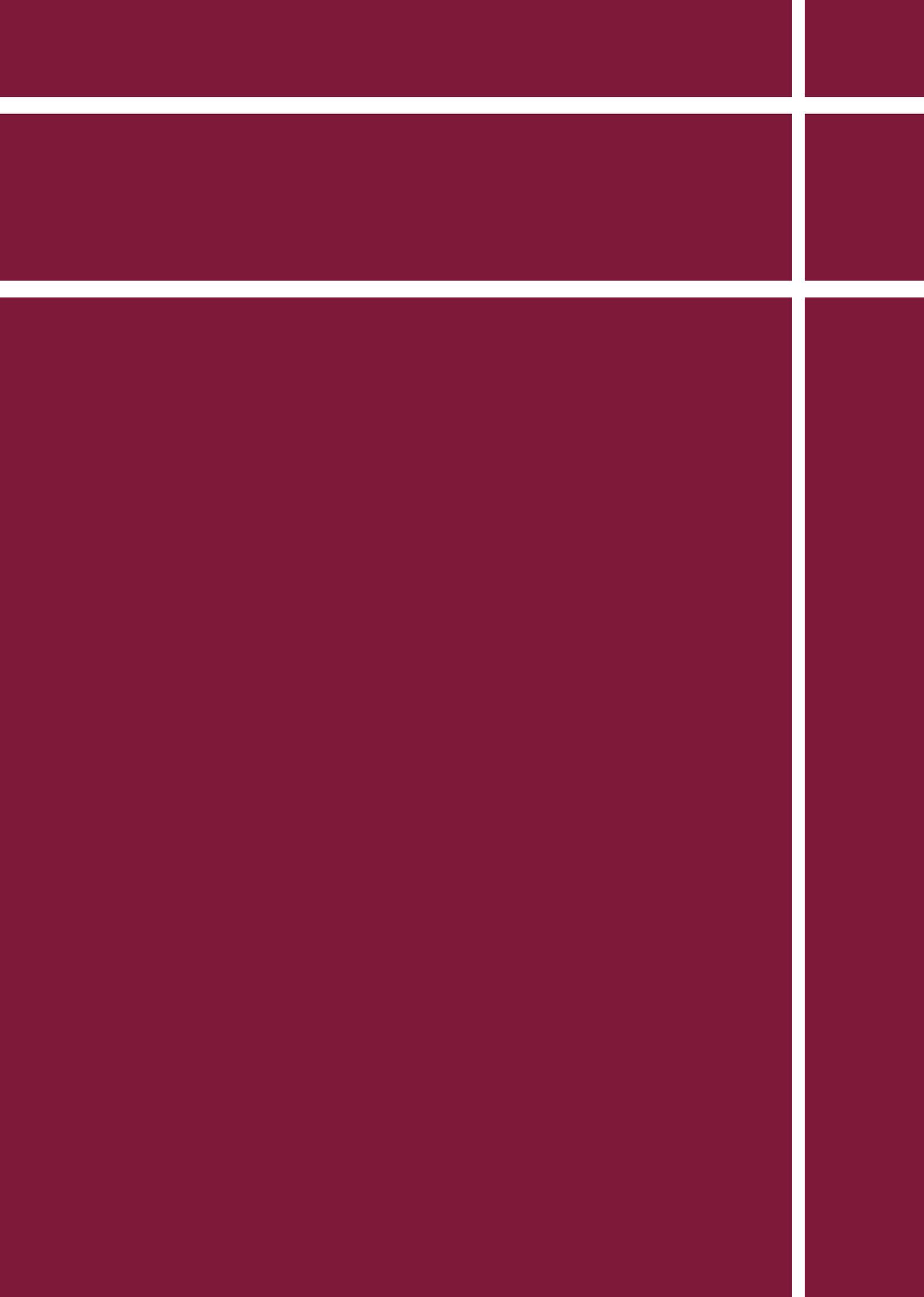
Placa Orgánica

1
2
3 (Estándar)
4
5

ANEXO E



ANEXO F





PLASTOL 6000

Aditivo hiperplastificante para concretos especiales

TX40T236

DESCRIPCION

PLASTOL 6000 es un aditivo reductor de agua de alto rango, de la más reciente tecnología a base de poliacrilatos, formulado específicamente para aumentar drásticamente la manejabilidad de un concreto, siendo capaz de llevar una mezcla de cero asentamiento a un estado plástico de alta manejabilidad con dosis bajas. Cumple con la norma ASTM C-494 Tipo A, como reductor de agua y Tipo F como reductor de agua de alto rango y la AASHTO M-194.

INFORMACION TECNICA

Apariencia	: Líquido de baja viscosidad
Color	: Ambar
Contenido de Cloruros	: Ninguno
Densidad	: 1.06 kg/l +/- 0.03 kg/l

USOS

PLASTOL 6000 es especialmente recomendado cuando se requiere:

- Concreto de alta fluidez
- Concretos prefabricados
- Concretos de altas resistencias iniciales
- Concretos preesforzados
- Concretos bombeados
- Concretos autonivelantes
- Como reductor de agua, para incremento considerable de resistencias.
- Para disminuir la segregación y aumentar la cohesividad del concreto fluido.
- Para concretos de retracción controlada.
- Sistemas industrializados
- Concretos Fast – Track
- Concretos autonivelantes.

VENTAJAS

- En concretos fluidos no presenta sangrado.
- Permite colocar fácilmente concretos de alta resistencia y baja relación agua/cemento.
- Permite un desencofrado rápido.
- Incrementa las resistencias a compresión a edades iniciales y finales.
- Incrementa la durabilidad

- Mantiene o excede las resistencias a compresión originales aplicado en consistencia fluida.
- Reduce los tiempos de producción por una rápida colocación.
- Permite dar mejor acabado al concreto.
- Diseños de mezcla más económicos.
- Permite reducción de agua de amasado entre el 30% y el 50%.
- No tiene cloruros ni agentes corrosivos.
- Recomendado para concretos autocompactantes.

DOSIFICACION

Cuando se usa como reductor de agua la dosis recomendada de **PLASTOL 6000** es de 0.5% (4.7 cc/kg de cemento) - 1% (10 cc/kg de cemento).

Cuando se usa como superplastificante o autocompactante la dosis recomendada de **PLASTOL 6000** es de 0.3% (3 cc/kg de cemento) - 0.6% (6 cc/kg de cemento).

Cuando se adiciona en la planta, éste debe ser colocado con el agua de amasado. Cuando se adiciona en obra se debe mezclar el concreto durante 5 minutos a alta velocidad en el trompo.

Las dosis de **PLASTOL 6000** se ven afectadas por los materiales utilizados, condiciones de trabajo, temperatura, etc., se pueden requerir dosificaciones diferentes a las especificadas en esta ficha.

COMPATIBILIDAD

PLASTOL 6000 es compatible con otros aditivos. Se recomienda hacer pruebas previas para determinar el comportamiento de los aditivos cuando se usan juntos. Cuando se dosifica mas de un aditivo a la mezcla, éstos deben adicionarse separados.

APLICACION

PLASTOL 6000 puede ser adicionado con el agua inicial de diseño o cuando la mezcla de concreto se encuentra completamente húmeda. No adicionar el aditivo directamente al cemento seco.



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
www.toxement.com.co

COMO FLUIDIFICANTE:

PLASTOL 6000 adicionado a una mezcla de consistencia normal, fluidifica el concreto haciéndolo óptimo para el bombeo.

COMO REDUCTOR DE AGUA:

PLASTOL 6000 permite obtener reducciones en el agua de amasado entre 30% y 50%, incrementando las resistencias mecánicas iniciales y finales. Reduce la permeabilidad del concreto y acelera las resistencias del diseño.

RECOMENDACIONES ESPECIALES

- Determine la dosis adecuada mediante ensayos previos
- En concretos fluidos se debe ajustar el diseño para mantener la homogeneidad de la mezcla.
- La granulometría de los agregados debe ser continua.
- No debe adicionarse a la mezcla, ni al cemento secos.
- No usar aire comprimido para su agitación.
- Mezclas con **PLASTOL 6000** pueden incluir aire hasta en un 7% sin afectar resistencias finales.
- No mezclar por tiempo mayor a 5 minutos.
- En concretos autocompactantes se recomienda manejar la proporción de grava - arena: 48% - 52%.
- Tamaño máximo del agregado grueso: 12.5 mm.
- Arenas con módulo de finura entre 1.5 - 2.5.

ALMACENAMIENTO

PLASTOL 6000 debe almacenarse a temperaturas por encima de 0°C. **PLASTOL 6000** no es un material peligroso pero se recomienda emplear elementos de seguridad para su manipulación.

Vida útil de almacenamiento: 6 meses a granel y 1 año en tambor

PRESENTACION

Garrafa:	20 kg
Tambor plástico:	220 kg
Granel	

Las Hojas Técnicas de los productos EUCLID - TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.

Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los substratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo en gran escala.

Plastol 6000

EUCLID - TOXEMENT se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.



EUCON W.O.

Estabilizador para cemento y aditivo retardante

TX40T118

DESCRIPCION

EUCON W.O. es un aditivo líquido para concreto que inhibe temporalmente la hidratación del cemento.

De acuerdo con su aplicación, **EUCON W.O.** puede utilizarse como parte de un sistema de aditivos para retardar el tiempo de fraguado, o bien, para prolongar el tiempo de trabajabilidad de mezclas de concreto que requieran un control en la permanencia de la fluidez.

Otra aplicación de **EUCON W.O.** es la estabilización de la hidratación del cemento para optimizar el uso del agua en la producción de concreto en plantas premezcladoras y promover las prácticas sustentables en la industria de la construcción.

EUCON W.O. no es corrosivo y su formulación no incluye ingredientes base cloruros.

INFORMACION TECNICA

Apariencia : Líquido
Color : Transparente
Densidad : 1.12 kg/l - 1.15 kg/l

USOS

- Elementos prefabricados densamente armados, los cuales requieren un tiempo de permanencia de fluidez determinado para asegurar su adecuada colocación continua.
- Pilotes realizados en sitio que requieren concreto con un tiempo determinado de fluidez.
- Estructuras de concreto con requerimientos de alta resistencia mecánica, cuya trabajabilidad deba ser controlada.
- Transporte del concreto a lugares lejanos a la planta productora.
- Promueve el uso racional de los materiales para la producción del concreto.

VENTAJAS

- Facilidad para colocar concreto en estructuras monolíticas.
- Control de la fluidez del concreto y del tiempo de fraguado.

- Optimización del uso de los recursos para la producción de concreto.

DOSIFICACION

Como aditivo retardante y para control de la permanencia de la fluidez, **EUCON W.O.**, se utiliza típicamente en el rango de dosificadores de 0,011% a 0,45% del peso del cemento como dosis máxima, siempre que se realicen ensayos previos en concreto para evaluar desempeño. Adicionalmente es importante tener en cuenta las condiciones de temperatura ambiente para evitar problemas de retardo en el fraguado.

Como estabilizador de la hidratación de cemento, para proporcionar una producción eficaz del uso de los recursos constituyentes del concreto, **EUCON W.O.** se dosifica aproximadamente de 10 litros a 15 litros por cada 200 litros de agua.

Se pueden requerir dosis diferentes a las recomendadas, en estos casos consultar con el Departamento Técnico de EUCLID – TOXEMENT.

APLICACION

Cuando el requerimiento es la permanencia de la trabajabilidad del concreto, se recomienda agregar **EUCON W.O.** al 90% del agua de mezcla, una vez que el sistema de aditivos reductores de agua ha sido incorporado a la mezcla.

EUCON W.O. puede ser dosificado con equipo automático para garantizar uniformidad en el trabajo.

RECOMENDACIONES ESPECIALES

- Utilizar equipo de seguridad básico durante su manejo.
- No adicione simultáneamente con otros aditivos.
- No agitar con aire.
- Cuando se emplea en combinación con aditivos base lignosulfonatos, las dosis del aditivo son menores para evitar retardos mayores en el concreto.
- Consulte la Hoja de Seguridad antes de utilizar el material.



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
www.toxement.com.co

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

EUCON W.O. debe almacenarse en su envase original, herméticamente cerrado, bajo techo y protegido de la intemperie.

Vida útil de almacenamiento: 6 meses a granel y 1 año en tambor.

PRESENTACION

Garrafa: 20 kg
Tambor : 220 kg
Granel

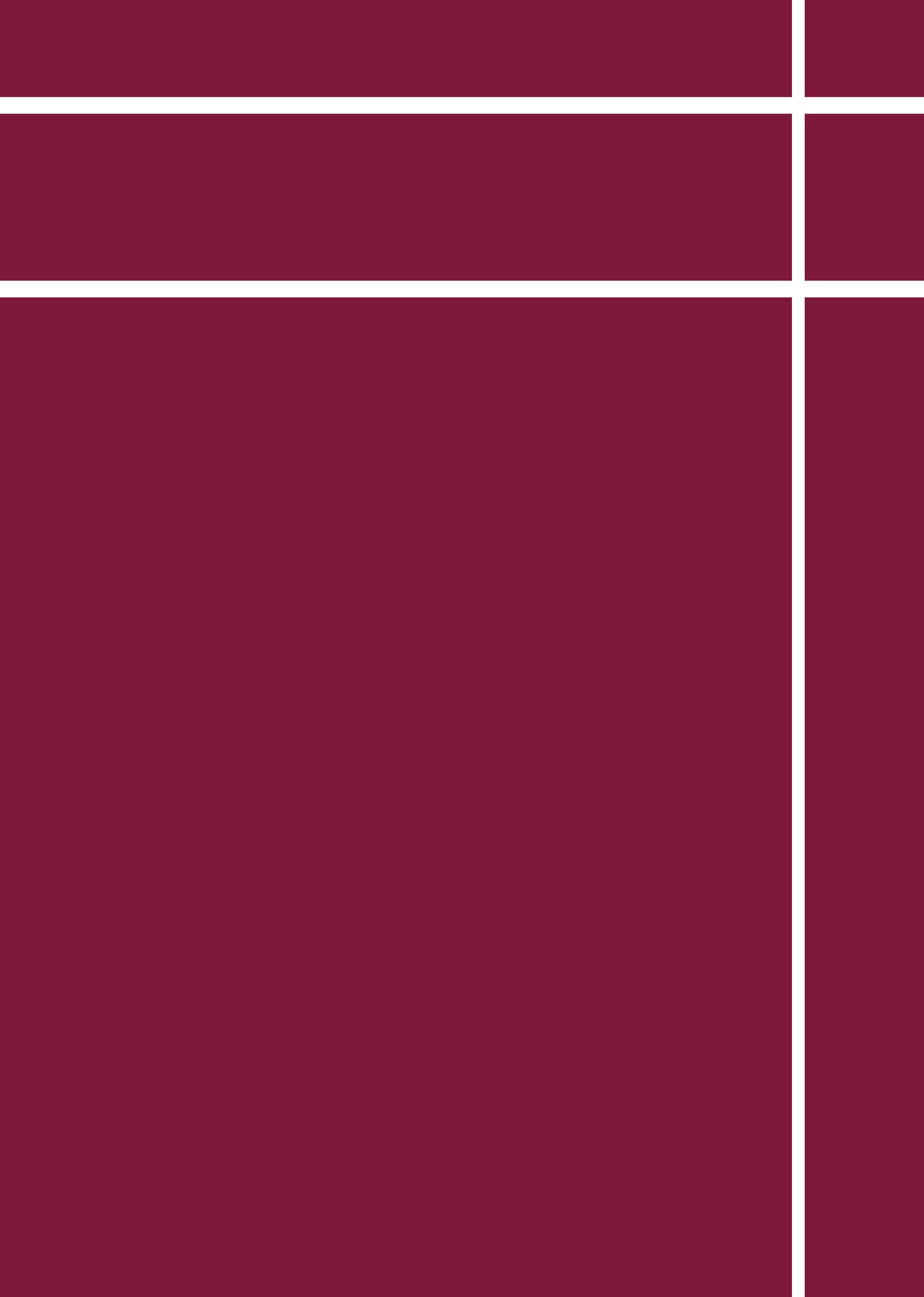
Las Hojas Técnicas de los productos EUCLID - TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.

Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo en gran escala.

EUCLID - TOXEMENT se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.

Eucon W.O.

ANEXO G



DISEÑO DE HORMIGÓN PERMEABLE

SOLICITA : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
OBRA : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE
FECHA : 17/02/14
MUESTRA : DISEÑOS PATRONES (SIN ADITIVO)

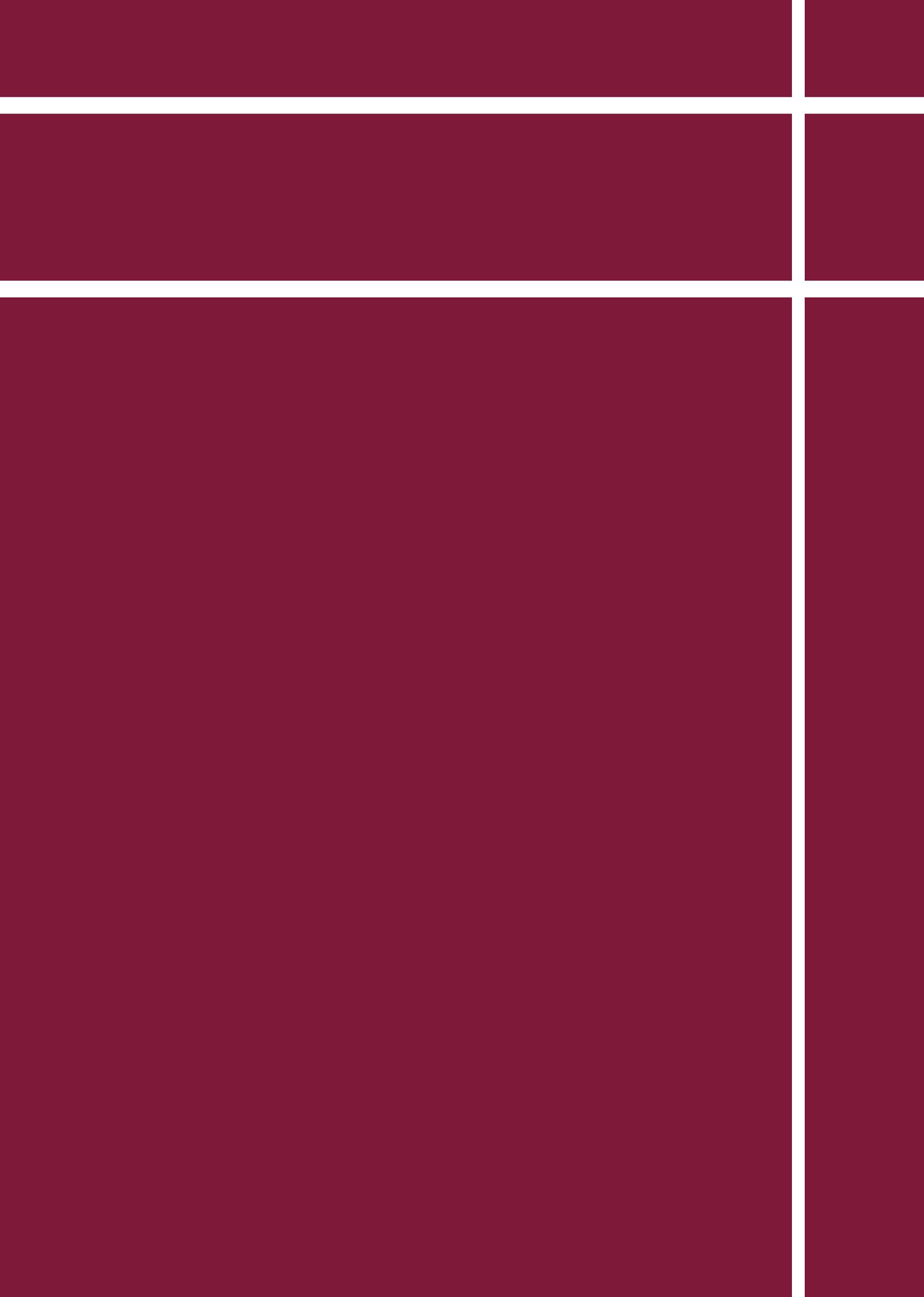
	PVS (Kg/m ³)	PVV (Kg/m ³)	DSSS (Kg/m ³)	ABS (%)
PIEDRA	1.312	1.406	2.427	1,42

	PVS (Kg/m ³)	DSSS (Kg/m ³)	ABS (%)	M.F
ARENA	1.659	2.618	0,36	3,05

DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5
% Vacíos				
15	13	15	17	20
% ARENA				
0	5	5	10	10

DOSIFICACIÓN EN KG, PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN PERMEABLE						UNIDADES
Cemento	350	355	342	327	321	Kg
Agua	137	128	120	115	109	lts
Piedra	1.392	1.350	1.350	1.308	1.308	Kg
Arena	0	153	133	154	96	Kg
Rel. A/C	0,39	0,36	0,35	0,35	0,34	
Rel. AG/C	3,98	3,80	3,95	4,00	4,07	
Rel. AF/AG	0	0,11	0,10	0,12	0,07	
Rev.	0	0	0	0	0	cm
COLOR						

ANEXO H



**ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO**

SOLICITA	: SR. ISMAEL SANTOS CAYO	MUESTRA	: DISEÑO PATRON #1
OBRA	: TESIS DE GRADO	FECHA	: 19/02/14
TIPO DE MATERIAL	: HORMIGÓN PERMEABLE		
% VACÍOS DE DISEÑO	: 15	% ARENA	: 0

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE		
MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	14.807
MASA DEL CONCRETO (kg)		12.393
DENSIDAD (kg/m³)		1.793,10

FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO PATRON # 1		
DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN PERMEABLE		
DISEÑO PATRON #1	UNIDADES	
Cemento	350	kg
Agua	137	lts
Piedra	1.392	kg
Arena	N/A	kg

Rel. (A/C)	0,39
Rel. (AG/C)	3,98
Rel. (AF/AG)	0

**ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO**

SOLICITA	: SR. ISMAEL SANTOS CAYO	MUESTRA	: DISEÑO PATRON #2
OBRA	: TESIS DE GRADO	FECHA	: 19/02/14
TIPO DE MATERIAL	: HORMIGÓN PERMEABLE		
% VACÍOS DE DISEÑO	: 13	% ARENA	: 5

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	14.334
MASA DEL CONCRETO (kg)		11.920
DENSIDAD (kg/m³)		1.724,66

FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO PATRON # 2

**DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m³
DE HORMIGÓN PERMEABLE**

DISEÑO PATRON #2	UNIDADES
Cemento	355 kg
Agua	128 lts
Piedra	1.350 kg
Arena	153 kg

Rel. (A/C)	0,36
Rel. (AG/C)	3,80
Rel. (AF/AG)	0,11

**ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO**

SOLICITA : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
OBRA : TESIS DE GRADO
TIPO DE MATERIAL : HORMIGÓN PERMEABLE
% VACÍOS DE DISEÑO : 15 **% ARENA** : 5

MUESTRA : DISEÑO PATRON #3
FECHA : 19/02/14

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	14.145
MASA DEL CONCRETO (kg)		11.731
DENSIDAD (kg/m³)		1.697,32

FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO PATRON # 3

**DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m³
DE HORMIGÓN PERMEABLE**

DISEÑO PATRON #3	UNIDADES	
Cemento	342	kg
Agua	120	lts
Piedra	1.350	kg
Arena	133	kg

Rel. (A/C)	0,35
Rel. (AG/C)	3,95
Rel. (AF/AG)	0,10

**ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO**

SOLICITA	: SR. ISMAEL SANTOS CAYO	MUESTRA	: DISEÑO PATRON #4
OBRA	: TESIS DE GRADO	FECHA	: 19/02/14
TIPO DE MATERIAL	: HORMIGÓN PERMEABLE		
% VACÍOS DE DISEÑO	: 17	% ARENA	: 10

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	14.008
MASA DEL CONCRETO (kg)		11.594
DENSIDAD (kg/m³)		1.677,49

FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO PATRON #4

**DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m³
DE HORMIGÓN PERMEABLE**

DISEÑO PATRON #4	UNIDADES
Cemento	327 kg
Agua	115 lts
Piedra	1.308 kg
Arena	154 kg

Rel. (A/C)	0,35
Rel. (AG/C)	4,00
Rel. (AF/AG)	0,12

**ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO**

SOLICITA	: SR. ISMAEL SANTOS CAYO	MUESTRA	: DISEÑO PATRON #5
OBRA	: TESIS DE GRADO	FECHA	: 19/02/2014
TIPO DE MATERIAL	: HORMIGÓN PERMEABLE		
% VACÍOS DE DISEÑO	: 20	% ARENA	: 10

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE		
MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	13.896
MASA DEL CONCRETO (kg)		11.482
DENSIDAD (kg/m³)		1.661,29

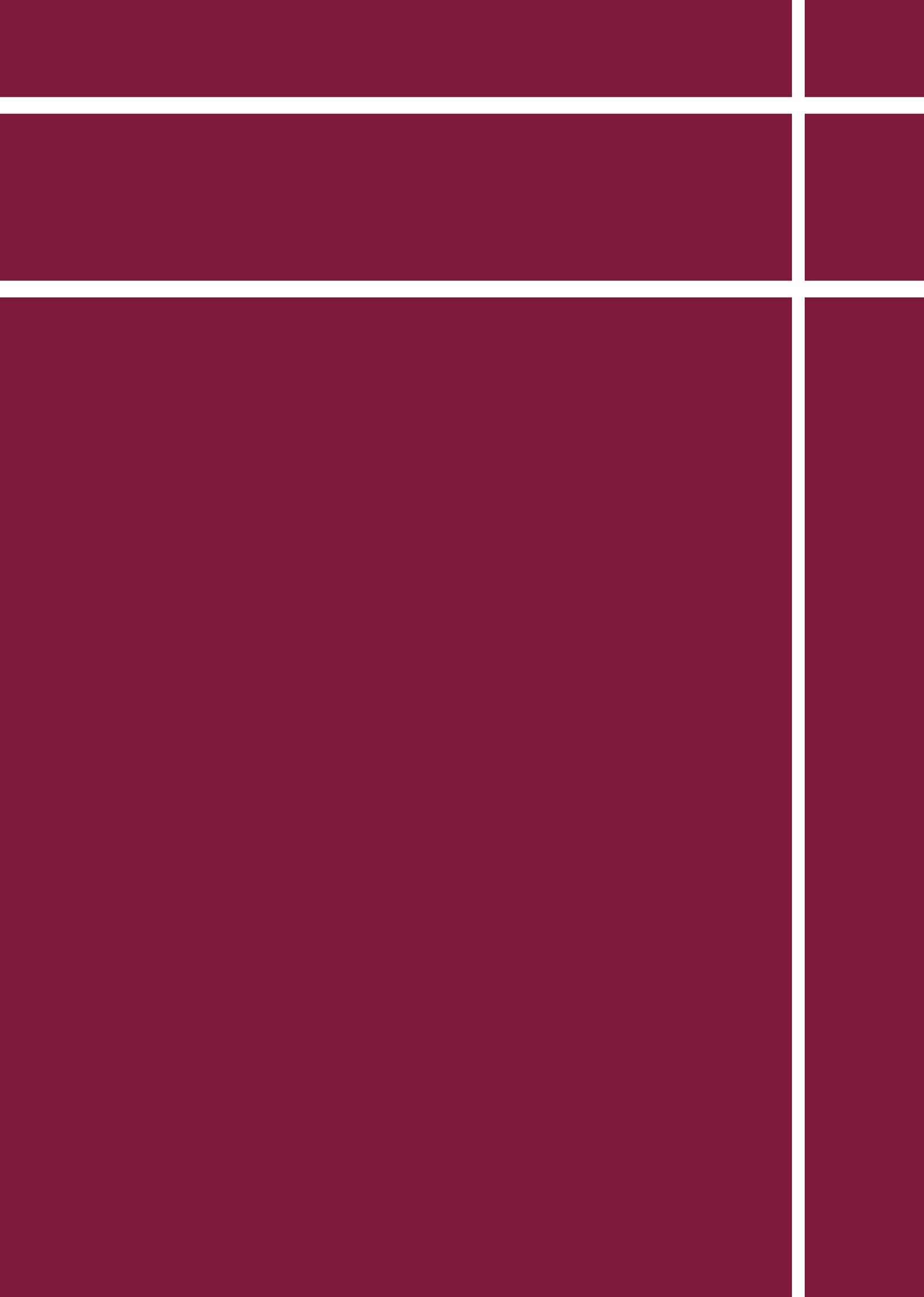
FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO PATRON #5		
DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN PERMEABLE		
DISEÑO PATRON #5	UNIDADES	
Cemento	321	kg
Agua	109	lts
Piedra	1.308	kg
Arena	96	kg

Rel. (A/C)	0,34
Rel. (AG/C)	4,07
Rel. (AF/AG)	0,07

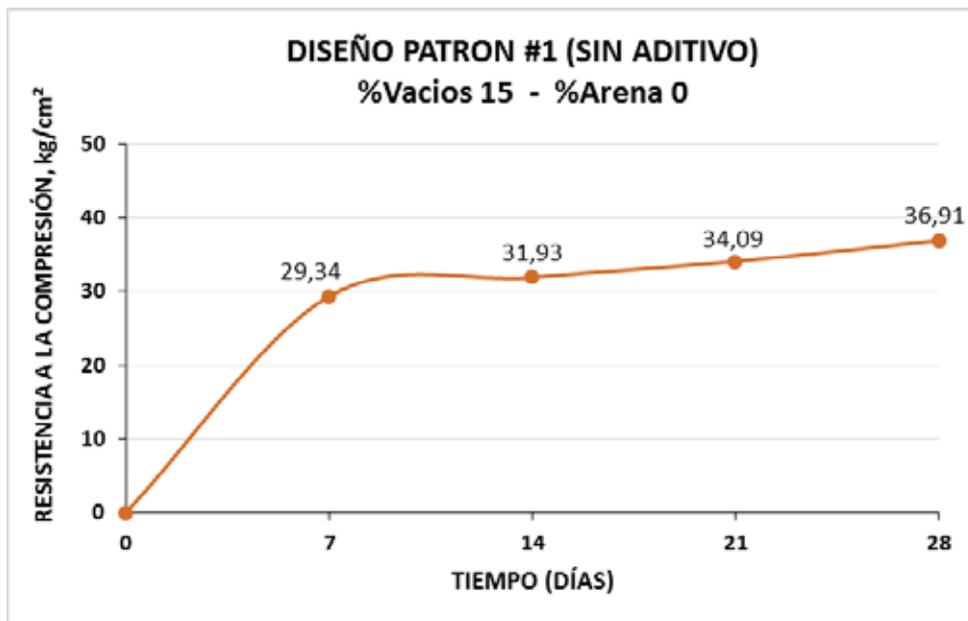
ANEXO I



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #1		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	29,34	2,88
14	31,93	3,13
21	34,09	3,34
28	36,91	3,62

% VACÍOS	% ARENA
15	0

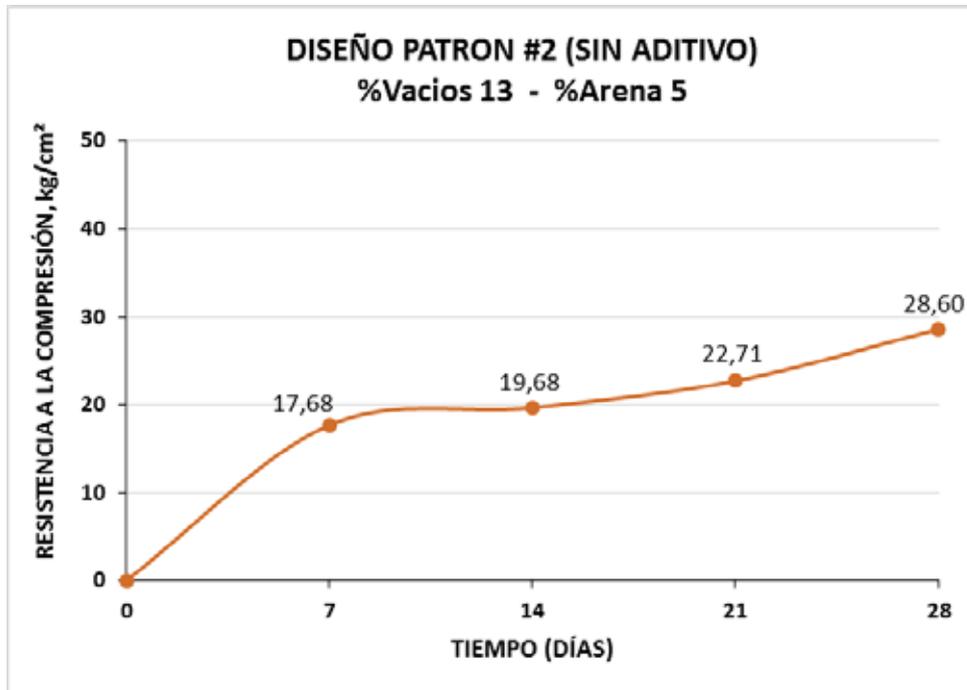
Rel. (A/C)	0,39
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #2		
EIDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	17,68	1,73
14	19,68	1,93
21	22,71	2,23
28	28,60	2,80

% VACÍOS	% ARENA
13	5

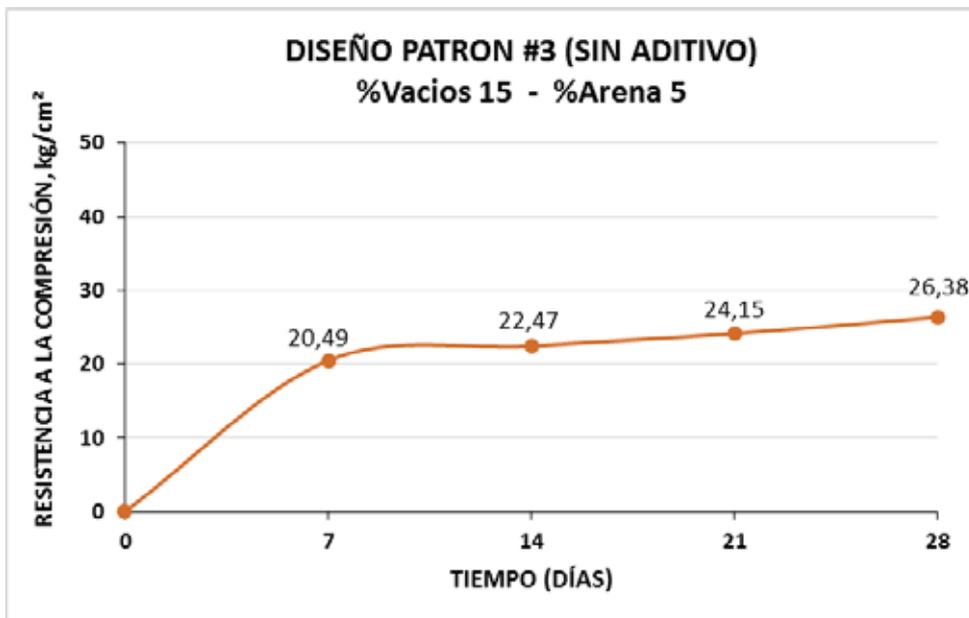
Rel. (A/C)	0,36
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #3		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	20,49	2,01
14	22,47	2,20
21	24,15	2,37
28	26,38	2,59

% VACÍOS	% ARENA
15	5

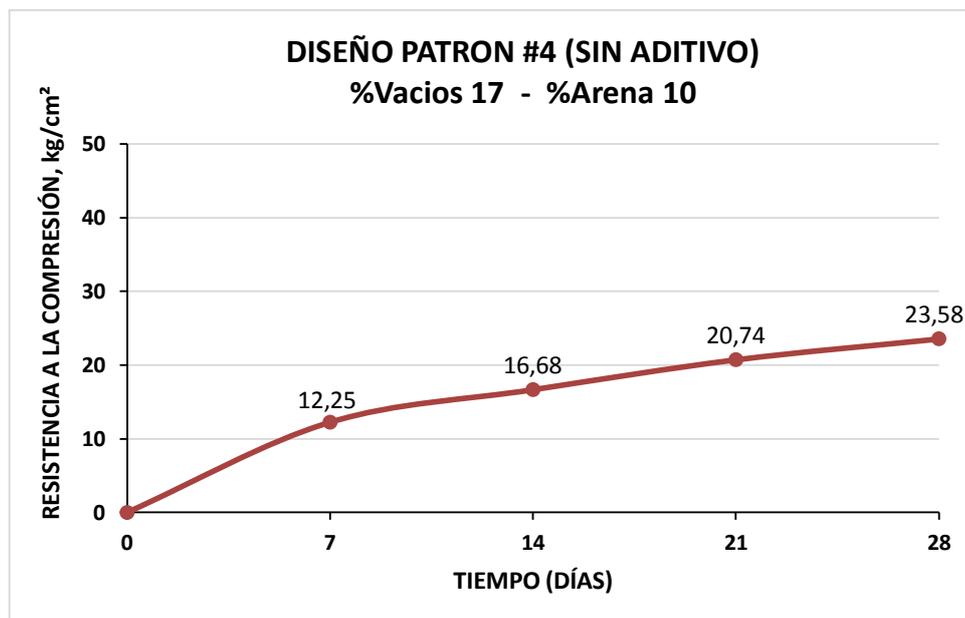
Rel. (A/C)	0,35
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #4		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	12,25	1,20
14	16,68	1,64
21	20,74	2,03
28	23,58	2,31

% VACÍOS	% ARENA
17	10

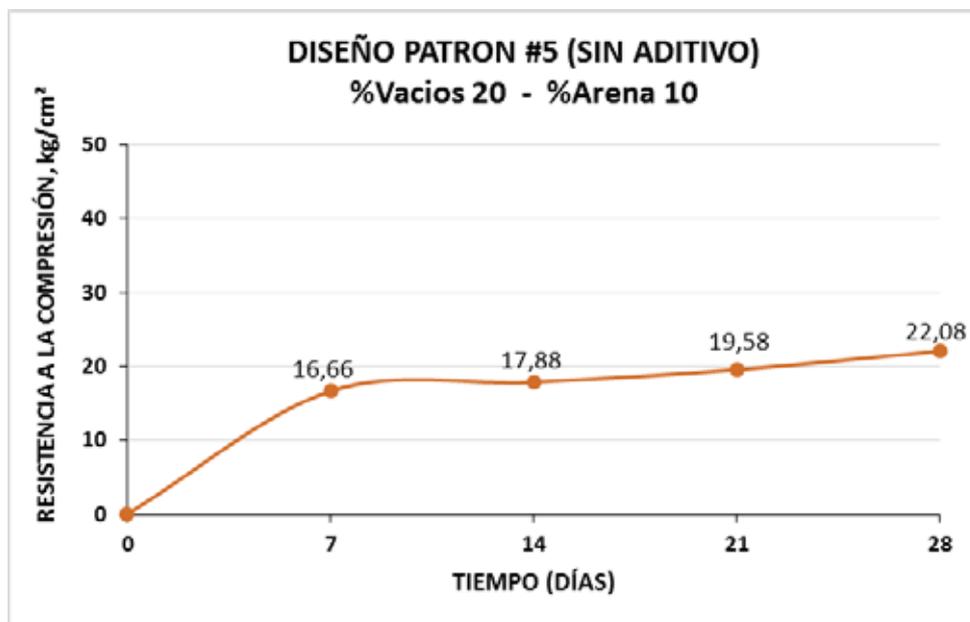
Rel. (A/C)	0,35
COLOR	



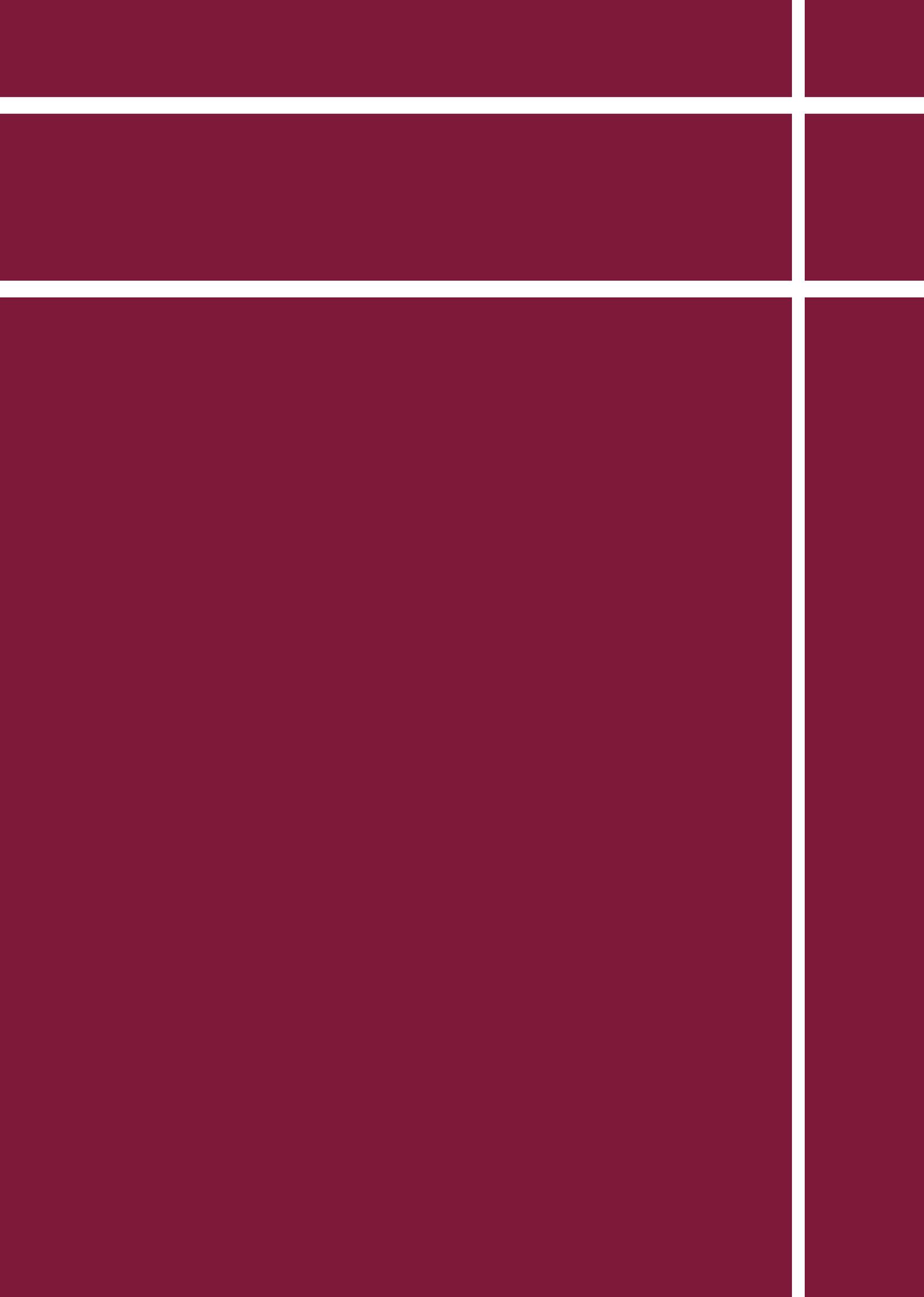
RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #5		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	16,66	1,63
14	17,88	1,75
21	19,58	1,92
28	22,08	2,17

% VACÍOS	% ARENA
20	10

Rel. (A/C)	0,34
COLOR	



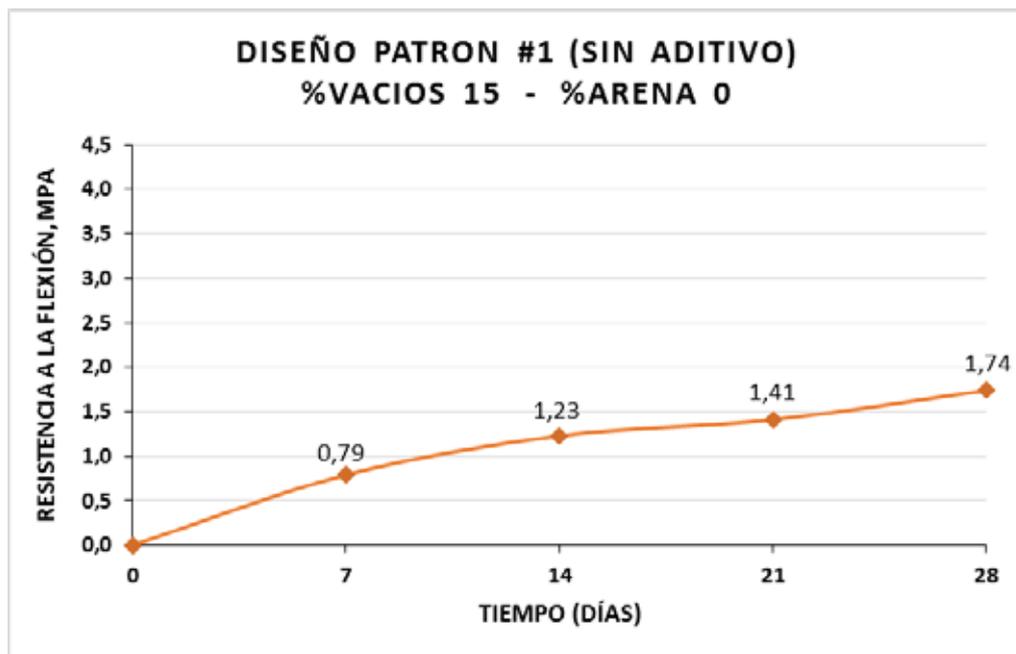
ANEXO J



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #1	
EDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	0,79
14	1,23
21	1,41
28	1,74

% VACÍOS	% ARENA
15	0

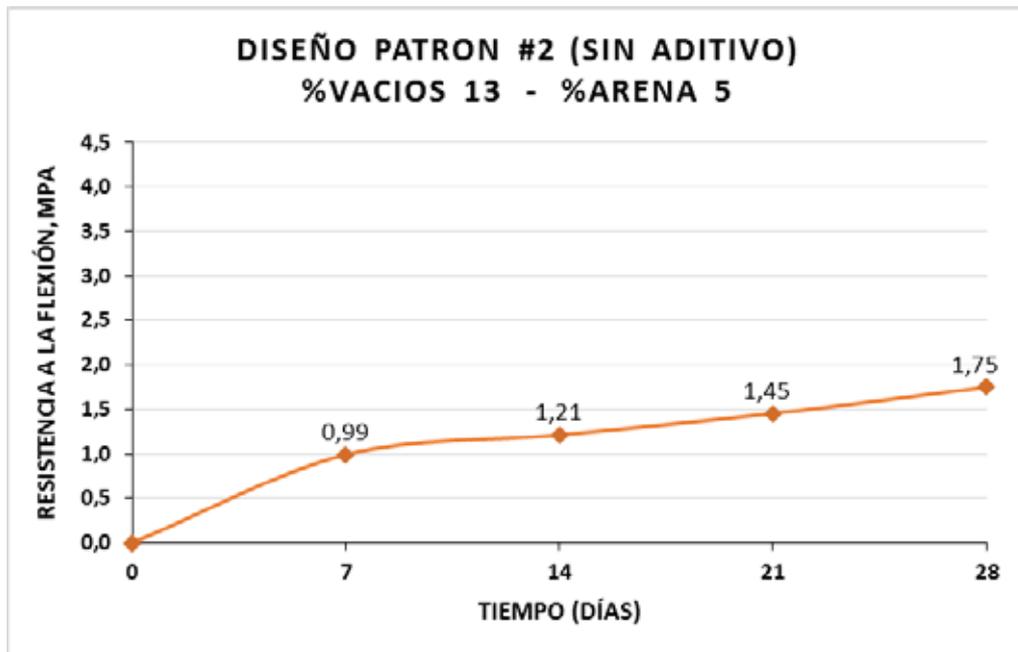
Rel. (A/C)	0,39
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #2	
EDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	0,99
14	1,21
21	1,45
28	1,75

% VACÍOS	% ARENA
13	5

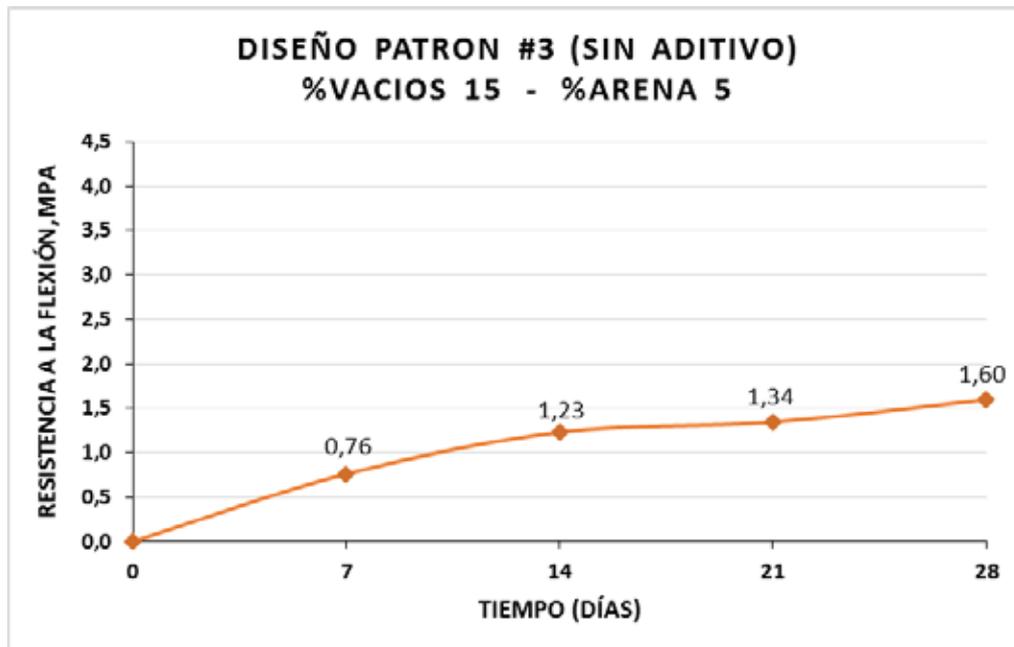
Rel. (A/C)	0,36
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #3	
EDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	0,76
14	1,23
21	1,34
28	1,60

% VACÍOS	% ARENA
15	5

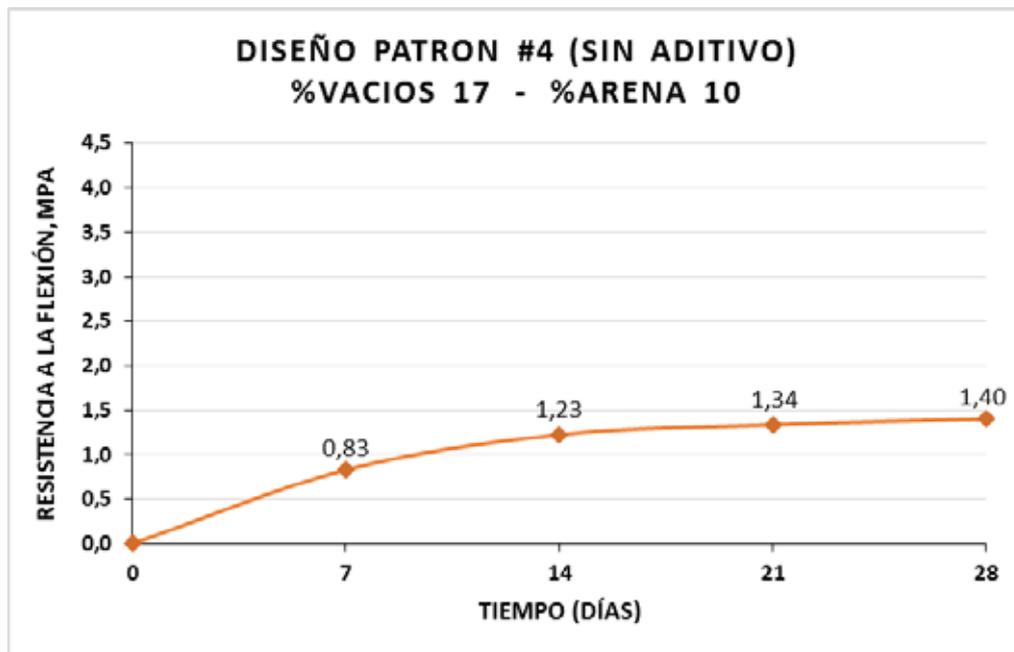
Rel. (A/C)	0,35
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO PATRON #4	
EIDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	0,83
14	1,23
21	1,34
28	1,40

% VACÍOS	% ARENA
17	10

Rel. (A/C)	0,35
COLOR	

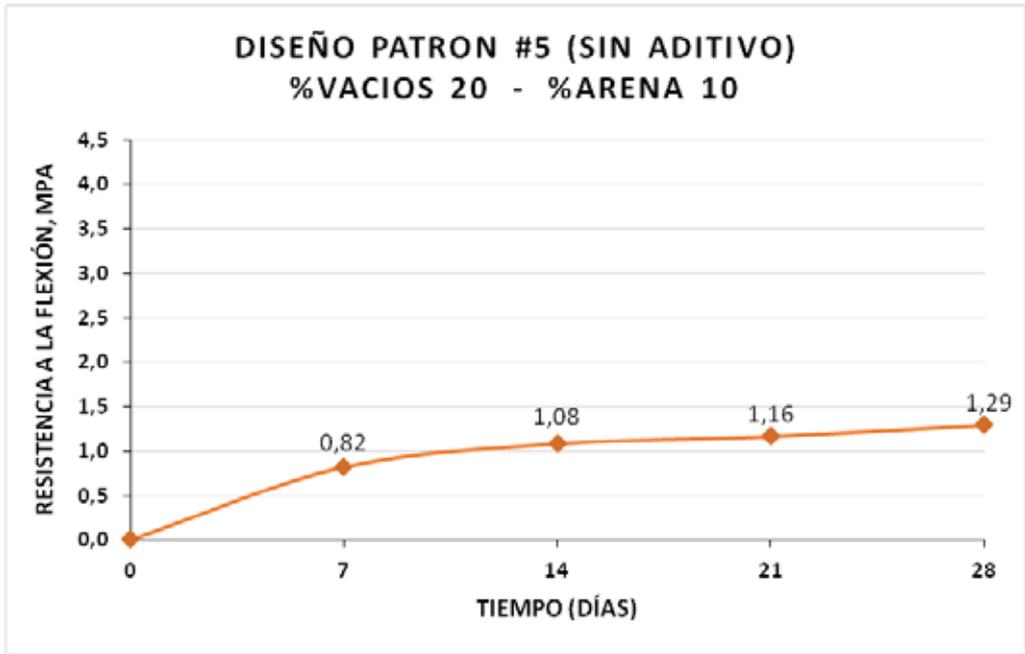


**RESUMEN DE RESULTADOS
DISEÑO PATRON #5**

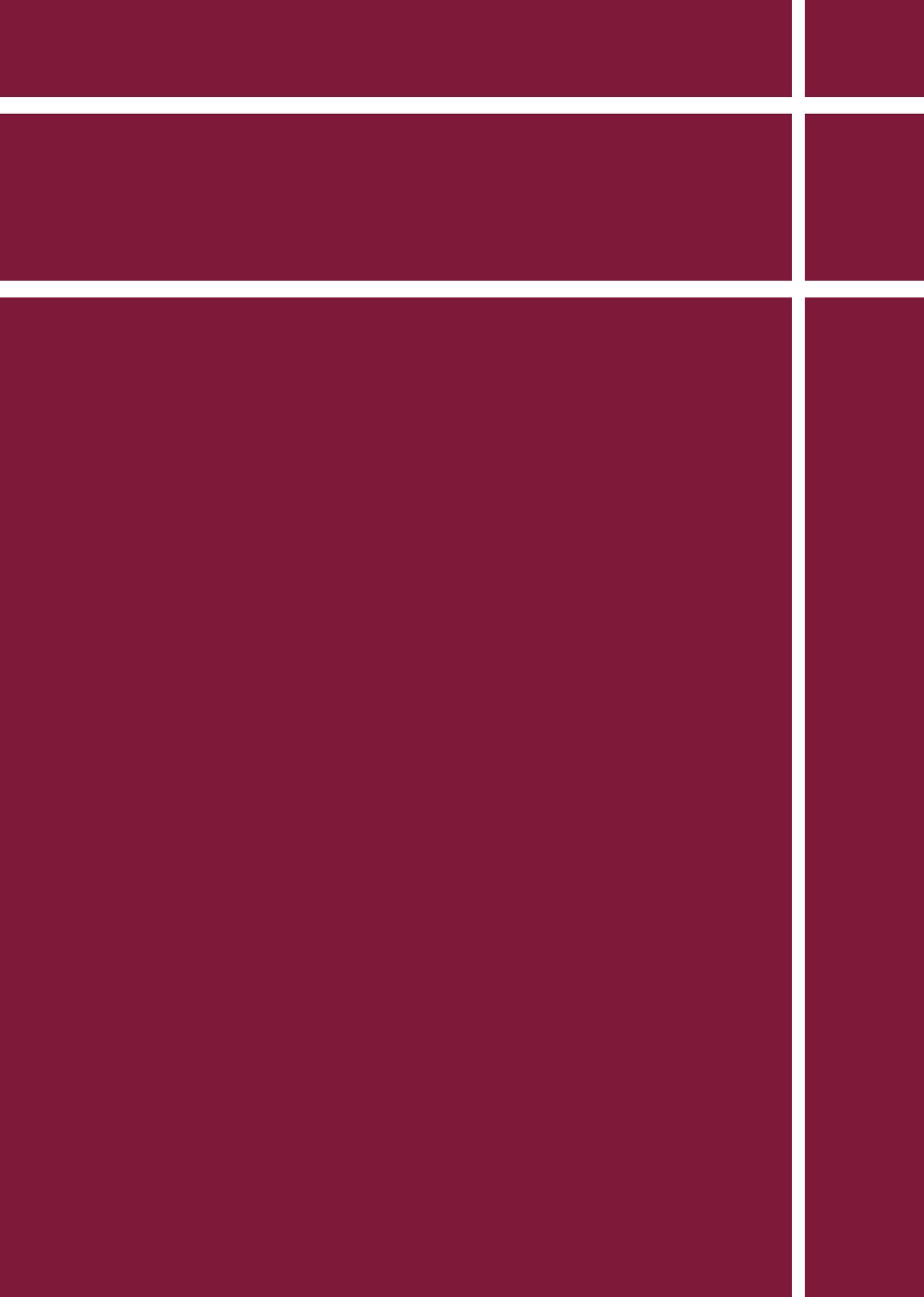
EJEMPLARES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	0,82
14	1,08
21	1,16
28	1,29

% VACÍOS	% ARENA
20	10

Rel. (A/C)	0,34
COLOR	



ANEXO K



ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO
OBRA :TESIS DE GRADO
TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE
% DE VACÍOS :15 **% ARENA** :0
FECHA :16/02/14
MUESTRA :DISEÑO PATRON # 1 (SIN ADITIVO)
OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	11,45	11,40	16,85
	2	20,00	10,00	30,00	11,13		
	3	20,00	10,00	30,00	11,61		
2	1	20,10	10,00	30,00	11,38	11,27	17,03
	2	20,10	10,00	30,00	11,29		
	3	20,10	10,00	30,00	11,15		

PROMEDIO (mm/seg) 16,94



FORMULA

$$K = A/t$$

DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

T = Tiempo (seg)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO

OBRA :TESIS DE GRADO

TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE

% DE VACÍOS DE DISEÑO :13 **% ARENA** :5

FECHA :16/02/14

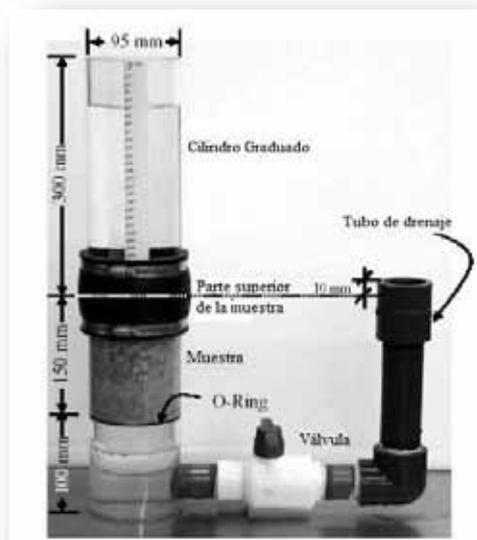
MUESTRA :DISEÑO PATRON #2 (SIN ADITIVO)

OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	14,21	14,25	13,48
	2	20,00	10,00	30,00	14,37		
	3	20,00	10,00	30,00	14,16		
2	1	21,10	10,00	30,00	14,64	14,53	13,21
	2	21,10	10,00	30,00	14,42		
	3	21,10	10,00	30,00	14,54		

PROMEDIO (mm/seg)

13,34



FORMULA

$$K = A/t$$

DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

T = Tiempo (seg)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO

OBRA :TESIS DE GRADO

TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE

% DE VACÍOS DE DISEÑO :15 **% ARENA** :5

FECHA :16/02/14

MUESTRA :DISEÑO PATRON #3 (SIN ADITIVO)

OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	13,20	13,44	14,28
	2	20,00	10,00	30,00	13,45		
	3	20,00	10,00	30,00	13,68		
2	1	21,10	10,00	30,00	13,53	13,45	14,28
	2	21,10	10,00	30,00	13,39		
	3	21,10	10,00	30,00	13,42		

PROMEDIO (mm/seg) 14,28



FORMULA

$$K = A/t$$

DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

T = Tiempo (seg)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO

OBRA :TESIS DE GRADO

TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE

% DE VACÍOS DE DISEÑO :17 **% ARENA** :10

FECHA :16/02/14

MUESTRA :DISEÑO PATRON #4 (SIN ADITIVO)

OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	12,54	12,40	15,49
	2	20,00	10,00	30,00	12,39		
	3	20,00	10,00	30,00	12,26		
2	1	21,10	10,00	30,00	12,64	12,65	15,17
	2	21,10	10,00	30,00	12,73		
	3	21,10	10,00	30,00	12,59		

PROMEDIO (mm/seg) 15,33



FORMULA

$$K = A/t$$

DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

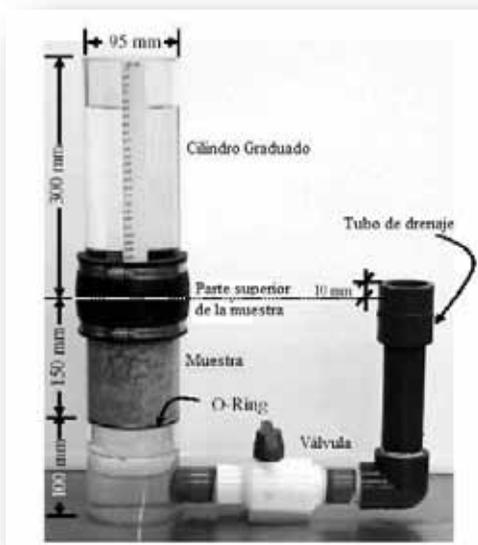
T = Tiempo (seg)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO
OBRA :TESIS DE GRADO
TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE
% DE VACÍOS DE DISEÑO :20 **% ARENA** :10
FECHA :16/02/14
MUESTRA :DISEÑO PATRON #5 (SIN ADITIVO)
OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	11,96	12,15	15,80
	2	20,00	10,00	30,00	12,16		
	3	20,00	10,00	30,00	12,34		
2	1	21,10	10,00	30,00	12,25	11,76	16,33
	2	21,10	10,00	30,00	11,90		
	3	21,10	10,00	30,00	11,12		

PROMEDIO (mm/seg) 16,06



FORMULA

$$K = A/t$$

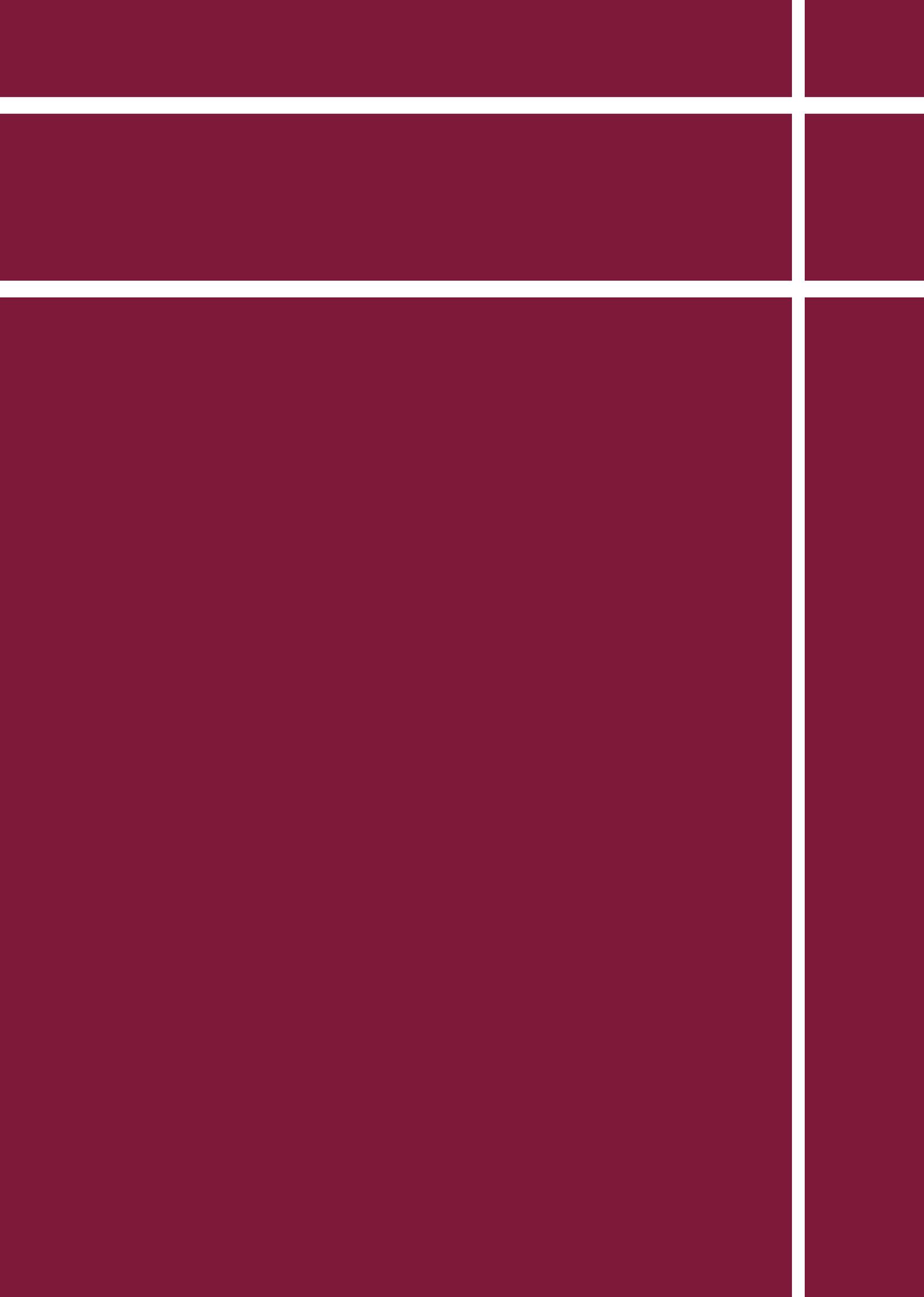
DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

T = Tiempo (seg)

ANEXO L



DISEÑO DE HORMIGÓN PERMEABLE

SOLICITA : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
OBRA : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE
FECHA : 17/03/14
MUESTRA : DISEÑOS CON ADITIVOS

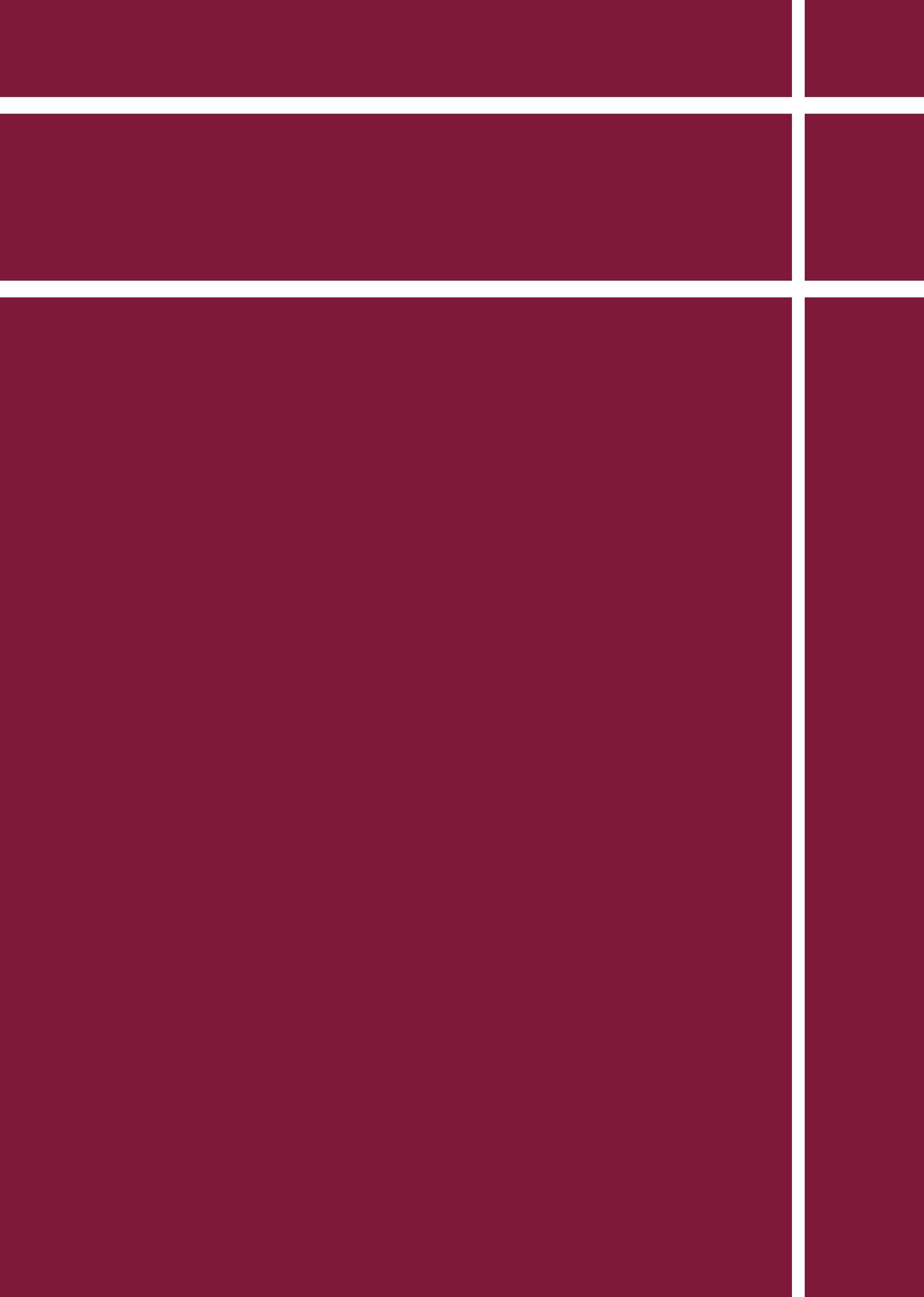
	PVS (Kg/m ³)	PVV (Kg/m ³)	DSSS (Kg/m ³)	ABS (%)
PIEDRA	1.312	1.406	2.427	1,42

	PVS (Kg/m ³)	DSSS (Kg/m ³)	ABS (%)	M.F
ARENA	1.659	2.618	0,36	3,05

DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5
% Vacíos				
15	13	15	17	20
% ARENA				
0	5	5	10	10

DOSIFICACIÓN EN KG, PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN PERMEABLE						UNIDADES
Cemento	350	355	342	327	321	Kg
Agua	137	128	120	115	109	lts
Adit. Plastol 6000	1.400	1.420	1.368	1.308	1.284	cc
Adit. Eucon WO	700	710	684	654	642	cc
Piedra	1.392	1.350	1.350	1.308	1.308	Kg
Arena	0	153	133	154	96	Kg
Rel. A/C	0,39	0,36	0,35	0,35	0,34	
Rel. AG/C	3,98	3,80	3,95	4,00	4,07	
Rel. AF/AG	0	0,11	0,10	0,12	0,07	
Rev.	0	0	0	0	0	cm
COLOR						

ANEXO M





ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

SOLICITA : SR. ISMAEL SANTOS CAYO
OBRA : TESIS DE GRADO
TIPO DE MATERIAL : HORMIGÓN PERMEABLE
% VACÍOS DE DISEÑO : 15 **% ARENA** : 0

MUESTRA : DISEÑO #1 CON ADITIVO
FECHA : 19/03/14

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE		
MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	15.698
MASA DEL CONCRETO (kg)		13.284
DENSIDAD (kg/m³)		1.922,01

FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO #1 CON ADITIVO		
DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN PERMEABLE		
DISEÑO #1 CON ADITIVO	UNIDADES	
Cemento	350	kg
Agua	137	lts
Adit. Plastol 6000	1.400	cc
Adit. Eucon WO	700	cc
Piedra	1.392	kg
Arena	N/A	kg
	Rel. (A/C)	0,39
	Rel. (AG/C)	3,98
	Rel. (AF/AG)	0

**ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO**

SOLICITA : SR. ISMAEL SANTOS CAYO	MUESTRA : DISEÑO #2 CON ADITIVO
OBRA : TESIS DE GRADO	FECHA : 19/03/14
TIPO DE MATERIAL : HORMIGÓN PERMEABLE	
% VACÍOS DE DISEÑO : 13	% ARENA : 5

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	15.517
MASA DEL CONCRETO (kg)		13.103
DENSIDAD (kg/m³)		1.895,83

FORMULA

DENSIDAD:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO #2 CON ADITIVO

**DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m³
DE HORMIGÓN PERMEABLE**

DISEÑO #2 CON ADITIVO	UNIDADES	
Cemento	355	kg
Agua	128	lts
Adit. Plastol 6000	1.420	cc
Adit. Eucon WO	710	cc
Piedra	1.350	kg
Arena	153	kg

Rel. (A/C)	0,36
Rel. (AG/C)	3,80
Rel. (AF/AG)	0,11

**ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO**

SOLICITA	: SR. ISMAEL SANTOS CAYO	MUESTRA	: DISEÑO #3 CON ADITIVO
OBRA	: TESIS DE GRADO	FECHA	19/03/14
TIPO DE MATERIAL	: HORMIGÓN PERMEABLE		
% VACÍOS DE DISEÑO	: 15	% ARENA	: 5

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	15.239
MASA DEL CONCRETO (kg)		12.825
DENSIDAD (kg/m³)		1.855,60

FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO #3 CON ADITIVO

**DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m³
DE HORMIGÓN PERMEABLE**

DISEÑO #3 CON ADITIVO	UNIDADES			
Cemento	342	kg	Rel. (A/C)	0,35
Agua	120	lts	Rel. (AG/C)	3,95
Adit. PlastoI 6000	1.368	cc	Rel. (AF/AG)	0,10
Adit. Eucon WO	684	cc		
Piedra	1.350	kg		
Arena	133	kg		



ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

SOLICITA : SR. ISMAEL SANTOS CAYO	MUESTRA : DISEÑO #4 CON ADITIVO
OBRA : TESIS DE GRADO	FECHA : 19/03/14
TIPO DE MATERIAL : HORMIGÓN PERMEABLE	
% VACÍOS DE DISEÑO : 17	% ARENA : 10

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE

MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	14.961
MASA DEL CONCRETO (kg)		12.547
DENSIDAD (kg/m³)		1.815,38

FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO #4 CON ADITIVO

DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m³ DE HORMIGÓN PERMEABLE

DISEÑO #4 CON ADITIVO	UNIDADES	
Cemento	327	kg
Agua	115	lts
Adit. Plastol 6000	1.308	cc
Adit. Eucon WO	654	cc
Piedra	1.308	kg
Arena	154	kg

Rel. (A/C)	0,35
Rel. (AG/C)	4,00
Rel. (AF/AG)	0,12



ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

SOLICITA : SR. ISMAEL SANTOS CAYO	MUESTRA : DISEÑO #5 CON ADITIVO
OBRA : TESIS DE GRADO	FECHA 19/03/14
TIPO DE MATERIAL : HORMIGÓN PERMEABLE	
% VACÍOS DE DISEÑO : 20	% ARENA : 10

DENSIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE		
MASA DEL RECIPIENTE VACÍO (kg)	M_m	2.414
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (m ³)	V_m	0,0069115
MASA DEL RECIPIENTE + CONCRETO (kg)	M_c	14.692
MASA DEL CONCRETO (kg)		12.278
DENSIDAD (kg/m³)		1.776,46

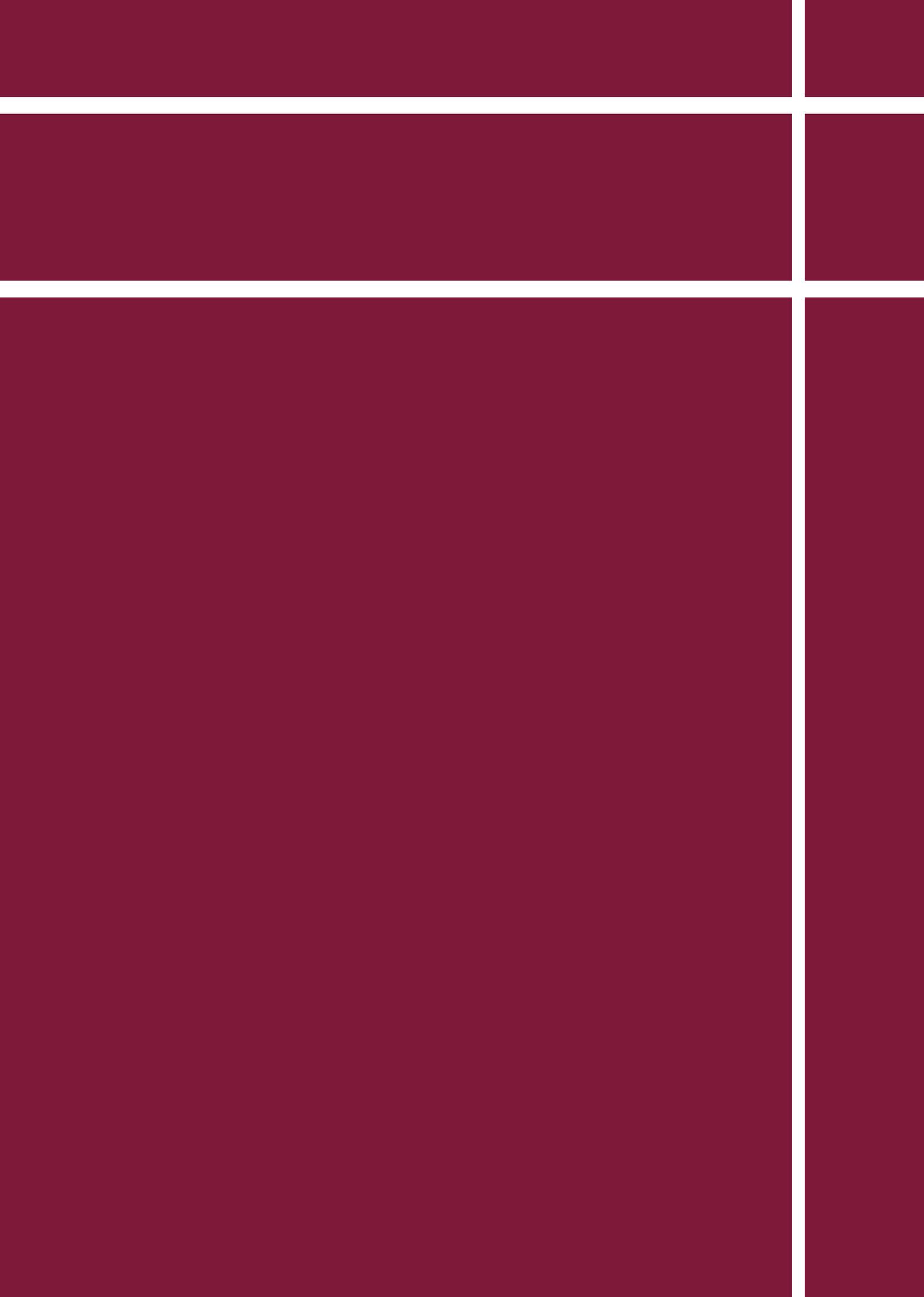
FORMULA

DENSIDAD:
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

DISEÑO #5 CON ADITIVO		
DOSIFICACION EN KG, PARA 1 m ³		
DE HORMIGÓN PERMEABLE		
DISEÑO #5 CON ADITIVO	UNIDADES	
Cemento	321	kg
Agua	109	lts
Adit. Plastol 6000	1.284	cc
Adit. Eucon WO	642	cc
Piedra	1.308	kg
Arena	96	kg

Rel. (A/C)	0,34
Rel. (AG/C)	4,07
Rel. (AF/AG)	0,07

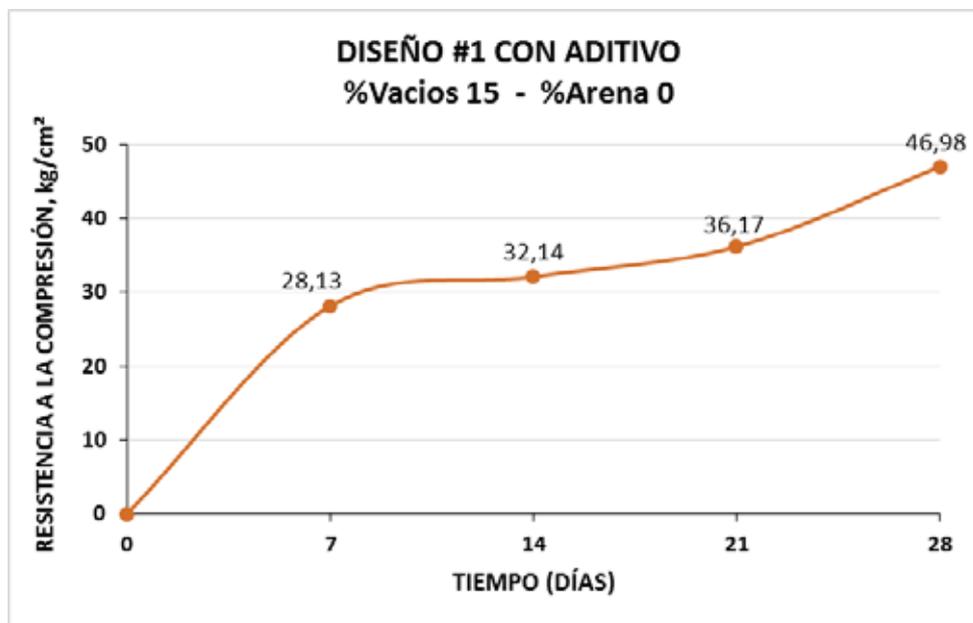
ANEXO N



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #1 CON ADITIVO		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	28,13	2,76
14	32,14	3,15
21	36,17	3,55
28	46,98	4,61

% VACÍOS	% ARENA
15	0

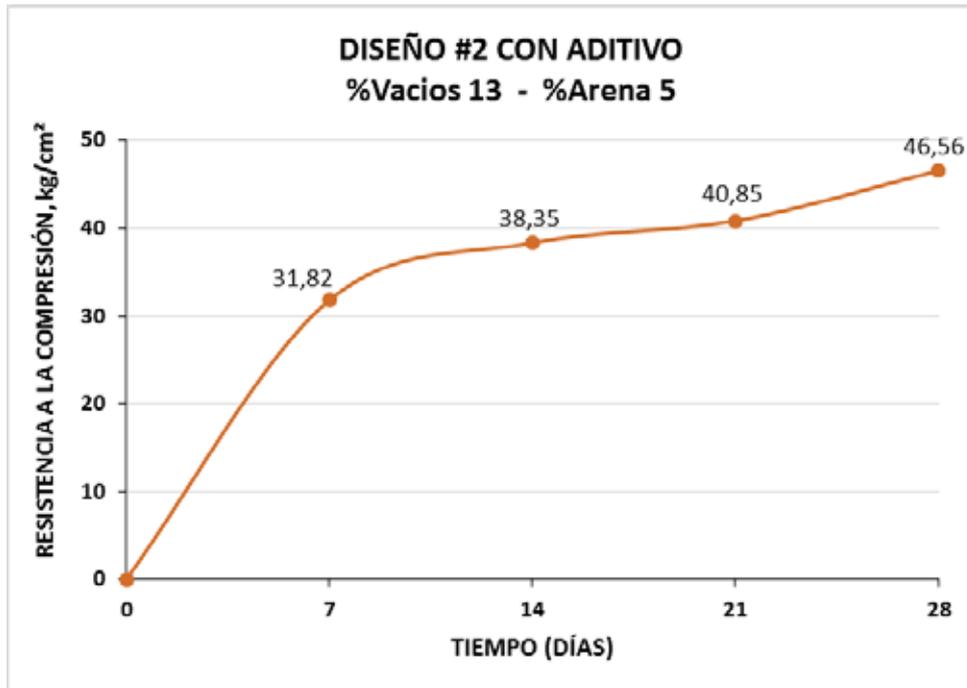
Rel. (A/C)	0,39
COLOR	



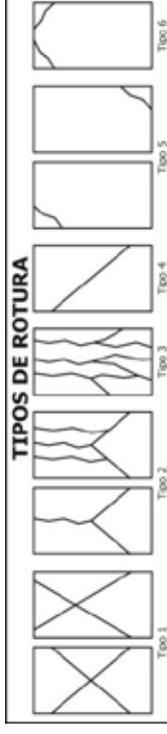
RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #2 CON ADITIVO		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	31,82	3,12
14	38,35	3,76
21	40,85	4,01
28	46,56	4,57

% VACÍOS	% ARENA
13	5

Rel. (A/C)	0,36
COLOR	



**PRUEBA A LA COMPRESIÓN
SIMPLE (CILINDROS)**



Solicita : SR. ISMAEL SANTOS CAYO

Obra : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE - DISEÑO #3 CON ADITIVO

Fiscaliza

Fecha 16/abr/2014

Contrato

(20) Cilindros	Rev. (cm)	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Carga KN	Área (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (MPa)	Masa (gr.)	Díam. D (cm)	Altura H (cm)	Densidad (Kg/m ³)	H/D	Fac. correc.	Tipo rotura	% VACIOS	% ARENA	DISEÑO #3 CON ADITIVO	
																		COLOR	Rev. (A/C)
1		19/mar/2014	26/mar/2014	7	24,13	78,54	31,33	3,07	2.845,00	10,00	20,10	1.802,17	2,01	1,000	3	15	5		
2		19/mar/2014	26/mar/2014	7	22,13	78,54	28,73	2,82	2.760,00	10,00	20,20	1.739,67	2,02	1,000	3				
3		19/mar/2014	26/mar/2014	7	21,52	78,54	27,94	2,74	2.849,00	10,00	20,40	1.778,16	2,04	1,000	3				
4		19/mar/2014	26/mar/2014	7	24,37	78,54	31,64	3,10	2.705,00	10,00	20,40	1.688,29	2,04	1,000	3				
5		19/mar/2014	26/mar/2014	7	19,90	78,54	25,84	2,53	2.822,00	10,00	20,20	1.778,75	2,02	1,000	3				
6		19/mar/2014	02/abr/2014	14	27,93	78,54	36,26	3,56	3.057,00	10,00	20,20	1.926,87	2,02	1,000	4				
7		19/mar/2014	02/abr/2014	14	27,62	78,54	35,86	3,52	2.906,00	10,00	20,30	1.822,67	2,03	1,000	3				
8		19/mar/2014	02/abr/2014	14	30,30	78,54	39,34	3,86	3.010,00	10,00	20,10	1.906,69	2,01	1,000	3				
9		19/mar/2014	02/abr/2014	14	28,84	78,54	37,44	3,67	3.016,00	10,00	20,10	1.910,49	2,01	1,000	3				
10		19/mar/2014	02/abr/2014	14	32,26	78,54	41,88	4,11	2.945,00	10,00	20,20	1.856,28	2,02	1,000	3				
11		19/mar/2014	09/abr/2014	21	33,47	78,54	43,46	4,26	2.890,00	10,00	20,10	1.830,67	2,01	1,000	3				
12		19/mar/2014	09/abr/2014	21	34,23	78,54	44,44	4,36	2.910,00	10,00	20,10	1.843,34	2,01	1,000	4				
13		19/mar/2014	09/abr/2014	21	34,50	78,54	44,79	4,39	2.930,00	10,00	20,00	1.865,29	2,00	1,000	3				
14		19/mar/2014	09/abr/2014	21	32,33	78,54	41,98	4,12	2.875,00	10,00	20,10	1.821,17	2,01	1,000	3				
15		19/mar/2014	09/abr/2014	21	32,58	78,54	42,30	4,15	2.890,00	10,00	20,20	1.821,61	2,02	1,000	4				
16		19/mar/2014	16/abr/2014	28	37,30	78,54	48,43	4,75	2.811,00	10,00	20,10	1.780,63	2,01	1,000	3				
17		19/mar/2014	16/abr/2014	28	39,28	78,54	51,00	5,00	2.857,00	10,00	20,10	1.809,77	2,01	1,000	3				
18		19/mar/2014	16/abr/2014	28	34,23	78,54	44,44	4,36	2.780,00	10,00	20,30	1.743,64	2,03	1,000	3				
19		19/mar/2014	16/abr/2014	28	34,50	78,54	44,79	4,39	2.846,00	10,00	20,20	1.793,88	2,02	1,000	3				
20		19/mar/2014	16/abr/2014	28	33,75	78,54	43,82	4,30	2.812,00	10,00	20,10	1.781,26	2,01	1,000	3				

**TESIS DE GRADO
HORMIGÓN PERMEABLE
DISEÑO #3
CON ADITIVO**

DOSIFICACIÓN

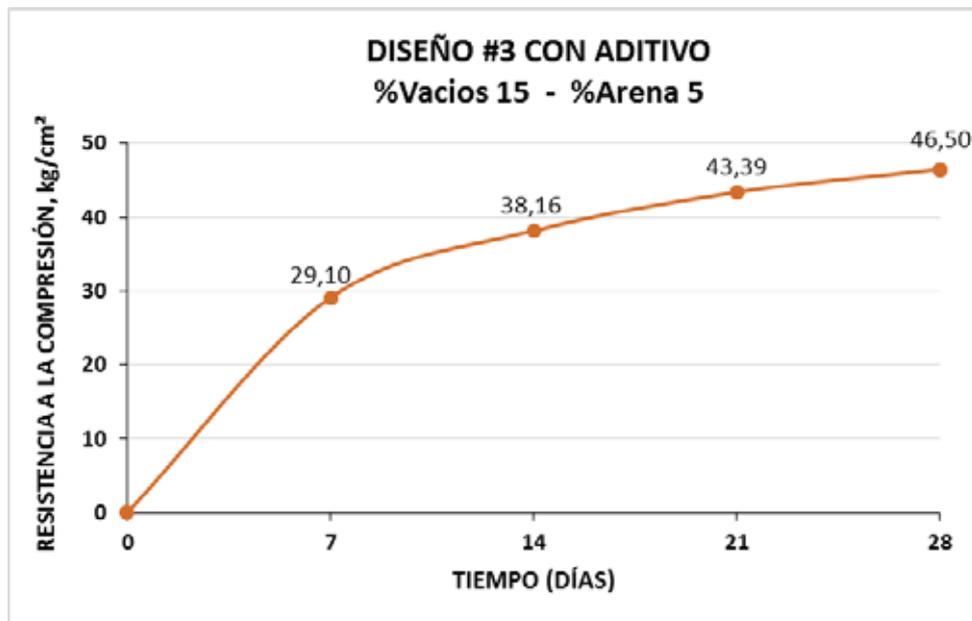
DISEÑO #3 CON ADITIVO	UNIDADES
Cemento	10,9 kg
Agua	3,8 lts
Adit. Plastof 6000	43,8 cc
Adit. Eucon WO	21,9 cc
Piedra	43,2 kg
Arena	4,9 kg
Rev.	0 cm

Rel. (A/C)	0,35
Rel. (AG/C)	3,95
Rel. (AF/AG)	0,10

RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #3 CON ADITIVO		
EDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	29,10	2,85
14	38,16	3,74
21	43,39	4,26
28	46,50	4,56

% VACÍOS	% ARENA
15	5

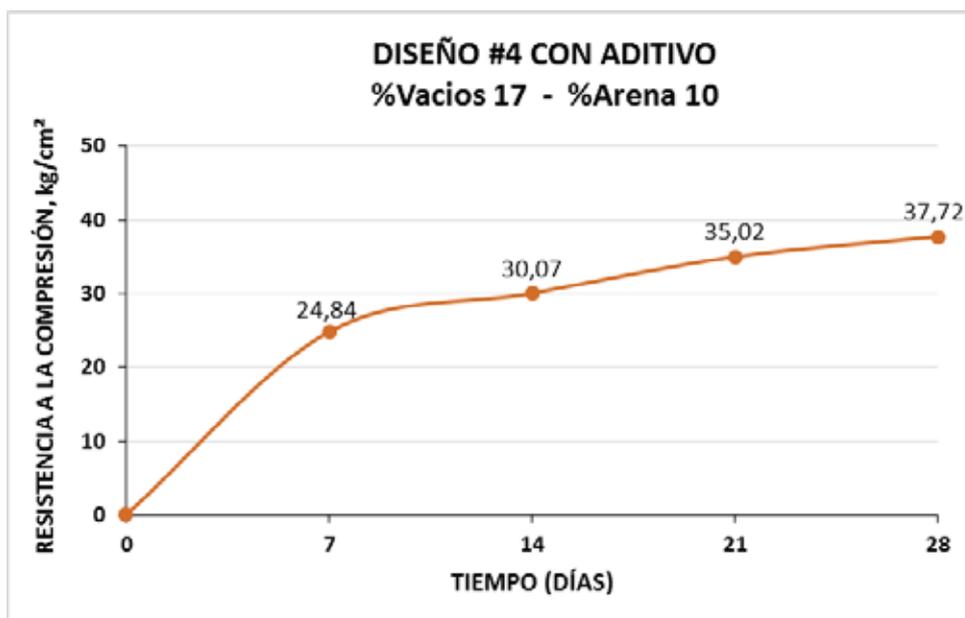
Rel. (A/C)	0,35
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #4 CON ADITIVO		
EIDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	24,84	2,44
14	30,07	2,95
21	35,02	3,43
28	37,72	3,70

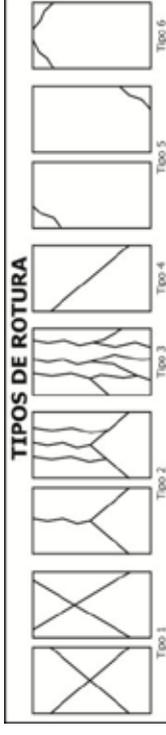
% VACÍOS	% ARENA
17	10

Rel. (A/C)	0,35
COLOR	





PRUEBA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (CILINDROS)



Solicita : SR. ISMAEL SANTOS CAYO

Obra : TESIS DE GRADO - HORMIGÓN PERMEABLE - DISEÑO #5 CON ADITIVO

Fiscaliza

Fecha 16/abr/2014

Contrato

(20) Cilindros	Rev. (cm)	Fecha de fundición	Fecha de rotura	Edad (días)	Carga KN	Área (cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (MPa)	Masa (gr.)	Diám. D (cm)	Altura H (cm)	Densidad (Kg/m ³)	H/D	Fac. correc.	Tipo rotura	% VACIOS	% ARENA	DISEÑO #5 CON ADITIVO
																20	10	COLOR
1		19/mar/2014	26/mar/2014	7	12,71	78,54	16,50	1,62	2.630,00	10,00	20,30	1.649,56	2,03	1,000	3			
2		19/mar/2014	26/mar/2014	7	13,94	78,54	18,10	1,77	2.703,00	10,00	20,00	1.720,78	2,00	1,000	3			
3		19/mar/2014	26/mar/2014	7	14,66	78,54	19,03	1,87	2.718,00	10,00	20,40	1.696,40	2,04	1,000	4			
4		19/mar/2014	26/mar/2014	7	15,84	78,54	20,57	2,02	2.690,00	10,00	20,40	1.678,92	2,04	1,000	3			
5		19/mar/2014	26/mar/2014	7	14,93	78,54	19,38	1,90	2.700,00	10,00	20,20	1.701,85	2,02	1,000	3			
6		19/mar/2014	02/abr/2014	14	15,20	78,54	19,73	1,94	2.710,00	10,00	20,20	1.708,15	2,02	1,000	3			
7		19/mar/2014	02/abr/2014	14	16,73	78,54	21,72	2,13	2.730,00	10,00	20,10	1.729,32	2,01	1,000	3			
8		19/mar/2014	02/abr/2014	14	16,13	78,54	20,94	2,05	2.780,00	10,00	20,20	1.752,28	2,02	1,000	4			
9		19/mar/2014	02/abr/2014	14	17,55	78,54	22,79	2,23	2.812,00	10,00	20,00	1.790,17	2,00	1,000	3			
10		19/mar/2014	02/abr/2014	14	17,42	78,54	22,62	2,22	2.840,00	10,00	20,10	1.799,00	2,01	1,000	3			
11		19/mar/2014	09/abr/2014	21	19,79	78,54	25,69	2,52	2.736,00	10,00	20,20	1.724,54	2,02	1,000	3			
12		19/mar/2014	09/abr/2014	21	18,40	78,54	23,89	2,34	2.760,00	10,00	20,10	1.748,32	2,01	1,000	3			
13		19/mar/2014	09/abr/2014	21	19,74	78,54	25,63	2,51	2.790,00	10,00	20,10	1.767,33	2,01	1,000	3			
14		19/mar/2014	09/abr/2014	21	20,10	78,54	26,10	2,56	2.802,00	10,00	20,00	1.783,80	2,00	1,000	3			
15		19/mar/2014	09/abr/2014	21	21,18	78,54	27,50	2,70	2.796,00	10,00	20,10	1.771,13	2,01	1,000	3			
16		19/mar/2014	16/abr/2014	28	21,88	78,54	28,41	2,79	2.636,00	10,00	20,30	1.653,33	2,03	1,000	3			
17		19/mar/2014	16/abr/2014	28	21,35	78,54	27,72	2,72	2.719,00	10,00	20,20	1.713,83	2,02	1,000	3			
18		19/mar/2014	16/abr/2014	28	23,08	78,54	29,97	2,94	2.693,00	10,00	20,20	1.697,44	2,02	1,000	3			
19		19/mar/2014	16/abr/2014	28	24,24	78,54	31,47	3,09	2.752,00	10,00	20,10	1.743,26	2,01	1,000	3			
20		19/mar/2014	16/abr/2014	28	23,61	78,54	30,65	3,01	2.712,00	10,00	20,10	1.717,92	2,01	1,000	3			

TESIS DE GRADO HORMIGÓN PERMEABLE DISEÑO #5 CON ADITIVO

DOSIFICACIÓN

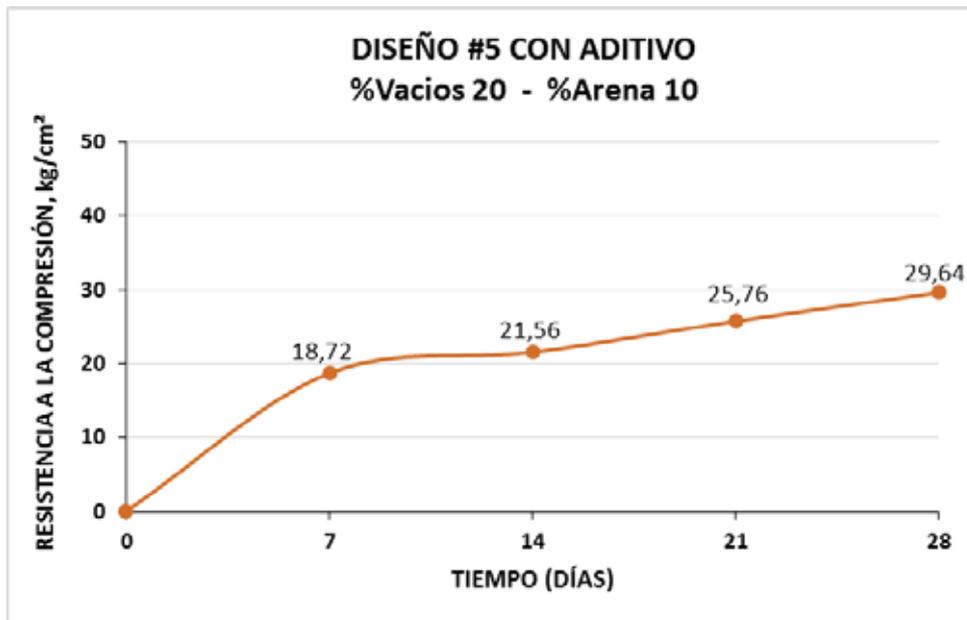
DISEÑO #5 CON ADITIVO	UNIDADES
Cemento	10,3 kg
Agua	3,5 lts
Adit. Plastol 6000	41,1 cc
Adit. Eucon WO	20,5 cc
Piedra	41,9 kg
Arena	3,1 kg
Rev.	0 cm

Rel. (A/C)	0,34
Rel. (AG/C)	4,07
Rel. (AF/AG)	0,07

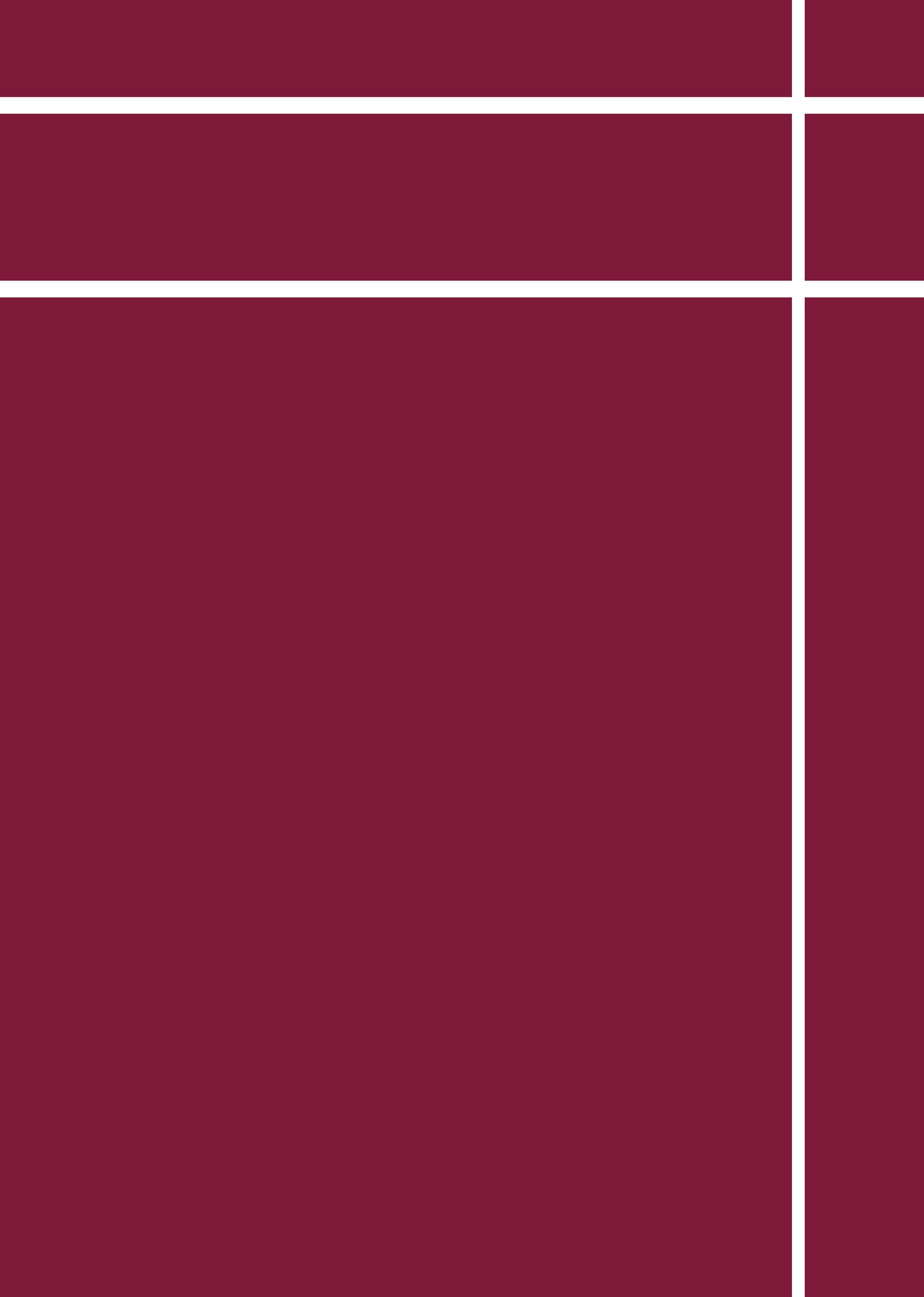
RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #5 CON ADITIVO		
EIDADES DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
	Kg/cm ²	Mpa
7	18,72	1,84
14	21,56	2,11
21	25,76	2,53
28	29,64	2,91

% VACÍOS	% ARENA
20	10

Rel. (A/C)	0,34
COLOR	



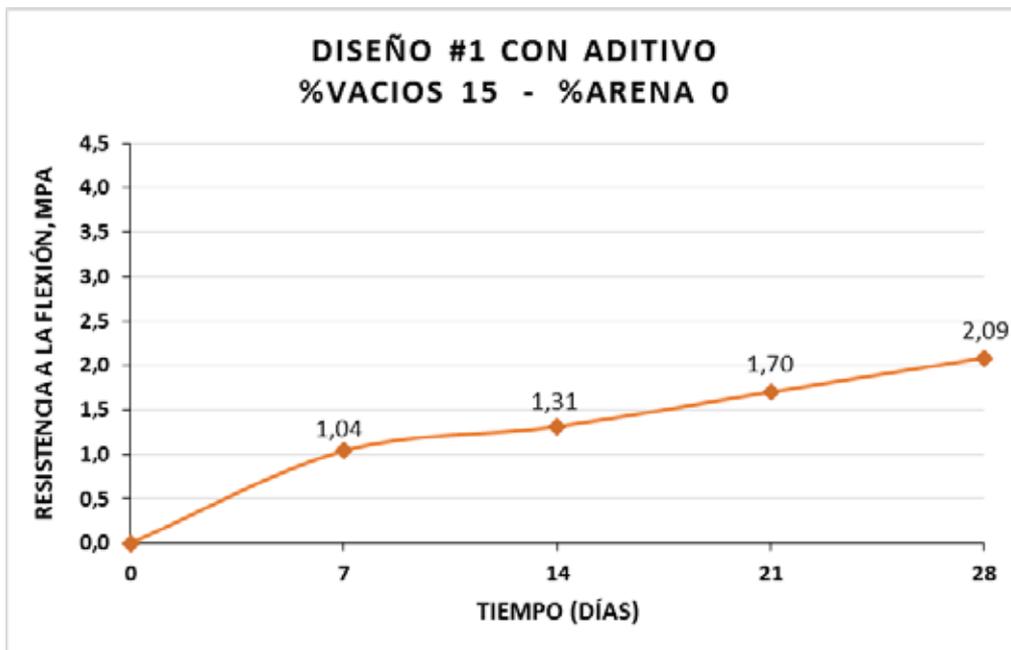
ANEXO O



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #1 CON ADITIVO	
EJEMPLARES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	1,04
14	1,31
21	1,70
28	2,09

% VACÍOS	% ARENA
15	0

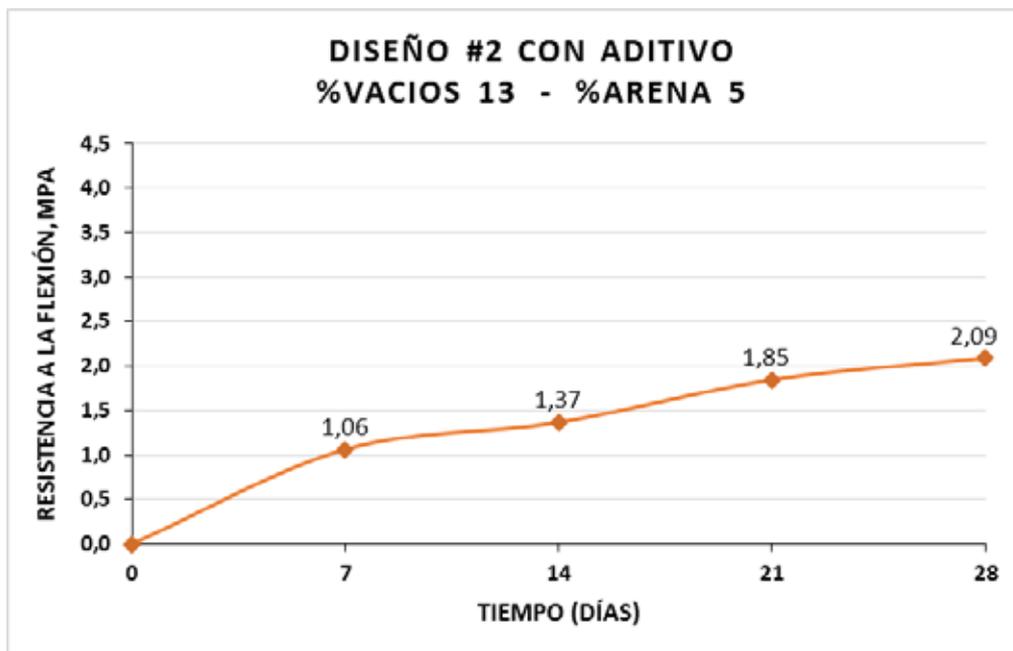
Rel. (A/C)	0,39
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #2 CON ADITIVO	
EDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	1,06
14	1,37
21	1,85
28	2,09

% VACÍOS	% ARENA
13	5

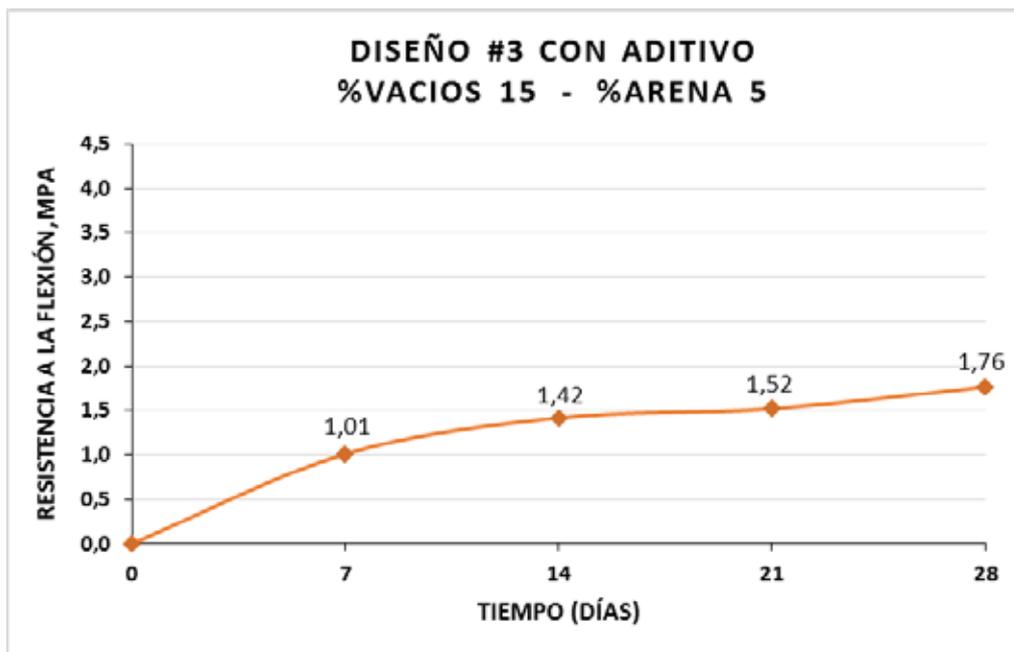
Rel. (A/C)	0,36
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #3 CON ADITIVO	
EJEMPLARES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	1,01
14	1,42
21	1,52
28	1,76

% VACÍOS	% ARENA
15	5

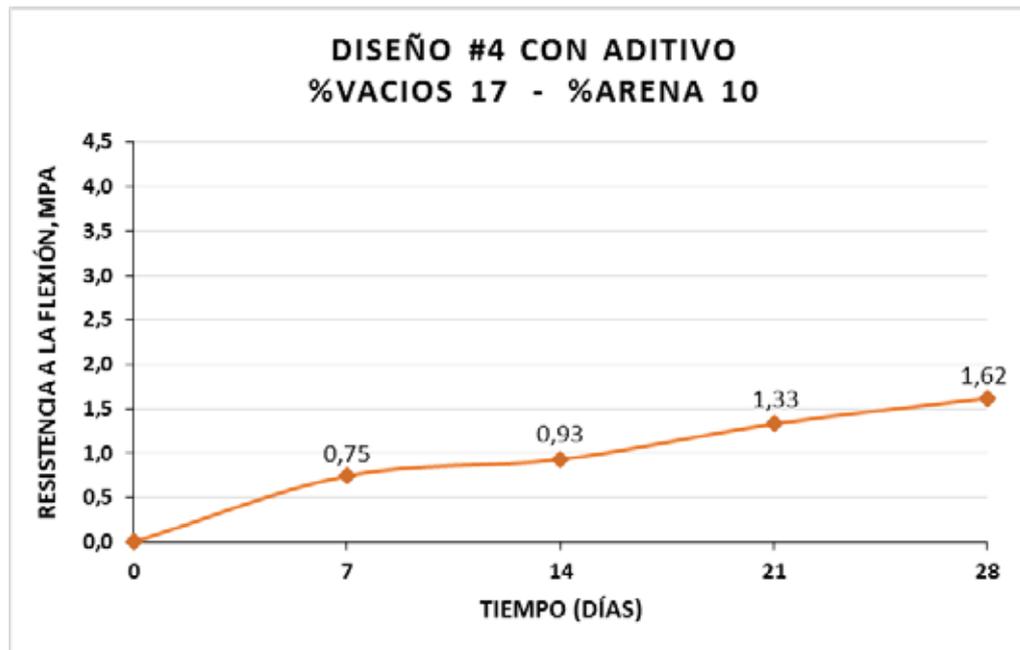
Rel. (A/C)	0,35
COLOR	



RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #4 CON ADITIVO	
EIDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	0,75
14	0,93
21	1,33
28	1,62

% VACÍOS	% ARENA
17	10

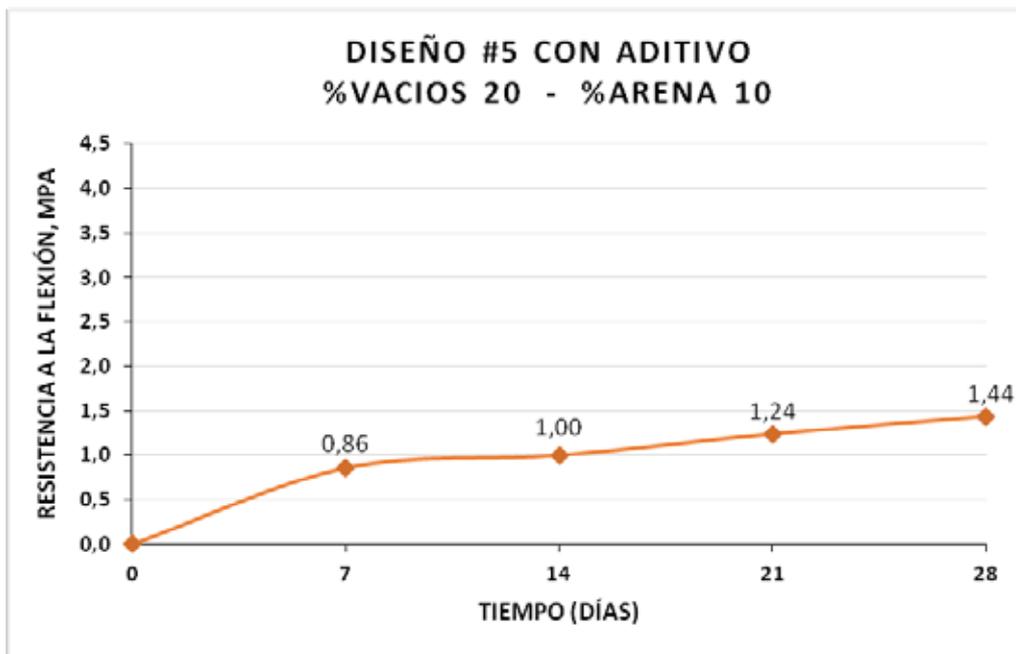
Rel. (A/C)	0,35
COLOR	



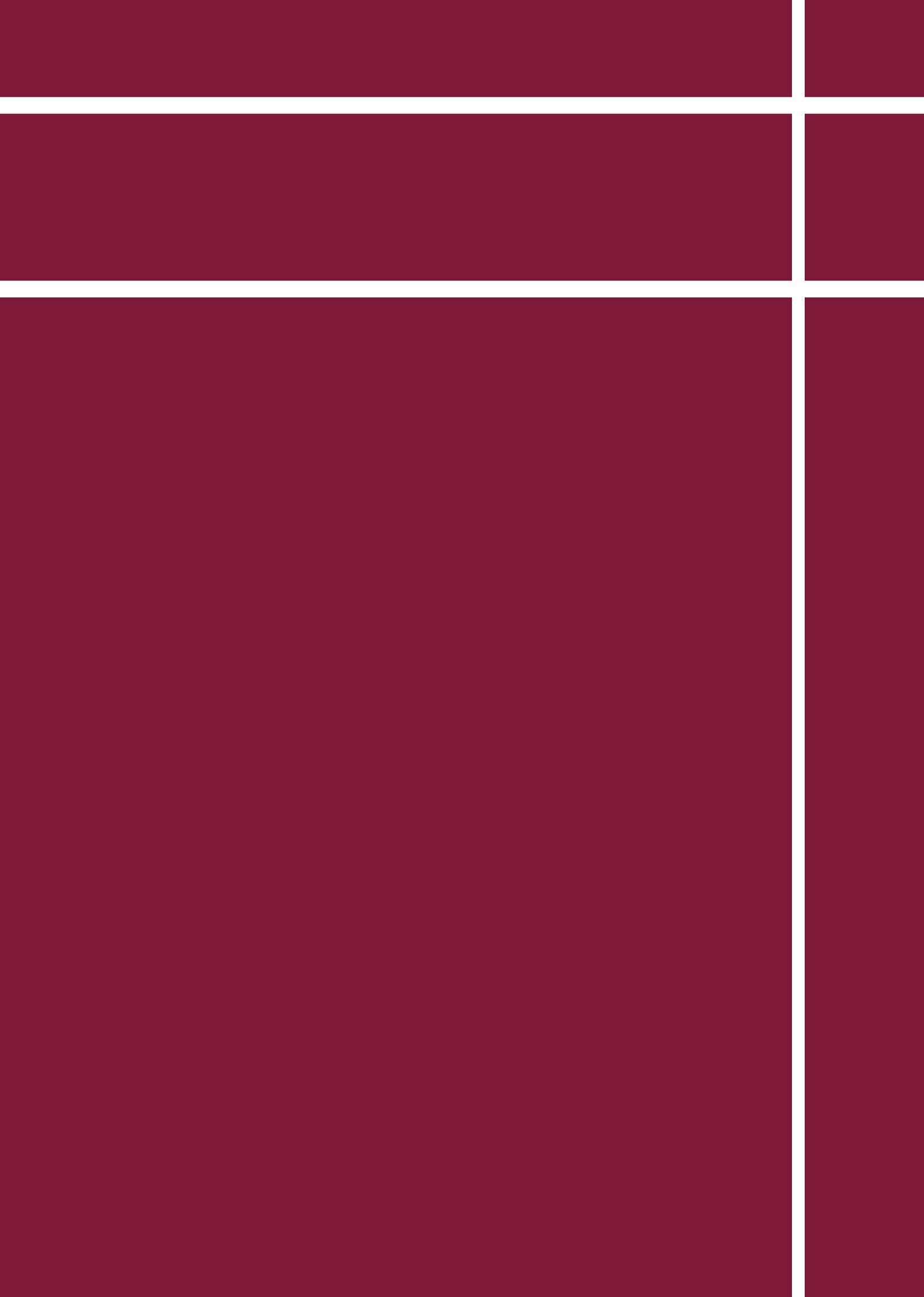
RESUMEN DE RESULTADOS DISEÑO #5 CON ADITIVO	
EIDADES DE ROTURA	MÓDULO DE ROTURA
	Mpa
7	0,86
14	1,00
21	1,24
28	1,44

% VACÍOS	% ARENA
20	10

Rel. (A/C)	0,34
COLOR	



ANEXO P



ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO
OBRA :TESIS DE GRADO
TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE
% DE VACÍOS DE DISEÑO :15 **% ARENA** :0
FECHA :26/03/14
MUESTRA :DISEÑO #1 CON ADITIVO
OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	11,68	11,63	16,50
	2	20,00	10,00	30,00	11,43		
	3	20,00	10,00	30,00	11,79		
2	1	20,10	10,00	30,00	11,53	11,39	16,86
	2	20,10	10,00	30,00	11,39		
	3	20,10	10,00	30,00	11,24		

PROMEDIO (mm/seg) 16,68



FORMULA

$$K = A/t$$

DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

T = Tiempo (seg)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO

OBRA :TESIS DE GRADO

TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE

% DE VACÍOS DE DISEÑO :13 **% ARENA** :5

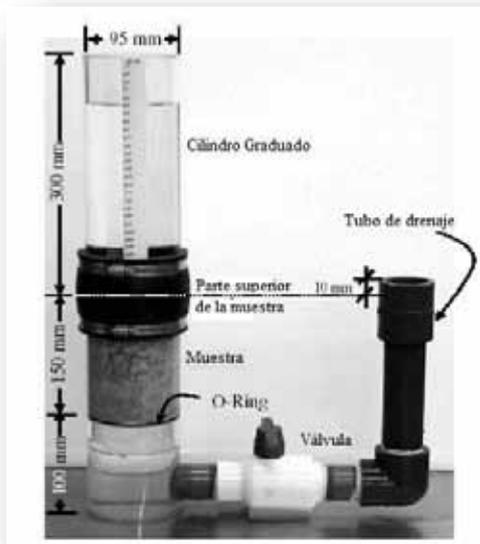
FECHA :26/03/14

MUESTRA :DISEÑO #2 CON ADITIVO

OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	14,12	14,22	13,51
	2	20,00	10,00	30,00	14,30		
	3	20,00	10,00	30,00	14,23		
2	1	21,10	10,00	30,00	14,41	14,28	13,44
	2	21,10	10,00	30,00	14,16		
	3	21,10	10,00	30,00	14,28		

PROMEDIO (mm/seg) 13,47



FORMULA

$$K = A/t$$

DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

T = Tiempo (seg)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO

OBRA :TESIS DE GRADO

TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE

% DE VACÍOS DE DISEÑO :15 **% ARENA** :5

FECHA :26/03/14

MUESTRA :DISEÑO #3 CON ADITIVO

OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	13,55	13,54	14,18
	2	20,00	10,00	30,00	13,42		
	3	20,00	10,00	30,00	13,64		
2	1	21,10	10,00	30,00	13,39	13,57	14,15
	2	21,10	10,00	30,00	13,58		
	3	21,10	10,00	30,00	13,75		

PROMEDIO (mm/seg) 14,16



FORMULA

$$K = A/t$$

DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

T = Tiempo (seg)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO

OBRA :TESIS DE GRADO

TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE

% DE VACÍOS DE DISEÑO :17 **% ARENA** :10

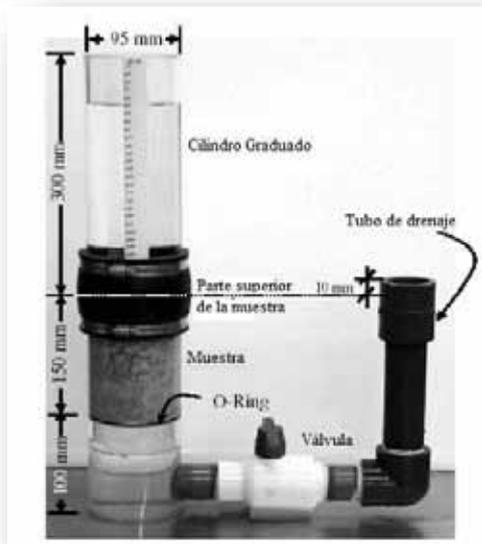
FECHA :26/03/14

MUESTRA :DISEÑO #4 CON ADITIVO

OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	12,45	12,47	15,39
	2	20,00	10,00	30,00	12,64		
	3	20,00	10,00	30,00	12,33		
2	1	21,10	10,00	30,00	12,71	12,71	15,10
	2	21,10	10,00	30,00	12,56		
	3	21,10	10,00	30,00	12,87		

PROMEDIO (mm/seg) 15,25



FORMULA

$$K = A/t$$

DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

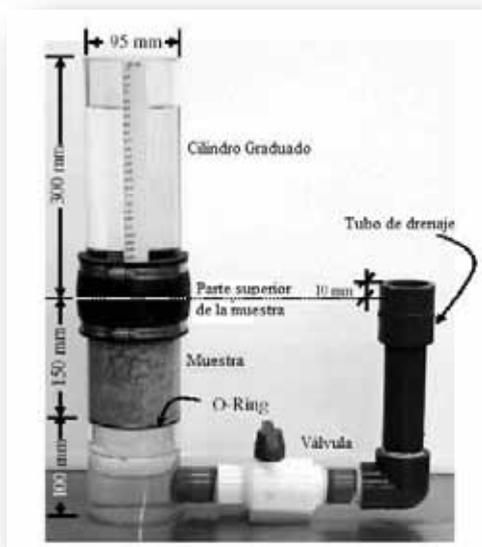
T = Tiempo (seg)

ENSAYO DE PERMEABILIDAD PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE

SOLICITA :SR. ISMAEL SANTOS CAYO
OBRA :TESIS DE GRADO
TIPO DE MATERIAL :HORMIGÓN PERMEABLE
% DE VACÍOS DE DISEÑO :20 **% ARENA** :10
FECHA :26/03/14
MUESTRA :DISEÑO #5 CON ADITIVO
OBSERVACIONES :Permeámetro de carga variable con tubería de PVC

Nº CILINDROS	Nº DE ENSAYOS	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	CARGA (cm)	TIEMPO (seg)	PROMEDIO TIEMPO (seg)	PERMEABILIDAD (mm/seg)
1	1	20,00	10,00	30,00	11,87	12,11	15,86
	2	20,00	10,00	30,00	12,30		
	3	20,00	10,00	30,00	12,15		
2	1	21,10	10,00	30,00	11,78	11,95	16,06
	2	21,10	10,00	30,00	11,96		
	3	21,10	10,00	30,00	12,12		

PROMEDIO (mm/seg) 15,96



FORMULA

$$K = A/t$$

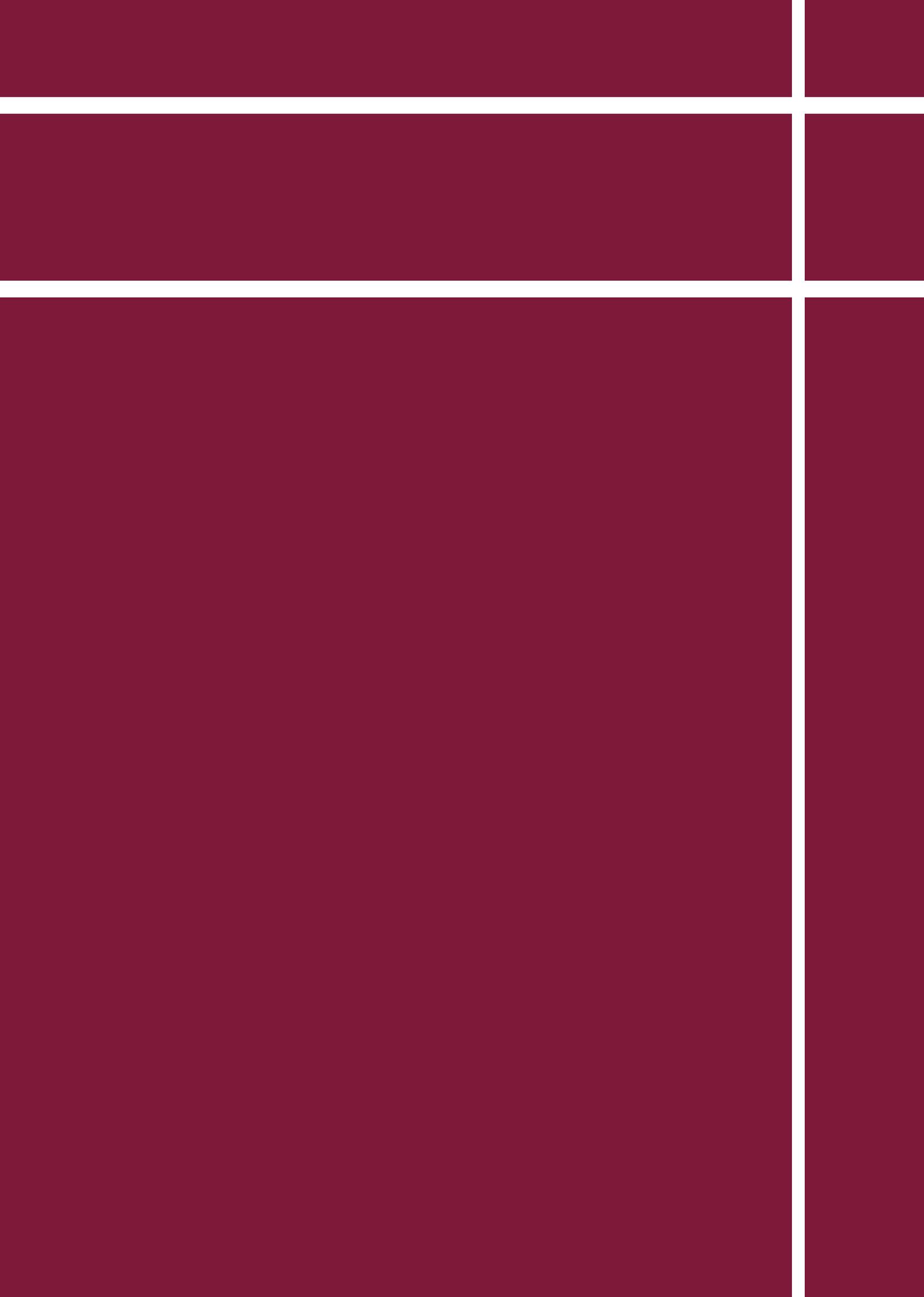
DONDE:

K = Permeabilidad (mm/seg)

A = 192 mm (Constante)

T = Tiempo (seg)

ANEXO Q



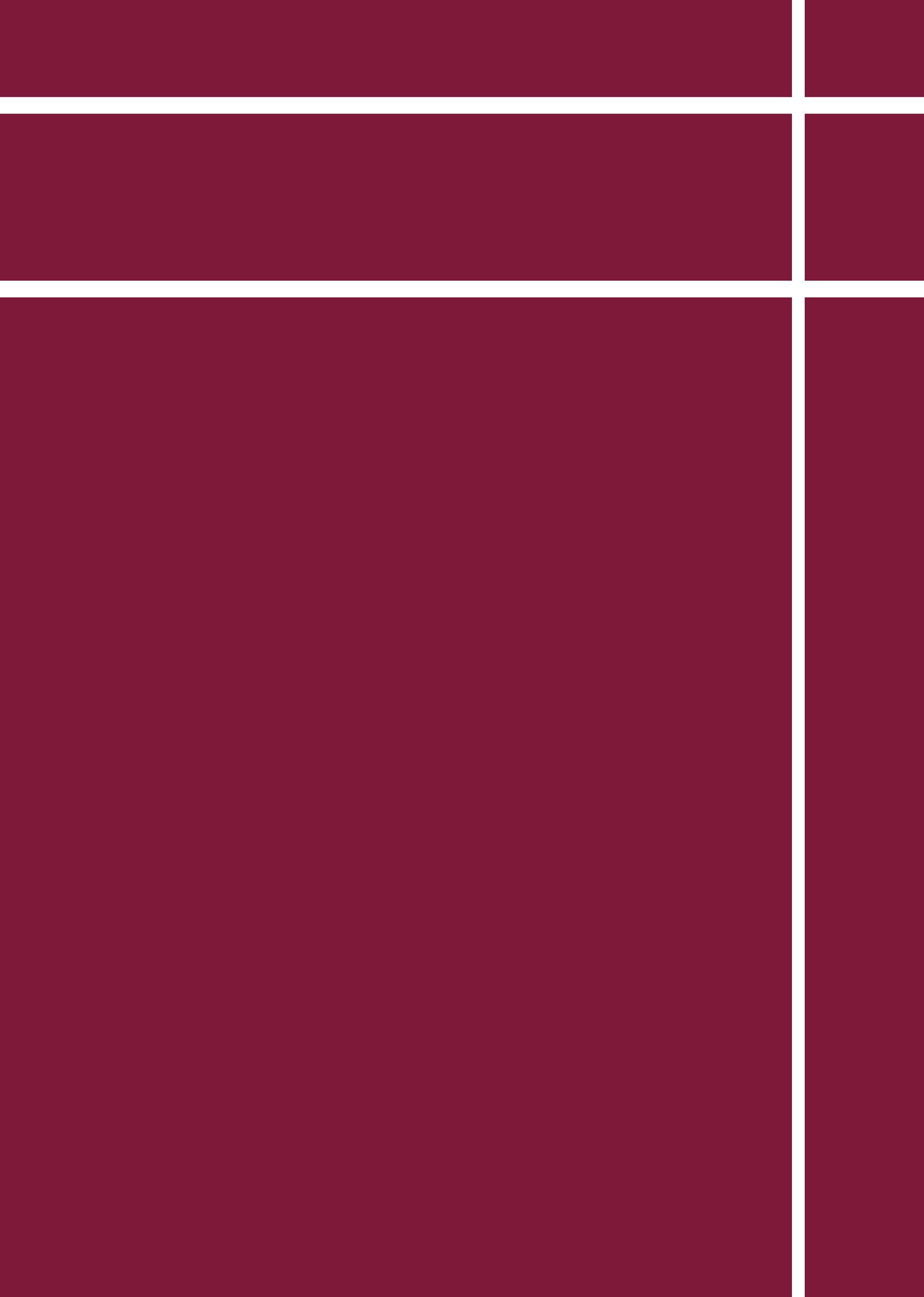
DISEÑOS PATRONES (SIN ADITIVO)																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DISEÑO #1</th> <th>DISEÑO #2</th> <th>DISEÑO #3</th> <th>DISEÑO #4</th> <th>DISEÑO #5</th> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Vacíos</td> <td>% Vacíos</td> <td>% Vacíos</td> <td>% Vacíos</td> <td>% Vacíos</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>13</td> <td>15</td> <td>17</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>% ARENA</td> <td>% ARENA</td> <td>% ARENA</td> <td>% ARENA</td> <td>% ARENA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5			% Vacíos			15	13	15	17	20			% ARENA			0	5	5	10	10										
DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5																																					
% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos																																					
15	13	15	17	20																																					
% ARENA	% ARENA	% ARENA	% ARENA	% ARENA																																					
0	5	5	10	10																																					
DOSIFICACIÓN EN KG, PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN PERMEABLE						UNIDADES																																			
Cemento	350	355	342	327	321	Kg																																			
Agua	137	128	120	115	109	lts																																			
Piedra	1.392	1.350	1.350	1.308	1.308	Kg																																			
Arena	0	153	133	154	96	Kg																																			
Rev.	0	0	0	0	0	cm																																			
A/C	0,39	0,36	0,35	0,35	0,34																																				

DISEÑOS PATRONES (SIN ADITIVO)																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DISEÑO #1</th> <th>DISEÑO #2</th> <th>DISEÑO #3</th> <th>DISEÑO #4</th> <th>DISEÑO #5</th> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Vacíos</td> <td>% Vacíos</td> <td>% Vacíos</td> <td>% Vacíos</td> <td>% Vacíos</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>13</td> <td>15</td> <td>17</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>% ARENA</td> <td>% ARENA</td> <td>% ARENA</td> <td>% ARENA</td> <td>% ARENA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5			% Vacíos			15	13	15	17	20			% ARENA			0	5	5	10	10										
DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5																																					
% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos																																					
15	13	15	17	20																																					
% ARENA	% ARENA	% ARENA	% ARENA	% ARENA																																					
0	5	5	10	10																																					
COMPROBACIÓN DE DISEÑOS PATRONES (SIN ADITIVO)						UNIDADES																																			
Densidad del Hormigón en Estado Fresco	1.793,10	1.724,66	1.697,32	1.677,49	1.661,29	kg/m ³																																			
Permeabilidad	16,94	13,34	14,28	15,33	16,06	mm/seg																																			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																																									
f'c (28 Días)	36,91	28,60	26,38	23,58	22,08	kg/cm ²																																			
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN																																									
MR (28 Días)	1,74	1,75	1,60	1,40	1,29	MPA																																			

DISEÑOS CON ADITIVO																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DISEÑO #1</th> <th>DISEÑO #2</th> <th>DISEÑO #3</th> <th>DISEÑO #4</th> <th>DISEÑO #5</th> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>% Vacíos</th> <th>% Vacíos</th> <th>% Vacíos</th> <th>% Vacíos</th> <th>% Vacíos</th> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>13</td> <td>15</td> <td>17</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>% ARENA</th> <th>% ARENA</th> <th>% ARENA</th> <th>% ARENA</th> <th>% ARENA</th> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5			% Vacíos			15	13	15	17	20			% ARENA			0	5	5	10	10										
DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5																																					
% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos																																					
15	13	15	17	20																																					
% ARENA	% ARENA	% ARENA	% ARENA	% ARENA																																					
0	5	5	10	10																																					
DOSIFICACIÓN EN KG, PARA 1 m ³ DE HORMIGÓN PERMEABLE						UNIDADES																																			
Cemento	350	355	342	327	321	Kg																																			
Agua	137	128	120	115	109	lts																																			
Piedra	1.392	1.350	1.350	1.308	1.308	Kg																																			
Arena	0	153	133	154	96	Kg																																			
Adit. Plastol 6000	1.400	1.420	1.368	1.308	1.284	cc																																			
Adit. Eucon WO	700	710	684	654	642	cc																																			
Rev.	0	0	0	0	0	cm																																			
A/C	0,39	0,36	0,35	0,35	0,34																																				

DISEÑOS CON ADITIVO																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DISEÑO #1</th> <th>DISEÑO #2</th> <th>DISEÑO #3</th> <th>DISEÑO #4</th> <th>DISEÑO #5</th> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>% Vacíos</th> <th>% Vacíos</th> <th>% Vacíos</th> <th>% Vacíos</th> <th>% Vacíos</th> <td></td> <td></td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>13</td> <td>15</td> <td>17</td> <td>20</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <th>% ARENA</th> <th>% ARENA</th> <th>% ARENA</th> <th>% ARENA</th> <th>% ARENA</th> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>5</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>10</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5			% Vacíos			15	13	15	17	20			% ARENA			0	5	5	10	10										
DISEÑO #1	DISEÑO #2	DISEÑO #3	DISEÑO #4	DISEÑO #5																																					
% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos	% Vacíos																																					
15	13	15	17	20																																					
% ARENA	% ARENA	% ARENA	% ARENA	% ARENA																																					
0	5	5	10	10																																					
COMPROBACIÓN DE DISEÑOS (CON ADITIVO)						UNIDADES																																			
Densidad del Hormigón en Estado Fresco	1.922,01	1.895,83	1.855,60	1.815,38	1.776,46	kg/m ³																																			
Permeabilidad	16,68	13,47	14,16	15,25	15,96	mm/seg																																			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN																																									
f'c (28 Días)	46,98	46,56	46,50	37,72	29,64	kg/cm ²																																			
RESISTENCIA A FLEXIÓN																																									
MR (28 Días)	2,09	2,09	1,76	1,62	1,44	MPA																																			

ANEXO R





PIEDRA - CANTERA PROGECON



GRAV. ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - PIEDRA



PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PVS) - PIEDRA



GRANULOMETRÍA - PIEDRA



PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (PVV) PIEDRA



ENSAYO DE ABRASIÓN (MAQUINA DE LOS ANGELES) - PIEDRA



MAQUINA DE LOS ANGELES - TAMBOR GIRATORIO



ENSAYO DE SULFATO - PIEDRA



ENSAYO DE SULFATO - PIEDRA



ARENA - CANTERA PROGECON



GRANULOMETRÍA - ARENA



PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (PPV) - ARENA



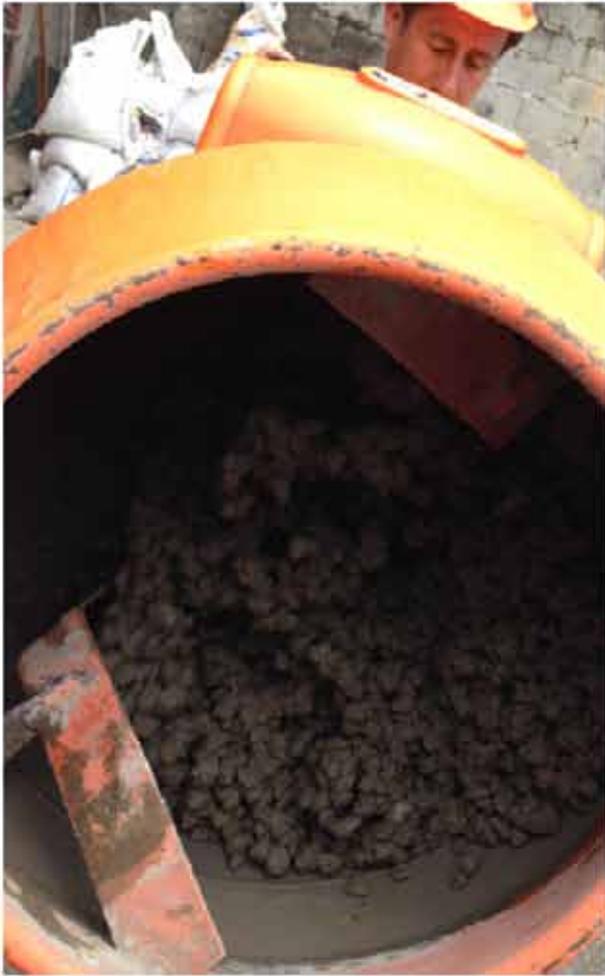
ENSAYO DE COLORIMETRÍA - ARENA



GRAV. ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN - ARENA



ENSAYO DE SULFATO - ARENA



MEZCLA DE LOS AGREGADOS
ELABORACIÓN DE LOS DISEÑOS



ENSAYO DE REVENIMIENTO



ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD
DEL HORMIGÓN



MUESTREO DEL HORMIGÓN - CILINDROS



ELABORACIÓN DE LA MUESTRAS - CILINDROS



ELABORACIÓN DE LA MUESTRAS - CILINDROS



MUESTRAS DE HORMIGÓN (CILINDROS) - CURADO INICAL



MUESTREO DEL HORMIGÓN - VIGAS



ELABORACIÓN DE LA MUESTRAS - VIGAS



ELABORACIÓN DE LA MUESTRAS - VIGAS



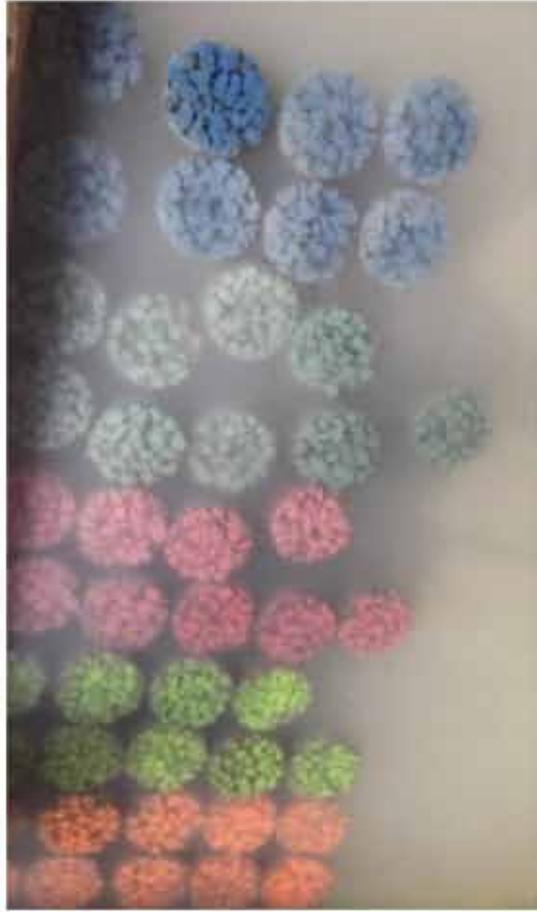
MUESTRAS DE HORMIGÓN (VIGAS) - CURADO INICIAL



DESENCOFRADO DE LAS MUESTRAS DE HORMIGÓN
CILINDROS



DESENCOFRADO DE LAS MUESTRAS DE HORMIGÓN
VIGAS



CURADO DE CILINDROS



CURADO DE VIGAS



REGISTRO DE MEDICIÓN DEL DIAMETRO Y ALTURA DE LA MUESTRA CILINDRICA - PREVIA ROTURA



REGISTRO DEL PESO DE LA MUESTRA CILINDRICA - PREVIA ROTURA - DISEÑO #1



PREPARACIÓN DE LA MUESTRA CILINDRICA - ENSAYO A LA COMPRESIÓN - DISEÑO #1



ROTURA DE LA MUESTRA CILINDRICA - ENSAYO A LA COMPRESIÓN - DISEÑO #1



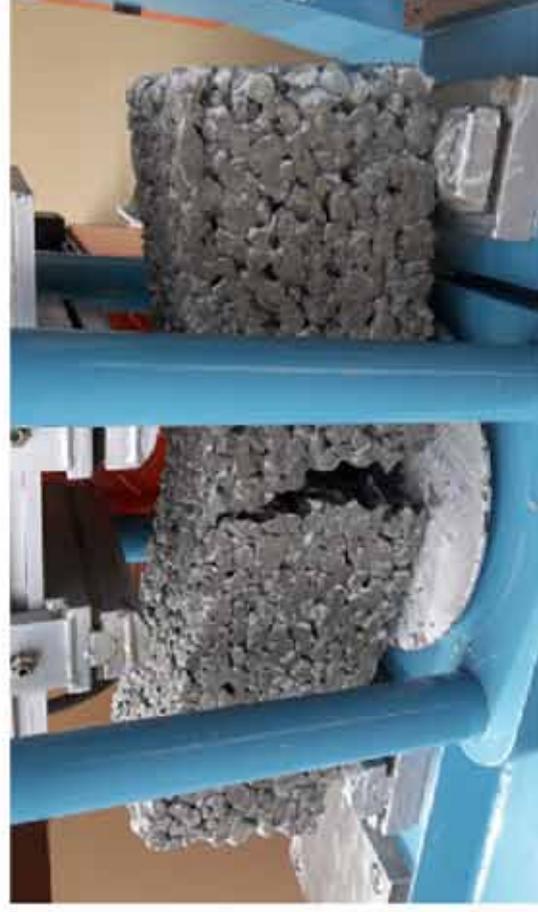
PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE HORMIGÓN - VIGAS



COLOCACIÓN DE LA MUESTRA (VIGAS) - PREVIA ROTURA - DISEÑO #1



ENSAYO A LA FLEXIÓN (VIGAS) - DISEÑO #1



ROTURA DE LA MUESTRA (VIGAS) - ENSAYO A LA FLEXIÓN - DISEÑO #1



PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE CON TUBERÍA PVC



MUESTRA DE HORMIGÓN (CILINDROS) - PREVIO ENSAYO



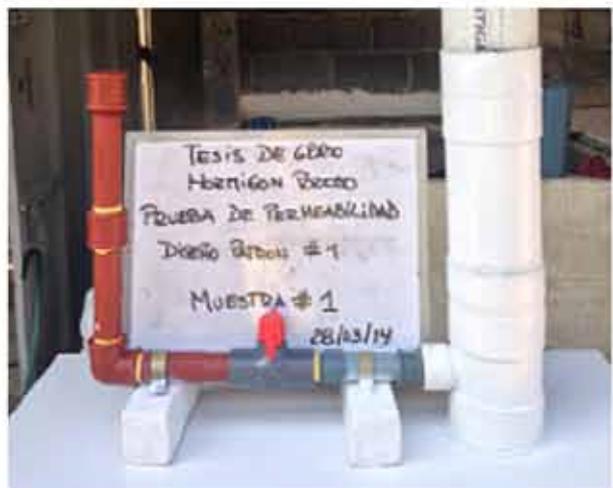
COLOCACIÓN DE LA MUESTRA DE HORMIGÓN (CILINDROS) EN PERMEÁMETRO



MUESTRA SATURA DE AGUA HASTA NIVEL DEL CILINDRO



PREPARANDO CARGA DE AGUA A UNA ALTURA DE 29 cm.



ENSAYO DE PERMEABILIDAD - PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE