

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EFFECTO DEL USO DE ADITIVOS HIDRÓFUGOS EN MEZCLAS DE CONCRETO CON F´C 280 KGF/CM² USADAS EN OBRAS ESTRUCTURALES SOMETIDAS A LA ACCIÓN DE LA HUMEDAD

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.

Adam Palacios, Carla C.

Gómez González, Santiago A.

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EFFECTO DEL USO DE ADITIVOS HIDRÓFUGOS EN MEZCLAS DE CONCRETO CON F´C 280 KGF/CM² USADAS EN OBRAS ESTRUCTURALES SOMETIDAS A LA ACCIÓN DE LA HUMEDAD

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Cesar Peñuela

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.

Adam Palacios, Carla C.

Gómez González, Santiago A.

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2013

ACTA

El día 06 de mayo de 2013 se reunió el jurado formado por los profesores:

Cesar Peñaola

Alba López

Trino Balca

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "EFECTO DEL USO DE ADITIVOS HIDRÓFUGOS EN MEZCLAS DE CONCRETO CON F'C 280 KG/CM2 USADAS EN OBRAS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A LA ACCIÓN DE LA HUMEDAD".

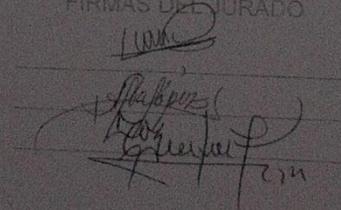
Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de INGENIERO CIVIL.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Carla C. Adam Palacios	20	VEINTE
Br. Santiago A. Gómez González	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 06 de mayo de 2013

Dedicado a:
Dios y a la Vida
Carla Adam

“La fuerza no proviene de la capacidad física sino de una voluntad indomable.”

MAHATMA GANDHI

Dedicado a:
TODOS Y A NINGUNO
Santiago Gómez

“Tan sólo por la educación puede el hombre llegar a ser hombre. El hombre no es más que lo que la educación hace de él”.

IMMANUEL KANT

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Dios, a la Santa Cruz y a la Virgen del Valle por cumplir una etapa tan importante en mi vida, mi formación como ingeniero civil.

A mi madre y mi Hermana Eliar por darme todo el amor y apoyo incondicional que me han brindado constantemente, quienes con perseverancia y trabajo duro me han llevado al camino del éxito.

A Santiago, que ha estado a mi lado siendo mi apoyo y mi complemento en todos los roles de mi vida.

A la Sra. Olgamarina que con desprendimiento me dio todo su apoyo, confianza, paciencia y sabiduría, así poder lograr las metas

A mis amigos Diana, Sol, Valentín, Alexis, Ana, Cecilia, y muchos más compañeros, que más que una escuela somos una familia que trabaja unida para lograr juntos las metas trazadas, haciendo del ambiente ameno, saludable y motivador, ayudándonos los unos con los otros.

A nuestro tutor el Profesor Cesar Peñuela por brindarnos la confianza de desarrollar el presente trabajo especial de grado y apoyarnos durante todo el proceso para llevar al éxito esta investigación.

A la Profesoras Maritza Rivas, que en el transcurso de la carrera estuvo presente de manera incondicional para orientarnos y apoyarnos en todo momento y dándonos las herramientas para ser cada día mejores profesionales y mejores personas.

Gracias y Bendiciones.

Carla Adam

Agradecimientos

Agradezco principalmente a mi Vallita y guiar mis pasos día a día.

A la persona más importante en vida mi madre que todos los días me da el apoyo que necesito para seguir adelante.

A mi tía Olgamarina que gracias a ella pude terminar mi carrera sin que me faltara nada.

A mis hermanos Juan, Patty y Ancel por estar siempre pendiente de mis estudios y darme el consejo en el momento oportuno.

A mi tios que siempre estuvieron pendiente de mi constante evolución en la universidad.

A mi abuelita Fabiola por brindarme un hogar y sentirme como en casa a pesar de estar lejos de ella

A mi compañera sentimental, mi compañera de estudio, mi confidente, mi conciencia, mi cordura, mi guía y mi yunque que me pones los pies en la tierra, la que me despertaba en todas las clases, para ti mi mayor agradecimiento, Carla.

A mis amigos Alexis, Ana, Diana, Solange y Ceci que más que amigos somos una familia.

A todos los compañeros que día a día me dan la oportunidad de aprender algo nuevo y estar orgulloso de pertenecer a la mejor Escuela de la UCV.

A nuestro tutor el Profesor Cesar Peñuela quien nos dio la oportunidad de poder desarrollar este tema y así sentir que estamos dejando una importante huella en esta rama de la investigación

A mi Negra bella la Prof. Maritza Rivas, que me dio el apoyo sin mezquindad y con una sonrisa a pesar de las dificultades. Para mí un espíritu incansable que día a día lucha para tener una mejor Universidad.

A pesar de las circunstancias de la vida, dios te enseña que cada cambio de plan en tu destino trae una consecuencia y aunque en el momento es negativa siempre hay que ver el lado positivo de las cosas y agradecer, es por ello que también agradezco a todas las personas que fueron una piedra de tranca en mi camino porque así aprendí a sortear las dificultades de la vida.

Santiago Gómez

EFFECTO DEL USO DE ADITIVOS HIDRÓFUGOS EN MEZCLAS DE CONCRETO CON F´C 280 KGF/CM² USADAS EN OBRAS ESTRUCTURALES SOMETIDAS A LA ACCIÓN DE LA HUMEDAD

Tutor Académico: Prof. Cesar Peñuela

Trabajo Especial de Grado, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil 2013.

Palabras claves: Concreto, Aditivos, Aditivos Hidrófugos, Permeabilidad

RESUMEN

En este Proyecto de Trabajo Especial de Grado se busca obtener evidencia experimental del efecto de aditivos hidrófugos en mezclas de concreto diseñadas con distintos aditivos (AQUAPEL, Sikalite® y NOR-O-CON), para una resistencia de 280 kgf/cm² sometidas a presiones hidrostáticas. Las mezclas se realizaron según normas COVENIN y las propiedades a comparar son: asentamiento y peso unitario, ambas en estado fresco; y resistencia a la compresión, densidad, porcentaje de absorción de agua y permeabilidad en estado endurecido a la edad de 28 días.

El aditivo AQUAPEL de TECNOCONCRET demostró aumentar la resistencia a compresión del concreto en un 4,31%, además disminuye la permeabilidad del agua en el concreto en un 57,77%, siendo muy favorable para el mismo. El efecto del Sikalite® aditivo hidrófugo de la empresa SIKA, se observó un aumento de la resistencia en 0,50% y redujo la permeabilidad el agua a un 53,52%. En lo que refiere al aditivo NOR-O-CON, de la empresa Industrias NORDEX, se evidenció que la resistencia disminuyó en 3,94% y redujo la permeabilidad el agua solo en un 10,55%. En definitiva el comportamiento de cada aditivo desde que se realiza el mezclado hasta que llega al estado endurecido son distintos para cada uno de ellos, además es importante realizar todos los ensayos para poder verificar cuan efectivo es un aditivo hidrófugo en mezclas de concreto para elementos estructurales sometidos a la acción de la humedad, en tal sentido no se puede generalizar la efectividad de todos los aditivos hidrófugos.

ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
I.1. INTRODUCCIÓN	1
I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
I.3. OBJETIVOS	4
I.3.1. Objetivo General:	4
I.3.2. Objetivos Específicos:	4
I.4. APORTES	5
CAPÍTULO II	6
II.1. MARCO TEÓRICO	6
II.1.1. CONCRETO	7
II.1.1.1 Cemento	7
II.1.1.2 Agregados	10
II.1.2. DISEÑO DE MEZCLA	11
II.1.2.1 Relación beta	12
II.1.2.2 Ley de Abrams	13
II.1.2.3 Relación triangular	13
II.1.2.4 Datos de entrada para el diseño de mezcla	14
II.1.2.5 Volumen Absoluto de los Agregados	15
II.1.2.6 Cono de Abrams	15
II.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO	16
II.1.3.1 Concreto Fresco	16
II.1.3.2 Reología del concreto	17
II.1.3.3 Fluidez	17
II.1.3.4 Compactibilidad	17
II.1.3.5 Estabilidad a la segregación	17
II.1.3.6 Trabajabilidad	18
II.1.3.7 Permeabilidad	18
II.1.3.8 Retracción	18
II.1.3.9 Resistencia a la compresión	19
II.1.4. ADITIVOS	19
II.1.4.1 Clasificación de los aditivos	20

II.1.5.	ADITIVOS HIDRÓFUGOS _____	22
II.1.5.1	Efectos de adición de aditivos hidrófugos _____	22
II.1.5.2	Aditivo NOR-O-CON _____	23
II.1.5.3	Aditivo Sikalite® _____	25
II.1.5.4	Aditivo AQUAPEL _____	26
II.1.6.	CONCRETOS HIDRÓFUGOS _____	28
CAPÍTULO III _____		31
III.1. MÉTODO _____		31
III.1.1.	Caracterización de los agregados _____	32
III.1.1.1	Distribución granulométrica _____	32
III.1.1.2	Peso unitario _____	33
III.1.1.3	Peso Específico y Absorción de agua _____	33
III.1.2.	Diseño de las mezclas _____	35
III.1.2.1	Datos de Entrada: _____	35
III.1.2.2	Procedimiento del diseño de la mezcla _____	37
III.1.3.	Preparación de las mezclas _____	39
III.1.4.	Caracterización del concreto fresco _____	41
III.1.4.1	Asentamiento _____	41
III.1.4.2	Peso Unitario _____	42
III.1.4.3	Vaciado del material _____	43
III.1.4.4	Curado _____	43
III.1.5.	Caracterización del concreto endurecido _____	44
III.1.5.1	Densidad Absoluta _____	44
III.1.5.2	Ensayo de Absorción _____	44
III.1.5.3	Ensayo a compresión de cilindros de concreto _____	45
III.1.5.4	Ensayo de permeabilidad _____	46
III.1.6.	Comparación de las mezclas con aditivos contra la mezcla patrón _____	51
CAPÍTULO IV _____		52
IV.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS _____		52
IV.1.1.	Caracterización de los agregados _____	52
IV.1.1.1	Distribución granulométrica _____	52
IV.1.1.2	Peso unitario _____	56
IV.1.1.3	Peso Específico y Absorción de agua _____	56

IV.1.2.	Diseño de las mezclas _____	58
IV.1.2.1	Cálculo del beta _____	58
IV.1.2.2	Cálculo de la Humedad _____	59
IV.1.2.3	Diseño de Mezcla _____	60
IV.1.2.4	Dosis de las mezclas _____	60
IV.1.3.	Características de concreto fresco _____	61
IV.1.3.1	Asentamiento _____	61
IV.1.3.2	Peso unitario _____	62
IV.1.4.	Características de concreto endurecido _____	63
IV.1.4.1	Absorción y Densidad _____	63
IV.1.4.2	Resistencia a la compresión _____	65
IV.1.4.3	Permeabilidad _____	67
IV.1.5.	Comparación de la mezcla patrón y las mezclas con aditivos _____	69
IV.1.5.1	Comparación entre la mezcla patrón y AQUAPEL _____	74
IV.1.5.2	Comparación entre la mezcla patrón y Sikalite® _____	75
IV.1.5.3	Comparación entre la mezcla patrón y NOR-O-CON _____	76
CAPÍTULO V	_____	78
V.1. CONCLUSIONES	_____	78
V.2. RECOMENDACIONES	_____	81
REFERENCIAS	_____	82
ANEXOS	_____	86
Anexo 1:	Agregado fino saturado con superficie seca. _____	86
Anexo 2:	Pesado del picnómetro vacío. _____	86
Anexo 3:	Preparación del picnómetro para el ensayo de peso específico. _____	86
Anexo 4:	Agregado grueso para el ensayo de peso específico. _____	87
Anexo 5:	Pesado del agregado grueso para el ensayo de peso específico. _____	87
Anexo 6:	Pesado del agregado grueso sumergido en agua. _____	87
Anexo 7:	Pesado de los materiales para iniciar el mezclado. _____	88
Anexo 8:	Mezclado de los materiales. _____	88

Anexo 9: Ensayo del Cono de Abrams. _____	88
Anexo 10: Almacenaje de los cilindros de concreto luego del curado. _____	89
Anexo 11: Medición de los cilindros de concreto. _____	89
Anexo 12: Pesado de los cilindros de concreto. _____	89
Anexo 13: Corte de los cilindros de concreto para el ensayo de permeabilidad. __	90
Anexo 14: Colocación de epóxico para el ensayo de permeabilidad. _____	90
Anexo 15: Montaje del ensayo de permeabilidad. _____	90
Anexo 16: Presión del ensayo de permeabilidad. _____	91
Anexo 17: Extracción de los cilindros de concreto de los anillos de acero. _____	91
Anexo 18: Cilindros de concreto luego del ensayo de permeabilidad. _____	91
Anexo 19: Ensayo a tracción indirecta. _____	92
Anexo 20: Penetración del agua por efecto de la presión hidrostática. _____	92
Anexo 21: Fractura del concreto por penetración del agua. _____	92
Anexo 22: Norma Española UNE 83-310-90 “Ensayos de Hormigón Determinación de la Permeabilidad”. _____	93
Anexo 23: Ficha Técnica Aditivo AQUAPEL. _____	95
Anexo 24: Ficha Técnica Aditivo Sikalite®. _____	97
Anexo 25: Ficha Técnica Aditivo NOR-O-CON. _____	99
Anexo 26: Carta solicitud de donación de agregados. _____	101
Anexo 27: Carta solicitud de donación de cemento Portland Tipo III. _____	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química del cemento. Fuente: Norma ASTM C 150-61 -----	9
Tabla 2. Requisitos para condiciones de estanquidad. Fuente: Norma COVENIN 1753-2003-----	30
Tabla.3. Especificaciones de los recipientes utilizados en el ensayo Peso Unitario. Fuente: Propia. -----	33
Tabla 4. Valores usuales de las relaciones peso/volumen del agregado. Fuente: Porrero 2009. ---	33
Tabla 5. Granulometría Agregado Grueso. Fuente: Propia. -----	52
Tabla 6. Porcentaje de Pasante Agregado Grueso. Fuente: Propia. -----	53
Tabla 7. Granulometría Agregado Fino. Fuente: Propia. -----	53
Tabla 8. Porcentaje de Pasante Agregado Fino. Fuente: Propia. -----	54
Tabla 9. Peso Unitario Agregado Grueso. Fuente: Propia. -----	56
Tabla 10. Peso Unitario Agregado Fino. Fuente: Propia. -----	56
Tabla 11. Densidad Agregado Grueso. Fuente: Propia. -----	56
Tabla 12. Porcentaje absorción Agregado Grueso. Fuente: Propia. -----	56
Tabla 13. Densidad Agregado Fino. Fuente: Propia. -----	57
Tabla 14. Porcentaje absorción Agregado Fino. Fuente: Propia. -----	57
Tabla 15. Variables para el Cálculo de Densidad y absorción del Agregado Grueso. Fuente: Propia. -----	57
Tabla 16. Variables para el Cálculo de Densidad y absorción del Agregado Fino. Fuente: Propia. -----	57
Tabla 17. Cálculo del β . Fuente: Propia. -----	58
Tabla 18. Humedad del agregado grueso. Fuente: Propia. -----	59
Tabla 19. Humedad del agregado fin. Fuente: Propia. -----	59
Tabla 20. Diseño de Mezcla. Fuente: Propia. -----	60
Tabla 21. Corrección por humedad del agua de la mezcla. Fuente: Propia. -----	60
Tabla 22. Dosificación de la mezcla Patrón. Fuente: Propia. -----	60
Tabla 23. Dosificación de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia. -----	60
Tabla 24. Dosificación de la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia. -----	61
Tabla 25. Dosificación de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia. -----	61
Tabla 26. Asentamiento obtenido en el ensayo del Cono de Abrams. Fuente: Propia. -----	61
Tabla 27. Peso unitario de la mezcla Patrón. Fuente: Propia. -----	62
Tabla 28. Peso unitario de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia. -----	62
Tabla 29. Peso unitario de la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia. -----	62
Tabla 30. Peso unitario de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia. -----	63
Tabla 31. Absorción y Densidad de la mezcla Patrón. Fuente: Propia. -----	64
Tabla 32. Absorción y Densidad de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia. -----	64

Tabla 33. Absorción y Densidad de la mezcla con aditivo Sikalite-----	64
Tabla 34. Absorción y Densidad de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.-----	64
Tabla 35. Resistencia a compresión de la mezcla Patrón. Fuente: Propia.-----	65
Tabla 36. Resistencia a compresión de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.-----	65
Tabla 37. Resistencia a compresión de la mezcla con aditivo Sikalite-----	65
Tabla 38. Resistencia a compresión de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.-----	65
Tabla 39. Resumen de resistencia a compresión de todas las mezcla. Fuente: Propia.-----	66
Tabla 40. Penetración de agua de la mezcla Patrón. Fuente: Propia.-----	67
Tabla 41. Penetración de agua de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.-----	67
Tabla 42. Penetración de agua de la mezcla con aditivo Sikalite-----	68
Tabla 43. Penetración de agua de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.-----	68
Tabla 44. Resumen de penetración de agua de todas las mezcla. Fuente: Propia.-----	68
Tabla 45. Comparación de las características de concreto fresco de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.-----	69
Tabla 46. Comparación de las características de concreto fresco de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo Sikalite-----	69
Tabla 47. Comparación de las características de concreto fresco de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.-----	70
Tabla 48. Comparación de las características de concreto endurecido de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.-----	72
Tabla 49. Comparación de las características de concreto endurecido de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo Sikalite-----	72
Tabla 50. Comparación de las características de concreto endurecido de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.-----	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Fig.2.1 Arena Lavada de Río. Fuente: Propia. _____	10
Fig. 2.2 Piedra Picada. Fuente: Propia _____	11
Fig. 2.3 Cono de Abrams. Fuente: http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams	16
Fig. 2.4 Tanque de almacenamiento de agua _____	20
Fuente: http://tanquespostensados.blogspot.com/ . _____	20
Fig. 2.5 Fisura capilar del concreto. Fuente: http://www.baxim.cl/html/aditivo_cristalizacion.html _____	29
Fig. 3.1 Tamizadora mecánica para agregado grueso. Fuente: Propia. _____	32
Fig. 3.2 Tamizado Manual para agregado fino. Fuente: Propia. _____	32
Fig. 3.3 Picnómetro con la muestra sumergida para ensayo de peso específico de agregado fino. Fuente: Propia. _____	34
Fig. 3.4 Secado de la superficie del agregado grueso para ensayo de peso específico de agregado grueso. Fuente: Propia. _____	34
Fig. 3.5 Secado para obtener el saturado con superficie seca del agregado fino para el ensayo de peso específico. Fuente: Propia. _____	34
Fig.3.6 Pesado de la muestra de agregado grueso sumergido en agua para ensayo de peso específico de agregado grueso. Fuente: Propia. _____	34
Fig. 3.7 Preparación de los moldes, limpiándolos y colocándole una capa de aceite SAE 15w40. Fuente: Propia. _____	40
Fig. 3.8 Pesado del cemento Portland tipo III. Fuente: Propia. _____	40
Fig. 3.9 Pesado de los agregados, tanto fino como grueso. Fuente: Propia. _____	40
Fig. 3.10 Mezclado de los componentes del concreto con mezcladora de eje vertical. (Se evidencia que la mezcla se encuentra homogénea). Fuente: Propia. _____	41
Fig. 3.11 Compactación del Cono de Abrams con la barra lisa. Fuente: Propia. _____	42
Fig. 3.12 Medición del asentamiento de la muestra de concreto utilizando el Cono de Abrams. Fuente: Propia. _____	42
Fig.3.13 Desmoldado de las probetas. Fuente: Propia. _____	43
Fig. 3.14 Colocación de las probetas en bañeras con agua y cal para su curado. Fuente: Propia. _____	43
Fig. 3.15 Medición de las probetas (altura y diámetro) con el uso de vernier de precisión. Fuente: Propia. _____	44
Fig. 3.16 Pesado de las probetas en una balanza. Fuente: Propia. _____	44
Fig. 3.17 Horno para secar las probetas de concreto durante 24 horas. Fuente: Propia. _____	45
Fig. 3.18 Colocación de la probeta para ser comprimida. Fuente: Propia. _____	46
Fig. 3.19 Probeta luego que falló por compresión. Fuente: Propia. _____	46
Fig. 3.20 Sierra eléctrica para cortar las probetas. Fuente: Propia. _____	49
Fig. 3.21 Placas de acero, empacaduras de goma y barras enroscadas con respectivas tuercas. Fuente: Propia. _____	49

Fig. 3.22 Embudo para introducir el agua y bombona de gas nitrógeno. Fuente: Propia.	49
Fig. 3.23 Probetas con epóxico las cuales se debieron retirar el exceso en ambas caras. Fuente: Propia.	49
Fig. 3.24 Montaje de las probetas de concreto para aplicarle la presión de agua. Fuente: Propia.	49
Fig. 3.25 Manómetro para medir la presión de agua suministrada. Fuente: Propia.	49
Fig. 3.26 Extracción de los cilindros de concreto de los anillos de acero. Fuente: Propia.	50
Fig. 3.27 Ensayo de compresión indirecta o brasilero. Fuente: Propia.	50
Fig. 3.28 Medición de la penetración del agua en el cilindro de concreto aplicándole presión hidrostática. Fuente: Propia.	50
Gráfico 4.1. Valores Máximos Y Mínimos de porcentaje pasante del agregado grueso. Fuente: Propia.	53
Gráfico 4.2. Valores Máximo Y Mínimo de porcentaje pasante del agregado fino. Fuente: Propia.	54
Gráfico 4.3. Cálculo del β . Fuente: Propia.	58
Gráfico 4.4. Comparación de los asentamientos. Fuente: Propia.	70
Gráfico 4.5. Comparación de los Pesos Unitarios Suelto. Fuente: Propia.	71
Gráfico 4.6. Comparación de los Pesos Unitarios compacto. Fuente: Propia.	71
Gráfico 4.7. Comparación de la resistencia a compresión a edad de 28 días. Fuente: Propia.	72
Gráfico 4.8. Comparación del porcentaje de Absorción en concreto endurecido. Fuente: Propia.	73
Gráfico 4.9. Comparación de la densidad del concreto endurecido. Fuente: Propia.	73
Gráfico 4.10. Comparación de la penetración de agua en el concreto endurecido. Fuente: Propia.	74

CAPÍTULO I

I.1. INTRODUCCIÓN

Normalmente el desarrollo del concreto va centrado a mejorar las capacidades resistentes, durabilidad y economía manteniendo las dosificaciones para cada resistencia independientemente del lugar. Cuando un ambiente es más agresivo y presenta agentes que debilitan o afectan a los elementos estructurales tales como los sometidos a la acción de la humedad cuando se expone a altos niveles freáticos como en el caso de fundaciones o cuando se le aplican presiones hidrostáticas y contacto constante con el agua como es el caso de los tanques, es necesario disminuir el ataque directo de los agentes al acero de refuerzo por dos vías, aumentando la cantidad de material que recubre al acero lo cual haría una mezcla más costosa y robusta o con el uso de aditivos hidrófugos para brindarle al concreto las características necesarias sin perjudicar el costo.

La investigación se basa en el estudio del efecto de aditivos hidrófugos AQUAPEL (TECNOCONCRET), Sikalite® (SIKA®) y NOR-O-CON (INDUSTRIAS NORDEX); en las mezclas de concreto usadas en obras estructurales expuestas a efectos de la humedad, esto con el objetivo de obtener evidencia experimental de dichos efectos que causa el uso de aditivos hidrófugos en mezclas de concreto para elementos estructurales.

Dado que en Venezuela no existe ningún tipo de normativa que rijan el uso de aditivos hidrófugos, ni cuáles deberían ser los requerimientos mínimos para que sea efectivo un aditivo hidrófugo y aunado a esto en las fichas técnicas de dichos productos no caracterizan en la totalidad los alcances en el comportamiento mecánico y físico, surge la necesidad de estudiar a fondo cuan efectivo puede ser un aditivo hidrófugo cuando se le aplica una presión hidrostática a una de las caras del concreto para conocer si en ciencia cierta mejora o no las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido a los 28 días.

I.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto es el material fundamental de elaboración de elementos estructurales tales como losa, vigas, columnas y obras estructurales como fundaciones, cimientos, represas, canales, defensas marinas, tanques y otros. La porosidad es una de las características del concreto que puede afectar el comportamiento efectivo del mismo si está expuesto a la humedad de forma continua. Dentro de las obras estructurales antes nombradas existe la posibilidad de que estén expuestas directamente al contacto con el agua, por lo cual es necesario proteger el armado con algún material, es por ello que el uso de aditivos hidrófugos es vital para evitar el paso del agua y así mantener el buen estado y evitar su colapso.

En Venezuela existen empresas que se dedican al desarrollo de aditivos del concreto, como SIKA®, TECNOCONCRET, INDUSTRIAS NORDEX, BASF entre otras, con el fin de desarrollar aditivos hidrófugos integrales cuyas moléculas se orientan en la superficie de los canales y poros de la pasta creando un efecto hidrófobo; también existen aditivos con base en silicatos o sílice coloidal que al reaccionar con la cal del cemento sellan los poros del material logrando concretos impermeables. Las empresas mencionadas son las más reconocidas y poseen los aditivos más conocidos en el mercado venezolano: AQUAPEL (TECNOCONCRET), Sikalite® (SIKA®) y NOR-O-CON (INDUSTRIAS NORDEX); esta investigación tiene por objeto estudiar el efecto de los aditivos nombrados en las mezclas de concreto usadas en obras estructurales.

En las fichas técnicas de estos aditivos, suministradas por las empresas que los producen, no hay información acerca de permeabilidad, porcentaje de agua absorbida, resistencia a la compresión del concreto, entre otras propiedades importantes para la caracterización del producto. ¿Cuán impermeabilizante resultará el aditivo para el caso de obras estructurales de fundación expuestas a alto nivel freático? De allí la necesidad de analizar características no descritas en las fichas técnicas mediante ensayos de densidad, peso unitario, porcentaje de absorción de agua, resistencia a la compresión, asentamiento y permeabilidad de

mezclas de concreto utilizando cada uno de los aditivos mencionados y contrastando los resultados de los ensayos con los realizados a una mezcla de concreto patrón.

Los resultados de esta investigación servirán de referencia a los profesionales de la construcción al momento de decidir cuál aditivo conviene utilizar y cuáles son sus efectos, dependiendo de la obra que será ejecutada.

La segunda interrogante que orienta esta investigación es si se puede generalizar los resultados obtenidos para interpretar el comportamiento de los aditivos en la mezcla de concreto.

I.3. OBJETIVOS

I.3.1. Objetivo General:

Obtener evidencia experimental del efecto del uso de los aditivos impermeabilizantes en mezclas de concreto usadas en obras estructurales sometidos a la acción de la humedad.

I.3.2. Objetivos Específicos:

1. Diseñar una mezcla de concreto patrón sin aditivo.
2. Diseñar mezclas de concreto con aditivo AQUAPEL (TECNOCONCRET), Sikalite® (SIKA®), NOR-O-CON (INDUSTRIAS NORDEX).
3. Identificar las propiedades de peso unitario y asentamiento en las mezclas frescas mediante ensayos de laboratorio.
4. Identificar mediante ensayos de laboratorio las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas endurecidas a los 28 días en probetas cilíndricas.
5. Contrastar propiedades de las mezclas con aditivos con las de la mezcla patrón.

I.4. APORTES

Al seleccionar un aditivo para la mezcla de concreto es necesario obtener la información de las fichas técnicas, a partir de las cuales los ingenieros pueden conocer el rango de comportamiento de la mezcla; es por ello que el principal aporte de este trabajo especial de grado es ampliar el conocimiento de nuevos materiales y dar la información necesaria sobre las características físicas y mecánicas producidas en el concreto por los aditivos hidrófugos.

Los resultados obtenidos en esta investigación formaran parte de una base de datos del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), que servirá de referencia cuando se realicen estudios de mezclas con aditivos impermeabilizantes para el público en general.

Para la sociedad y la construcción, se busca garantizar la calidad de las obras hidráulicas disminuyendo la incertidumbre del comportamiento de los aditivos en la mezcla de concreto y responder a la necesidad de utilizar el aditivo adecuado.

Para los autores nos refuerza los conocimientos obtenidos durante toda la carrera, ampliando los conceptos a nivel profesional en el área de tecnología del concreto.

CAPÍTULO II

II.1. MARCO TEÓRICO

La historia del concreto se remonta hasta los años 12.000 a.c. donde en Israel se consiguieron depósitos de compuestos de cemento producidos por la combustión de la mezcla de caliza y aceite de esquistos. Más adelante en el 3.000 a.c. los egipcios descubrieron el mortero de cal y yeso como ligante para la construcción de pirámides, pero son los romanos los que desarrollaron plenamente el cemento (proveniente del latín *Caementum* que significa corte o dividir) dando origen a las más impresionantes construcciones que hasta la fecha siguen en pie; no obstante con la caída del imperio romano en el 400 d.c. se pierden todos los avances del concreto y es a partir de 1678 cuando Joseph Moron escribió acerca de los efectos de la cal al mezclarla con el agua, es en el año 1824 que se empleó por primera vez el término cemento Portland por el fabricante inglés Joseph Aspdin, debido a su parecido con la piedra de Portland, que era utilizada para la construcción en Inglaterra. En 1887 Henri Le Chatelier en Francia, estableció la cantidad adecuada de cal para producir cemento Portland, y denominó a los componentes Alita (silicato tricálcico), Belita (silicato dicálcico) y Celita (aluminatoferrito tetracálcico).

Aunque desde hace más de un milenio se conocen las bondades del concreto actualmente se sigue estudiando su comportamiento, realizando pruebas que llevan al límite sus propiedades físicas y mecánicas. Cabe destacar que el concreto es el material principal utilizado en la construcción de obras de ingeniería, por tal motivo que se debe seguir desarrollando productos y aditivos que mejoren el comportamiento del concreto.

Una de las debilidades del concreto estructural es la propiedad de retracción, siendo esta una característica que debe tomarse en consideración, ya que puede llegar a producir grietas en el material, debido al fenómeno de encogimiento o disminución de volumen que sufre el concreto con el tiempo, causado principalmente a la pérdida parcial de agua en las primeras horas. Son estas

grietas nuestro punto primordial de la investigación ya que actualmente existen aditivos integrales cuyas moléculas se orientan en la superficie de los canales y poros de la pasta creando un efecto hidrófugo; también existen aditivos con base en silicatos o sílice coloidal que al reaccionar con la cal del cemento sellan los poros del material, evitando que percolen a través de ellos humedad o cualquier otro agente ambiental externo que sea susceptible de ocasionar corrosión a las barras de acero de refuerzo o daños a la estructura de concreto.

II.1.1. CONCRETO

El concreto es un material que se puede considerar constituido por dos partes, una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de solidificarse con el tiempo, y la segunda está constituida por los agregados finos y gruesos siendo estos los que representan entre el 70% y 85% del peso de la mezcla de concreto. El uso de los agregados correctos tanto en calidad como en tamaño puede mejorar o empeorar el comportamiento físico y mecánico de la mezcla de concreto.

Las características más importantes del concreto son su capacidad de movilidad o trabajabilidad, factor que es directamente proporcional al asentamiento el cual se obtiene con el ensayo del cono de Abrams y la segunda característica es la resistencia, cuyo valor se obtiene realizando ensayos de compresión en estado endurecido de la mezcla.

II.1.1.1 Cemento

El cemento portland es la denominación específica del cemento y es el componente activo del concreto e influyente en todas las características de este material, además de ser el elemento más costoso de la mezcla por unidad de peso, pero en comparación a otros materiales sigue siendo el más rentable. El cemento se produce a través de la combinación química de carácter ácido (sílice y alúminas) provenientes de las arcillas con otras de carácter básico (cal) aportadas por calizas, la misma tiene lugar en la materia molida y se lleva al punto de semifusión, el producto obtenido se denomina “clínquer” y constituye los trozos

que deben ser molidos con una porción de yeso, a fin de regular el tiempo de fraguado.

A fines prácticos, el cemento está constituido básicamente por cuatro componentes:

- Silicato tricálcico (C_3S).
- Silicato dicálcico (C_2S).
- Aluminato tricálcico (C_3A).
- Ferroaluminato tetracálcico (C_4FA).

En el valor de un kilogramo de cemento se debe considerar el costo de: la extracción de los materiales, dos moliendas a un grado de finura, una cocción a elevada temperatura (aproximadamente 1450 °C), el control estricto de los procesos, la homogeneización, los cuidados ambientales, etc. (Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., y Velazco, G.J. 2009)

Existen cinco tipos de cemento producto de la combinación de las proporciones de las materias que lo componen:

- Tipo I: Se le conoce como cemento Portland ordinario y es el más utilizado en el mercado. Se usa en concretos normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente, en el suelo o en el agua del subsuelo.
- Tipo II: Son cementos con propiedades modificadas para cumplir propósitos especiales, como cementos anti-bacteriales que pueden usarse en piscinas; cementos hidrófobos que se deterioran muy poco en contacto con sustancias agresivas líquidas; cementos de albañilería que se los emplea en la colocación de mampostería; cementos impermeables que se utiliza en elementos estructurales en que se desea evitar las filtraciones de agua u otros fluidos, etc.
- Tipo III: Son los cementos de fraguado rápido, que suelen utilizarse en obras de concreto que están en contacto con flujos de agua durante su construcción o en obras que pueden estabilizarse rápidamente durante la construcción.

- Tipo IV: Son los cementos de fraguado lento, que producen poco calor de hidratación. Se los emplea en obras que contienen grandes volúmenes continuos de concretos como las presas, permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado.
- Tipo V: Son cementos resistentes a los sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del concreto o en el propio medio ambiente. La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del concreto y la destrucción de la estructura interna del material compuesto.

Actualmente en Venezuela se comercializan dos tipos de cemento:

- Cemento Portland tipo CPCA 1.
- Cemento Portland tipo CPCA 2.

Los cementos con rápido desarrollo de resistencias como el tipo III se basan en aumentar los porcentajes en cantidades de C_3S (silicato tricálcico) y disminuyendo sustancialmente el C_2S (silicato dicálcico), esto implica que durante la reacción de la mezcla de concreto aumente el calor de hidratación y si no se tiene un cuidado con respecto al mantener hidratado la mezcla de concreto, se puede generar grietas por contracción lo cual puede ocasionar percolación de humedad y agentes no deseados y producir corrosión en el acero estructural.

Tabla 1. Composición química del cemento. Fuente: Norma ASTM C 150-61

Tipo de cemento	Porcentajes de los compuestos			
	SC_3	SC_2	AC_3	AFC_4
I. Normal	45%	27%	11%	8%
II. Modificado	44%	31%	7%	13%
III. De elevada resistencia inicial	53%	19%	10%	7%
IV. De bajo calor de hidratación	20%	52%	6%	14%
V. Resistente a los sulfatos	38%	43%	4%	8%

II.1.1.2 Agregados

Son fragmentos o granos, usualmente pétreos, cuyas finalidades específicas son abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica.

Los agregados componen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanza a representar entre el 70% y el 85% de su peso, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad final de la mezcla.

La constitución de los agregados suele ser dos fracciones granulares: una formada por las partículas más finas del conjunto, denominada arena o agregado fino (ver Fig. 2.1), y la otra formada por los granos grandes (ver Fig. 2.2), que pueden ser trozos de rocas trituradas a los tamaños convenientes, o granos naturales redondeados por el arrastre de las aguas, que se designa como agregado grueso, en estos suelen distinguirse fracciones de varios tamaños desde 7,62 cm hasta 2,36 mm como tamaño mínimo, mientras que los finos pueden ir desde 9,75 mm hasta 75 μm . esta combinación de agregados se denomina granulometría y lo ideal es que exista la mayor cantidad de tamaños en porcentajes equitativos, para disminuir los espacios vacíos dentro de la mezcla una vez endurecida y así obtener una mayor resistencia a la compresión y disminuir la porosidad.



Fig.2.1 Arena Lavada de Río. Fuente: Propia.



Fig. 2.2 Piedra Picada. Fuente: Propia

En función de lo anterior si una mezcla de concreto posee poca cantidad de agregados se va a requerir más pasta para cumplir con las cantidades de concreto, pero esto trae como consecuencia que la mezcla aumente fluidez y se vuelva más costosa ya que el cemento es el elemento más costoso de la mezcla, ahora bien si se aumenta la cantidad de agregados se reduce la cantidad de pasta pero disminuye la fluidez de la mezcla.

Las características de los agregados influyen en la calidad del concreto basándose en cuatro parámetros: resistencia, relación triangular, durabilidad y fraguado.

Las partículas de agregado alargadas y chatas tienen un efecto negativo en la trabajabilidad y obligan a diseñar mezclas más ricas en agregado fino y por lo tanto a emplear mayores cantidades de agua y cemento. Se consideran que dentro de este caso se encuentran los agregados de perfil angular, los cuales tienen un alto contenido de vacíos y por lo tanto requieren un porcentaje de pasta mayor que el agregado redondeado que requieren menor cantidad de agua para una determinada trabajabilidad, permitiendo una menor relación agua/cemento y en consecuencia una mayor resistencia.

II.1.2. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezclas de concreto tiene por objeto encontrar la dosificación más económica de cemento, agua, agregado grueso y arena para producir un material con la resistencia, manejabilidad, impermeabilidad y durabilidad requeridas por el diseño de la estructura y por el método constructivo a utilizar.

Existen numerosos métodos para la dosificación de la mezcla de concreto, pero no son exactos sino todos son basados en ensayo-error, en los cuales se dosifica la mezcla, se hace una de prueba y posteriormente se ajusta por asentamiento o resistencia si es el caso.

La complejidad de un diseño de mezcla depende del número de variables consideradas y de la precisión deseada, pero a la vez debe ser de fácil manejo y operatividad, por lo que el método más eficaz es aquel que logra un equilibrio entre ambos factores. Por las mismas razones existen diversos métodos lo que indica que ninguno es perfecto y pueden ser preferidos o no según las condiciones reales de los materiales y la tecnología empleada.

Inevitablemente los diseños de mezcla tienen cierto grado de imprecisión ya que las variables que condicionan la calidad y comportamiento del concreto son numerosas y difíciles de precisar. (Porrero S., J. et al., 2009).

Sin embargo, básicamente un buen diseño de mezcla es aquel que en principio cumple con tres (3) requisitos fundamentales:

1. Resistencia exigida por el calculista.
2. Relación agua/cemento (α) para los efectos de durabilidad.
3. Plasticidad Apropiada (T) de acuerdo con las condiciones de obra y el método de compactación.

II.1.2.1 Relación beta

Relación Beta (β): relación de combinación entre agregados fino y grueso expresada en porcentaje, que no es más que el cociente entero entre el peso del fino (arena) y el del agregado total (fino+grueso).

$$\beta = \frac{100 * A}{A + G} \text{ (Ecuación N°1)}$$

Dónde:

A: Peso agregado Fino (kgf).

G: Peso agregado Grueso (kgf).

II.1.2.2 Ley de Abrams

Ley que establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento (α), según esta la relación agua/cemento es igual al cociente entre la cantidad de agua en litros o kilogramos fuerza y la dosis de cemento en kilogramos fuerza; igualmente también puede ser expresada en función de la resistencia esperada.

$$\alpha = \frac{a}{C} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 2)$$

$$\alpha = 3,147 - 1,065 * \log R_{28} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 3)$$

Dónde:

a: Relación agua/cemento en peso.

a: Peso del agua de la mezcla (kgf).

C: Dosis de cemento (kgf).

R₂₈: Resistencia del concreto a los 28 días (kgf/cm²).

Debido a la gran variedad de agregados los valores constantes de la Ecuación N°3 pueden cambiar y por ello se hace necesario corregir dicha relación según el tamaño máximo (K_R) y tipo de agregado (K_A), ambos valores obtenidos del manual del concreto estructural Porrero 2009, en la tabla VI.7 K_R factor para corregir α por tamaño máximo, mm (pulgadas) y VI.8 K_A factor para corregir α por tipo de agregado; resultando:

$$\alpha_c = \alpha * K_R * K_A \quad (\text{Ecuación N}^\circ 4)$$

II.1.2.3 Relación triangular

Expresión que relaciona la trabajabilidad (T) medida como asentamiento en el Cono de Abrams con la relación agua/cemento (α) y la dosis de cemento (C); para agregado grueso triturado de 25,4 mm de tamaño máximo, arena natural y cemento Portland tipo I se cumple:

$$C = \frac{117,2 * T^{0,16}}{\alpha^{1,3}} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 5)$$

Dónde:

C: Dosis de cemento (kgf/m³).

α: Relación agua/cemento en peso.

T: Asentamiento en el Cono de Abrams (cm).

Al igual que la relación agua/cemento este parámetro debe ser corregido por tamaño máximo (C₁) y tipo de agregado (C₂), ambos valores obtenidos del manual del concreto estructural Porrero 2009, en la tabla VI.11 C₁ factor para corregir C por tamaño máximo, mm (pulgadas) y VI.12 C₂ factor para corregir C por tipo de agregado; resultando:

$$C_c = C * C_1 * C_2 \quad (\text{Ecuación N}^\circ 6)$$

II.1.2.4 Datos de entrada para el diseño de mezcla

Se refiere a las variables tomadas en cuenta dentro del diseño, probablemente una de las variables sea común dentro de todos los métodos debido a que son de suma importancia, las restantes establecen la diferencia entre cada método. La información básica del método está constituida por los datos de entrada, gracias a ellas se puede llegar a la dosificación esperada.

Los Datos de entrada son:

- Lugar de la obra, o condiciones ambientales.
- Tipo de obra, o parte de la estructura.
- Tipo de agregados y tipo de cemento.
- Resistencia de diseño o algún dato relacionado.

El asentamiento es considerado en algunos métodos como dato de entrada, mientras que en otro se selecciona de alguna tabla, con relación al tipo de elemento estructural al que se destine la mezcla próxima a diseñar.

II.1.2.5 Volumen Absoluto de los Agregados

El volumen ocupado por los agregados sin considerar el aire entre ellos se obtiene al dividir el peso de cada uno entre su correspondiente peso específico en estado de saturación con superficie seca (aproximadamente 2,65 gr/cm³ para ambos casos).

$$V_{(A+G)} = \frac{A + G}{\gamma_{(A+G)}} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 7)$$

Dónde:

A: Peso agregado Fino (kgf).

G: Peso agregado Grueso (kgf).

V_(A+G): Volumen Absoluto de los agregados (m³).

γ_(A+G): Densidad de los Agregados (Kg/m³).

Para el cálculo de la dosis de agregado fino y grueso se utiliza una ecuación que establece que la suma de los volúmenes absolutos de todos los componentes debe ser igual a 1000 litros; esto para un metro cúbico de concreto; a saber.

$$A + G = \gamma_{(A+G)} * (1000 - 0,3 * C - a - V) \quad (\text{Ecuación N}^\circ 8)$$

Dónde:

a: Peso del agua de la mezcla (kgf).

A: Peso agregado Fino (kgf).

G: Peso agregado Grueso (kgf).

V: Volumen espacios Vacios (kgf).

γ_(A+G): Densidad de los Agregados (Kg/m³).

C: Dosis de cemento (kgf).

II.1.2.6 Cono de Abrams

En la preparación de la mezcla de concreto es muy importante que la combinación cemento/agregados y su relación con el agua, sean las adecuadas para lograr las propiedades fundamentales de la mezcla, primero en estado fresco la consistencia y luego en estado endurecido la resistencia.

El molde en forma de cono truncado se llena con la mezcla en 3 capas de la misma altura (ver Fig. 2.3), compactando con 25 golpes de varilla por vez, acto seguido se levanta el molde y se mide cuanto ha descendido la mezcla en el punto central. El valor obtenido, es la medida de la consistencia de la mezcla. Se la denomina también asentamiento que puede variar entre 2 y 18 cm, según sea el tipo de elemento estructura, los valores de resistencia deseados a los 28 días y la colocación.

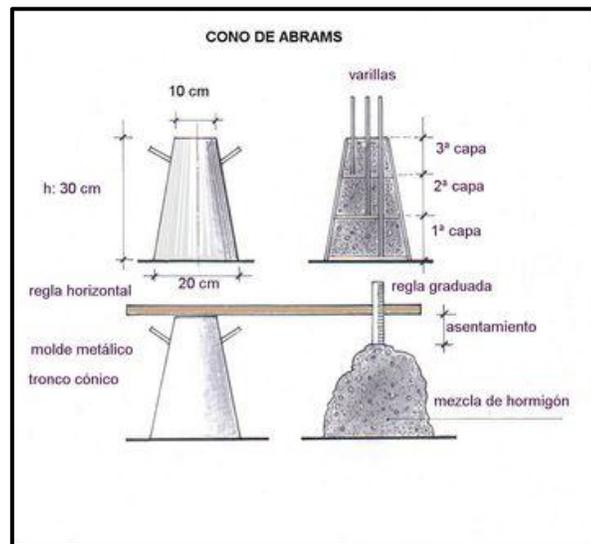


Fig. 2.3 Cono de Abrams.

Fuente: http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams

II.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

II.1.3.1 Concreto Fresco

Se denomina concreto fresco al material mientras permanece en estado fluido, es decir desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el endurecimiento de la pasta. En ese lapso el concreto es transportado, encofrado y luego compactado manualmente o por vibración.

Son muchas las propiedades del concreto que interesan y pueden ser críticas. No solo por su relación con el manejo del concreto en estado húmedo, sino porque pueden servir como señal anticipada de la propiedades que pueda tener el material al endurecer posteriormente. Indicios de algún comportamiento atípico en este estado inicial, que en muchos casos alerta que, en estado de endurecimiento

también puede ser impropia su calidad. En ese momento temprano y antes de completarse los vaciados del material, es cuando se deben ejecutar las correcciones. El comportamiento del concreto fresco depende de: sus componentes, de las características del mezclado, de su diseño, del medio ambiente circundante y de las condiciones de trabajo.

II.1.3.2 Reología del concreto

Bajo este término se agrupa el conjunto de características de la mezcla fresca que posibilitan su manejo y posterior compactación. Desde el punto de vista físico, estas características dependen de las variaciones de la viscosidad y de la tixotropía de la mezcla a lo largo del tiempo. En la práctica se define la reología del concreto con base en tres características: fluidez, compactibilidad, estabilidad a la segregación.

II.1.3.3 Fluidez

La fluidez describe la calidad de fluido o viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla.

II.1.3.4 Compactibilidad

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente; en el caso de los ensayos en el laboratorio para la compactación se utiliza una barra de acero lisa de 16 mm de espesor y de 600 mm de largo, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta propiedad se conoce como tixotropía y es la característica que permite la compactibilidad de la mezcla y su adaptación al molde.

II.1.3.5 Estabilidad a la segregación

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos: líquido (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire, cuya mezcla tiene la natural tendencia de separarse unos de los otros. La separación del agua de los restantes componentes de la mezcla cuando queda flotando sobre el material recién colocado se conoce como exudación o sangrado

y tiene su propio desarrollo evolutivo. Por otro lado la tendencia a separarse los granos gruesos del mortero, lo que se conoce como segregación, depende de la viscosidad y de la tixotropía, y se relaciona con la cantidad y el tamaño de los granos. Cuando se añade agua discriminadamente a la mezcla se produce un daño directo a la resistencia mecánica, favorece a la aparición de grietas por retracción y le quita defensas al concreto para lograr durabilidad, aparte de que hace a la mezcla propensa a la segregación.

II.1.3.6 Trabajabilidad

Esta palabra se emplea con dos acepciones distintas. Una general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permite manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlos en los moldes y compactarlos adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento medido por el procedimiento normalizado de Abrams. Esta segunda acepción es discutible porque, en realidad, el ensayo es parcialmente representativo del conjunto de propiedades representativas.

II.1.3.7 Permeabilidad

La permeabilidad de un concreto es la cualidad de ser pasado o traspasado por el agua u otro fluido, si bien el concreto parece impermeable no lo es y está influenciado por varias otras propiedades: Porosidad, características del concreto, puesto en obra, relación Agua-Cemento.

II.1.3.8 Retracción

El concreto al ser una mezcla de agregados agua y cemento, estando dosificada correctamente empieza a endurecerse, reaccionando el cemento con el agua desprendiendo una energía exotérmica, la pérdida de agua en el volumen existente deja vacíos y se produce la retracción o agrietamiento. Este fenómeno está muy influenciado por: Cemento (tipo, categoría, finura y calidad), agregados (granulometría, finos, cantidad), agua (cantidad), concreto (espesor, tipo de elemento estructural, curado, temperatura, viento, si está armado).

II.1.3.9 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificaciones y otras estructuras. La resistencia se mide partiendo probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, por lo tanto la resistencia calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en Kgf/cm^2 .

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, $f'c$, del proyecto.

Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.

II.1.4. ADITIVOS

Según Porrero S., J. et al., 2009 son productos químicos que se añaden en pequeña proporción a los principales componentes de los morteros o concretos durante su mezclado, con el propósito de modificar algunas de las propiedades de las mezclas en estado fresco o en estado endurecido.

Hoy en día cuando en el mundo se conocen superestructuras como, rascacielos, puentes, grandes represas y tanques de agua (ver Fig. 2.4), se evidencia que para lograr construir estas estructuras fueron necesariamente utilizados aditivos y así cumplir con las especificaciones mínimas de resistencia. Desde unos 20 años que se han venido desarrollando estos productos que en un principio no daban confianza ya que alteraban en forma negativa las características del concreto, pero con los adelantos tecnológicos se ha logrado tener un grado de confiabilidad sin precedentes. Sin embargo continuamente se

siguen desarrollando los aditivos a nivel mundial y es por ello que hay que seguir evaluando la efectividad de los aditivos.

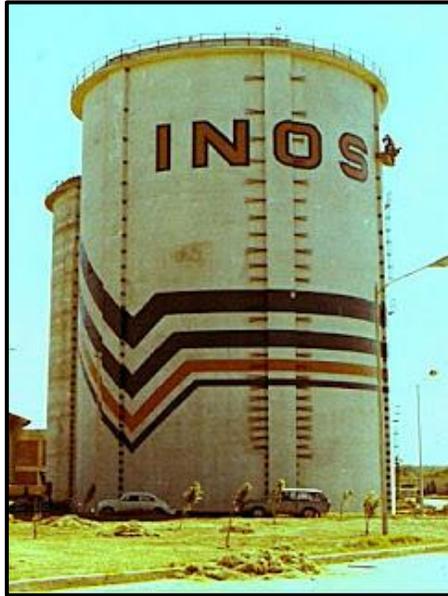


Fig. 2.4 Tanque de almacenamiento de agua
Fuente: <http://tanquespostensados.blogspot.com/>.

Algunas de las razones para el uso de aditivos en el concreto pueden ser:

- Reducir sus costos en la construcción ya que los aditivos permiten el uso de procedimientos constructivos menos costosos.
- Ser un medio factible para alcanzar las características deseadas en la mezcla tanto en estado fresco como en estado endurecido.
- Reducir costos de materiales ya que en determinados casos con el uso de aditivos se requieren menores dosis de alguno de los componentes de la mezcla de concreto.

II.1.4.1 Clasificación de los aditivos

Según la norma COVENIN 356:1994.

- Tipo A: Reductores de agua: Son aquellos aditivos que reducen al menos un 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir

un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.

- Tipo B: Retardadores: Son aquellos aditivos que retardan el fraguado del concreto.
- Tipo C: Aceleradores: Son aquellos aditivos que aceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto.
- Tipo D: Reductores de agua y retardadores: Son aquellos aditivos que reducen al menos 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, que retardan el fraguado e incrementan su resistencia.
- Tipo E: Reductores de agua y aceleradores: Son aquellos aditivos que reducen al menos 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.
- Tipo F: Reductores de agua de alto rango: Son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% de agua de mezclado requerida, para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.
- Tipo G: Reductores de agua de alto rango retardadores: Son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, retardando el fraguado e incrementando su resistencia.
- Tipo H: Reductores de agua de alto rango aceleradores: Son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.

II.1.5. ADITIVOS HIDRÓFUGOS

En general, los aditivos hidrófugos se recomiendan para mezclas de concreto con dosis moderadas de cemento, ya que ellos pueden desarrollar su efecto obturador de los poros, microfisuras y fisuras capilares que poseen.

En mezclas de concreto con altas dosis de cemento el efecto de obturación lo produce el mismo cemento, por lo que para obtener un efecto mayor, conviene usar aditivos plastificantes, reductores de agua y/o incorporadores de aire, los que contribuyen a aumentar la densidad del concreto y, en consecuencia, su impermeabilidad.

Hay que tener en cuenta que no es posible lograr impermeabilidad sobre la base de aditivos hidrófugos en concretos defectuosos con un gran volumen de huecos, poros o nidos de piedra lo que comúnmente se llaman cangrejas producto de un mal vibrado de la mezcla al momento del vaciado.

Los hidrófugos se comercializan en forma de polvo o líquido más o menos pastoso y se utilizan en dosis del que varían de un 0,01% al 5% del peso del cemento.

Además debe considerarse que indirectamente los plastificantes - reductores de agua también tienen características impermeabilizantes, pues, al disminuir la dosis de agua manteniendo la misma relación agua-cemento de la mezcla de concreto, producen un aumento en la compacidad.

Los incorporadores de aire también contribuyen a la impermeabilidad frente a la capilaridad pues interponen burbujas de aire, que disminuyen el efecto de la tensión superficial del agua, en las vías de filtración que constituyen las fisuras y microfisuras.

II.1.5.1 Efectos de adición de aditivos hidrófugos

El efecto principal de los aditivos hidrófugos se relaciona con la disminución de la permeabilidad de las mezclas de concreto y morteros.

Las experiencias obtenidas con el uso de aditivos hidrófugos han comprobado que estos, además de reducir la permeabilidad del concreto, pueden tener efectos sobre las propiedades tales como:

- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento, especialmente si contiene lignosulfatos con azúcares.
- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.
- Incrementan la trabajabilidad del concreto en algunos casos en otros la disminuye.
- Disminuye la exudación.
- Pueden producir un aumento de la retracción hidráulica.

Los hidrófugos actúan físicamente, obturando los poros, microfisuras y fisuras existentes en el concreto por intermedio de dos procesos de distinta índole:

1. Por presencia de partículas muy finas con elevada superficie específica y que contribuyen a aumentar la compacidad de la mezcla.
2. Por llenado de las discontinuidades internas con una capa superficial impermeable o formando geles que rellenan las grietas y poros al aumentar de volumen por acción del agua.

II.1.5.2 Aditivo NOR-O-CON

Aditivo impermeabilizante de concreto, es una solución acuosa blanquecina a base de jabones metálicos que permite impermeabilizar integralmente el concreto, ya que actúa produciendo dos efectos: por un lado plastifica la mezcla permitiendo reducir la relación agua/cemento, con lo que se densifica el cemento y queda menos poroso y por otra parte reacciona químicamente con determinadas materias solubles en el agua del concreto convirtiéndolas en silicatos permanentes e insolubles que cierran los capilares. De esta manera, el mortero o concreto no puede absorber agua.

Uso:

Cuando a un concreto se le exige impermeabilidad, este aditivo es el adecuado. Por lo tanto, es recomendado especialmente para:

- Reservorios de agua.
- Piscinas.
- Tanques de almacenamiento.
- Paredes de retención.
- Columnas placas y paredes en fundaciones.
- Techos prefabricados.
- Losas en pendientes sobre platabandas.
- Placas y paredes en frigoríficos.
- Morteros para frisos, para juntas entre baldosas.
- Frisos exteriores.

Ventajas:

- Crea estructuras más duraderas en el tiempo, al forrar los canales capilares del concreto.
- Es económico y fácil de dosificar en la mezcla de concreto.
- Reduce las eflorescencias de sales inorgánicas y los agrietamientos.
- NOR-O-CON no reduce la resistencia del concreto como lo hacen otros impermeabilizantes integrales, sino al contrario, la incrementa a consecuencia de la posible reducción del factor A/C.
- Es adecuado también para el concreto pre-tensado o post-tensado, ya que no contiene cloruros ni estearatos.

Dosis y rendimiento:

Morteros y frisos se impermeabilizan exitosamente con el aditivo agregándolo al agua de la mezcla. Por regla general, se usa una relación de 400 cm³ del aditivo por 100 kg de cemento, pero en casos críticos, esta cantidad puede ser aumentada hasta un máximo de 800 cm³ por 100 kg de cemento.

Limitaciones:

Para concreto donde se requiera impermeabilidad bajo fuerte presión hidrostática, máxima durabilidad o ambientes muy agresivos.

Aplicación:

Agregar NOR-O-CON en la dosificación recomendada al agua de la mezcla, a fin de lograr máxima dispersión. Un concreto bien diseñado, según normas, se convierte con este aditivo en un concreto absolutamente impermeable. Para este efecto se recomienda que el contenido de partículas finas, es decir cemento más arena fina no sea menor de 400 kg/m³. La consistencia del concreto al vaciar debe ser plástica para lograr una densificación eficiente y uniforme.

Curado:

Es importante curar el concreto correctamente para evitar la evaporación prematura del agua y la formación de grietas superficiales.

Datos técnicos:

Se trata de un líquido blancuzco, que no contiene cloruros, ni sulfatos. El NOR-O-CON es ensayado bajo la norma ASTM C-140.

II.1.5.3 Aditivo Sikalite®

Descripción

Aditivo en polvo listo para usar y obtener concretos impermeables. Libre de cloruros.

Usos

Para impermeabilizar concretos y morteros de cimentaciones, muros de contención, losas, tanques, canales, alcantarillas, subterráneos; para todo concreto en general y morteros de aplanados, sobre todo en obras hidráulicas.

Ventajas

- Sikalite® contiene sustancias que sellan poros y repelen el agua.

- El Sikalite® reduce la permeabilidad del concreto, plastifica la mezcla y aumenta las resistencias.
- Un concreto con Sikalite® es menos permeable aún bajo presión de agua.
- Reduce la capilaridad del concreto evitando la formación de salitre.

Modo de empleo

Se mide la cantidad necesaria de Sikalite® por bachada, de acuerdo con el número de sacos de cemento que lleva la revoltura y se agrega en la arena. Nunca se deberá disolver en el agua de mezcla.

Dosificación:

0,5 kg por saco de cemento de 50 kg (1% peso del cemento).

Datos técnicos

Tipo: Aditivo en polvo a base de sustancias hidrófobas.

Color: De blanco a beige.

Densidad aparente: 0,9 kg/l aprox.

Precauciones

Para asegurar resultados óptimos del concreto con Sikalite®, deberá emplearse la mejor práctica en su elaboración, colocación, compactación y principalmente en el curado continuo durante 7 días. Se recomienda el revenimiento más bajo posible que permita una buena compactación y que el contenido de cemento no sea inferior a 250 kg por m³ de concreto.

II.1.5.4 Aditivo AQUAPEL

Descripción: información técnica:

AQUAPEL, es una solución acuosa de color blancuzco. Repelente al agua, cuidadosamente balanceada. Es un aditivo hidrófugo a base de jabones metálicos. El concreto en su estado natural tiende a absorber humedad permitiendo la entrada de agua por sus capilares.

La función del AQUAPEL es “forrar” los canales capilares o cavidades mínimas dentro del concreto, impidiendo la acción capilar. Dicha capilaridad se observa especialmente en concreto para bloques, morteros y frisos. El AQUAPEL cumple su función cubriendo las paredes de canales y poros con una película hidrófuga haciendo el concreto o mortero impermeable.

Recomendado para:

- Impermeabilizar mezclas para frisos.
- Impermeabilizar concreto para tanques y piscinas.
- Reducir la penetración de agua en concreto y morteros.
- Forrar los canales capilares y cavidades del concreto haciéndolo más resistente a los ataques externos.
- Impermeabilizar concreto de estructuras enterradas (sótanos, fosas, muros, etc.).

Características y beneficios:

- Al forrar los canales capilares del concreto, el AQUAPEL, hace la estructura más duradera en el tiempo.
- De fácil manejo y dosificación en la mezcla del concreto.
- Reduce la velocidad de penetración de agua en morteros y concretos.
- Reduce la eflorescencia en las estructuras de concreto.

Dosificación y rendimiento:

- Concreto: ½ litro por saco de cemento.
- Mortero, friso o lechada: 1 litro por saco de cemento.
- Bloques de concreto: 4-8 onzas (120 -24cm³) por saco de cemento.

Información técnica:

- Líquido de color blancuzco.
- No contiene cloruro ni sulfatos.

Presentación:

- Envase de 1 litro.
- Latas de 19 litros.

- Tambores de 208 litros.

Modo de empleo:

El AQUAPEL, se agrega simplemente al agua de la mezcla para obtener una máxima dispersión. El producto puede aplicarse en combinación con aditivos plastificantes o incorporadores de aire, pero agregando cada aditivo por separado a la mezcla. Para producir un concreto en masa que sea haciéndolo denso de alta resistencia y máxima impermeabilidad (paredes de sótanos y fundaciones).

II.1.6. CONCRETOS HIDRÓFUGOS

Se denomina concreto hidrófugo aquel al que se le incorpora aditivo hidrófugo en el momento del mezclado. Se excluyen, por lo tanto, los productos aplicados superficialmente, los que se denominan impermeabilizantes superficiales.

El concreto hidrófugo se emplea para fundaciones y sótanos, construcciones sumergidas, piscinas, represas, tanques de agua y toda construcción que requiera protección por impermeabilidad. Además se usa en paramentos de concreto visto y en general donde deba evitar la acción de agentes agresivos que pueden atacar el concreto o sus armaduras. Este tipo de concreto es ideal cuando existen altos gradientes de presiones entre las dos caras del elemento estructural.

No se recomienda la construcción de piezas que trabajen mayormente a la flexión, ya que en ellas suelen producirse grietas capilares a través de las cuales penetra la humedad y otras sustancias nocivas. Para impedir este efecto de capilaridad de las grietas, lo que se acostumbra es dar una mano de pintura asfáltica (impermeabilizante) a la superficie. Con una correcta dosificación puede lograrse una economía real en los concretos hidrófugos.

Existen dos procesos para incorporar el agua a la masa de la estructura uno es por presión hidrostática y el otro es por capilaridad. En el primero, el agua tiende a atravesar la masa del concreto, escurriendo a través de las discontinuidades que este posee en su interior en forma de fisuras y poros

intercomunicados aplicándole una alta presión en una de las caras de la estructura.

En el segundo proceso que es la capilaridad, el desplazamiento del agua se produce debido a la existencia de microfisuras de tamaño capilar, es decir que se pueden ver a simple vista (ver Fig. 2.5), permitiendo la ascensión del agua por efecto de su tensión superficial. Por este motivo, mientras más finos los capilares la altura alcanzada por el agua que asciende a través de los mismos es mayor.

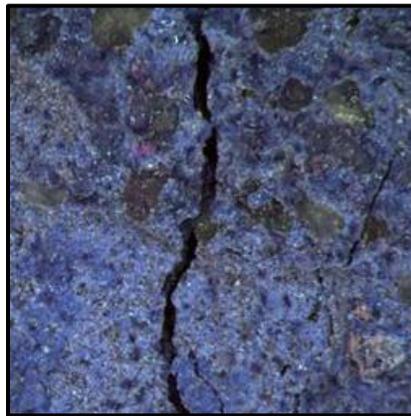


Fig. 2.5 Fisura capilar del concreto. Fuente: http://www.baxim.cl/html/aditivo_cristalizacion.html

Por las características señaladas, para aumentar la impermeabilidad del concreto es necesario obturar las fisuras, microfisuras y poros que posee normalmente, ya que derivan de la generación de tensiones internas de tracción durante el proceso de hidratación, endurecimiento y de la evaporación de parte del agua que se utiliza para realizar la mezcla, siendo esta incorporada para lograr una adecuada trabajabilidad mientras ésta aún en estado fresco.

Esta obturación se logra con la incorporación de granos muy finos, aportados por el cemento y la arena que intervienen en su composición. Sin embargo, dado que estos granos finos solo pueden ser incorporados en cantidad limitada porque se afectan otras propiedades del concreto o por razones de costo, un buen procedimiento para lograr esta impermeabilidad lo constituyen los aditivos hidrófugos de masa.

Tabla 2. Requisitos para condiciones de estanquidad. Fuente: Norma COVENIN 1753-2003. Proyecto y construcción de obras en concreto estructural.

CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	CONCRETO CON AGREGADO DE PESO NORMAL O AGREGADO LIVIANO	
	Máxima relación agua/cemento por peso	Mínima resistencia del concreto a compresión f'_c , kgf/cm ²
Concreto destinado a ser estanco:		
a. Concreto expuesto a agua dulce.	0.50	260
b. Concreto expuesto a agua salobre o de mar.	0.45	300
Para protección contra la corrosión de concreto reforzado en contacto o rociado por aguas salobres o aguas de mar.	0.40 ⁽¹⁾	350 ⁽¹⁾

CAPÍTULO III

III.1. MÉTODO

La metodología consistió en los pasos a seguir para lograr los objetivos antes mencionados utilizando ensayos de probetas cilíndricas según las normas COVENIN y desarrollando las actividades complementarias necesarias para obtener los mejores resultados. Las etapas que se cumplieron para alcanzar los objetivos fijados en el presente trabajo especial de grado fueron:

- III.1.1. Caracterización de los agregados: estudio de las características físicas de los agregados (granulometría, peso específico, peso unitario y capacidad de absorción de agua).
- III.1.2. Diseño de las mezclas: donde se determina las cantidades de los materiales que componen la mezcla patrón y la mezcla con los aditivos AQUAPEL (TECNOCONCRET). Sikalite® (SIKA®). NOR-O-CON (INDUSTRIAS NORDEX).
- III.1.3. Preparación de las mezclas, pesado de los componentes para iniciar el mezclado.
- III.1.4. Identificación de las características del concreto fresco: donde se determina el asentamiento que poseen las mezclas tanto la mezcla patrón como las mezclas con los aditivos.
- III.1.5. Identificación de las características del concreto endurecido donde se determinan la densidad de la mezcla, peso específico, resistencia a la compresión y permeabilidad.
- III.1.6. Comparación de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas en estado fresco y endurecido entre las mezclas con los aditivos AQUAPEL (TECNOCONCRET). Sikalite® (SIKA®) NOR-O-CON (INDUSTRIAS NORDEX) y la mezcla patrón.

Los procesos que a continuación se describen vinculan cada una de las etapas antes mencionadas, que fueron realizadas su mayoría en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME) de la Universidad Central de Venezuela (UCV):

III.1.1. Caracterización de los agregados

III.1.1.1 Distribución granulométrica

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas en una muestra, y decide la calidad del agregado para su empleo en el concreto, se determinó la composición granulométrica siguiendo los procedimientos descritos en la norma COVENIN 255-1998, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”.

Los agregados fueron donados por la empresa privada Agregados Puente Arena C.A en las instalaciones del Metro de Caracas en la estación Miranda 2 norte. Se utilizó para el ensayo de agregado grueso la cernidora mecánica (ver Fig. 3.1) y para el agregado fino diversos tamices disponibles en el laboratorio de agregados (ver Fig. 3.2), cumpliendo con la norma antes nombrada.



Fig. 3.1 Tamizadora mecánica para agregado grueso. Fuente: Propia.



Fig. 3.2 Tamizado Manual para agregado fino. Fuente: Propia.

III.1.1.2 Peso unitario

El peso unitario es un dato importante para la selección de los agregados ya que está relacionado con la calidad del material, aparte permite convertir pesos en volúmenes y viceversa, se empleó el proceso de la norma COVENIN 263-78 “Método de Ensayo para Determinar el peso unitario del agregado”; para obtener el peso unitario compacto y el peso unitario suelto. Se utilizó para el ensayo recipientes calibrados pertenecientes al laboratorio de agregados.

Tabla.3. Especificaciones de los recipientes utilizados en el ensayo Peso Unitario.
Fuente: Propia.

Recipiente	Peso (Kg)	Volumen (l)
Agregado grueso	8,750	14,400
Agregado fino	2,700	28,098

III.1.1.3 Peso Específico y Absorción de agua

Se realizó el ensayo siguiendo la norma COVENIN 268-1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción”, para el agregado fino y norma CONVENIN 269-1998 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción” para agregado grueso. Los datos de densidad se utilizaron para conocer la condición de volumen para el diseño de mezcla. La absorción se expresa como un porcentaje de la masa seca, los valores del ensayo se utilizan para calcular el cambio en la masa de un agregado por el agua retenida en los espacios de los poros saturables, comparado con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer la mayoría del potencial de absorción.

Tabla 4. Valores usuales de las relaciones peso/volumen del agregado. Fuente: Manual Del Concreto Estructural Porrero S., J. et al., 2009.

Valores usuales Agregado	Grueso	Fino
Peso Unitario Suelto (kgf/l)	1,4 - 1,5	1,5 - 1,6
Peso Unitario Compacto (kgf/l)	1,5 - 1,7	1,6 - 1,9
Densidad (peso Específico) ρ	2,5 - 2,7	2,5 - 2,7

A continuación se muestran los materiales y equipos utilizados para el ensayo de peso específico:



Fig. 3.3 Pícnometro con la muestra sumergida para ensayo de peso específico de agregado fino.
Fuente: Propia.



Fig. 3.5 Secado para obtener el saturado con superficie seca del agregado fino para el ensayo de peso específico. Fuente: Propia.



Fig. 3.4 Secado de la superficie del agregado grueso para ensayo de peso específico de agregado grueso.
Fuente: Propia.



Fig.3.6 Pesado de la muestra de agregado grueso sumergido en agua para ensayo de peso específico de agregado grueso. Fuente: Propia.

III.1.2. Diseño de las mezclas

Existen numerosos métodos para diseñar mezclas, que pueden parecerse o pueden diferir entre sí profundamente, con respecto a las variables que manejan y las relaciones que establezcan. De acuerdo con las condiciones reales de los materiales y de la tecnología del concreto puede preferirse uno u otro.

En el presente trabajo de grado se utilizó el método descrito en el Manual del Concreto Estructural Porrero S., J. et al., 2009, por ser este un procedimiento que no impone limitaciones a la granulometría ni a las proporciones de combinación de los agregados y ha tenido excelentes resultados tanto en laboratorios como en plantas de preparación comercial de concreto.

Se realizaron un total de cuarenta (40) probetas cilíndricas, distribuidas en diez (10) probetas con aditivo Sikalite®, diez (10) con aditivo NOR-O-CON, diez (10) con aditivo AQUAPEL y diez (10) probetas sin aditivo como mezcla patrón.

El diseño de mezcla fue el mismo para todas las mezclas, diferenciando la dosis de aditivos correspondiente a cada uno, especificado en las fichas técnicas.

III.1.2.1 Datos de Entrada:

✓ Tipo de Agregados:

El agregado donado para el trabajo especial de grado fue piedra triturada (agregado grueso) y arena triturada (agregado fino).

✓ Caracterización de los agregados:

Peso específico de los agregados finos y gruesos (γ_a , γ_g , respectivamente obtenidos de manera experimental).

✓ Relación Beta.

Relación beta (β) que denota el contenido de agregado grueso con relación al agregado fino. Se calculó mediante la combinación de agregados, utilizando el método graficado especificado en el Manual del Concreto Estructural de Joaquín Porrero 2009.

✓ Humedad del agregado fino y grueso:

Humedad del agregado fino y grueso (w_a , w_g , respectivamente) la cual se determinó poco antes de iniciar el proceso de mezclado realizando los siguientes pasos:

1. Se pesó una cantidad de agregado: 500 g de agregado fino y 1 Kg de agregado grueso tomados en estado natural y a temperatura ambiente.
2. Se colocó la muestra 10 minutos en el microondas para secar de manera rápida.
3. Se pesó la muestra secada y se calculó la diferencia de peso
4. Por último se utilizaron las siguientes fórmulas:

$$\%wG = \frac{W\omega \times Ws}{W\omega} \times 100$$

$$\%wA = \frac{W\omega \times Ws}{W\omega} \times 100$$

5. Conociendo la humedad de cada agregado se pudo calcular peso de agregado saturado con superficie seca:

$$G_{SS} = \frac{G_w \cdot (100 + Ab)}{(100 + w)}$$

$$G_W = \frac{G_{SS} \cdot (100 + w)}{(100 + Ab)}$$

✓ Absorción del agregado fino y grueso:

Absorción del agregado fino y grueso. (Abs_a , Abs_g , respectivamente) las cuales fueron obtenidas de manera experimental en procesos previos.

✓ Tamaño Máximo del agregado grueso (P):

El cual se obtuvo en el ensayo de granulometría, siendo el tamiz de mayor abertura en el que se queda retenido mayoritariamente el agregado.

✓ Resistencia de diseño.

La resistencia media a la compresión del concreto a los 28 días (f'_c ó R_{28}) deseada es de $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, como se menciona en el título del presente

trabajo especial de grado y se verificó la resistencia promedio requerida (f'_{cr}) para concretos con $f'_c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$ según la Norma COVENIN 1753-2003 A “Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”. Se consideró esta resistencia de diseño para lograr un concreto lo menos permeable posible, se necesita una relación de agua-cemento de 0,5 o menor, por lo tanto la resistencia a la compresión aumenta, además que para efectos de esta investigación el uso al cual se va a destinar el concreto es para elementos estructurales sometidos a la acción de la humedad, por tal motivo requieren mayor resistencia a la compresión. Tomando en cuenta que el control de calidad desde el principio que aplicó fue excelente y que el valor de la resistencia estaba comprendida entre 210 Kgf/cm^2 y 300 Kgf/cm^2 , se trabajó con valores de sigma (δ) iguales a 60 Kgf/cm^2 según la Norma COVENIN 1753-2003 A “Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”.

$$f'_c = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_{cr} = f'_c + \delta$$

$$f'_{cr} = 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} + 60 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 340 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

III.1.2.2 Procedimiento del diseño de la mezcla

Luego de definidos los datos previos se procedió a realizar los cálculos del diseño de mezcla.

1. Cálculo de la Relación agua/cemento (α)

Utilizando el valor obtenido anteriormente de f'_{cr} con la siguiente fórmula se obtiene:

$$\alpha = 3,147 - 1,065 \times \log f'_{cr}$$

2. Corrección de la Relación agua/cemento (α)

Corrección en función del tamaño máximo (KR) y el tipo de agregados (KA), ambos valores obtenidos del manual del concreto estructural Porrero S., J. et al.,

(2009), en la tabla VI.7 KR factor para corregir α por tamaño máximo, mm (pulgadas) y VI.8 KA factor para corregir α por tipo de agregado, obteniendo la relación agua/cemento corregido (αc) mediante la ecuación:

$$\alpha c = \alpha \times Kr \times Ka$$

3. Cálculo de la Dosis de Cemento (C)

Con αc se calculó la cantidad de cemento (C) a incorporar en la mezcla tomando en cuenta la relación triangular, seguidamente se debe corregir (Cc) por tamaño máximo (C1) y por tipo de agregados (C2), ambos valores obtenido del manual del concreto estructural Porrero 2009, en la tabla VI.11 C₁ factor para corregir C por tamaño máximo, mm (pulgadas) y VI.12 C₂ factor para corregir C por tipo de agregado:

$$C = 117,2 \times \frac{T^{0,16}}{\alpha c}$$

4. Corrección de la Dosis de Cemento (C)

$$Cc = C \times C1 \times C2$$

5. Los volúmenes de aire y de Agua presentes en la mezcla.

Se estimaron con las fórmulas:

$$V = \frac{Cc}{P}$$

$$a = Cc \times \alpha c$$

6. Cantidad de agregado fino y grueso:

Con la relación del β y el peso específico de los agregados se estimó la cantidad de agregado necesario para un metro cúbico de mezcla de concreto, utilizando las siguientes expresiones.

$$\gamma (A + G) = [\gamma G \times (1 - \beta)] + [\gamma A \times \beta]$$

$$A + G = \gamma (A + G) \times (1000 - (0,3 \times Cc) - a - V)$$

$$A = (A + G) \times \beta$$

$$G = (A + G) \times (1 - \beta)$$

7. Corrección del agua para la mezcla por efecto de la Humedad:

$$am = a + (Asss - A) + (Gsss - G)$$

8. Por último se debe calcular la cantidad de aditivo a utilizar para cada mezcla de acuerdo a las especificaciones del mismo.

III.1.3. Preparación de las mezclas

Para la realización de las probetas cilíndricas de concreto se desarrolló el procedimiento descrito en la norma COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo de cilindros de concreto”.

Lo primero que se realizó para iniciar el mezclado fue el acondicionamiento de los moldes donde se vaciaron las mezclas de concreto (ver figura 3.7).

Después se procedió a pesar con una balanza calibrada (ver figura 3.8 y figura 3.9), cada uno de los materiales que se van a utilizar, estos fueron: piedra picada, arena de río triturada, cemento Portland tipo III y agua.

Se realizó la preparación del concreto, iniciando con el mezclado de los materiales en una mezcladora de eje vertical (ver figura 3.10), tomando en cuenta cada uno de los siguientes pasos.

1. Se colocó la cantidad de piedra requerida según el diseño de mezcla con un tercio aproximadamente del agua necesaria
2. Se inició el movimiento del trompo para comenzar con la mezcla
3. Se vertió la cantidad de arena pesada previamente.
4. Se agregó el resto del agua requerida para la mezcla.
5. Se fue agregando el cemento hasta hacer una mezcla homogénea y consistente.

Pasos a seguir según cada aditivo:

- a) Para el aditivo NOR-O-CON (INDUSTRIAS NORDEX) se realizó el mismo procedimiento que para la mezcla patrón, con diferencia que al agua de la mezcla se le agregó el aditivo utilizando la dosis según las

especificaciones técnicas.

b) Para el aditivo AQUAPEL (TECNOCONCRET) se realizó el mismo procedimiento que para la mezcla patrón, con diferencia que al agua de la mezcla se le agregó el aditivo utilizando la dosis según las especificaciones técnicas.

c) Para el aditivo Sikalite® (SIKA®):

- a. Se inició el movimiento de la mezcladora.
- b. Se vertió la cantidad de arena pesada previamente.
- c. Se pesó el aditivo según la dosificación prevista en las especificaciones de su ficha técnica y se le agregó a la arena.
- d. Luego que la arena y el aditivo se homogeneizaran, se colocó la cantidad de piedra requerida según el diseño de mezcla con un tercio aproximadamente del agua necesaria.
- e. Se agregó el resto del agua requerida para la mezcla.
- f. Se fue agregando el cemento hasta hacer una mezcla homogénea.



Fig. 3.7 Preparación de los moldes, limpiándolos y colocándole una capa de aceite SAE 15w40. Fuente: Propia.



Fig. 3.8 Pesado del cemento Portland tipo III. Fuente: Propia.



Fig. 3.9 Pesado de los agregados, tanto fino como grueso. Fuente: Propia.



Fig. 3.10 Mezclado de los componentes del concreto con mezcladora de eje vertical. (Se evidencia que la mezcla se encuentra homogénea).
Fuente: Propia.

III.1.4. Caracterización del concreto fresco

III.1.4.1 Asentamiento

Luego del mezclado del material se realizó el ensayo de asentamiento a cada una de las mezclas (patrón, con aditivo Sikalite®, con aditivo NOR-O-CON y con aditivo AQUAPEL), siguiendo el procedimiento contenido en la Norma COVENIN 339 “concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”

Inicialmente se humedeció el Cono de Abrams y la barra lisa, luego se colocó en una superficie horizontal rígida, plana y no absorbente previamente humedecida. El molde se sujetó firmemente por las aletas pisándolas con los pies del operador y se llenó el Cono con la mezcla de concreto mediante tres capas consecutivas de 1/3 de altura cada una.

Se compactó cada capa dando 25 golpes distribuidos en su sección transversal haciendo uso de una barra compactadora normalizada (ver figura 3.11) y finalmente se enrasó el cono utilizando la misma barra.

Una vez enrasado el Cono de Abrams, se levanta cuidadosamente y se voltea al lado de la muestra, se coloca la barra sobre el Cono, el asentamiento de la muestra de concreto es la altura que existe entre la barra y la base superior del cono deformado de concreto (ver figura 3.12).



Fig. 3.11 Compactación del Cono de Abrams con la barra lisa. Fuente:



Fig. 3.12 Medición del asentamiento de la muestra de concreto utilizando el Cono de Abrams. Fuente: Propia.

III.1.4.2 Peso Unitario

Se emplea principalmente para comprobar el rendimiento de la mezcla y el contenido de materiales por m³ evidenciando que a mayor dosis de cemento menor será el peso unitario de la mezcla.

Siguiendo el procedimiento de la Norma ASTM C-138 “Peso unitario, rendimiento, y contenido de aire del hormigón fresco. Método gravimétrico.”

Utilizando un envase calibrado de 2.800,00 g y 7,91 L y se vertió en él una muestra de la mezcla sin compactar, se enrasó y se pesó, luego se devolvió la muestra al mezcladora. Inmediatamente se vertió en el envase una muestra en tres capas y esta se compactó con la barra lisa dándole 25 golpes, se enrasó y se pesó.

Teniendo estos dos pesos se calcula el peso unitario.

$$Pu = \frac{(Pt + c - Pt)}{Vt}$$

Dónde:

PU: Peso unitario del concreto.

P_{t+c}: Peso del envase más concreto.

P_t: Peso del envase.

V_t: Volumen del envase.

III.1.4.3 Vaciado del material

El concreto se colocó en el molde en tres capas de igual volumen aproximadamente. Cada capa se compactó con un número de 25 golpes, para lo cual se utilizó la barra compactadora lisa punta roma con espesor de 16 mm de diámetro y 600 mm de largo. Los golpes se distribuyeron uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo se compactó en toda su profundidad mientras que en las capas superiores se penetró la barra aproximadamente de 2 a 3 cm de la capa siguiente. En los casos donde al retirar la barra quedaron huecos en el cilindro, éstos se cerraron golpeando suavemente las paredes del molde, con un martillo de goma para tal fin.

Después de compactar el concreto, se enrasó la probeta con la barra y luego con la cuchara de albañilería, de manera que la superficie quedó perfectamente lisa y al ras con el borde del molde.

III.1.4.4 Curado

Una vez elaboradas las probetas se protegieron de la pérdida de agua por evaporación, almacenándolas en un lugar con sombra a temperatura ambiente.

Las probetas fueron retiradas de los moldes (ver figura 3.13), en un lapso de tiempo de 24 horas, después de su elaboración se almacenaron hasta el momento del ensayo, en unas bañeras con agua y cal identificadas cada una con la fecha de la elaboración de las mismas. (Ver figura 3.14).



Fig.3.13 Desmoldado de las probetas. Fuente: Propia.



Fig. 3.14 Colocación de las probetas en bañeras con agua y cal para su curado. Fuente: Propia.

III.1.5. Caracterización del concreto endurecido

III.1.5.1 Densidad Absoluta

Los cilindros utilizados en el ensayo de resistencia a la compresión, fueron pesados con una balanza de precisión 1mg y medidos con un vernier de 60 cm de largo con una precisión de 0,001 cm (ver figura 3.15 y figura 3.16).

Se calculó la densidad (ρ) según la fórmula:

$$\rho = \frac{Wp}{V}$$

Dónde:

Wp: peso de la probeta

V: volumen de la probeta calculado con la altura y el diámetro promedio del cilindro

Se tomó como densidad el promedio de todos los cilindros ensayados a compresión de cada mezcla.



Fig. 3.15 Medición de las probetas (altura y diámetro) con el uso de vernier de precisión.
Fuente: Propia.



Fig. 3.16 Pesado de las probetas en una balanza.
Fuente: Probia.

III.1.5.2 Ensayo de Absorción

Se pesaron los cilindros con superficie seca y luego se colocaron en un horno a 160 °C (ver figura 3.17), durante 24 horas para secarlas completamente y pasarlas nuevamente.

El porcentaje de absorción se calculó con la siguiente fórmula:

$$\%Abs = \frac{(W_{sss} - W_s)}{W_s} \times 100$$



Fig. 3.17 Horno para secar las probetas de concreto durante 24 horas. Fuente: Propia.

III.1.5.3 Ensayo a compresión de cilindros de concreto

Según Norma COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, y ensayo a compresión de cilindros de concreto curado”.

Se realizó el ensayo a los cilindros a la edad de 28 días, a cada uno de ellos se les tomaron tres medidas de altura y diámetro, utilizando un vernier. Con el promedio de esas medidas se obtuvo el diámetro y la altura de cálculo para la resistencia.

Posteriormente se colocó cada probeta en la máquina de ensayos teniendo cuidado de centrarlas sobre un disco confinante, cara inferior de la probeta y otro en la cara superior (ver figura 3.18), para así alinear verticalmente con el vástago de aplicación de carga y seguidamente comprimirlas mecánicamente hasta que llegaron a la falla. (Ver figura 3.19).

Seguidamente se tomaron los resultados de carga y esfuerzos a los cuales fallaron las probetas. A continuación se realizó una inspección visual de los distintos tipos de falla.

Para calcular el esfuerzo del concreto se utilizó la siguiente ecuación:

$$Rc = \frac{P}{A}$$

Dónde:

Rc: resistencia a compresión en Kgf/cm².

P: carga máxima aplicada en Kgf.

A: área de la sección transversal del cilindro en cm².



Fig. 3.18 Colocación de la probeta para ser comprimida.
Fuente: Propia.

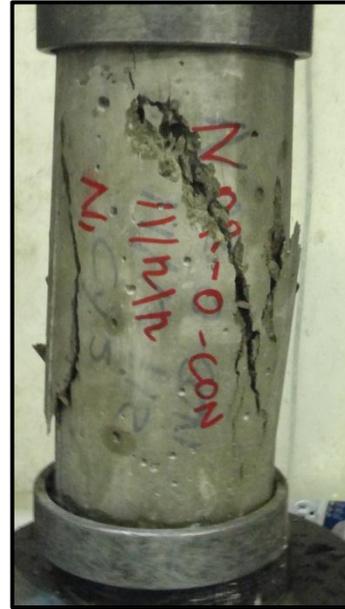


Fig. 3.19 Probeta luego que falló por compresión.
Fuente: Propia.

III.1.5.4 Ensayo de permeabilidad

Este ensayo se realizó siguiendo la Norma española UNE 83-310-90 “Ensayos de hormigón determinación de la permeabilidad”.

Esta norma especifica un método para la determinación de la permeabilidad del agua bajo presión del concreto endurecido. Es aplicada tanto en probetas moldeadas como en probetas testigo. Debe tomarse en cuenta que la permeabilidad al agua de las estructuras de concreto están fuertemente influenciadas por el grado de compactación, la presencia de juntas, fisuras o heterogeneidades (cangrejeras), así como la forma de conservación.

El epóxico utilizado para desarrollar este ensayo fue donado por la empresa desarrolladora de químicos QUIMICON C.A.

Las presiones hidrostáticas con las cuales se realizó el ensayo fueron de 3, 6 y 9 atmosferas equivalentes a 30, 60 y 90 metros de columna de agua (m.c.a), respectivamente según se especifica en la norma UNE 83-310-90 durante 24 horas continuas para cada presión suministrada, las cuales deben de ser $P/3$, $2P/3$ y P , siendo la presión (P) de diseño 9 atm o 90 metros de columna de agua (m.c.a).

Para la realización de este ensayo se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- ✓ Sierra cortadora de concreto.
- ✓ Anillos de acero.
- ✓ Epóxico a base de resina.
- ✓ Planchas de acero.
- ✓ Barras enroscadas.
- ✓ Llaves de 5/8" y 14mm.
- ✓ Empacaduras de goma.
- ✓ Martillo.
- ✓ Plastilina.
- ✓ Cincel.
- ✓ Prensa hidráulica.
- ✓ Jeringa de 20ml.
- ✓ Máquina de permeabilidad ubicada en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (I.M.M.E.).

Procedimiento:

1. Se cortaron las probetas de concreto cada 10 cm de altura. (ver figura 3.20).
2. Se limpiaron los anillos de acero para quitarle el exceso de material o residuos.

3. Se introdujeron las probetas de 10 cm de altura dentro de los anillos.
4. Se colocó por el borde de la probeta y el anillo la cantidad suficiente de plastilina para evitar que percolara cualquier tipo de líquido en el caso de este trabajo de investigación se trató del epóxico de resina.
5. Se realizó la preparación del epóxico mezclando cada componente en iguales proporciones.
6. Se vertió el epóxico con la jeringa de 20ml por los bordes donde se encuentra la abertura entre el anillo y el cilindro de concreto, esto para asegurar de que la presión de agua actúe sobre la cara efectiva del cilindro.
7. Se esperó a que se secara el epóxico unas 24 horas y con el martillo retirar el exceso del mismo en ambas caras para dejar expuesto el concreto. (ver figura 3.21).
8. Una vez limpiadas las probetas se procedió a instalarlas en la máquina de permeabilidad ajustándolas con las planchas de acero, las barras enroscadas y empacaduras de goma. (ver figura 3.22 y 3.23).
9. Se debe comprobar que la bombona de gas, que en el caso de esta máquina es nitrógeno, tenga la cantidad de gas necesaria para generar la presión de agua.
10. Llenar el recipiente de agua por el embudo que se encuentra en la parte superior de la máquina. (ver figura 3.24).
11. Asegurando de que no exista ninguna fuga se le inyectó la presión estimada durante 24 horas. (ver figura 3.25).
12. Una vez que se termina de suministrar la presión a cada probeta, se procedió a retirar los anillos y a extraer los cilindros de concreto utilizando la prensa hidráulica. (ver figura 3.26).
13. Ya extraídos los cilindros de concreto de los anillos se le aplicó la tracción indirecta o ensayo a compresión brasilero para conocer cuánto fue la penetración del agua en la probeta, la cual es expresada en centímetros. (ver figura 3.27 y figura 3.28).
14. Por último con el martillo y el cincel se limpiaron los anillos de acero.



Fig. 3.20 Sierra eléctrica para cortar las probetas. Fuente: Propia.



Fig. 3.23 Probetas con epóxico las cuales se debieron retirar el exceso en ambas caras. Fuente: Propia.



Fig. 3.21 Placas de acero, empacaduras de goma y barras enroscadas con respectivas tuercas. Fuente: Propia.



Fig. 3.24 Montaje de las probetas de concreto para aplicarle la presión de agua. Fuente: Propia.



Fig. 3.22 Embudo para introducir el agua y bombona de gas nitrógeno. Fuente: Propia.



Fig. 3.25 Manómetro para medir la presión de agua suministrada. Fuente: Propia.



Fig. 3.26 Extracción de los cilindros de concreto de los anillos de acero.
Fuente: Propia.



Fig. 3.27 Ensayo de compresión indirecta o brasilero.
Fuente: Propia.



Fig. 3.28 Medición de la penetración del agua en el cilindro de concreto aplicándole presión hidrostática.
Fuente: Propia.

III.1.6. Comparación de las mezclas con aditivos contra la mezcla patrón

Los resultados obtenidos a través de los distintos ensayos realizados a las diferentes mezclas de concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, permitieron establecer semejanzas y diferencias entre las mezclas elaboradas con los tres aditivos ensayados respecto a la mezcla patrón.

Las propiedades comparadas son las siguientes:

- ✓ Mezclas de concreto en estado fresco: asentamiento y peso unitario.
- ✓ Mezclas de concreto en estado endurecido: porcentaje de absorción de agua, densidad, resistencia a compresión y permeabilidad.
- ✓ Se verificó la trabajabilidad de las mezclas con respecto a la mezcla patrón.

También se realizaron gráficos para cada mezcla, expresando:

- ✓ Resistencia a compresión para cada mezcla.
- ✓ Permeabilidad para cada mezcla.

CAPÍTULO IV

IV.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El eje central de todo trabajo de investigación son los resultados de cada uno de los ensayos realizados, para poder llegar a una conclusión en base a éstos, por tal motivo constituyen una parte fundamental de este trabajo especial de grado. Su análisis está orientado a describir las propiedades físicas y mecánicas del concreto a través de los distintos ensayos, con la finalidad de comparar los resultados al utilizar aditivos hidrófugos (Sikalite®, AQUAPEL Y NOR-O-CON) con la mezcla patrón sin aditivos, con ello se podrá contrastar si el comportamiento del concreto se modifica por la presencia de aditivos hidrófugos en el mismo.

Para poder demostrar los resultados se hará el uso de tablas y gráficos de cada uno de los ensayos experimentales realizados a las probetas de concreto y así conocer las principales propiedades del concreto, siguiendo el método anteriormente descrito cumpliendo con los objetivos planteados.

IV.1.1. Caracterización de los agregados

IV.1.1.1 Distribución granulométrica

Tabla 5. *Granulometría Agregado Grueso. Fuente: Propia.*

Cedazo	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3/4"	51,20	0,47	0,47	99,53
1/2"	457,75	4,16	4,63	95,37
3/8"	3498,34	31,80	36,43	63,57
1/4"	3154,78	28,68	65,11	34,89
#4	2127,70	19,34	84,46	15,54
#8	1083,21	9,85	94,30	5,70
#16	435,78	3,96	98,27	1,73
#30	152,23	1,38	99,65	0,35
Fondo	38,61	0,35	100,00	0,00
Total	10999,60	100,00		

Tabla 6. Porcentaje de Pasante Agregado Grueso. Fuente: Propia.

Cedazo	Porcentaje pasante		
	Max	Min	Grueso
3/4"	100,00	90,00	99,53
1/2"	100,00	80,00	95,37
3/8"	85,00	50,00	63,57
1/4"	60,00	25,00	34,89
#4	40,00	15,00	15,54
#8	20,00	5,00	5,70
#16	10,00	0,00	1,73
#30	5,00	0,00	0,35

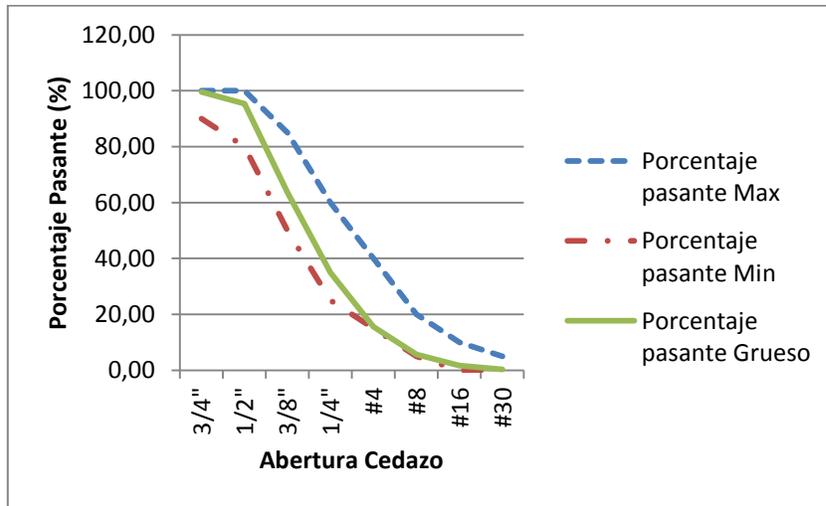


Gráfico 4.1. Valores Máximos Y Mínimos de porcentaje pasante del agregado grueso. Fuente: Propia.

Tabla 7. Granulometría Agregado Fino. Fuente: Propia.

Abertura (mm)	Cedazo	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante acumulado
12,7	1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
9,53	3/8"	6,50	0,22	0,22	99,78
6,35	1/4"	277,20	9,25	9,47	90,53
4,76	#4	291,90	9,74	19,21	80,79
2,38	#8	609,60	20,35	39,56	60,44
1,19	#16	517,60	17,28	56,84	43,16
0,59	#30	565,50	18,88	75,72	24,28
0,29	#50	526,40	17,57	93,29	6,71
0,14	#100	116,20	3,88	97,17	2,83
0,07	#200	64,00	2,14	99,31	0,69
	Fondo	20,80	0,69	100,00	0,00
Total agregado		2995,70	100,00		

Tabla 8. Porcentaje de Pasante Agregado Fino. Fuente: Propia.

Cedazo	Porcentaje pasante		
	Max	Min	Fino
1/2"	100,00		100,00
3/8"	100,00	95,00	99,78
1/4"	100,00	90,00	90,53
#4	100,00	85,00	80,79
#8	95,00	60,00	60,44
#16	80,00	40,00	43,16
#30	60,00	20,00	24,28
#50	30,00	8,00	6,71
#100	10,00	2,00	2,83
#200	5,00	0,00	0,69

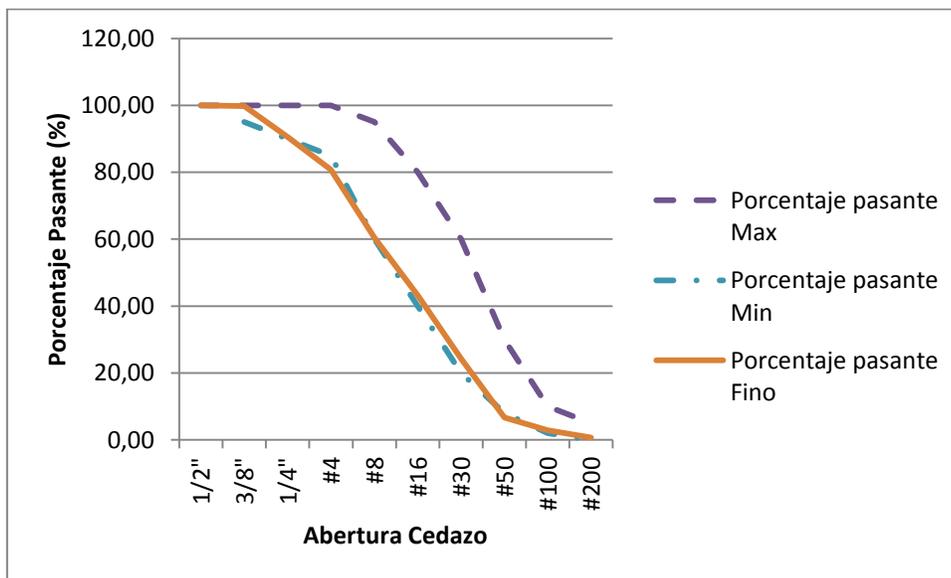


Gráfico 4.2. Valores Máximo Y Mínimo de porcentaje pasante del agregado fino. Fuente: Propia.

Según la Norma COVENIN 277-2000 “Concreto, Agregados. Requisitos”, el agregado fino debe estar constituido por arena de río, de mina o proveniente de piedras trituradas, de otra fuente o de arena de mar siempre que cumplan con los requisitos que establece la presente Norma Venezolana. De acuerdo a la información suministrada por la cantera de donde provienen los agregados donados se informó que el agregado fino es arena triturada.

El tamaño máximo (P) de un agregado es el tamaño de sus partículas más gruesas, medido como la abertura del cedazo de menor tamaño que deje pasar 95% o más del material. Si se observa la granulometría del agregado grueso (Ver Tabla 5) se puede definir el tamaño máximo nominal en ½" (12,7 mm), es posible obtener resistencias a la compresión más elevadas teniendo los tamaños máximos más pequeños. Para lograr cierto grado de impermeabilidad en el concreto es necesario utilizar agregados de menor tamaño ya que se estarían reduciendo los espacios vacíos y evitando las microfisuras que son las que afectan e incrementan la percolación de agua y humedad en el concreto. Por lo tanto con un valor de Tamaño Máximo de ½" esperamos concretos menos permeables y con altas resistencias.

Según la norma COVENIN 277-2000. "Concreto, Agregados. Requisitos" especifica que la relación en gramos entre el tamaño máximo y el tamaño mínimo no debe ser mayor a 3. Si aplicamos este punto de la norma a la muestra de piedra picada obtenemos lo siguiente:

$$\frac{\text{Tamaño máximo } \frac{1}{2}''}{\text{Tamaño mínimo \#4}} \leq 3$$
$$\frac{51,00 \text{ g}}{700,00 \text{ g}} = 0,073 < 3 \text{ Cumple.}$$

En ella también se especifica que dos cedazos consecutivos no debe tener más del 45% de retenido para garantizar que exista una buena variedad de tamaños. En relación con el agregado fino ensayado se cumple con este apartado de la norma, ya que ninguno de los cedazos consecutivos retiene más del 38%.

Con la evidencia en las gráficas 4.1 y 4.2, porcentaje pasante del agregado grueso y porcentaje pasante del agregado fino, respectivamente, se encuentran dentro de los valores mínimos y máximos especificados en la norma COVENIN 277-2000 "Concreto, Agregados. Requisitos". En el caso del agregado fino los cedazos #4 y #50 los valores están por debajo de la norma antes mencionada.

En general los parámetros obtenidos en los ensayos algunos de los pasantes no cumplen con el porcentaje de los límites, sin embargo, es importante resaltar

que las normas para este ensayo no son un criterio de aceptación o rechazo del material, si no recomendaciones para optimizar la mezcla, es decir, un material puede no cumplir con las especificaciones de la norma y sin embargo usarse siempre y cuando sea seguro y respaldado.

IV.1.1.2 Peso unitario

Tabla 9. *Peso Unitario Agregado Grueso. Fuente: Propia.*

Peso Unitario A. Grueso (kgf/l)			
	W (Kg)	Volumen (l)	Peso Unitario
Recipiente	8,75	14,40	
Suelto	21,20	14,40	1,47
Compacto	22,05	14,40	1,53

Tabla 10. *Peso Unitario Agregado Fino. Fuente: Propia.*

Peso Unitario A. Fino			
	W (Kg)	Volumen (l)	Peso Unitario (kgf/l)
Recipiente	2,70	2,81	
Suelto	4,40	2,81	1,57
Compacto	5,00	2,81	1,78

El peso unitario es importante porque accede a convertir pesos en volúmenes y viceversa, al trabajar con agregados. Su uso en la construcción permite descubrir la cantidad de vacíos presentes en los agregados y de acuerdo a la Tabla 2 del método antes descrito, las estimaciones de pesos unitarios están en el rango de los valores normales.

IV.1.1.3 Peso Específico y Absorción de agua

Tabla 11. *Densidad Agregado Grueso. Fuente: Propia.*

Densidad A. Grueso	
W _{ss} (kg)	3,00
W ₁ (kg)	1,84
ρ (kgf/l)	2,59

Tabla 12. *Porcentaje absorción Agregado Grueso. Fuente: Propia*

Absorción A. Grueso	
W _{ss} (kg)	3,00
W ₂ (kg)	2,97
A (%)	1,08

Tabla 13. Densidad Agregado Fino.

Fuente: Propia.

Densidad A. Fino	
Wsss (gr)	500,00
W1 (gr)	1275,40
W2 (gr)	1585,70
ρ (kg/l)	2,64

Tabla 14. Porcentaje absorción

Agregado Fino. Fuente: Propia.

Absorción A. Fino	
Wsss (gr)	500,00
W3 (gr)	494,20
A (%)	1,17

Tabla 15. Variables para el Cálculo de Densidad y absorción del Agregado Grueso. Fuente: Propia.

Wsss	Peso agregado saturado y superficie seca
W1	peso sumergido en agua
W2	peso de muestra secada en horno
ρ	Densidad Nominal
A	Absorción

Tabla 16. Variables para el Cálculo de Densidad y absorción del Agregado Fino. Fuente: Propia.

Wsss	Peso agregado saturado y superficie seca
W1	peso de picnómetro lleno de agua
W2	peso de picnómetro con la muestra y agua
W3	peso de muestra secada en horno
ρ	Densidad Nominal
A	Absorción

La norma COVENIN 269:1998 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y absorción” establece que los agregados gruesos deben tener una absorción menor al 2%, el agregado ensayado posee una absorción de 1,08%, lo cual garantiza que el material tiene una baja porosidad y por tanto él no va a aumentar su masa debido al agua alojada en los poros del mismo.

La norma COVENIN 268-1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y absorción” establece que los agregados finos deben tener una absorción no mayor al 1%, en tal sentido el agregado fino ensayado no cumple con esta norma, esto tiene un significado de que la mezcla va a requerir un poco más de contenido de agua en el diseño de mezcla, al momento de realizar la corrección por humedad de los agregados para garantizar el comportamiento esperado dentro de la mezcla.

El peso específico es un valor de que permite definir si un agregado tanto fino como grueso es de buena o mala calidad, principalmente el uso del peso específico es para establecer el volumen que representa los áridos en el diseño de mezcla. El rango que la norma COVENIN 268-1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y absorción” y 269-1998 “Agregado grueso.

Determinación de la densidad y absorción” establecen que el peso específico de los agregados sea entre 2,5 a 2,7 kg/l. Tanto el agregado grueso como el fino se encuentran dentro de los valores establecidos en ambas normas.

IV.1.2. Diseño de las mezclas

IV.1.2.1 Cálculo del beta

Tabla 17. Cálculo del β . Fuente: Propia.

Cedazo	Porcentaje pasante		$\beta=55\%$
	Max	Min	Comb
1/2"	100,00	90,00	97,92
3/8"	98,00	90,00	83,49
1/4"	65,00	51,00	65,49
#4	58,00	42,00	51,43
#8	43,00	37,00	35,80
#16	31,00	17,00	24,52
#30	20,00	10,00	13,51
#50	11,00	5,00	3,69
#100	6,00	1,00	1,56

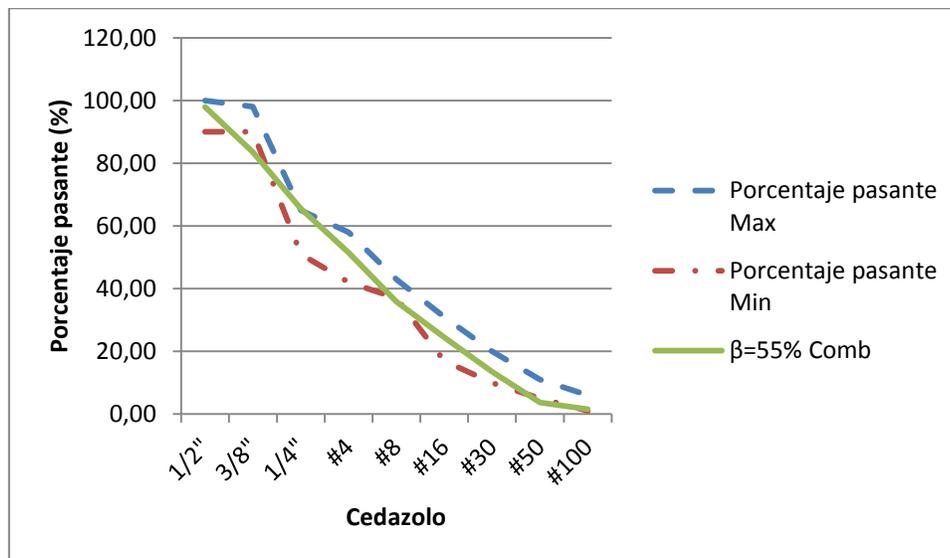


Gráfico 4.3. Cálculo del β . Fuente: Propia.

Si se toma un β más hacia el lado de los finos entonces, la mezcla será poco propensa a la segregación y es ideal para bombearla, lo cual es más costosa, ya que requiere de más cemento. Por el contrario si se toman valores más hacia el lado de los gruesos, entonces la mezcla es más económica pero con más

posibilidad de segregarse. Se calculó el valor de β a través de la herramienta de Microsoft Office Excel cumpliendo el método según Porrero S., J. et al., (2009), se calcula una combinación de agregados de β de 55%, siendo este valor el más idóneo para evitar una segregación de agregados y a su vez hacer la mezcla más económica, luego se construyó el gráfico 4.3 de tal manera que permite observar que la relación de β cumple con los valores máximos y mínimos establecidos en la tabla VI.1 límites granulométricos recomendados para distintos tamaños máximos del agregado % pasante del Manual Del Concreto Estructural Porrero S., J. et al., (2009).

IV.1.2.2 Cálculo de la Humedad

Tabla 18. Humedad del agregado grueso. Fuente: Propia.

Humedad A. Grueso	
Ww (kg)	1,00
Ws (kg)	0,99
ω (%)	1,44

Tabla 19. Humedad del agregado fin. Fuente: Propia.

Humedad A. Fino	
Ww(gr)	500,00
Ws (gr)	475,40
ω (%)	4,92

La humedad en los agregados no es un factor determinante cuando se trata de aceptarlos o rechazarlos, bien sea un agregado fino o grueso. Este factor se tomó en cuenta para efectos de cálculo ya que solo en esta etapa es donde repercute, dado que la cantidad de agua estimada inicialmente tendrá que ser menor para compensar el exceso de agua contenida en el agregado, por lo tanto la cantidad de agua a agregar será menor que la del diseño inicial.

IV.1.2.3 Diseño de Mezcla

Tabla 20. Diseño de Mezcla. Fuente: Propia.

Diseño de Mezcla			
Datos		Cálculo α	
f'_{cr} (kg/cm ²)	340,00	α	0,45
β (%)	55,00	Kr	1,10
ρ_A	2,64	Ka	1,14
ρ_G	2,59	α corrección	0,57
P (mm)	12,70		
T (cm)	7,00		
Dosis de Cemento (kg/m ³)		Agua y Agregados	
C	335,71	a (kg/m ³)	277,03
C1	1,14	V (l/m ³)	38,57
C2	1,28	ρ_{A+G}	2,62
Ccorrección	489,86	A+G (kgf/m ³)	1405,41

Tabla 21. Corrección por humedad del agua de la mezcla. Fuente: Propia.

Corrección por humedad	
Gw	942,60
Aw	1190,51
am	130,05

IV.1.2.4 Dosis de las mezclas

Tabla 22. Dosificación de la mezcla Patrón. Fuente: Propia.

Dosis Patron (1 m ³)		10 probeta (60l)
A (kg)	772,98	46,38
G (kg)	632,44	37,95
a (kg)	246,16	14,77
C (kg)	489,86	29,39

Tabla 23. Dosificación de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.

Dosis Aquapel (1 m ³)		10 probeta (60l)
A (kg)	772,98	46,38
G (kg)	632,44	37,95
a (kg)	246,16	14,77
C (kg)	489,86	29,39
Aquapel(l)	5,76	0,35

Tabla 24. Dosificación de la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia.

Dosis Sikalite (1 m ³)		10 probeta (60l)
A (kg)	772,98	46,38
G (kg)	632,44	37,95
a (kg)	246,16	14,77
C (kg)	489,86	29,39
Sikalite(kg)	5,76	0,35

Tabla 25. Dosificación de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.

Dosis Nor-o-con (1 m ³)		10 probeta (60l)
A (kg)	772,98	46,38
G (kg)	632,44	37,95
a (kg)	246,16	14,77
C (kg)	489,86	29,39
Nor-o-con(cc)	3918,89	235,13

IV.1.3. Características de concreto fresco

IV.1.3.1 Asentamiento

Tabla 26. Asentamiento obtenido en el ensayo del Cono de Abrams. Fuente: Propia.

Asentamiento Práctico	T (cm)
Mezcla Patrón	8,00
Mezcla Aquapel	8,00
Mezcla Sikalite	7,00
Mezcla Nor-O-Con	9,00

Durante el ensayo del Cono de Abrams, se observó que la mezcla patrón tuvo un asentamiento de 8 cm y el asentamiento esperado teóricamente era de 7 cm, esta discrepancia pudo haber sido afectada por la humedad presente en los agregados al momento de realizar la mezcla a pesar que se tomaron las correcciones pertinentes en relación al contenido de agua de la mezcla. En relación a los asentamientos obtenidos en las mezclas con aditivos se pudo observar lo siguiente:

La mezcla con aditivo AQUAPEL mantuvo el mismo asentamiento que la mezcla patrón que fue de 8 cm. Además de ello se observó que durante el vaciado del concreto en las probetas de 30 cm de alto por 15 cm de diámetro, se fue reduciendo la trabajabilidad de la mezcla.

La mezcla con aditivo Sikalite® redujo el asentamiento comparado con la mezcla patrón a 1 cm, dando como resultado un asentamiento de 7 cm cuando se retiró el cono para realizar la medición, la deformación de la pasta fue simétrica y no hubo ningún tipo de derrumbe ni inclinación hacia algún lado. Durante el vaciado del concreto en los moldes de las probetas, la mezcla comenzó a reducir su trabajabilidad haciendo éste proceso bastante difícil para lograr una buena compactación.

La mezcla con aditivo NOR-O-CON, aumentó el asentamiento esperado cuando se realizó el ensayo de Cono de Abrams siendo este de 9 cm. Esto quiere decir que el aditivo utilizado vuelve más fluida la mezcla y durante el proceso de vaciado mantuvo su trabajabilidad ya que el concreto no ofreció resistencia y se pudo realizar una óptima compactación.

IV.1.3.2 Peso unitario

Tabla 27. *Peso unitario de la mezcla Patrón. Fuente: Propia.*

Peso Unitario Patrón (kgf/l)			
	W (Kg)	Volumen (l)	Peso Unitario
Recipiente	2,80	7,91	
Suelto	16,15	7,91	2,04
Compacto	16,70	7,91	2,11

Tabla 28. *Peso unitario de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.*

Peso Unitario Aquapel (kgf/l)			
	W (Kg)	Volumen (l)	Peso Unitario
Recipiente	2,80	7,91	
Suelto	15,75	7,91	1,99
Compacto	16,55	7,91	2,09

Tabla 29. *Peso unitario de la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia.*

Peso Unitario Sikalite (kgf/l)			
	W (Kg)	Volumen (l)	Peso Unitario
Recipiente	2,80	7,91	
Suelto	15,75	7,91	1,99
Compacto	16,75	7,91	2,12

Tabla 30. *Peso unitario de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.*

Peso Unitario Nor-O-Con (kgf/l)			
	W (Kg)	Volumen (l)	Peso Unitario
Recipiente	2,80	7,91	
Suelto	15,65	7,91	1,98
Compacto	16,50	7,91	2,09

El peso unitario teórico con respecto al peso unitario experimental en todas las mezclas se redujo en cierta, manera no obstante existen dos factores que pudieron haber influido en que el peso unitario disminuyera y fueron:

1. Que no se haya compactado bien la mezcla o existan errores humanos en el manejo.
2. La acción de los aditivos en el concreto en el caso de AQUAPEL y NOR-O-CON aumentó el porcentaje de contenido de aire, en tal sentido disminuye el peso unitario en relación a la mezcla patrón. A su vez el aditivo Sikalite® redujo el porcentaje de aire y en consecuencia aumentó el peso unitario practico con respecto al peso unitario teórico.

IV.1.4. Características de concreto endurecido

IV.1.4.1 Absorción y Densidad

La resistencia química del concreto está relacionada con su porosidad. Un material compacto que absorba pocos gases o líquidos agresivos debe naturalmente ser más duradero, en tal sentido los procesos de penetración de agua se dificultan. Con respecto a los resultados obtenidos todos los aditivos utilizados en las mezclas de concreto reducen el porcentaje de absorción de agua.

La densidad es la relación de la masa del concreto y el volumen que ocupa. Para un concreto bien compactado y de agregados normales oscila entre 2300 - 2500 kg/m³. En tal sentido la densidad para todas las mezclas realizadas están dentro del rango normal.

Tabla 31. Absorción y Densidad de la mezcla Patrón. Fuente: Propia.

	Absorción Patrón			Densidad Patrón			
	Wsss (gr)	W1 (gr)	A (%)	D(cm)	h(cm)	V(cm3)	ρ (gr/cm ³)
Probeta P1	12373	11904	3,94	14,90	30,07	5240,27	2,36
Probeta P2	12223	11797	3,61	14,81	30,00	5170,31	2,36
Probeta P3	12558	12129	3,54	14,97	30,10	5299,63	2,37
Promedio	12385	11943	3,70	14,89	30,05	5236,73	2,36

Tabla 32. Absorción y Densidad de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.

	Absorción Aquapel			Densidad Aquapel			
	Wsss (kg)	W1 (kg)	A (%)	D(cm)	h(cm)	V(cm3)	ρ (gr/cm ³)
Probeta A1	12616	12179	3,59	14,97	30,05	5289,76	2,38
Probeta A2	12483	12018	3,87	14,93	30,03	5255,44	2,38
Probeta A3	12455	12031	3,52	14,90	30,00	5233,79	2,38
Promedio	12518	12076	3,66	14,93	30,03	5259,67	2,38

Tabla 33. Absorción y Densidad de la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia.

	Absorción Sikalite			Densidad Sikalite			
	Wsss (kg)	W1 (kg)	A (%)	D(cm)	h(cm)	V(cm3)	ρ (gr/cm ³)
Probeta S1	12350	11942	3,42	14,85	30,13	5218,45	2,37
Probeta S2	12424	12052	3,09	14,90	30,25	5270,40	2,36
Probeta S3	12223	11885	2,84	14,86	29,94	5189,04	2,36
Promedio	12332	11960	3,12	14,87	30,10	5225,97	2,36

Tabla 34. Absorción y Densidad de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.

	Absorción Nor-O-Con			Densidad Nor-O-Con			
	Wsss (kg)	W1 (kg)	A (%)	D(cm)	h(cm)	V(cm3)	ρ (gr/cm ³)
Probeta N1	12205	11792	3,50	14,92	30,14	5268,82	2,32
Probeta N2	12226	11733	4,20	14,87	30,35	5271,15	2,32
Probeta N3	12300	11861	3,70	14,89	30,48	5305,16	2,32
Promedio	12244	11795	3,80	14,89	30,32	5281,71	2,32

IV.1.4.2 Resistencia a la compresión

Tabla 35. Resistencia a compresión de la mezcla Patrón. Fuente: Propia.

Mezcla Patrón	Resistencia a Compresión a 28 días			
	D(cm)	A(cm ²)	Carga (kg)	Rc (kgf/cm ²)
Probeta P1	14,90	174,44	64726	371,04
Probeta P2	14,84	173,04	67076	387,63
Probeta P3	14,96	175,70	67169	382,30
Probeta P4	14,93	174,99	65602	374,89
Probeta P5	14,90	174,44	67512	387,01

Tabla 36. Resistencia a compresión de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.

Mezcla Aquapel	Resistencia a Compresión a 28 días			
	D(cm)	A(cm ²)	Carga (kg)	Rc (kgf/cm ²)
Probeta A1	15,04	177,66	68053	383,06
Probeta A2	14,99	176,40	69581	394,45
Probeta A3	14,85	173,12	68430	395,27
Probeta A4	14,87	173,59	69246	398,91
Probeta A5	14,89	174,21	67168	385,56

Tabla 37. Resistencia a compresión de la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia.

Mezcla Sikalite	Resistencia a Compresión a 28 días			
	D(cm)	A(cm ²)	Carga (kg)	Rc (kgf/cm ²)
Probeta S1	14,88	173,93	65001	373,72
Probeta S2	14,92	174,76	68574	392,40
Probeta S3	14,92	174,77	67811	388,00
Probeta S4	14,91	174,68	65511	375,04
Probeta S5	14,91	174,52	66960	383,68

Tabla 38. Resistencia a compresión de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.

Mezcla Nor-O-Con	Resistencia a Compresión a 28 días			
	D(cm)	A(cm ²)	Carga (kg)	Rc (kgf/cm ²)
Probeta N1	14,87	173,59	64783	373,20
Probeta N2	14,82	172,61	62399	361,51
Probeta N3	14,86	173,51	62238	358,70
Probeta N4	14,85	173,28	62728	362,01
Probeta N5	14,91	174,55	65418	374,77

Tabla 39. Resumen de resistencia a compresión de todas las mezcla. Fuente: Propia.

Resistencia a Compresión (kg/cm²)	
Mezcla Patrón	380,57
Mezcla Aquapel	391,45
Mezcla Sikalite	382,57
Mezcla Nor-O-Con	366,04

La resistencia promedio a la compresión, obtenida en la Mezcla Patrón ensayada a los 28 días contenida en la tabla 39 fue de 381 kgf/cm², la desviación estándar utilizada al momento del diseño de la mezcla era de 60 kgf/cm², permitiendo obtener valores de resistencia alrededor de los 340 kgf/cm², según cálculos teóricos. La resistencia obtenida se encuentra por encima del valor esperado, se puede inferir que estos resultados vienen dados por el cemento utilizado, ya que el mismo fue donado de los silos de la pre-mezcladora de la Fábrica Nacional de Cemento (FNC), en la cual no facilitaron ningún tipo de especificaciones del mismo.

En la mezcla patrón se presentó en todas las probetas un buen comportamiento del agregado grueso ya que se fracturó, la matriz de cemento estaba bien adherida al agregado grueso así como también se observó homogeneidad de la mezcla a través del plano de falla de cada cilindro.

De la tabla 36, se observan que todas las probetas en las cuales se utilizó la mezcla con aditivo AQUAPEL, superaron la resistencia de diseño 280 kgf/cm² y la obtenida por la mezcla patrón de 381 kgf/cm², siendo la resistencia media de 391 kgf/cm², un 2,6% más que la patrón. Se observó que la mezcla fue homogénea a través del plano de falla de cada cilindro, por su parte el agregado grueso tuvo un buen comportamiento ya que se fracturó en vez disgregarse de la mezcla y la matriz de cemento se encontró bien conjugada al agregado.

En la mezclas con aditivo Sikalite® se obtuvo una resistencia media a compresión a los 28 días de 383 kgf/cm², siendo esta muy cercana a la resistencia media de la mezcla patrón, también se observó que la mezcla fue homogénea a través del plano de falla de cada cilindro, y en la matriz de cemento en varias probetas había cierto grado de disgregación de los agregados. Este

comportamiento se le puede atribuir a la baja trabajabilidad que tuvo la mezcla durante la preparación de las probetas, pero queda demostrado que no influyó directamente en la resistencia alcanzada por la muestra.

Las resistencias obtenidas por las probetas de la mezcla con aditivo NOR-O-CON en relación con la mezcla patrón disminuyeron en 3,82% dando como resultado 366 kgf/cm^2 , no obstante a pesar de esta disminución se encuentra dentro de los valores aceptables ya que supera el f'_{cr} teórico que era de 340 kgf/cm^2 . Cabe acotar que el asentamiento de la mezcla con el uso de este aditivo fue mayor que el de la mezcla patrón lo cual quiere decir que respetando la relación triangular de Abrams, era de esperar que la resistencia a la compresión disminuyera en un pequeño grado. En todos los planos de fallas obtenidos en las roturas de las probetas, el agregado grueso fue cizallado y se observó una buena adherencia entre todos los componentes de la mezcla. Se puede interpretar que el concreto tuvo un buen desempeño a la compresión.

IV.1.4.3 Permeabilidad

Tabla 40. Penetración de agua de la mezcla Patrón. Fuente: Propia.

	Permeabilidad Mezcla Patrón			
	D(cm)	h(cm)	V(cm ³)	Penetración(cm)
Probeta P1	14,90	10,00	1742,88	6,00
Probeta P2	14,81	10,00	1723,44	5,10
Probeta P3	14,97	10,00	1760,87	5,50
Probeta P4	14,89	10,00	1742,36	5,00
Probeta P5	14,90	10,00	1744,44	Fallo epóxico

Tabla 41. Penetración de agua de la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.

	Permeabilidad Mezcla Aquapel			
	D(cm)	h(cm)	V(cm ³)	Penetración(cm)
Probeta A1	14,90	10,00	1742,88	2,00
Probeta A2	14,81	10,00	1723,44	2,60
Probeta A3	14,97	10,00	1760,87	2,20
Probeta A4	14,89	10,00	1742,40	2,40
Probeta A5	14,90	10,00	1742,23	2,20

Tabla 42. Penetración de agua de la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia.

	Permeabilidad Mezcla Sikalite			
	D(cm)	h(cm)	V(cm ³)	Penetración(cm)
Probeta S1	14,88	10,00	1739,30	2,50
Probeta S2	14,92	10,00	1747,57	2,80
Probeta S3	14,92	10,00	1747,72	Fallo epóxico
Probeta S4	14,91	10,00	1746,78	2,33
Probeta S5	14,91	10,00	1745,22	2,40

Tabla 43. Penetración de agua de la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.

	Permeabilidad Mezcla Nor-O-Con			
	D(cm)	h(cm)	V(cm ³)	Penetración(cm)
Probeta N1	14,87	10,00	1735,87	3,50
Probeta N2	14,82	10,00	1726,08	4,80
Probeta N3	14,86	10,00	1735,09	4,20
Probeta N4	14,85	10,00	1732,76	Fallo epóxico
Probeta N5	14,91	10,00	1745,54	5,50

Tabla 44. Resumen de penetración de agua de todas las mezcla. Fuente: Propia.

Penetración del agua (cm)	
Mezcla Patrón	5,40
Mezcla Aquapel	2,28
Mezcla Sikalite	2,51
Mezcla Nor-o-con	4,83

En primer lugar se puede observar como la relación entre la profundidad de penetración máxima y mínima del frente no son siempre proporcionales, o que incluso no guardan relación. Como se explicó en el método, la penetración máxima es puntual y puede corresponder a un defecto de la probeta o también la inclinación que tiene la misma al colocarle el epóxico, mientras que la profundidad media tiene que ver con el área total que penetra en la probeta, es decir, el promedio de las alturas obtenidas. Se observa que en algunas probetas el frente es muy plano u homogéneo, mientras que en otras aparecen picos, generalmente tendiendo más a los bordes. En los casos de línea horizontal del frente los valores máximos y medios son muy parecidos o iguales (Ver anexo 19).

En referencia a la mezcla patrón se observó que dos de las probetas fallaron a tal punto que se fracturó el concreto (ver anexo 20) y la penetración fue por encima de los 5 cm de penetración lo cual es una desventaja ya que en caso del

concreto armado la percolación del agua llegaría hasta el acero de refuerzo causando posible corrosión y debilitamiento del mismo.

El uso de aditivos hidrófugos produce una mejora en la penetración de agua a presión. Para el caso de los aditivos AQUAPEL Y Sikalite® se han conseguido valores óptimos en lo que se refiere a la profundidad máxima como la media.

Con relación al aditivo NOR-O-CON se evidencia una pequeña mejora en relación a la penetración del agua, no obstante dos de las probetas se fracturaron cuando se estaban extrayendo de los anillos de acero, por tal motivo no podemos aseverar que esta fractura sea debido a fallas en la mezcla o por el uso del epóxico para adherir las probetas a los anillos de acero.

IV.1.5. Comparación de la mezcla patrón y las mezclas con aditivos

Tabla 45. Comparación de las características de concreto fresco de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.

	Mezcla Patrón	Mezcla Aquapel
T (cm)	8,00	8,00
P.U. Suelto	2,04	1,99
P.U. Compacto	2,11	2,09
P.U. Teórico	2,14	2,14
Aire %	1,34	2,23

Tabla 46. Comparación de las características de concreto fresco de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia.

	Mezcla Patrón	Mezcla Sikalite
T (cm)	8,00	7,00
P.U. Suelto	2,04	1,99
P.U. Compacto	2,11	2,12
P.U. Teórico	2,14	2,14
Aire %	1,34	1,05

Tabla 47. Comparación de las características de concreto fresco de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.

	Mezcla Patrón	Mezcla Nor-O-Con
T (cm)	8,00	9,00
P.U. Suelto	2,04	1,98
P.U. Compacto	2,11	2,09
P.U. Teórico	2,14	2,14
Aire %	1,34	2,52

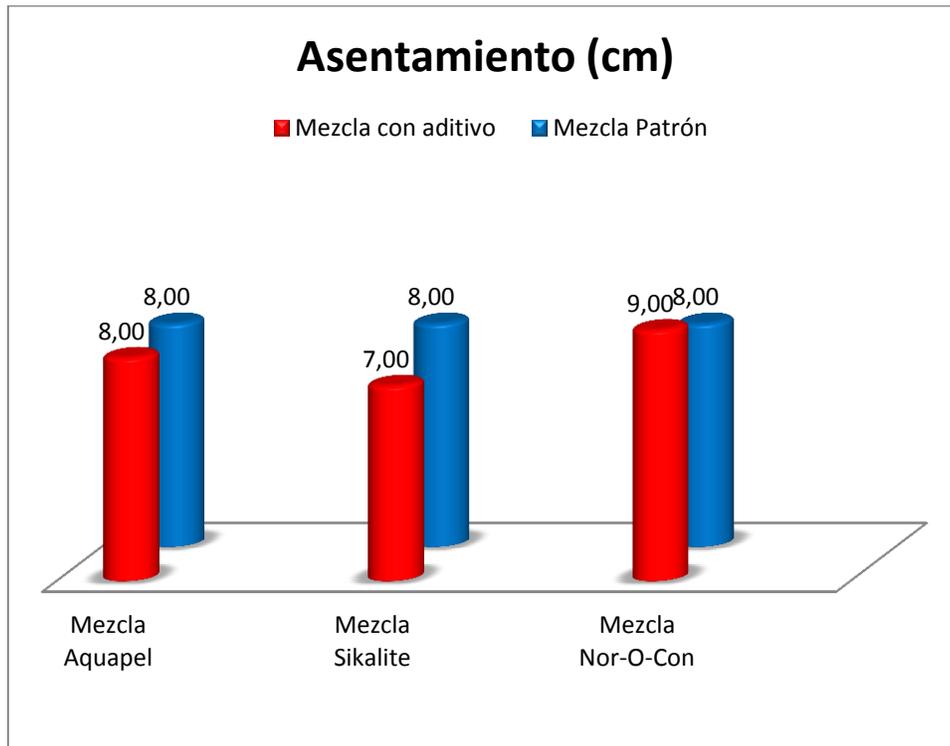


Gráfico 4.4. Comparación de los asentamientos. Fuente: Propia.

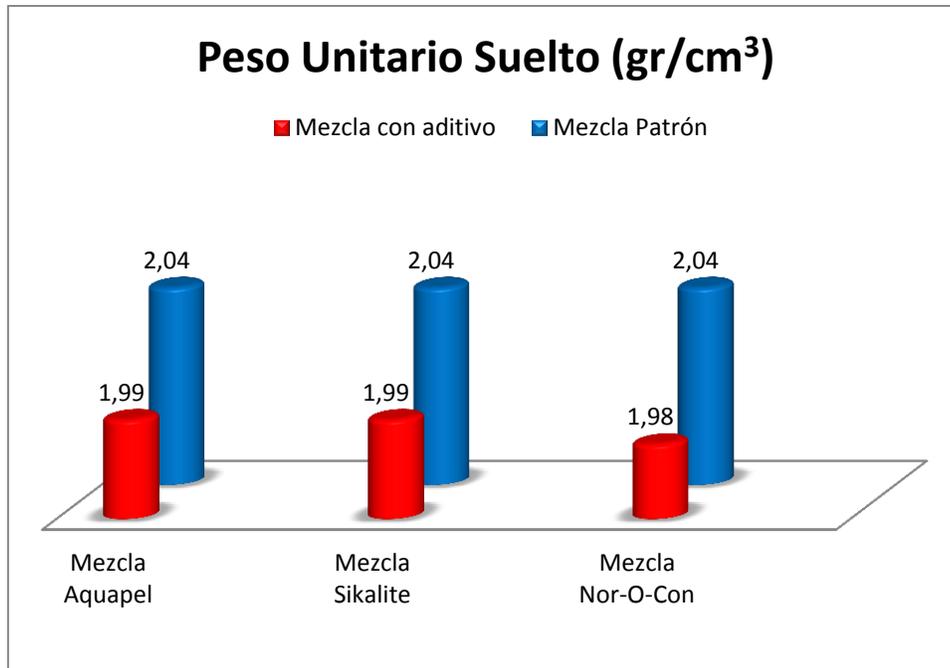


Gráfico 4.5. Comparación de los Pesos Unitarios Suelto. Fuente: Propia.

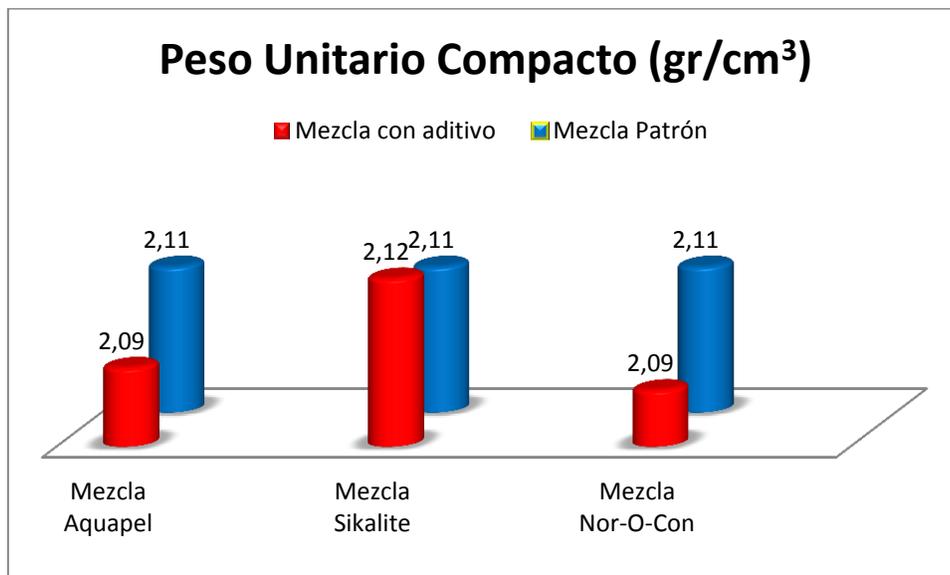


Gráfico 4.6. Comparación de los Pesos Unitarios compacto. Fuente: Propia.

Tabla 48. Comparación de las características de concreto endurecido de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo AQUAPEL. Fuente: Propia.

	Mezcla Patrón	Mezcla Aquapel
A (%)	3,70	3,66
ρ (gr/cm ³)	2,36	2,38
Rc (kg/cm ²)	381	391
Penetración de agua (cm)	5,40	2,28

Tabla 49. Comparación de las características de concreto endurecido de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo Sikalite®. Fuente: Propia.

	Mezcla Patrón	Mezcla Sikalite
A (%)	3,70	3,12
ρ (gr/cm ³)	2,36	2,36
Rc (kg/cm ²)	381	383
Penetración de agua (cm)	5,40	2,51

Tabla 50. Comparación de las características de concreto endurecido de la mezcla patrón con la mezcla con aditivo NOR-O-CON. Fuente: Propia.

	Mezcla Patrón	Mezcla Nor-O-Con
A (%)	3,70	3,80
ρ (gr/cm ³)	2,36	2,32
Rc (kg/cm ²)	381	366
Penetración de agua (cm)	5,40	4,83

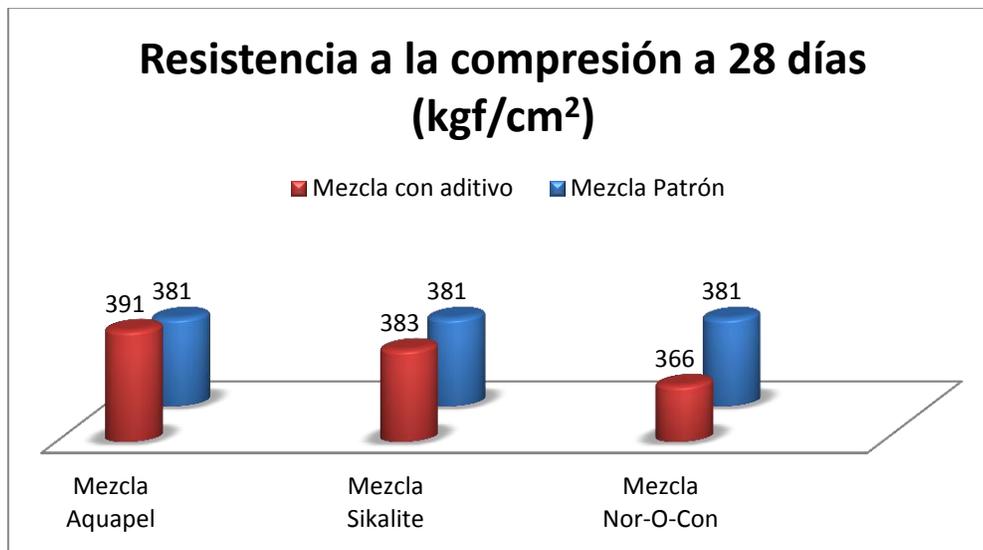


Gráfico 4.7. Comparación de la resistencia a compresión a edad de 28 días. Fuente: Propia.

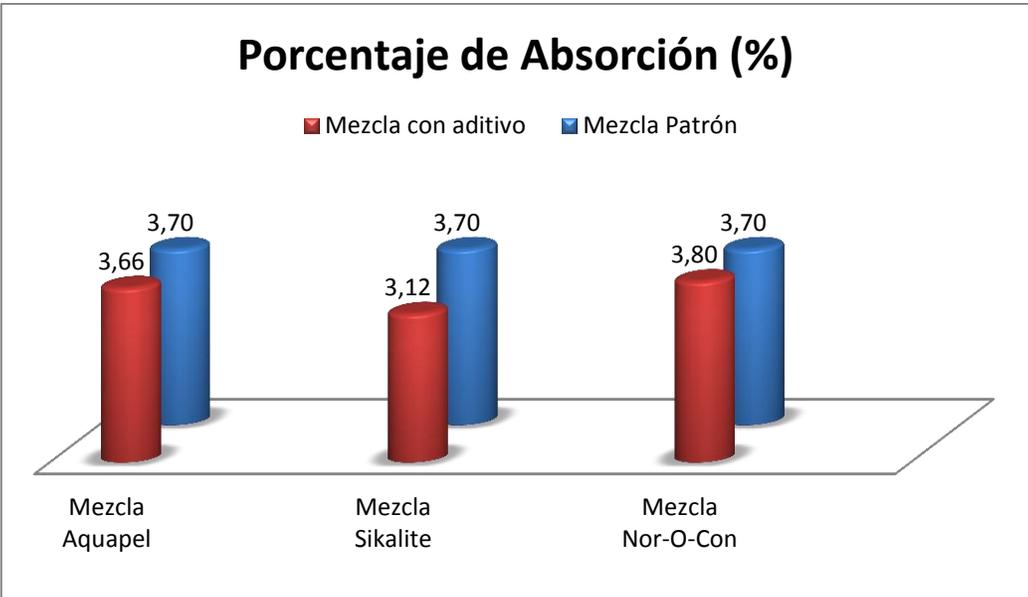


Gráfico 4.8. Comparación del porcentaje de Absorción en concreto endurecido. Fuente: Propia.

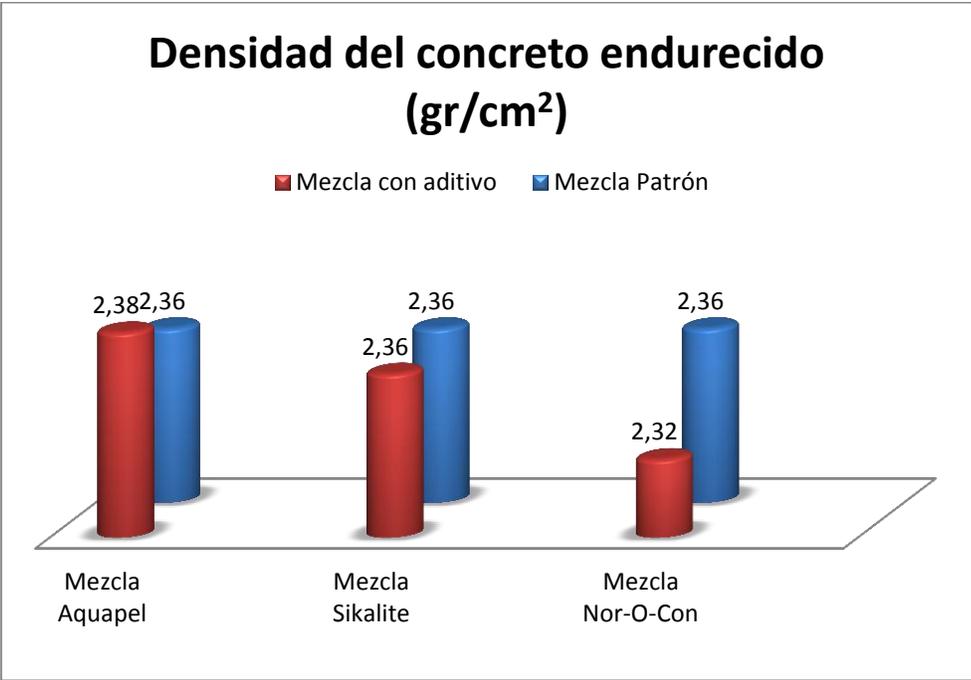


Gráfico 4.9. Comparación de la densidad del concreto endurecido. Fuente: Propia.

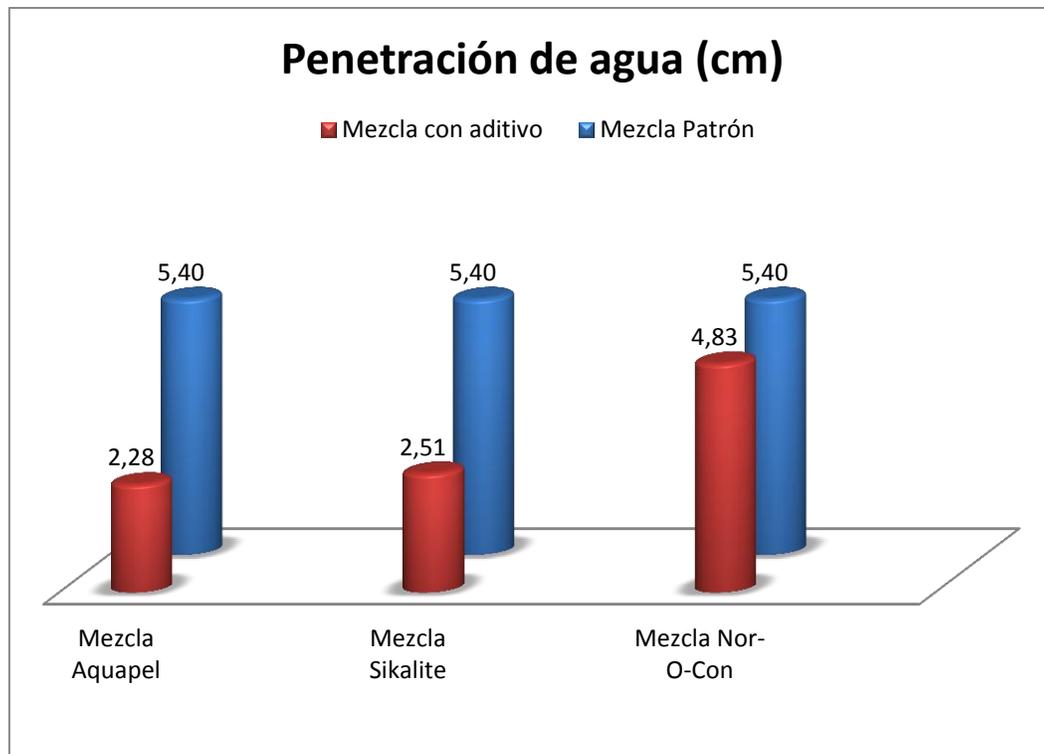


Gráfico 4.10. Comparación de la penetración de agua en el concreto endurecido.
Fuente: Propia.

IV.1.5.1 Comparación entre la mezcla patrón y AQUAPEL

En la tabla 45, se puede apreciar que el asentamiento de las mezclas son iguales, por ello se esperó que las resistencias deberían rondar por el mismo rango de valores, si observamos cómo se comporta el peso unitario en estado fresco de la mezcla, existe una disminución de $0,01 \text{ gr/cm}^3$, se puede aseverar que es correcto ya que el porcentaje de aire aumenta un $0,89\%$ con relación a la mezcla patrón.

Una vez que el concreto llegó a su resistencia máxima a los 28 días presentó valores de absorción, densidad, resistencia a la compresión y penetración de agua según la tabla 48, la cual evidencia que existe una disminución de la absorción de agua y aumento en la densidad, esto implica que el aditivo reaccionó disminuyendo los espacios vacíos y aumento del porcentaje de aire en estado fresco.

Otro aspecto que está vinculado directamente con la absorción y la densidad es la penetración del agua, que en lo que refiere al aditivo de estudio disminuyó en un 57,77% la penetración del agua, siendo este un factor importante, ya que la marca de agua llegó a 2,28 cm como lo muestra la tabla 44, lo que implica que si se usa el aditivo para concreto armado, no afectaría el acero de refuerzo de la estructura. Con respecto a la resistencia a la compresión, la mezcla con el uso del aditivo AQUAPEL aumentó en un 4,31%, considerando que la mezcla tuvo el mismo asentamiento, lo cual quiere decir que este aumento de resistencia está vinculado con la acción del aditivo.

IV.1.5.2 Comparación entre la mezcla patrón y Sikalite®

En la tabla 46 se representa la comparación de los valores de peso unitario en estado fresco, porcentaje de aire y asentamiento de la mezcla con aditivo Sikalite® con respecto a la mezcla patrón. En relación al peso unitario de la mezcla aumentó en $0,01 \text{ gr/cm}^3$ y el porcentaje de aire contenido disminuyó 0,19%, este comportamiento está asociado a que el tipo de aditivo es en polvo que se agrega a la arena durante el mezclado, lo que implica que al reaccionar con el agua, aumenta la masa a la mezcla. Con respecto al asentamiento de la mezcla con aditivo Sikalite® disminuyó 1cm frente a la mezcla patrón, lo que representa un posible aumento de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Estudiando ambas mezclas, se obtuvo valores de absorción, densidad, resistencia a la compresión y penetración de agua como se muestra en la tabla 49, donde existe una disminución considerable de 0,58% en la absorción de agua, sin embargo la densidad mantuvo el mismo valor que la mezcla patrón, esto implica que el aditivo reduce los espacios vacíos, sin afectar el peso de la mezcla.

Como el porcentaje de absorción y la densidad de la mezcla están relacionadas directamente con la penetración del agua, cabe acotar que efectivamente el aditivo disminuye este factor, ya que en caso de que se utilice en elementos estructurales solo afectaría el concreto de recubrimiento sin llegar a los aceros de refuerzos, debido a que la penetración en promedio fue de 2,51 cm.

Con respecto a la resistencia a la compresión media de la mezcla con aditivo Sikalite®, la mezcla se mantuvo igual ya que solo aumento 2 Kg/cm² y evaluando que el asentamiento fue menor a la mezcla patrón, se puede inferir que este aditivo tiene propiedades de reductor de agua disminuyendo la relación agua/cemento y así no afectar la resistencia a la compresión del concreto.

IV.1.5.3 Comparación entre la mezcla patrón y NOR-O-CON

En la mezcla de concreto con aditivo NOR-O-CON se estudiaron las propiedades en estado fresco como se refleja en la tabla 47, lo que permite apreciar que el asentamiento de la mezcla con el aditivo aumentó 1 cm con respecto a la mezcla patrón, esto implica que el aditivo vuelve más fluida la mezcla y mejora la trabajabilidad del mismo.

Si se observa cómo se comporta el peso unitario en estado fresco de la mezcla y el porcentaje de aire contenido, se evidencia que el peso unitario disminuyó 0,02 gr/cm² y en proporción aumentó el contenido de porcentaje de aire 1,18% con respecto a la mezcla patrón.

Los valores de absorción, densidad, resistencia a la compresión y penetración de agua se estudian cuando el concreto llega a su resistencia máxima a los 28 días presentados en la tabla 50, y demuestra que existe un aumento de la absorción de agua en 0,10% y disminución en la densidad en 0,04 gr/cm², esto implica que los espacios vacíos no se redujeron durante el curado de las probetas.

Evidentemente la penetración de agua por efecto de la presión hidrostática solo mejoró la penetración en un 10,55%, esto se debe que en la ficha técnica deja claro que este aditivo cuando se somete a altas presiones hidrostáticas, como fue el caso del presente trabajo especial de grado, no ofrece una resistencia hidrófuga.

Con respecto a la resistencia a la compresión la mezcla con el uso del aditivo NOR-O-CON disminuyó en 3,94% lo cual no debe preocupar ya que se encuentra

por encima de la resistencia de diseño, además es una resistencia que está en la desviación permitida, entre la mezcla patrón y la mezcla con el aditivo.

CAPÍTULO V

V.1. CONCLUSIONES

En el presente trabajo especial de grado se verificó la calidad de los agregados, arrojando que se encontraban dentro los parámetros establecidos por las normas venezolanas. La relación β del 55% favoreció a una buena granulometría en la mezcla y se logró la adhesión de los agregados con la matriz del cemento. Por lo tanto se concluye que los agregados son de buena calidad y presentaron un comportamiento adecuado para la realización de las mezclas de concreto.

A lo largo de los ensayos y resultados se demostró, cómo la mezcla patrón cumplía todas las propiedades físicas y mecánicas necesarias para lograr un concreto óptimo y ser punto de referencia para el resto de las mezclas. La investigación se basa en las características captadas de la mezcla patrón y su comportamiento, para obtener evidencias del efecto del uso de aditivos hidrófugos en mezclas de concreto con $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ usadas en obras estructurales sometidas a la acción de la humedad.

El aditivo AQUAPEL de Tecnoconcret demostró que aumenta la resistencia a compresión del concreto en edad de 28 días en un 4,31%, y comparando el asentamiento de la mezcla se puede concluir que este aumento fue causado por el uso del aditivo, además disminuye la permeabilidad del agua en el concreto en un 57,77%, siendo muy favorable para el mismo. En la ficha técnica del aditivo aconsejan el uso de algún aditivo plastificante, lo cual hay que tomar en cuenta si el concreto va a ser transportado por largas distancias para que la trabajabilidad del concreto no se pierda.

El efecto del aditivo hidrófugo Sikalite® de la empresa SIKA®, se observó con respecto a la mezcla patrón que aumentó la resistencia en 0,50% siendo este valor tan pequeño significa que no modifica esta propiedad; el asentamiento disminuyó un centímetro por tal motivo, es necesario que cuando se va a colocar en obra utilizar algún aditivo plastificante, ya que a medida que pasa el tiempo

pierde la trabajabilidad, además redujo la permeabilidad del agua a un 53,52%, por lo que se puede concluir que el aditivo tiene un efecto hidrófugo en el concreto sin desmejorar las propiedades del mismo,.

En lo que refiere al aditivo NOR-O-CON, de las INDUSTRIAS NORDEX, después de realizados todos los ensayos, se pudo analizar que con respecto al asentamiento obtenido aumentó un centímetro, disminuyó la resistencia en 3,94% y redujo la permeabilidad del agua solo en un 10,55%, todo esto comparado con la mezcla patrón, debido que el aditivo no resiste las presiones hidrostáticas a la fue sometido en esta investigación, se concluye que el efecto hidrófugo causado a la mezcla es positivo, ya que a pesar de las especificaciones técnicas del aditivo logró reducir la permeabilidad del concreto, no obstante en relación a la trabajabilidad no se pierde, lo cual quiere decir que si se va a transportar en largas distancias y a su vez la presión hidrostática a la cual va a estar sometido el elemento estructural es baja, este aditivo puede ser utilizado perfectamente.

Los materiales adicionados a las mezclas de concretos estudiados han mejorado, en general, las capacidades resistentes de los mismos, lo que nos permitiría disminuir recubrimientos o mantener las capacidades resistentes del concreto para ambientes más desfavorables. Como se ha visto mediante cambios en la dosificación o con adiciones en el concreto, podemos mejorar la capacidad de adaptarse al medio en el que se encuentra la pieza proyectada.

Con respecto a otras propiedades del concreto como son la absorción y la densidad en estado endurecido se observa que son propiedades que van de la mano para determinar qué tan impermeable puede llegar a ser una mezcla de concreto, sin embargo estudiando con detalle el comportamiento de los tres aditivos en relación a estas propiedades, la densidad en los tres casos se mantuvo o vario con respecto a la mezcla patrón, por lo tanto se puede inferir que si un concreto con aditivo aumenta la densidad mejorará su efecto hidrófugo. Por otro lado la absorción para los tres casos disminuye o aumenta comparados con la mezcla patrón, en consecuencia no se puede estimar por la propiedad de la absorción si un aditivo mejora la impermeabilidad.

En definitiva y contestando la pregunta hecha en el planteamiento del problema sobre si se puede generalizar los resultados obtenidos para interpretar el comportamiento de los aditivos en la mezcla de concreto, se llega a la conclusión de que el comportamiento molecular de cada aditivo desde que se hace el mezclado hasta que llega al estado endurecido son distintos para cada uno de ellos, en tal sentido no se puede generalizar y es importante realizar todos los ensayos para poder verificar cuan efectivo es un aditivo hidrófugo en mezclas de concreto para elementos estructurales sometidos a la acción de la humedad.

V.2. RECOMENDACIONES

- ✓ La disminución en todos los casos del peso unitario práctico con respecto al peso unitario teórico denota, que las mezclas van a tener un menor rendimiento en obra, por tal motivo es necesario ajustar un poco las cantidades de mezcla y así asegurar que se cumplan los m³ requeridos.
- ✓ Al utilizar los aditivos AQUAPEL y Sikalite® complementar con un aditivo plastificante, para mejorar la trabajabilidad de las mezclas.
- ✓ Someter al aditivo NOR-O-CON a bajas presiones hidrostáticas y utilizar el mismo en estructuras sometidas a humedades no agresivas.
- ✓ Al momento de construir elementos estructurales sometidos a presiones hidrostáticas y se utilicen aditivos hidrófugos, se debería exigir la realización de estudios de densidad y permeabilidad como mínimo, así como se realizan estudios de resistencia a la compresión.
- ✓ Realizar un nuevo estudio variando la relación agua/cemento, de tal manera que se obtenga una alta porosidad y así comprobar “el efecto de los aditivos hidrófugos en mezclas de concreto con $f'c$ 280 kgf/cm² usadas en obras estructurales sometidos a la acción de la humedad”.
- ✓ Continuar con la línea de investigación “Nuevos materiales / Aditivos Hidrófugos”, utilizando aditivos hidrófugos distintos a los de la presente investigación, para ampliar la información referente al efecto de los aditivos hidrófugos en mezclas de concreto.
- ✓ Continuar con la línea de investigación “Nuevos materiales / Aditivos Hidrófugos”, utilizando cemento Portland tipo I, Portland tipo II, cemento Portland CPCA 1 y cemento Portland CPCA 2, así comparar el efecto de los aditivos sobre las mezclas con cada tipo de cemento.

REFERENCIAS

Porrero S., J.; Ramos R., C.; Grases G., J., y Velazco, G.J. (2009). *Manual del concreto estructural* (3a ed.). Caracas: Editorial Sidetur.

REFERENCIAS ELECTRONICAS:

BAXIN. (s.d.). BAXIM BETOCRETE C35 - aditivo impermeabilización capilar por cristalización. Recuperado: 2013, 31 de Marzo disponible en: http://www.baxim.cl/html/aditivo_cristalizacion.html

Biblioteca Digital Repositorio Institucional Universidad Nacional de Colombia. (s.d.) Concreto Impermeable. Recuperado: 2013, 30 de Marzo disponible en:

http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/11/9589322824_Parte3.pdf

Cangahuala, J.A., (s.d.) *Diseño de Mezclas*. Recuperado: 2013, 31 de Marzo disponible en:

http://issuu.com/bertoni_salazar/docs/dise_o_de_mezclas_def

Cano P., G., (2006). Material de Apoyo Didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura materiales de construcción (guía de las prácticas de campo y normas de calidad). (Para Optar al Diploma Académico). Recuperado: 2013, 28 de Marzo disponible en: <http://es.scribd.com/doc/130761525/001-Material-Es-Cons-Trucci-On>

Características del Concreto Fresco. (Nd). Recuperado: 2013, 30 de Marzo disponible en:

<http://es.scribd.com/doc/58390718/Caracteristicas-Del-Concreto-Fresco>

Construmatica. (s.d.). Cono de Abrams. Recuperado: 2013, 31 de Marzo disponible en:

http://www.construmatica.com/construpedia/Cono_de_Abrams

- Garzon V., G.R. e Iñiguez R., F.R. (2009). Análisis comparativo de la resistencia e hormigones y morteros elaborados con agregados de Guayaquil, Portoviejo y Posorja. (Tesina de Graduación). Recuperado: 2013, 31 de Marzo disponible en:
http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10662/1/TESINA_FINAL.pdf
- Indiistras Nordex (s.d.). *Ficha técnica aditivo Nor-O-Con*. Recuperado: 2012, 28 de Noviembre disponible en:
http://www.industriasnordex.com/ver_producto.php?recordID=93
- Instituto del Cemento Portland Argentino. (s.d.). *Historia del cemento y el hormigón*. Recuperado: 2013, 3 de Febrero disponible en:
<http://www.icpa.org.ar/publico/files/historiacyh.pdf>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2006). Problemas, Causas y Soluciones. Recuperado: 2013, 31 de Marzo disponible en:
<http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>
- Maureira G., Maria A. (2006). "Formula empírica de predicción de resistencia a la compresión para los hormigones confeccionados en la comuna de Valdivia. (Para optar título de Ingeniero Civil en Obras Civiles) Recuperado: 2013, 28 de Marzo disponible en:
http://tecnohorm.weebly.com/uploads/9/6/2/7/9627075/estimacion_resist.pdf.pdf
- SIKA®. (s.d.). *Ficha técnica Aditivo Sikalite®*. Recuperado: 2012, 28 de Noviembre disponible en:
https://www.materialesjerez.com.mx/recursos/productos/docs/Sikalite_A_CV.pdf
- SIMASA. (s.d.). Curado del Concreto. Recuperado: 2013, 28 de Marzo disponible en: <http://simasa.com.mx/blog/page/29/>

Tecnoconcret. (s.d.). *Ficha técnica aditivo AQUAPEL*. Recuperado: 2012, 28 de Noviembre disponible en:

<http://www.tecnoconcret.com/archivos/AQUAPEL%20.pdf>

Zona Ingenieria. (2009). Aditivos para hormigón y mortero. Recuperado: 2013, 28 de Marzo disponible en:

<http://www.entradas.zonaingenieria.com/2009/10/aditivos-para-hormigon-y-mortero.html>

NORMAS

ASTM C-138-12 “Peso unitario, rendimiento, y contenido de aire del hormigón fresco. Método gravimétrico”. EEUU, 2012.

ASTM C140-13 “Métodos de prueba estándar para el muestreo y las pruebas Bloques de hormigón y Unidades relacionadas”. EEUU, 2013.

ASTM C150/C150M–12. “Especificación Normalizada para Cemento Portland”. EEUU, 2012.

COVENIN 28-2003, “Cemento Portland. Requisitos”. Caracas, 2003.

COVENIN 255-1998, “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”. Caracas, 1998.

COVENIN 268-1998 “Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción”. Caracas, 1998

COVENIN 269-1998 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción”. Caracas, 1998.

COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregados. Requisitos”. Caracas. 2000.

COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”. Caracas, 2002.

COVENIN 339-1994 “Concreto. Método para la medición del asentamiento con el cono de Abrams”. Caracas, 1994.

COVENIN 354-2001 “Concreto. Método para mezclado en el laboratorio”. Caracas, 2001.

COVENIN 356-1994, “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones”. Caracas, 1994.

COVENIN 1753-2003 “Proyecto y construcción de obras en concreto estructural”. / Documento propuesto para sustituir la versión de 1987 titulada: Estructuras de concreto armado para edificaciones. Análisis y diseño/. Caracas, 2003.

UNE 83-310-90 “Ensayos de Hormigón Determinación de la Permeabilidad”. Madrid, 1990

ANEXOS

Anexo 1: *Agregado fino saturado con superficie seca.*



Anexo 2: *Pesado del picnómetro vacío.*



Anexo 3: *Preparación del picnómetro para el ensayo de peso específico.*



Anexo 4: Agregado grueso para el ensayo de peso específico.



Anexo 5: Pesado del agregado grueso para el ensayo de peso específico.



Anexo 6: Pesado del agregado grueso sumergido en agua.



Anexo 7: Pesado de los materiales para iniciar el mezclado.



Anexo 8: Mezclado de los materiales.



Anexo 9: Ensayo del Cono de Abrams.



Anexo 10: Almacenaje de los cilindros de concreto luego del curado.



Anexo 11: Medición de los cilindros de concreto.



Anexo 12: Pesado de los cilindros de concreto.



Anexo 13: Corte de los cilindros de concreto para el ensayo de permeabilidad.



Anexo 14: Colocación de epóxico para el ensayo de permeabilidad.



Anexo 15: Montaje del ensayo de permeabilidad.



Anexo 16: Presión del ensayo de permeabilidad.



Anexo 17: Extracción de los cilindros de concreto de los anillos de acero.



Anexo 18: Cilindros de concreto luego del ensayo de permeabilidad.



Anexo 19: *Ensayo a tracción indirecta.*



Anexo 20: *Penetración del agua por efecto de la presión hidrostática.*



Anexo 21: *Fractura del concreto por penetración del agua.*



Anexo 22: Norma Española UNE 83-310-90 "Ensayos de Hormigón Determinación de la Permeabilidad".

CDU 666.972:620.1

Junio 1990

Imprime y edita: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) - Fernández de la Hoz, 52 - 28010 Madrid - Teléfono 4 10 49 61 - Reproducción prohibida

NORMA ESPAÑOLA	Ensayos de hormigón DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD	UNE 83-310-90
<p>EXPERIMENTAL</p> <p>1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN</p> <p>Esta norma especifica un método para la determinación de la permeabilidad al agua bajo presión en hormigón endurecido. Es aplicable tanto sobre probetas moldeadas como en probetas testigo.</p> <p>Debe tenerse en cuenta que la permeabilidad al agua de las estructuras de hormigón está fuertemente influenciada por el grado de compactación, la presencia de juntas, fisuras o heterogeneidades, así como por la forma de conservación.</p> <p>Para aplicaciones especiales en estructuras, pueden utilizarse presiones y programas de ensayo distintos de aquellos especificados en el capítulo 6 de esta norma.</p> <p>El método es aplicable, en particular, a hormigones con fuerte permeabilidad.</p> <p>2 NORMAS PARA CONSULTA</p> <p>UNE 83-301 – <i>Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas.</i></p> <p>UNE 83-302 – <i>Ensayos de hormigón. Extracción y conservación de probetas testigo.</i></p> <p>UNE 83-306 – <i>Ensayos de hormigón. Rotura por tracción indirecta (ensayo brasileño).</i></p> <p>3 APARATOS EMPLEADOS</p> <p>El dispositivo de ensayo comprende cualquier aparato en el cual pueda colocarse la probeta de las dimensiones dadas, de manera que pueda recibir la presión de agua en la zona de ensayo. Un ejemplo de dispositivo se muestra en la figura.</p> <p>Salvo especificaciones contrarias, el agua utilizada debe ser agua de la red, agua destilada o desionizada. En el caso de probetas enmoldadas, la presión de agua puede ejercerse, sobre la cara de cerrado de la probeta.</p> <p>En el dispositivo dado en la figura 1, se coloca un recipiente de forma que reciba el agua permeada, y que permita, posteriormente, la medida de su volumen. Las caras laterales de la probeta deben someterse a un tratamiento previo, de forma que se imposibilite la entrada del agua por las mismas, a fin de garantizar la existencia de un flujo estable y unidireccional (por ejemplo, mediante la aplicación de una película de material impermeable sobre sus caras laterales).</p> <p style="text-align: right;"><i>Continúa en páginas 2 a 4</i></p>		
Secretaría del CTN ANEFHOP	Las observaciones relativas a la presente norma deben ser dirigidas a AENOR - Fernández de la Hoz, 52 - 28010 Madrid	

UNE 83-310-90

Concrete tests. Determination of permeability.
Essais du béton. Détermination de la perméabilité.

© AENOR 1990

Déposito legal: M 23 682-90

Grupo 2

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A JOSE ACUNA GONZALEZ
Licencia para un usuario - Copia y uso en red prohibidos

Al objeto de suprimir la capa superficial de cemento y/o mortero, se debe tratar la zona de ensayo mediante un procedimiento adecuado. (Por ejemplo, un cepillado con púas metálicas al finalizar el fraguado, o bien mediante un repicado con alcotana para hormigones más endurecidos).

5.2 Probetas testigo

Las probetas testigo deberán conservarse hasta el ensayo en las condiciones del apartado 5.1.

6 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El ensayo debe efectuarse normalmente a una edad superior a los 28 días, aunque en función de especificaciones particulares pueden ser elegidas otras edades.

Antes de comenzar el ensayo, se determina la densidad aparente de las probetas, calculando su volumen por métodos geométricos.

Se aplica a cada probeta sucesivamente las siguientes presiones:

P/3; 2P/3; P; 4P/3

durante un período de 24 h cada una de ellas. El valor de P es la presión máxima a tener en cuenta (por ejemplo, la presión de servicio). Estas presiones deben mantenerse con una incertidumbre de $\pm 10\%$ del valor especificado.

A menos que se especifique lo contrario, la aplicación de la presión debe realizarse en la dirección del hormigonado.

En el momento que se advierta la salida de agua en la cara opuesta a la de ensayo, es recomendable anotar la presión y, si es posible, el tiempo en que ocurre.

Cuando la inestabilidad en el flujo sea la correspondiente a la incertidumbre admitida en el mantenimiento de la presión, se mide el volumen de agua que sale por la cara de la probeta opuesta a la zona de ensayo, durante un período de tiempo que sea significativo en relación con el equipo empleado. Estas medidas se repiten para cada una de las presiones aplicadas.

En el caso de que, tras aplicar los escalones de presión antes indicados, no se produjera el flujo de agua, se procede a extraer la probeta del dispositivo de ensayo, se limpia el exceso de agua, y se rompe la probeta en dos mitades, perpendicularmente a la cara que ha sido sometida a la presión de agua. (Por ejemplo, siguiendo el procedimiento establecido para determinar la resistencia a tracción indirecta del hormigón según el método brasileño, recogido en la norma UNE 83-306). Posteriormente, se examina el reparto de zonas húmedas sobre las superficies de fractura obtenidas, marcando con rotulador u otro medio adecuado los perfiles descritos por las mismas.

7 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

Expresar la permeabilidad al agua del hormigón, para cada una de las presiones aplicadas, como el valor medio calculado a partir del volumen total de agua que atraviesa la probeta por unidad de tiempo.

8 INFORME DEL ENSAYO

El informe del ensayo debe contener los datos siguientes:

- a) Identificación del hormigón.
- b) Forma y dimensiones de las probetas.
- c) Condiciones de conservación.

Anexo 23: Ficha Técnica Aditivo AQUAPEL.

AQUAPEL

Aditivo impermeabilizante para el concreto.



AQUAPEL

DESCRIPCIÓN:

AQUAPEL, es una solución acuosa de color blancuzco repelente al agua, cuidadosamente balanceada. Es un aditivo hidrófugo a base de jabones metálicos. El concreto en su estado natural tiende a absorber humedad permitiendo la entrada de agua por sus capilares.

La función del AQUAPEL es "forrar" las cavidades mínimas dentro del concreto, impidiendo la acción capilar. Esta se observa especialmente en concreto para bloques, morteros y frisos. El AQUAPEL cumple su función cubriendo las paredes de canales y poros con una película hidrófuga haciendo el concreto o mortero impermeable.

RECOMENDADO PARA:

- Impermeabilizar mezclas para frisos.
- Impermeabilizar concreto para tanques y piscinas.
- Reducir la penetración de agua en concreto y morteros.
- Forrar los canales capilares y cavidades del concreto haciéndolo más resistente a los ataques externos.
- Impermeabilizar concreto de estructuras enterradas (sótanos, fosas, muros, etc.).

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS:

- Al forrar los canales capilares del concreto, el AQUAPEL, hace la estructura más duradera en el tiempo.
- De fácil manejo y dosificación en la mezcla del concreto.
- Reduce la velocidad de penetración de agua en morteros y concretos.
- Reduce la eflorescencia en las estructuras de concreto.

INFORMACIÓN TÉCNICA:

El AQUAPEL ensayado bajo la Norma ASTM C-140, arroja los siguientes resultados:

Doseificación AQUAPEL	% de agua absorbida		
	1 día	4 días	7 días
Mezcla Patrón	0.74	0.77	0.80
(Sin Aditivo)	(100%)	(100%)	(100%)
0.5 l. / saco cemento	0.42	0.56	0.61
% mezcla patrón	(57%)	(76%)	(76%)
1.0 l. / saco cemento	0.31	0.48	0.50
% mezcla patrón	(42%)	(62%)	(62%)

- Líquido de color blancuzco.
- No contiene cloruro ni sulfatos.
- Es compatible con los aditivos PDA, AEROCRET y PSP.

DOSEIFICACIÓN

- Concreto: ½ litro por saco de cemento.
- Mortero, friso o lechada: 1 litro por saco de cemento.
- Bloques de concreto: 4-8 onzas (120 -240 cc) por saco de cemento.

MODO DE EMPLEO:

El AQUAPEL, se agrega simplemente al agua de la mezcla para obtener una máxima dispersión.

El producto puede aplicarse en combinación con plastificantes o Incorporadores de aire como el PDA y AEROCRET, pero agregando cada aditivo por separado a la mezcla. Para producir un concreto en masa que sea denso de alta resistencia y máxima impermeabilidad (paredes de sótanos y fundaciones), se recomienda usar PDA a razón de 4 oz. (120 cm³) por saco de cemento y AEROCRET a razón de ½ onza (15cm³) por saco de cemento y AQUAPEL a razón de 1/8 galón (0.47 litros), por saco de cemento.

IMPERMEABILIZANTES

AQUAPEL



PRESENTACIÓN:

Envases de 55 galones (208 litros).
Envases de 5 galones (19 litros).
Envases de 1 galón (3,78 litros).
Envase de 1 litro.

PRECAUCIONES Y LIMITACIONES:

- Para concreto donde se requiera Impermeabilidad bajo fuerte presión hidrostática, máxima durabilidad o ambientes muy agresivos recomendamos consultar nuestro Departamento Técnico.

ALMACENAMIENTO Y VIDA ÚTIL:

Guárdese en sus envases originales, cerrados, en un sitio fresco y seco, sobre paletas. Bajo estas condiciones la vida del producto es de un año aproximadamente.

HIGIENE Y SEGURIDAD:

El AQUAPEL es un material que debe ser manipulado adecuadamente. El personal que maneja estos productos deberá utilizar lentes, guantes y mascarillas. Si el producto hace contacto con la piel o con los ojos, estos deberán lavarse abundantemente con agua. Si se ingiere, buscar atención médica inmediata. No inducir el vomito.

Para más información consultar la Hoja de Seguridad de este producto.

Anexo 24: Ficha Técnica Aditivo Sikalite®.

Construcción

Hoja de Datos de Producto
Edición 10.09.2006
Identificación Nº 1135
Versión Nº 002
Sikalite®

Sikalite®

Impermeabilizante Integral para Concreto y Mortero

Descripción	Es un impermeabilizante integral para concreto y mortero de cemento, reduce la permeabilidad y la absorción de agua. Se deposita en los poros haciendo que éstos repelan al agua.
Usos	Como aditivo impermeabilizante integral en concreto y mortero en: <ul style="list-style-type: none">■ Cimentaciones.■ Muros de contención.■ Losas.■ Tanques de concreto.■ Pilotes.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">■ De fácil manejo y dosificación, se agrega a la arena de la mezcla.■ Reduce la permeabilidad del concreto evitando la eflorescencia (salitre).■ No afecta el fraguado de las mezclas de cemento.■ No contiene cloruros añadidos.■ No ataca las armaduras ni los elementos metálicos.■ No es tóxico ni corrosivo.



Datos Técnicos	
Presentación	Sacos plásticos de 25 kg
Color	Gris cemento
Almacenamiento	15 meses en los envases originales cerrados.
Estado físico	Polvo
Dosificación	De 1.00 - 1.25 % por peso de cemento.
Modo de Empleo	El Sikalite puede ser mezclado en la dosis recomendada, con el cemento seco o con la arena de la mezcla, antes de cargar éstos a la mezcla de concreto o mortero. En el caso de que la arena se encuentre húmeda, el Sikalite debe ser cargado momentos antes de iniciar el mezclado del concreto o mortero.
Precauciones	<ul style="list-style-type: none"> ■ El Sikalite debe agregarse con la arena o con el cemento, nunca con el agua o el agregado grueso. ■ Evite la formación de nubes de producto durante su uso.
Medidas de Seguridad	Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes, gafas de protección y máscaras anti polvo durante su manipulación. Proveer ventilación adecuada. Consultar Hoja de Seguridad del producto.
Códigos R/S	R: 38 S: 37
Advertencia	La información y, en específico, las recomendaciones relacionadas con la aplicación y el uso final de los productos Sika, son proporcionadas de buena fe con base en los conocimientos actuales y la experiencia de Sika con los productos, siempre y cuando los mismos sean debidamente almacenados, manejados y aplicados en condiciones normales, de conformidad con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones reales de la obra son tales que no puede inferirse garantía alguna con respecto a la comerciabilidad o adecuación para un objeto específico, ni responsabilidad alguna derivada de relación jurídica alguna, o bien de esta información, o bien de recomendaciones escritas, o bien de cualquier otra asesoría suministrada, salvo con respecto a algún defecto o vicio oculto del producto. El usuario del producto deberá probar la adecuación del producto a la aplicación y objeto propuestos para que la garantía dada por Sika pueda ser opuesta a nosotros. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos propios de terceros deberán ser observados. Todos los pedidos se encuentran sujetos a nuestras condiciones actuales de venta y entrega, las cuales manifiesta usted conocer. Los usuarios deberán en todo momento referirse a la edición más reciente de la Hoja de Datos del Producto en lo que se refiere al respectivo producto, de las cuales serán suministradas copias previa solicitud o requerimiento del cliente.



Sika Venezuela S.A.
 Valencia, Av. Imbaron Borges, parcela Nº 8-1, Zona Industrial Sur, Telf.: (041)8324880 - Fax (041)8333384.
 Caracas, Zona 1, Sector Sur Maraca 8-6, Calle 9 Parcela 8-11, La Urbina, Telf./Fax: (0212)2437777 - 2435774.
 Barcelona, Calle Principal Tierra Adentro Nro.15 Teléfonos: (0281) 2889081 / 2857365 Fax: (0281) 2879334.
 Pto. Ordaz, Av. Norte Sur Línea 2 Redoma la Piba galpón # 08, Telf./Fax: (0286)9531026 - 9528040.
 Maracaibo, Av. 2- "El Milagro" entre Av. 77 y Av. 78, Teléfonos: (0261) 7922487 Fax: (0261) 7921775.
 Punto Fijo, Av. Intercomunal Al Primavera, c/c California, Telf./Fax: (0269)2481832.
 WEB: www.sika.com.ve

Anexo 25: Ficha Técnica Aditivo NOR-O-CON.

NORDEX

INDUSTRIAS NORDEX, C.A.

DIRECCIÓN POSTAL (MAIL ADDRESS) APARTADO (PO BOX) 748, CARACAS 1010 A
TELEFONO (0212) 781.27.43 FAX (0212) 782.08.67
RIF: J-000932786

NOR-O-CON

Aditivo impermeabilizante de concreto

NOR-O-CON es una solución acuosa color ambar oscuro a base de jabones metálicos que permite impermeabilizar integralmente el concreto, ya que actúa produciendo dos efectos en el concreto: por un lado plastifica la mezcla permitiendo reducir la relación agua/cemento, con lo que se densifica el cemento y queda menos poroso y por otra parte reacciona químicamente con determinadas materias solubles en el agua del concreto convirtiéndolas en silicatos permanentes e insolubles que cierran los capilares. De esta manera, el mortero o concreto no puede absorber agua.

USO:

Cuando de un concreto se exige impermeabilidad, este aditivo es el adecuado. Por lo tanto, es recomendado especialmente para:

- Reservorios de agua
- Piscinas
- Tanques de almacenamiento
- Paredes de retención
- Columnas placas y paredes en fundaciones
- Techos prefabricados
- Losas en pendientes sobre platabandas
- Placas y paredes en frigoríficos
- Morteros para frisos, para juntas entre baldosas
- Frisos exteriores

VENTAJAS:

- Crea estructuras más duraderas en el tiempo, al forrar los canales capilares del concreto
- Es económico y fácil de dosificar en la mezcla de concreto
- Reduce las eflorescencias de sales inorgánicas y los agrietamientos
- NOR-O-CON no reduce la resistencia del concreto como lo hacen otros impermeabilizantes integrales, sino al contrario, la incrementa a consecuencia de la posible reducción del factor A/C.
- Es adecuado también para el concreto pre-tensado o post-tensado, ya que no contiene cloruros ni estearatos.

DOSIS Y RENDIMIENTO:

Morteros y frisos se impermeabilizan exitosamente con el aditivo agregándolo al agua de la mezcla. Por regla general, se usa una relación de 400 cm³ del aditivo por 100 kg de cemento, pero en casos críticos, esta cantidad puede ser aumentada hasta un máximo de 800 cm³ por 100 kg de cemento.

La tabla siguiente muestra algunas aplicaciones típicas indicando el consumo del aditivo:

Aplicaciones típicas	Relación cementos: agregados	Espesor	Consumo de NOR-O-CON por m ³ de concreto (mortero) con 400 kg de finos
1. Concreto impermeable	1:5	—	1,6 litros
2. Mortero impermeable	1:3	—	2,6 litros
3. Friso o piso sobre puesto con capas impermeabilizantes contra presión hidrostática.	1:2	2-4 cm	3,3 litros
4. Friso exterior o interior impermeabilizantes contra humedad capilar	1:3	2 cm	2,6 litros
5. Friso interior impermeabilizado contra la lluvia.	1:4	2 cm	2,6 litros

LIMITACIONES:

Para concreto donde se requiera impermeabilidad bajo fuerte presión hidrostática, máxima durabilidad o ambientes muy agresivos, se recomienda realizar la consulta técnica a nuestro personal.

APLICACIÓN:

Agregar NOR-O-CON en la dosificación recomendada al agua de la mezcla, a fin de lograr máxima dispersión. Un concreto bien diseñado, según normas, se convierte con este aditivo en un concreto absolutamente impermeable. Para ese efecto se recomienda que el contenido de partículas finas, es decir cemento más arena fina no sea menor de 400 kg/m³. La consistencia del concreto al vaciar debe ser plástica para lograr una densificación eficiente y uniforme.

CURADO:

Es importante curar el concreto correctamente para evitar la evaporación prematura del agua y la formación de grietas superficiales.

DATOS TECNICOS:

Se trata de un líquido color ambar oscuro, que no contiene cloruros, ni sulfatos. El NOR-O-CON es ensayado bajo la norma ASTM C-140.

PRESENTACION:

El NOR-O-CON se suministra en tambores de 200 litros y en pailas de 20 litros.

ALMACENAMIENTO Y VIDA UTIL:

Almacénese en lugar fresco y seco sobre paletas en sus envases de fábrica. Bajo estas condiciones se estima una vida útil de aproximadamente un (1) año.

Anexo 26: Carta solicitud de donación de agregados.

Caracas 30 de octubre del 2012

Ing. Benito Rodríguez
Presidente
Agregados Puente Arena C.A.
Presente.-

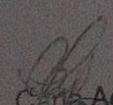
Es grata la oportunidad de dirigimos a Usted con el fin de solicitarle la donación de materiales para la realización de nuestro trabajo especial de grado para optar por el Título de Ingeniero Civil en la Universidad Central de Venezuela. Nuestro trabajo consiste en obtener evidencia experimental del efecto de los aditivos impermeabilizantes AQUAPEL, SIKALITE Y STEAROX en las mezclas de concreto usadas en obras hidráulicas.

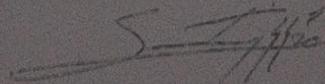
Para lograr nuestros objetivos debemos preparar probetas cilíndricas de concreto, las cuales estas conformadas principalmente por Cemento, piedra picada, arena lavada, además de los aditivos.

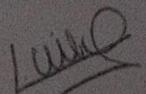
Esta solicitud se la hacemos motivado a que los componentes ideales para los ensayos provienen de las canteras las cuales usted preside, Los materiales requeridos son los siguientes:

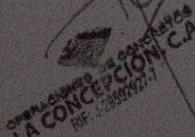
- ✓ 3 Sacos Cemento Portland Tipo III o Tipo I.
- ✓ 1 m³ de Piedra picada de 1" o ¾".
- ✓ 1m³ de arena lavada.

Esperando que nuestra solicitud sea bien recibida por parte de usted, reiterándole nuestra más alta consideración y estima se despide de Usted.


Carlos Adam
C.I. 16821106
Telf. 0412-6007469


Santiago Gómez
C.I. 17898259
Telf. 0412-5615589


Ing. Cesar Peñuela
Tutor Académico


OPERACIONES DE CONSTRUCCION
LA CONCEPCION, C.A.
RIF. J-00857027



Anexo 27: Carta solicitud de donación de cemento Portland Tipo III.

Caracas 20 de noviembre del 2012

Guillermo Martínez
Gerente General
C.A. Fábrica Nacional de Cemento y agregados
Planta Guatire
Presente.-

Presente.-

Es grata la oportunidad de dirigimos a Usted con el fin de solicitarle la donación de materiales para la realización de nuestro trabajo especial de grado para optar por el Título de Ingeniero Civil en la Universidad Central de Venezuela. Nuestro trabajo consiste en obtener evidencia experimental del efecto de los aditivos impermeabilizantes AQUAPEL, SIKALITE Y STEAROX en las mezclas de concreto usadas en obras hidráulicas.

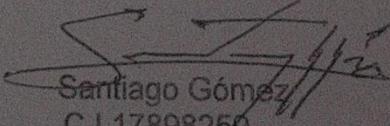
Para lograr nuestros objetivos debemos preparar probetas cilíndricas de concreto, las cuales estas conformadas principalmente por Cemento, piedra picada, arena lavada, además de los aditivos.

Los materiales requeridos son los siguientes:

- ✓ 3 Sacos Cemento Portland Tipo III.
- ✓ 1/2 m³ de Piedra picada de ¾".

Esperando que nuestra solicitud sea bien recibida por parte de usted, reiterándole nuestra más alta consideración y estima se despide de Usted.


Carla Adam
C.I. 16821106
Telf. 0412-6007469


Santiago Gómez
C.I. 17898259
Telf. 0412-5615589

