

**EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LA RESISTENCIA AL ION CLORURO Y
A LA PERMEABILIDAD EN CONCRETOS DE 3000 PSI DE RESISTENCIA**

**Sergio Augusto Ardila Arias
Wilmer Rafael Orozco Castellanos**

**Universidad Pontificia Bolivariana
Escuelas de Ingenierías
Facultad de Ingeniería Civil
Bucaramanga
2017**

**EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LA RESISTENCIA AL ION CLORURO Y
A LA PERMEABILIDAD EN CONCRETOS DE 3000 PSI DE RESISTENCIA**

**Sergio Augusto Ardila Arias
Wilmer Rafael Orozco Castellanos**

Proyecto de Investigación Requisito para optar el título de Ingeniero Civil

**Directora
Luz Marina Torrado Gómez
Msc. En Geotecnia**

Visto Bueno Del Director(A): _____

**Universidad Pontificia Bolivariana
Seccional Bucaramanga
Facultad de Ingeniería Civil
Bucaramanga
2017**

Contenido

	Pág.
Introducción	17
1. Planteamiento del problema.....	18
2. Justificación	19
3. Objetivos.....	20
3.1 Objetivo General.....	20
3.2 Objetivos Específicos.....	20
4. Antecedentes	21
5. Marco Referencial.....	23
5.1 Marco Teórico.....	23
5.1.1 Definición de Concreto	23
5.1.2 Definición del Cemento	23
5.1.2.1 Clasificación del cemento portland.....	24
5.1.3 Agregados	25
5.1.3.1 Arena.....	25
5.1.3.2 Grava.....	26
5.1.3.3 Agua.....	26
5.1.3.4 Agua de mezclado.....	26
5.1.3.5 Agua de curado	27
5.1.4 Relación agua cemento.....	27
5.1.5 Penetración del ion cloruro	32
5.1.6 Permeabilidad	33
6. Metodología	34
6.1 Ensayos Para la Caracterización de los Materiales.....	34
6.1.1 Cemento	34
6.1.1.1 Peso específico (ASTM C 188).....	34
6.1.1.1.1 Equipo:	34
6.1.1.1.2 Procedimiento.....	35
6.1.1.2 Finura del cemento, aparato de Blaine (ASTM C 204)	35
6.1.1.2.1 Equipo	36
6.1.1.2.2 Procedimiento.....	36

6.1.1.3 Consistencia normal del cemento (ASTM C187)	37
6.1.1.3.1 Equipo	37
6.1.1.3.2 Procedimiento:	37
6.1.1.4 Tiempo de fraguado del cemento (ASTM C191)	38
6.1.1.4.1 Equipo	39
6.1.1.4.2 Procedimiento	39
6.1.2 Agregados gruesos y finos	40
6.1.2.1 Agregado grueso	40
6.1.2.1.1 Granulometría (ASTM C136)	40
6.1.2.1.1.1 Equipo:	40
6.1.2.1.1.2 Procedimiento	41
6.1.2.1.2 Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM C127).....	41
6.1.2.1.2.1 Equipo:	41
6.1.2.1.2.2 Procedimiento:	41
6.1.2.1.3 Masa unitaria suelta y compacta (NTC 92).....	42
6.1.2.1.4 Equipo:	42
6.1.2.1.5 Procedimiento:	42
6.1.2.2 Agregado fino.....	43
6.1.2.2.1 Granulometría	43
6.1.2.2.1.1 Equipo:	44
6.1.2.2.1.2 Procedimiento:	44
6.1.2.2.2 Peso específico y absorción del agregado fino	44
6.1.2.2.2.1 Equipo:	44
6.1.2.2.2.2 Procedimiento:	45
6.1.2.2.3 Masa unitaria suelta y compacta.....	45
6.1.2.2.3.1 Equipo:	45
6.1.2.2.3.2 Procedimiento:	46
6.1.2.2.4 Materia orgánica	46
6.1.2.2.4.1 Equipo:	47
6.1.2.2.4.2 Procedimiento:	47
6.2 Diseño de Mezcla	47
6.2.1 Resultados obtenidos de los ensayos de caracterización de los agregados.....	47

6.2.1.1	Cemento	47
6.2.1.1.1	Peso específico.....	47
6.2.1.1.2	Finura del cemento, aparato de Blaine	48
6.2.1.1.3	Consistencia del cemento	48
6.2.1.1.4	Tiempo de fraguado.....	49
6.2.1.2	Agregado grueso	50
6.2.1.2.1	Granulometría.....	50
6.2.1.2.2	Peso específico y absorción del agregado grueso	50
6.2.1.2.3	Masa unitaria suelta	51
6.2.1.2.4	Masa unitaria compactada	51
6.2.1.3	Agregado fino.....	52
6.2.1.4	Peso específico y absorción del agregado fino	52
6.2.1.4.1	Masa unitaria suelta	53
6.2.1.4.2	Masa unitaria compactada	54
6.2.1.4.3	Materia orgánica	54
6.2.2.	Elaboración del diseño de mezcla	56
6.2.2.1	Asentamiento.....	56
6.2.2.3	Tamaño del agregado	56
6.2.2.4	Estimación del contenido de agua y aire	57
6.2.2.5	Resistencia del diseño.....	59
6.2.2.6	Relación agua/cemento	61
6.2.2.7	Contenido de cemento	61
6.2.3	Contenido de agregado grueso.....	62
6.2.4	Contenido de agregado fino	63
6.2.5	Cantidad para un m ³ de concreto	63
6.2.6	Procedimiento a seguir en la ejecución del diseño de mezcla	63
6.3	Procedimiento de la elaboración de los cilindros de concreto	66
6.4	Determinación del concreto a las propiedades de resistencia a la compresión, ion cloruro y permeabilidad.....	74
6.4.1	Resistencia a la compresión del concreto.	74
6.4.2	Resistencia a la penetración del ion cloru	76
6.4.3	Permeabilidad del concreto	79
7.	Análisis y resultados.....	85

7.1 Resistencia a la compresión	85
7.2 Penetración de cloruros	95
7.3 Permeabilidad	105
8. Manuales prácticos del uso de los equipos de permeabilidad rápida de cloruros y de permeabilidad.....	117
8.1 Manual práctico del uso de equipo de permeabilidad rápida de cloruros.	117
8.1.1 Procedimiento para armar las 4 células de prueba.....	118
8.2 Manual práctico del uso del equipo de permeabilidad.....	122
9. Conclusiones	127
10. Recomendaciones.....	128
Bibliografía.....	129

Lista de Graficas

	Pág.
Ilustración 1. Curva típica de correspondencia entre la resistencia media a la compresión y la relación agua/cemento de concreto a diferentes edades	28
Ilustración 2. Clases de exposición.....	29
Ilustración 3. Valores límite para composición y propiedades del concreto	31
Ilustración 4. Contenido máximo de ion cloruro para prevenir la corrosión.....	32
Masa unitaria suelta del agregado fino	53
Ilustración 5. Ensayo de materia orgánica del agregado fino.....	55
Ilustración 6. Asentamiento recomendado para concretos de diferentes grados de manejabilidad.	56
Ilustración 7. Agua en kilogramos por metro cubico para los tamaños máximos de agregado indicados.	57
Ilustración 8. Coeficientes de variación para diferentes controles.	59
Ilustración 9. Resistencia promedio de diseño fcr.	60
Ilustración 10. Relación entre la resistencia a la compresión del concreto y la relación a/c.	61
Ilustración 11. Volumen de agredo grueso por volumen unitario de concreto.....	62
Ilustración 12. Tipos de formaleta.	65
Ilustración 13. Cuantificación de los materiales para la fundición del concreto.	67
Ilustración 14. Formaletas preparadas para el vaciado del concreto.	68
Ilustración 15. Inicio de la mezcla de concreto.....	68
Ilustración 16. Elaboración del concreto utilizando un trompo y mezclando manualmente.	69
Ilustración 17. Medición de la consistencia con el cono de Abrams para la tres relaciones agua/cemento 0,52, 0,62 Y 0,42.	70

Ilustración 18. Vertimiento de la mezcla de concreto en las formaletas cilíndricas.	71
Ilustración 19. Fraguado de las muestras.	72
Ilustración 20. Desencofrado de formaletas.	72
Ilustración 21. Cilindros individualmente marcados.	73
Ilustración 22. Cilindros sumergidos en agua.	74
Ilustración 23. Ensayo de comprensión del concreto.	75
Ilustración 24. Registro de datos programa ELECAV.	75
Ilustración 25. Corte de cilindros, para obtener muestras.	76
Ilustración 26. Muestras de concreto para el ensayo del ion cloruro.	76
Ilustración 27. Preparación del montaje de las muestras para el ion cloruro.	77
Ilustración 28. Montaje completo de la penetración del ion cloruro en muestras de concreto.	77
Ilustración 28. Ecuación norma ASTM C1202.	78
Ilustración 30. Resultados arrojados por el programa.	78
Ilustración 31. Datos registrados en el computador y resultados usando los intervalos cada 5 segundos.	79
Ilustración 32. Cilindros para analizar la permeabilidad.	80
Ilustración 33. Impermeabilizante para muestras de concreto.	80
Ilustración 34. Montaje las muestras para realizar el ensayo de permeabilidad.	81
Ilustración 35. Equipo para hallar la conductividad hidráulica.	82
Ilustración 36. Presión del manómetro.	82
Ilustración 37. Probetas del equipo.	83
Ilustración 38. Coeficiente de permeabilidad.	83

Ilustración 39. Relación de la permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad y profundidad de penetración.....	84
Ilustración 40. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 7 días.	85
Ilustración 41. Desviación estándar de resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 7 días.	86
Ilustración 42. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 7 días.	86
Ilustración 43. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 7 días.	87
Ilustración 44. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 7 días.	87
Ilustración 45. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 7 días.	87
Ilustración 46. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 14 días.	88
Ilustración 47. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 14 días.	88
Ilustración 48. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 14 días.	89
Ilustración 49. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 14 días.	89

Ilustración 50. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,62$ a los 14 días.	90
Ilustración 51. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,62$ a los 14 días.	90
Ilustración 52. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,42$ a los 28 días.	91
Ilustración 53. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,42$ a los 28 días.	91
Ilustración 54. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,52$ a los 28 días.	92
Ilustración 55. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,52$ a los 28 días.	92
Ilustración 56. Grafica de resultados de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,62$ a los 28 días.	93
Ilustración 57. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,62$ a los 28 días.	93
Ilustración 58. Comportamiento de la resistencia a la compresión de cada relación a/c a través del tiempo.	94
Ilustración 59. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,42$ a los 7 días.	95
Ilustración 60. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,42$ a los 7 días.	95

Ilustración 61. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,52$ a los 7 días.	96
Ilustración 62. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,52$ a los 7 días.	96
Ilustración 63. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,62$ a los 7 días.	97
Ilustración 64. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,62$ a los 7 días.	97
Ilustración 65. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,42$ a los 14 días.	98
Ilustración 66. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,42$ a los 14 días.	98
Ilustración 67. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,52$ a los 14 días.	99
Ilustración 68. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,52$ a los 14 días.	99
Ilustración 69. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,62$ a los 14 días.	100
Ilustración 70. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,62$ a los 14 días.	100
Ilustración 71. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,42$ a los 28 días.	101

Ilustración 72. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,42$ a los 28 días.	101
Ilustración 73. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,52$ a los 28 días.	102
Ilustración 74. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,52$ a los 28 días.	102
Ilustración 75. Grafica de resultados de la penetración al ion cloruro en la relación $a/c=0,62$ a los 28 días.	103
Ilustración 76. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación $a/c=0,62$ a los 28 días.	103
Ilustración 77. Comportamiento de la penetrabilidad del ion cloruro de cada relación a/c a través del tiempo.	104
Ilustración 78. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,42$ a los 7 días.	105
Ilustración 79. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,42$ a los 7 días.	106
Ilustración 80. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,52$ a los 7 días.	106
Ilustración 81. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,52$ a los 7 días.	107
Ilustración 82. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,62$ a los 7 días.	107
Ilustración 83. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,62$ a los 7 días.	108
Ilustración 84. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,42$ a los 14 días. ..	108
Ilustración 85. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,42$ a los 14 días.	109
Ilustración 86. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,52$ a los 14 días. ..	109
Ilustración 87. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,52$ a los 14 días.	110
Ilustración 88. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,62$ a los 14 días. ..	110

Ilustración 89. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,62$ a los 14 días.	111
Ilustración 90. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,42$ a los 28 días. ..	111
Ilustración 91. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,42$ a los 28 días.	112
Ilustración 92. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,52$ a los 28 días. ..	112
Ilustración 93. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,52$ a los 28 días.	113
Ilustración 94. Grafica de resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,62$ a los 28 días. ..	113
Ilustración 95. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,62$ a los 28 días.	114
Ilustración 96. Comportamiento de la permeabilidad de cada relación a/c a través del tiempo.	115
Ilustración 97. Accesorios del equipo de permeabilidad rápida de cloruros.	117
Ilustración 98. Montaje de las celdas de acrílico paso numero 1.....	118
Ilustración 99. Montaje de las celdas de acrílico paso numero 2.....	118
Ilustración 100. Montaje de las celdas de acrílico paso numero 3.....	119
Ilustración 101. Montaje de las celdas de acrílico paso numero 4.....	120
Ilustración 102. Montaje de las celdas de acrílico paso numero 5.....	120
Ilustración 103. Montaje de las celdas de acrílico paso numero 6.....	120
Ilustración 104. Programa PERMA DM.....	121
Ilustración 105. Ventana de datos.	121
Ilustración 106. Equipo de permeabilidad con el nombre de las llaves.....	123
Ilustración 107. Equipo de permeabilidad con el nombre de las llaves.....	124

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Finura del cemento.....	48
Tabla 2. Resultados del tiempo de fraguado.....	49
Tabla 3. Resultados de la granulometría del agregado grueso.....	50
Tabla 4. Peso específico del agregado grueso	50
Tabla 5. Masa unitaria suelta del agregado grueso	51
Tabla 6. Masa unitaria compactada del agregado grueso	51
Tabla 7. Resultado de la granulometría del agregado fino	52
Tabla 8. Resultado peso específico del agregado fino.....	53
Tabla 9. Masa unitaria suelta del agregado fino	53
Tabla 10. Masa unitaria compactada del agregado fino	54
Tabla 11. Cantidad para un m ³ de concreto.....	63
Tabla 12. Matriz de trabajo.....	64
Tabla 13. Cantidad de concreto en volumen para una preparación de concreto.....	65
Tabla 14. Cantidad de material para el concreto con relación a/c = 0,52.....	66
Tabla 15. Cantidad de material para el concreto con relación a/c = 0,62.....	66
Tabla 16. Cantidad de material para el concreto con relación a/c = 0,42.....	66
Tabla 17. Clasificación de la penetración del ion cloruro.	79

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE LA RESISTENCIA AL ION CLORURO Y A LA PERMEABILIDAD EN CONCRETOS DE 3000 PSI DE RESISTENCIA

AUTOR(ES): SERGIO AUGUSTO ARDILA ARIAS
WILMER RAFAEL OROZCO CASTELLANOS

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): LUZ MARINA TORRADO GOMEZ

RESUMEN

En este estudio se realizó el análisis del comportamiento mecánico del concreto por medio de los parámetros de resistencia a la compresión, permeabilidad y penetración del ion cloruro al variar la relación agua/cemento de un diseño de mezcla de un concreto de 3000 PSI con relaciones a/c 0,42, 0,52 y 0,62. El concreto se realizó con cemento hidráulico y agregados de pescadero los cuales se caracterizaron para realizar el diseño de mezcla, a edades de 7, 14 y 28 día, normas para la prueba de la penetración del ion cloruro según la clasificación de la norma ASTM C1202 y para la permeabilidad según la NTC 4483.

PALABRAS CLAVES:

Ion cloruro, concreto, permeabilidad, resistencia.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF PROPERTIES OF RESISTANCE TO CHLORIDE ION AND PERMEABILITY IN CONCRETES OF 3000 PSI RESISTANCE

AUTHOR(S): SERGIO AUGUSTO ARDILA ARIAS
WILMER RAFAEL OROZCO CASTELLANOS

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: LUZ MARINA TORRADO GOMEZ

ABSTRACT

In this study, concrete mechanical behavior analysis was performed with the parameters of resistance to compression, the permeability and the penetration of the chloride ion were carried out by varying the water / cement ratio of a design of the mixture of the 3000 PSI and with relations A / C 0.42, 0.52 and 0.62. The concrete was made with hydraulic cement and Pescadero aggregates which were characterized to perform the mix design, the tests were performed at ages of 7, 14 and 28 days, for each of the tests eight samples were used and the results of The tests were analyzed according to the classifications that provide the following standards for the test of chloride ion penetration according to the classification of ASTM C1202 and for permeability according to NTC 4483.

KEYWORDS:

Concrete, chloride ion, permeability, resistance

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

Introducción

Por lo general, en Colombia la mayoría de construcciones se realizan en concreto reforzado ya sean puentes, túneles, edificios, diques, plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otras, algunas de ellas en el interior del país y otras en las zonas costeras, esto quiere decir que debido a la diversidad del clima en el país la mayoría de las estructuras de concreto están expuestas a factores de riesgo como lo son la permeabilidad y el ataque de los cloruros que provocan el deterioro y posterior colapso de las estructura sino se toman medidas de mitigación a tiempo.

La durabilidad de la estructura es su característica más importante porque si es alta le va a prestar servicio a la sociedad por largo tiempo ya que su vida útil será larga, la durabilidad de una estructura de concreto se ve afectada principalmente por la permeabilidad que es la facilidad que tiene el agua de traspasar por la estructura y esto además de debilitar la estructura facilita el transporte de cloruros y agentes dañinos ajenos a las estructuras los cuales pasan a través del concreto con ayuda del agua, lo cual acelera la corrosión del acero de refuerzo y el deterioro de la estructura de concreto.

Por tal razón en este trabajo se va a examinar cómo se comporta el concreto con respecto a la permeabilidad si es alta, baja o media según la norma NTC 4483, la penetración del ion cloruro en que categoría se posiciona alta, moderada, baja, muy baja o depreciable según la ASTM C1202 y el comportamiento de la resistencia a la compresión, esto dependiendo de la cantidad de agua utilizada en la preparación del concreto y al final saber por medio de este estudio si el concreto mejora o empeora sus condiciones de resistencia e impermeabilidad en el transcurso de su edad a 7, 14 y 28 días.

1. Planteamiento del problema

“En los últimos doce meses, hasta enero de 2016, la producción de concreto pasó de 7.9 millones a 8.5 millones de metros cúbicos. Esto presentó un incremento de 6,3 por ciento con relación al año precedente.” (PERIODICO EL TIEMPO, 2016), según este artículo la producción de concreto en el país va en aumento y su importancia es cada vez más relevante, entonces dado a que el concreto es de uso primordial en la construcción y en Colombia se utiliza en la mayoría de obras civiles, en la construcción de carreteras, puentes, edificios, tanques, etc. Y se sabe que éste en su estado sólido sufre de algunas patologías como retracción, contracción, porosidad, permeabilidad entre otras, las cuales pueden ser causadas por un mal diseño o una mala ejecución en el mezclado e incluso por el entorno al que es expuesta la estructura de concreto en su estado sólido como lo es la humedad, la temperatura o las sales marinas, y dichas patologías son las que posteriormente conllevan a que la estructura no cumpla adecuadamente las funciones para las cuales fue diseñada y que la durabilidad de la misma sea menor a la esperada, por tal motivo es importante cuidar las características de los concretos y una de ellas es la relación agua/cemento ya que constituye un parámetro importante en los concretos, siendo esta variable directamente proporcional a la resistencia y por ende a la durabilidad del concreto.

Por estudios ya realizados se conoce de la importancia de todos los materiales usados para la elaboración del concreto y de sus especificaciones técnicas, pero hay uno que además de ser fundamental por la reacción química que genera al ser mezclado con el cemento puede afectar la resistencia a la compresión directamente y es el agua, según los estudios realizados el agua es fundamental para el concreto tanto en estado plástico como sólido y que de la relación agua/cemento dependen muchas propiedades que el concreto recibirá en su estado sólido como lo es la resistencia y la durabilidad, por ello este trabajo comienza con la siguiente incógnita ¿qué tanto pueden variar las propiedades del concreto como la permeabilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la penetración del ion cloruro con respecto a la variación de la relación a/c ?

2. Justificación

La iniciativa para evaluar la resistencia a la penetración del ion cloruro, la permeabilidad y a su vez la resistencia a la compresión se da por los diferentes problemas presentes en algunas estructuras de concreto en su mayoría las estructuras que están en contacto directo con el agua al ser ellas las más afectadas en su capacidad de servicio sin olvidarse que este es un problema de cuidado en cualquier estructura de concreto. Al saber que las estructuras que están más expuestas al agua, presentan un alto grado de oxidación en el concreto y esto a su vez genera un deterioro en el acero de refuerzo lo cual es directamente proporcional a la resistencia y la durabilidad de la estructura, por ende, es importante prevenir el deterioro temprano de las estructuras de concreto construyendo concretos impermeables.

Por otro lado, partiendo de la importancia que tiene el concreto en el sector vivienda en el país es importante crear concretos durables y poco permeables, según dice la presidente de Camacol, Sandra Forero Ramírez:

La industria del cemento y el concreto son el principal encadenamiento de la actividad edificadora, y en ese sentido responden a la dinámica y volumen de construcción. Desarrollando 25 millones de metros cuadrados anuales estamos en el nivel más alto en la demanda de concreto, con más de 8.5 millones de metros cúbicos por año. Ese es un gran indicador de la capacidad de tracción que tiene el sector sobre la dinámica industrial. (Forero Ramírez, 2016).

Por tal motivo se hace necesario hacer un estudio para presentar una solución al problema de permeabilidad, de resistencia a cloruros y de resistencia a la compresión presentada por algunos concretos, analizando el comportamiento de las variables mencionadas anteriormente mediante equipos de laboratorio condicionando estos ensayos experimentales a factores de temperatura y humedad de la ciudad de Bucaramanga y desarrollándose según las normas técnicas establecidas en Colombia, los ensayos tienen como propósito evaluar la resistencia a la penetración del ion cloruro interrelacionado con la permeabilidad y la relación agua/cemento.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Evaluar la permeabilidad y la resistencia al ión cloruro en concretos de 3000 Psi de resistencia.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los materiales que componen el concreto.
- Realizar una mezcla de concreto para una resistencia de 3000 Psi.
- Evaluar la resistencia a la compresión, la permeabilidad, y la penetración de ion cloruro de los diferentes concretos con diferentes relaciones agua/cemento y a diferentes edades de fraguado.

4. Antecedentes

La relación agua/cemento puede afectar la resistencia y otras propiedades del concreto como la permeabilidad, la resistencia al ion cloruro y la compresión, lo que conlleva a generar patologías diferentes tales como retracción, contracción, etc.

Haciendo una revisión de algunas de las investigaciones ya realizadas se pudo encontrar: En un estudio experimental sobre la Influencia del curado en la resistencia a compresión del concreto, se observaron opiniones como las siguientes:

Consideran a la retracción como una de las limitaciones más importantes de los hormigones convencionales. Se trata de una variación en el volumen de la mezcla, que se produce por varias razones (contenido de cemento, cantidad de agua, temperatura, etc.), siendo una de las causas más importantes que provocan la fisuración del hormigón. (García & Horstmann, Hormigones y morteros sin retracción, 1985).

Considera que las consecuencias de la retracción son la aparición de fisuras y grietas superficiales y la creación de tensiones en el interior de la masa, con la consiguiente disminución de sus propiedades mecánicas. (Soler, La retracción por secado del hormigón. Cálculo. Figuración., 2009).

Según los autores del artículo en el cual se encuentra el fragmento de texto anterior en los resultados obtenidos de los ensayos realizados en su estudio, han confirmado que los concretos con mayor relación agua/cemento presentaron mayores volúmenes de huecos y que esto favorece la conexión entre fisuras lo cual debilita el material. (Garín, Santilli, & Pejoja, 2016).

Además un estudio realizado por estudiantes de los Andes en el cual evaluaron la resistencia a cloruros en un concreto adicionado en diferentes porcentajes con escoria de alto horno y con diferentes relaciones agua/cemento conforme a lo estipulado en la norma ASTM 1202 y con un equipo hecho en el país el cual cumple los requerimientos de la norma, se llegó a la conclusión conforme a los resultados obtenidos que la mejor forma de conservar las estructuras próximas al mar y que estén en contacto con la acción de cloruros es que estas deben usar la misma adición de escoria usada en su investigación en un porcentaje del 25% del total del material cementante, relaciones agua/cemento inferiores o iguales a 0.51 y que las mezclas presenten una resistencia a la compresión mayor o igual a 40 MPa, ya que de esta forma los concretos presentaron

resistencias a los cloruros de 2000 coulombs, lo cual permite catalogar el concreto con baja permeabilidad a los cloruros. (Santamaría Díaz, Yamín Lacouture, & Arcila López, 2016).

También se encontró en un estudio realizado en ciudad de la Habana sobre la influencia de la penetración de iones cloruros en hormigón armado y a diferentes relaciones agua/cemento, el cual dice que la penetración de iones cloruros depende de las condiciones a las cuales puede estar expuesta la estructura de concreto y que las condiciones más frecuentes son: el aerosol marino y el contacto con el agua de mar; el estudio fue realizado confeccionando probetas de hormigón armado las cuales tenían diferentes relación agua/cemento, se evaluó el comportamiento de las probetas durante algunos meses, algunas de estas probetas se sumergieron en solución salina de cloruro de sodio al 3% y a temperatura ambiente, las otras se expusieron a la intemperie con aplicación de una niebla salina de la misma solución en horas de la mañana seis veces a la semana, ya que de tal forma se puede obtener una agresividad corrosiva similar a una zona costera; al final del periodo de exposición en dichos ambientes a cada una de las probetas se les extrajo muestras de polvo tanto como en la superficie como en diferentes profundidades de las mismas, para así determinar la concentración de iones cloruros y solubles según las normas ASTM-114 y ASTM C-1218/C 1218M-93 respectivamente, a partir de estos ensayos los resultados obtenidos mostraron que las probetas que fueron sumergidas presentaron una mayor concentración de iones cloruros totales y solubles en la superficie con respecto a las de niebla salina, lo cual les indujo a pensar que el ambiente sumergido es más agresivo, sin embargo las probetas que fueron sometidas a la niebla salina presentaron una concentración de iones cloruros totales y solubles mayor a diferentes profundidades lo que desembocó un mayor deterioro de las mismas, al final se concluyó que las condiciones de exposición a la cual se somete la estructura influye también en la profundidad de penetración de los iones cloruros y conforme a esto en su nivel de deterioro. (Castañeda Valdés, Días Brito, Gonzáles Mellor, Martínez Hernández, & Corvo Pérez, 2016).

5. Marco Referencial

5.1 Marco Teórico

5.1.1 Definición de Concreto. El concreto consta de una mezcla de diferentes materiales los cuales son: cemento, agregado grueso o triturado, agregado fino o arena y agua, los tres materiales esenciales del concreto son el cemento (generalmente portland), mezclado con una proporción adecuada de agua y las partículas de agregado fino teniendo su clasificación dependiendo principalmente del diámetro medio, se clasifican en (grava, gravilla y arena) (GUTIERREZ DE LOPEZ, 2003). El conglomerado de ellos constituye una masa plástica cuya función es unir las diferentes partículas de agregado grueso llenando sus poros vacíos entre ellas mismas.

Antes de que la mezcla llegue a su estado final ella pasa por dos etapas generales las cuales son: el fraguado inicial y el fraguado final, siendo así la primera etapa el momento inicial, en el cual la mezcla pierde su plasticidad volviéndose difícil para manejar la mezcla en su primer etapa, conforme la mezcla va experimentado el fraguado, en ese tiempo la pasta tapa los espacios entre las diferentes partículas que conforman la mezcla de concreto, así mismo reduce la permeabilidad, ya formado su estado sólido, empieza a suministrar la resistencia mecánica a la comprensión.

5.1.2 Definición del Cemento . El cemento se consigue del proceso de pulverización del Clinker el cual se obtiene de la fundición de arcilla y caliza con temperatura de 1.450 grados, después de enfriar este material se le agrega yeso para que el cemento obtenga la propiedad del fraguado, al aplicarle agua la mezcla endurecerá las diferentes etapas que experimenta. Se debe manejar ciertas especificaciones bajo rigurosos estándares de calidad para obtener el cemento.

El cemento se conforma por los siguientes componentes:

Silicato dicálcico, silicato tricálcico, aluminato tricálcico, ferrito tricálcico a su vez con unos componentes en menores dosificaciones los cuales son óxidos de magnesio, potasio, sodio, magnesio y titanio. (Harmsen, 2005)

5.1.2.1 Clasificación del cemento portland. Al ser la industria de la construcción un medio tan amplio y con tanta demanda de cemento portland, tanto en cantidad, calidad, y especificaciones especiales, por ello, se tienen varios tipos de cementos dependiendo de la necesidad de acuerdo con el país, respectivamente sabiendo que cada país tiene sus especificaciones en particular. (SANCHEZ DE GUZMAN, 2001).

En Colombia la calidad del cemento está basada en las normas ICONTEC las cuales tienen gran base en las normas ASTM de los estados unidos y en la norma NTC 30.

- **Cemento portland tipo 1:** Este tipo de cemento es utilizado para obras que no tienen exigencias especiales.
- **Cemento portland tipo 1-M:** Este tipo de cemento es utilizado para obras que no tienen exigencias especiales, pero necesitan resistencias más elevadas a las del cemento portland tipo 1.
- **Cemento portland tipo 2:** Este tipo de cemento es utilizado para obras que están comprometidas a los sulfatos y también donde se solicita un moderado calor de hidratación.
- **Cemento portland tipo 3:** Este tipo de cemento es utilizado para obras que necesitan el desarrollo de altas resistencias iniciales.
- **Cemento portland tipo 4:** Este tipo de cemento es utilizado para obras en las cuales se necesita su desarrollo bajo el calor de hidratación.
- **Cemento portland tipo 5:** Este tipo de cemento es utilizado para obras en las cuales se necesita que ofrezca altas resistencias a los sulfatos.
- **Cemento portland blanco:** Es un cemento que se elabora con materiales seleccionados, para que ellos le den un color blanco a la mezcla en particular.
- **Cemento portland con incorporaciones de aire:** Es un cemento portland, pero con un material incorporado de aire.
- **Cemento portland tipo 1-A:** Es el mismo cemento portland tipo 1 pero con una adición de material incorporado de aire.
- **Cemento portland tipo 1-M-A:** Es el mismo cemento portland tipo 1-m, pero con una adición de material incorporado de aire.
- **Cemento portland tipo 2A:** Es el mismo cemento portland tipo 2 pero con una adición de material incorporado de aire.

- **Cemento portland tipo 3A:** Es el mismo cemento portland tipo 3 pero con una adición de material incorporado de aire.

(SANCHEZ DE GUZMAN, 2001)

5.1.3 Agregados. Los agregados ocupan una gran parte de la mezcla de concreto, se considera aproximadamente tres cuartas partes del volumen de la mezcla de concreto, y se considera al ser un poco más rentable utilizar la mayor parte de agregados ya que son más económicos, se busca optimizar el cemento al ser este material el más costoso de la mezcla, pero los diseños de mezcla tienen que cumplir ciertos requisitos característicos como la resistencia, durabilidad, homogeneidad, permeabilidad, así estos no se vean afectados por un exceso de agregados.

Los agregados se componen en dos: en su mayoría el agregado fino que usualmente se usa (arena) son aquellos agregados que en el tamizado pasan la malla número cuatro, por el contrario, el material retenido de la malla cuatro hacia arriba es considerado el agregado grueso más usado es (la grava o la piedra triturada).

Los agregados a su vez deben cumplir una resistencia y una serie de características asignadas para la resistencia requerida, ya que para concretos de alta resistencia los diferentes agregados se ven expuestos a rigurosos controles de calidad, al tener en cuenta que los agregados deben ser fuertes, durables y limpios ya que en dado caso un agregado grueso al contener partículas de polvo se puede ver afectada la característica de adherencia con la pasta de cemento y los diferentes agregados.

5.1.3.1 Arena . La arena considerada como el agregado fino, es un material granular que está compuesto por partículas de diámetros menores a 4,75mm. Este material es proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, a su vez tiene una composición de partículas de minerales, presentando algunas variaciones de acuerdo a su fuente de origen, el agregado fino puede tener otro origen el cual puede ser, obtener una arena mano facturada en la cual se debe considerar que el agregado fino tiene que estar libre de sustancias o partículas dañinas para el concreto como lo son el polvo, partículas blandas, pizarras, materia orgánica y sales.

5.1.3.2 Grava . Son partículas (piedras trituradas) que se usan como un material componente del concreto en la construcción de obras civiles, las cuales tienen una dimensión superior a 4,75 mm. Estas partículas le proporcionan resistencia al concreto y son provenientes de la disgregación de rocas.

5.1.3.3 Agua El agua empleada en la mezcla de concreto, así como todos los materiales empleados en la mezcla también debe cumplir algunas características generales, para que sea apta en el concreto y así no se vea afectada ninguna característica del concreto para que se pueda cumplir con la resistencia esperada debe ser un agua limpia libre de químicos perjudiciales, aceites y materias orgánicas.

En su mayoría el agua considerada como potable es apta y cumple los requisitos para ser empleada en la mezcla del concreto, siendo la función principal del agua la hidratación del cemento, y a su vez el agua es la que reacciona con el cemento y es ella la que hace que la mezcla experimente sus diferentes reacciones, durante los diferentes estados que se desarrollan los cuales son: el estado plástico, el fraguado y el estado de endurecimiento, también por el agua es que en su primer etapa mejora la manejabilidad de la mezcla.

El agua tiene una subdivisión según la etapa en la que se encuentre la mezcla de concreto, las cuales son dos: el agua de mezclado y el agua de curado.

5.1.3.4 Agua de mezclado. Hace referencia a la cantidad de agua que se planteó en el diseño de mezcla dependiendo del volumen que se va a mezclar y la respectiva resistencia para así adquirir una mezcla trabajable en su primera etapa, a su vez le da una lubricación a la pasta para que tenga mejor contacto con los diferentes agregados y una mejor homogeneidad en la mezcla.

5.1.3.5 Agua de curado . El agua de curado es muy importante, porque está influye de manera importante para que el concreto adquiriera características optimas en su estado sólido, se encarga de hidratar el mismo ya que el estado de curado del concreto es mantener el material en condiciones de humedad y temperatura que garanticen la completa hidratación del cementante y el desarrollo de su resistencia potencial. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2007), para curar las estructuras hay varios sistemas uno de ellos es por inmersión este método produce los mejores resultados, otro es el método de rociadores de agua el cual tiene resultados favorables, también es importante que el agua de curado cumpla con lo estipulado en la norma.

5.1.4 Relación agua cemento En términos generales, la resistencia del concreto se determina por la cantidad neta de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento, para un conjunto dado de materiales y de condiciones similares. Duff Abrams, en su ley formulada en el año 1918, en la cual según la relación agua/cemento es inversamente proporcional para los mismos materiales y condiciones de ensayo. (SANCHEZ DE GUZMAN, 2001).

Duff Abrams planteo la siguiente ecuación:

$$R=A/B^{\alpha}$$

R: resistencia media a la compresión [kg/cm²]

A y B: constantes empíricas que dependen de las características de los materiales.

α : relación agua/ cemento expresada en peso.

(SANCHEZ DE GUZMAN, 2001).

En la siguiente imagen extraída del texto del cual tomamos esta información anterior se representa gráficamente la expresión anterior.

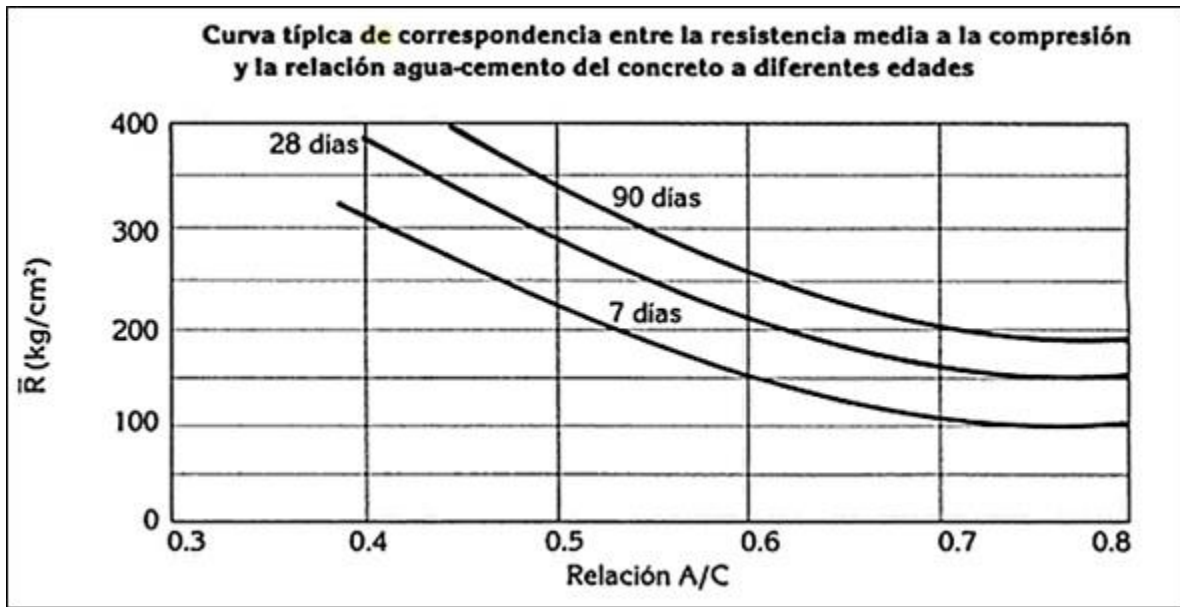


Ilustración 1. Curva típica de correspondencia entre la resistencia media a la compresión y la relación agua/cemento de concreto a diferentes edades

Fuente: Tecnología del Concreto y del Mortero Pág. 126

De acuerdo a la gráfica se puede concluir que las mezclas de concreto con mayor relación agua/cemento no aumentan de resistencia tan rápido como las de menor relación agua/cemento. Al acordarse una relación agua/cemento se debe tener en cuenta el tipo de ambiente en el cual se encontrará expuesta la estructura según lo dice la norma técnica NTC 5551. (ARGOS, 2016) Según la norma las condiciones de exposición van relacionadas con la durabilidad ya que la estructura se ve expuesta al microclima que la rodea, en la norma se encuentran las clases generales de exposición que se pueden ver en la siguiente imagen extraída de la norma NTC 5551:

Clases generales de exposición				
Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del ambiente de exposición	Ejemplos
1		Ningún riesgo de corrosión o ataque.	Interiores de edificios, no sometidos a condensaciones. Elementos de concreto en masa.	Interior de edificios, protegidos de la intemperie.
2		Corrosión inducida por carbonatación.		
	2,1	Humedad alta	Interiores sometidos a humedades medias altas > 65 % o condensaciones. Exteriores en ausencia de cloruros y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. Elementos enterrados o sumergidos.	Sótanos no ventilados, cimentaciones, tableros
	2,2	Humedad media	Exteriores en ausencia de cloruros sometidos a la acción del agua de lluvia, en zonas con precipitación media anual menor o igual a 600 mm.	Construcciones exteriores protegidas de la lluvia. Tableros y pilas de puentes en zonas de precipitación media anual menor o igual a 600 mm.
	2,3	Humedecimiento-secado	Ciclos de humedecimiento y secado.	Superficies en contacto con el agua, estructuras sometidas a ciclos de humedad y secado, tanques, pilas.
3		Corrosión inducida por cloruros del agua de mar		
	3,1	Aérea	Elementos de estructuras marinas por encima del nivel de pleamar. Elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera (a menos de 5 km).	Estructuras en las proximidades de la costa, zonas aéreas de diques y otras obras de defensa.
	3,2	Sumergida	Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente por debajo del nivel mínimo de bajamar.	Zonas sumergidas de diques y otras obras de defensa litoral, cimentaciones y zonas sumergidas de pilas de puentes en pleamar.
	3,3	En zona de mareas	Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de cambio de mareas.	Zonas situadas en el recorrido de marea de diques y otras obras de defensa litoral. Zonas de pilas de puentes sobre el mar, situadas en el recorrido de marea.

Continúa...

Ilustración 2. Clases de exposición.

Fuente: Norma NTC 5551

(Final)				
Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del ambiente de exposición	Ejemplos
4		Corrosión inducida por cloruros diferentes a los que provienen del agua de mar.	Concreto reforzado o con metal embebido en contacto con agua con cloruros diferente al agua de mar.	
	4,1	Humedad moderada.	Concreto con exposición directa a salpicaduras con cloruros.	Piscinas, plantas de tratamiento
	4,2	Humedad	Concretos expuestos a cloruros provenientes de procesos industriales. Instalaciones no impermeabilizadas en contacto con agua que presente un contenido elevado de cloruros, no relacionados con el ambiente marino.	Piscinas, plantas de tratamiento
	4,3	Ciclos de humedecimiento y secado.	Estructuras expuestas a humedecimiento y secado de aguas con contenidos de cloruros.	Estructuras de puentes Pavimentos Placas de parqueaderos.
5	5,1	Ataque por hielo y deshielo.	Elementos situados en contacto frecuente con el agua, o zonas con humedad relativa media superior al 75 % y que tengan una probabilidad anual superior al 50 % de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5 °C.	Construcciones en zonas de alta montaña, estaciones invernales, cuartos fríos temperaturas por debajo de -5 °C.
6		Ataque químico		
	6,1	Débil	Elementos situados en ambientes con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar la alteración del concreto con velocidad lenta. Véase la Tabla 2.	Instalaciones industriales con sustancias débilmente agresivas de acuerdo con la Tabla 2, construcciones en proximidades de áreas industriales, con agresividad débil según la Tabla 2
	6,2	Medio	Elementos en contacto con el agua de mar. Elementos situados en ambiente con contenidos de sustancias químicas capaces de provocar alteración del concreto con velocidad media, de acuerdo con la Tabla 2.	Estructuras marinas en general. Instalaciones industriales con sustancias de agresividad media.
	6,3	Fuerte	Elementos expuestos a fuertes alteraciones del concreto. Véase Tabla 2.	Instalaciones industriales con sustancias de alta agresividad, de acuerdo con la Tabla 2. Instalaciones de conducción y tratamiento de aguas residuales.
7	7,1	Desgaste	Abrasión, cavitación. Elementos sometidos a desgaste superficial. Elementos de estructuras hidráulicas en los que el nivel piezométrica pueda descender por debajo de la presión de vapor de agua.	Pilas de puente en cauces muy torrenciales, elementos de diques, tuberías de alta presión, tránsito ligero de pavimentos, tráfico mediano o pesado.

Fuente: Norma NTC 5551

En la siguiente imagen se puede ver en una tabla extraída de la norma como se relacionan los requisitos de durabilidad en términos de máximas relaciones agua/cemento, según las clases generales de exposición:

		Valores límite para composición y propiedades del concreto														
		Clase														
		1	2			3			4			5	6			7
Parámetro	Subclases	1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3		6,1	6,2	6,3	
Máxima relación a/m.c.	Concreto no reforzado	0,65	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,45	0,5	0,5	0,45	0,5
Máxima relación a/m.c.	Concreto reforzado	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,55	0,55	0,45	0,45	0,5	0,45	0,45	0,5
Máxima relación a/m.c.	Concreto preesforzado	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,5
Resistencia especificada mínima a compresión MPa		--	24	28	28	28	35	35	28	28	35	31	31	35	35	28
Contenido mínimo de material cementante (kg/m ³)	Concreto no reforzado	200	---	---	---	---	---	---	---	---	---	275	275	300	325	275
Contenido mínimo de material cementante (kg/m ³)	Concreto reforzado	250	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300
Contenido mínimo de material cementante (kg/m ³)	Concreto preesforzado	275	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300
Contenido de aire incorporado mínimo (%)									**	**	**	**	**	**	**	
Otros requerimientos													.	.	.	

* Cemento resistente a sulfatos (Tipo II, Tipo V) o una adecuada dosis de microsilica o cemento adicionado que cumpla con las normas.

** Según Tabla 4 relación a/m.c. = relación agua / material cementante

NOTA Para estructuras especiales, como tuberías y prefabricados de concreto, se deberían tener en cuenta las recomendaciones, especificaciones, normativa existente y requisitos de durabilidad de organizaciones como el American Concrete Institute (ACI), o de otras instituciones o asociaciones que hayan estudiado el tema. Adicionalmente, para agresiones de la clase 6 debería considerarse el uso de protecciones secundarias cuando sea necesario.

Ilustración 3. Valores límite para composición y propiedades del concreto

Fuente: Norma NTC 5551

5.1.5 Penetración del ion cloruro . Unas de las sustancias más contraproducentes y peligrosas para el hormigón son los cloruros, ya sea que entren en contacto con él en su preparación o en su estado sólido, los cloruros “dan lugar, (...), a la creación de un electrolito tanto más conductor cuanto mayor es la concentración en estos, favoreciendo de esta forma el transporte de electrones entre el cátodo y ánodo que se forman en todo proceso de corrosión electroquímica.”

(SEPULVEDA REQUENA)

Cuando se plantea evaluar la durabilidad de una estructura, especialmente cuando se pretenden realizar cambios en su composición como lo es cambiar las dosificaciones de los materiales, un parámetro importante a tener en cuenta es la resistencia a la penetración del ion cloruro, ya que la baja resistencia facilita la corrosión y poca durabilidad de la estructura. La presencia de los iones cloruros es la razón del “aumento de la velocidad de corrosión de un metal pasivo por hecho de una eliminación total o parcial de su capa de pasivación.” (Real Academia de Ingeniería, 2016), o también llamada despasivación, los iones cloruros se pueden encontrar en el concreto de dos formas cloruros libres y cloruros fijos la suma de estos dos son los cloruros totales, los cloruros pueden llegar al concreto por la exposición de la estructura o pueden llegar por medio del agua o aditivos que se usen en el mezclado por tal razón las normas de construcción permiten un contenido máximo del ion cloruro que puede ser aportado por los materiales a utilizar en la preparación del concreto.

Según la norma NTC 555, el máximo contenido de ion cloruro con el cual se puede prevenir la corrosión, se encuentra en la siguiente imagen extraída de una tabla de la norma mencionada anteriormente.

Tipo de elemento	Contenido máximo del ión cloruro (Cl expresado como porcentaje de peso de material cementante)
Concreto preesforzado	0,06
Concreto reforzado expuesto al cloruro en servicio	0,15
Concreto reforzado que estará seco o protegido de la humedad en servicio	1,00
Otros tipos de construcción en concreto reforzado	0,30

NOTA El contenido máximo de ión cloruro, en el concreto endurecido, para evitar la despasivación del acero de refuerzo por picado es del orden de 0,25 % del peso del material cementante, según la literatura disponible al respecto.

Ilustración 4. Contenido máximo de ion cloruro para prevenir la corrosión.

Fuente: Norma NTC 5551

5.1.6 Permeabilidad. Estanquidad es según la Real Academia de Ingeniería (2017) "Capacidad para contener el fluido", y "la estanquidad de un hormigón depende, (...) de la porosidad del mortero endurecido. En consecuencia, la primera condición que debe cumplir un hormigón para que sea impermeable, es la de que su compactación sea la máxima posible". (PAEZ, 1986)

La durabilidad del hormigón depende de la permeabilidad del mismo y está dependiente a su vez del grado de compactación, una compactación pobre dejara aire atrapado provocando de este modo discontinuidades en el hormigón haciéndolo permeable y facilitando la entrada de agentes externos como líquidos, sales, etc. (ANDRADE PARDO & LAMUS BAEZ, 2015).

La permeabilidad del concreto, como la de cualquier material, consiste en que éste pueda ser atravesado por un fluido (agua, aire, vapor de agua) a causa de una diferencia de presión entre las dos superficies opuestas del material. La permeabilidad está determinada por el caudal filtrado de acuerdo con la ley experimental de Darcy, en la cual el flujo es laminar y permanente. (SANCHEZ DE GUZMAN, 2001)

6. Metodología

6.1 Ensayos Para la Caracterización de los Materiales

La caracterización de los materiales fue realizada en base a las normas técnicas INVIAS, NTC y ASTM. y el libro “GUIA PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION”.

6.1.1 Cemento

El cemento constituye el material que aglomera todas las partículas de agregados pétreos a fin de producir una mezcla capaz de soportar cargas, ser durable y duradero, llamada concreto.

El cemento utilizado para este proyecto fue concreto hidráulico Portland tipo 1 marca Cemex.

Para la caracterización de éste material se procedió a realizar los siguientes ensayos:

6.1.1.1 Peso específico (ASTM C 188)

El objetivo de este ensayo es dar a conocer la densidad del cemento hidráulico, esta variable se implementara en el diseño de mezcla. De modo que la gran importancia del peso específico en el cemento se encuentra relacionada con el diseño y el control en la mezcla de concreto. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.1.1.1 Equipo:

- Frasco de le Chatelier, según NTC y en la norma INVE -307-07.
- Kerosene.
- Balanza
- La muestra respectiva del cemento hidráulico.
- Embudo de vidrio.

6.1.1.1.2 Procedimiento:

- Limpiar y lavar el frasco le Chartelier para asegurarse de que su interior se encuentre libre de algún residuo o de humedad.
- Ubicar el frasco de le chatelier sobre una zona plana.
- Introducir con un embudo de cuello largo el líquido de kerosene hasta un punto intermedio de volumen entre 0 ml y 1 ml del frasco le Chartelier con el objetivo de que las paredes internas del frasco se mantengan secas.
- Ubicar el frasco con el líquido en agua a temperatura ambiente, esto se hace para que la temperatura del líquido interior del frasco no varíe en más de $0,1^{\circ}\text{C}$, se registra la primera lectura (Lo).
- Pesar 64 gramos de cemento hidráulico y verter dentro del frasco en pequeñas cantidades para evitar salpicaduras, se utiliza un embudo para obtener un buen manejo del cemento y evitar se queden partículas en las paredes del frasco.
- Colocarle el tapón al frasco y girar lentamente sobre la base, se le proporcionan unos pequeños golpes para extraerle las burbujas de aire que quedan atrapadas en la solución.
- Situar en temperatura ambiente y tomar la lectura final.

6.1.1.2 Finura del cemento, aparato de Blaine (ASTM C 204)

La finalidad de este procedimiento es principalmente definir el método de ensayo para precisar la finura del cemento portland a través del aparato de Blaine de permeabilidad al aire. Al ser las partículas de cemento muy diminutas, no se pueden separar por mallas, por esta misma razón, el grado de finura del cemento se mide por otro tipo de métodos y parámetros. El parámetro de medición de la finura del cemento en el aparato de Blaine se define como el área específica, la cual es definida como el área de la superficie total en cm^2 por gramo de cemento. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.1.2.1 Equipo:

- Aparato de Blaine: consta de cámara de permeabilidad, émbolo, disco perforado y manómetro.
- Líquido para llenar el manómetro.
- Papel filtro.
- Muestra de cemento patrón #114 del national bureau of standards, USA.
- Muestra de cemento a ensayar.
- Balanza.

6.1.1.2.2 Procedimiento:

- Realizar la calibración del aparato para corregir posibles desgastes que se hallan generado en el émbolo o en la cámara de permeabilidad.
- Limpiar la celda de permeabilidad cuidadosamente.
- Colocar la celda de permeabilidad en su correspondiente base de madera.
- Llenar la cámara totalmente con mercurio y enrasar con el pistón.
- Determinar el peso del crisol con y sin el mercurio.
- Sacar uno de los discos de papel filtro de la cámara.
- Introducir los 28 gramos de cemento dentro de la celda, utilizar un embudo inducirlo en pocas cantidades para así obtener un mejor manejo y que no se adhiera ninguna partícula a las paredes del embudo.
- Colocar en otro disco de papel filtro.
- Utilizar el émbolo para así asegurarse que el cemento no se adhiera a las paredes de la celda.
- Finalmente verter el mercurio en la celda y posteriormente pesar.

6.1.1.3 Consistencia normal del cemento (ASTM C187)

La consistencia normal del cemento tiene como finalidad conocer la cantidad de agua que es necesaria agregar para elaborar la pasta de cemento, esto mediante el aparato de Vicat, El agua de consistencia normal del cemento puede definirse como la cantidad de agua necesaria para que la aguja de 1 cm de diámetro penetre $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ en el transcurso de 30 segundos la pasta de cemento, después de haberse iniciado la prueba.

Es requisito estimar la cantidad de agua con la cual la mezcla obtiene la consistencia normal así se conoce el tiempo de fraguado, Conociendo la consistencia normal del cemento y el tiempo de fraguado, da a conocer sobre la conveniencia del uso del concreto pre-mezclado durante la colocación del concreto en los respectivos cilindros y no superar el tiempo en que pasa de estado plástico a estado sólido. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.1.3.1 Equipo:

- Probeta
- Muestras del cemento hidráulico
- Palustre
- Raspador
- Recipiente de mezcla
- Aparato de vicat el cual debe cumplir con lo especificado en la norma.

6.1.1.3.2 Procedimiento:

- Pesar 500 gramos de cemento hidráulico en la balanza
- Para realizar el mezclado de la pasta manualmente, son los siguientes pasos:
 - Expandir el cemento en un recipiente.
 - Utilizar una espátula para abrir el cemento y dejar un espacio en medio del cemento.
 - Medir una cantidad de agua en la probeta con una estimación propia.

- Agregar el agua en el espacio del interior que anteriormente se le había dejado al cemento dejar por 30 segundos para que el cemento absorba el agua.
- Empezar a introducir el cemento con la ayuda de la espátula al medio donde está el agua.
- Proceder a mezclar por 30 segundos con la espátula con movimientos continuos y observar que la mayoría de partículas de cemento se adhieran entre sí con ayuda del agua.
- Ponerse unos guantes de látex para el paso a seguir, es de suma importancia.
- Mezclar con la mano por otros 30 segundos para que así la mezcla obtenga mayor adherencia entre sus partículas.
- Moldear la pasta en las manos.
- Formar una bola con la respectiva pasta.
- Lanzar 6 veces de una mano a la otra para moldear la mezcla, procurar que la distancia entre manos sea de 152 mm.
- Colocar la masa en el molde por la base de mayor diámetro, posteriormente con una mínima presión introducir la masa y quitar el exceso con la palma de la mano.
- Situar la base de vidrio en la base de mayor diámetro.
- Enrasar el molde con ayuda de la espátula.
- Situar la muestra en el aparato de vicat
- Centrar bajo el vástago, bajar el vástago hasta que hiciera contacto con la superficie de la muestra, asegurar el tornillo fijador
- La consistencia normal es obtenida cuando la aguja penetra 10 mm la muestra después de 30 segundos

6.1.1.4 Tiempo de fraguado del cemento (ASTM C191)

El tiempo de fraguado del cemento tiene como propósito especificar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat, al tener en cuenta que cuando el cemento y el agua entran en contacto, inicia una reacción química exotérmica que determina el endurecimiento de la mezcla. Desde ese momento comienza un proceso de endurecimiento en el primer caso se presenta un estado en el que la mezcla disminuye

apreciablemente su plasticidad y se hace notoria la pérdida de su plasticidad, se vuelve muy difícil su manejabilidad; dicho estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que transcurre el tiempo empieza el endurecimiento normal de la mezcla y se presenta otro estado en el cual la consistencia alcanza un valor muy apreciable este estado se llama fraguado final. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.1.4.1 Equipo

- Balanza.
- Probetas.
- Aparato de Vicat.
- Cronometro.
- Cámara húmeda.
- Pasta de cemento.

6.1.1.4.2 Procedimiento

- Pesar 500 gramos de cemento hidráulico en un recipiente.
- Colocar en una bandeja no absorbente los 500 gramos de cemento.
- Abrir un cráter al cemento hidráulico y agregar 140 ml de agua, calculada con anterioridad en el ensayo de consistencia normal del cemento.
- Empezar a introducir el cemento al cráter con ayuda de la espátula
- Proceder a mezclar por 30 segundos con la espátula
- Mezclar con la mano por otros 30 segundos, utilizar guantes de látex.
- Moldear la pasta en las manos y lanzarla 6 veces de una mano a la otra a una distancia aproximada de 152 mm.
- Colocar la masa en el molde por la base de mayor diámetro, posteriormente quitar el exceso con la palma de la mano
- Colocar la base de vidrio en la base mayor con la ayuda de la espátula y enrasar el molde.
- Al obtener la mezcla se procede al ensayo como tal de penetración:
 - Colocar el molde con su respectiva pasta de cemento en el aparato de vicat.

- Bajar la aguja del vástago hasta que tenga un contacto superficial con la pasta
- Empezar a registrar con intervalos de 15 minutos hasta encontrar que la aguja deje una marca sobre la pasta, así encontramos el tiempo de fraguado final.

6.1.2 Agregados gruesos y finos. Para realizar un buen diseño de mezcla no solo es de interés prioritario evaluar el cemento sino paralelamente los agregados que van a componer la mezcla ya que los agregados finos y gruesos serán los que ocuparan la mayor parte de la mezcla siendo esto proporcional estos agregados intervienen mucho en las propiedades y características de la mezcla. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.2.1 *Agregado grueso*. El agregado grueso es de suma importancia al ser uno de los principales componentes de la mezcla de concreto por este motivo fue de suma importancia garantizar los buenos resultados de calidad del material que trabajamos.

6.1.2.1.1 *Granulometría (ASTM C136)*. La granulometría en los agregados gruesos tiene como propósito conocer la distribución de las partículas del agregado que se analiza por medio del procedimiento de separación de las partículas, para ello se utilizan una serie de tamices en los cuales se retiene un porcentaje de agregado según sus diferentes tamaños, de esta forma se puede conocer la cantidad de cada tamaño, para ello se utilizaron los tamices según especificaciones de la NTC 32, para agregado gruesos los cuales son: # 4, # 8, #16, #30, # 50, # 100 y # 200. 1½". 1", ¾". ½" 3/8" # 4 y el fondo. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.2.1.1.1 *Equipo:*

- Balanza
- tamices
- Horno
- Muestra de agregado grueso a ensayar

6.1.2.1.1.2 Procedimiento:

- Seleccionar por cuarteos de manera manual una muestra representativa del material.
- Se pesan los gramos de la muestra según lo estipulado en la tabla de masa mínima.
- Dejar la muestra en el horno de temperatura controlada por un tiempo 24 horas para tener una muestra sin humedad.
- Transcurridas las 24 horas en el horno sacar, extender el material en una bandeja y dejar al aire libre para que tome la temperatura ambiente.
- Posteriormente la muestra se hace pasar por la serie de tamices ($\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, #4 y fondo)
- Agitar de forma manual como lo indica la norma teniendo cuidado y evitar sobrecarga en los tamices.
- Pesar las cantidades de las masas retenidas en cada uno de los tamices en la balanza de esta manera se obtiene el peso retenido.

6.1.2.1.2 *Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM C127)*. En el peso específico y absorción del agregado grueso el objetivo es determinar la densidad y absorción en el agregado grueso a partir del humedecimiento del agregado al ser unas de las propiedades físicas con mayor importancia para saber si cumple con los requerimientos para la elaboración del diseño de la mezcla de concreto. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.2.1.2.1 Equipo:

- Balanza
- Canasta de alambre con abertura de 4.76 mm
- Recipiente para la inmersión de la canasta

6.1.2.1.2.2 Procedimiento:

- Tomar una muestra de 5000 gramos de material de agregado grueso
- Pasar por el tamiz 4.76 mm para separar el agregado fino.

- Dejar la muestra por un lapso de 24 horas sumergida en agua para que así los poros saturables y no saturables se llenen de agua.
- Cumplidas las 24 horas sacar el material del recipiente y secarlo superficialmente con una toalla.
- Pesar la muestra en las condiciones saturada y superficialmente seca
- Colocar en la canasta y tomar el peso sumergido.
- Colocar la muestra al horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de 110°C para al siguiente día tomar el peso seco.

6.1.2.1.3 Masa unitaria suelta y compacta (NTC 92). En el ensayo de masa unitaria suelta se determina la masa del agregado grueso en la condición compactada y suelta para así posteriormente determinar la masa unitaria necesaria por metro cúbico de concreto para la selección de las respectivas proporciones del agregado en la mezcla de concreto, se trabaja con material seco con un periodo de 24 horas en el horno. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.2.1.4 Equipo:

- Balanza con una precisión de un gramo
- Varilla de acero de 600 mm de apertura lisa y redondeada.
- Recipiente con un volumen aproximado de 9800 cm³ para el agregado grueso
- Muestra del material (masa)

6.1.2.1.5 Procedimiento:

- Para la masa unitaria suelta se siguen los siguientes pasos:
 - Colocar la muestra en una bandeja grande.
 - Cuartear la muestra del respectivo agregado grueso.
 - Pesar el molde solo y registrarlo.
 - Calcular el volumen del molde tomando las medidas de altura, radio del cilindro con el flexómetro.

- Llenar el recipiente con la respectiva muestra y enrasar con la varilla compactadora.
 - Pesar el recipiente para así obtener el peso lleno con el material suelto, realizar el procedimiento mínimo 3 veces para así tener una muestra representativa.
 - Tener en cuenta que el agregado se debe descargar en el recipiente a una altura no mayor de 50 mm por encima del borde.
- Para la masa unitaria compactada se siguen los siguientes pasos:
 - Colocar la muestra en una bandeja grande.
 - Cuartear la muestra del respectivo agregado grueso
 - Registrar el peso del molde solo
 - Llenar la primera capa y posteriormente compactar con la varilla de acero de 600 mm con 25 golpes distribuidos uniformemente a lo largo de la superficie de la muestra se repite el proceso dos veces más y así llenar el molde se llenara con 3 capas compactadas y se enrasa con la varilla compactadora, la última capa debe quedar a la altura del molde
 - Pesar el recipiente para obtener el peso lleno compactado, realizar el procedimiento mínimo 3 veces para tener una muestra representativa.
 - Tener en cuenta que el agregado se debe descargar en el recipiente a una altura no mayor de 50 mm por encima del borde

6.1.2.2 Agregado fino

6.1.2.2.1 Granulometría

Este procedimiento tienen como objetivo al igual que en el agregado grueso, hallar la distribución de los tamaños de las partículas de agregado fino por medio de la gradación en una serie de tamices según especificaciones de la NTC 32 para agregado fino los cuales son: # 4, # 8, #16, #30, # 50, # 100 y # 200. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.2.2.1.1 Equipo:

- Balanza
- Tamices
- Horno
- Muestra de agregado fino a ensayar

6.1.2.2.1.2 Procedimiento:

- Se selecciona por cuarteos de manera manual una muestra representativa del material.
- Se pesan 500 gramos de la muestra de agregado fino, ya que la norma exige como mínimo 300 gramos de la misma.
- Se deja la muestra en el horno de temperatura controlada por 24 horas.
- Al cumplir las 24 horas en el horno se saca y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- Posteriormente la muestra se hace pasar por la serie de tamices (# 4, # 8, #16, #30, # 50, # 100 y # 200 y fondo)
- Se agita de forma manual.
- Se pesan en una balanza las cantidades retenidas de agregado en cada uno de los tamices y se registran los datos.

6.1.2.2.2 *Peso específico y absorción del agregado fino.* En este ensayo de laboratorio el objetivo principal es determinar la densidad aparente del agregado fino debido a que es con la cual se puede determinar la masa de un volumen unitario de concreto, también con este ensayo se pueden determinar la densidad nominal y la densidad aparente (SSS). (Torrado Gómez, 2016)

6.1.2.2.2.1 Equipo:

- Balanza
- Picnómetro de 500 ml
- Pipeta
- Secador

- Molde y pisón
- Tamiz 4.76 mm.

6.1.2.2.2 Procedimiento:

- Se toma una muestra de 1000 gramos de agregado fino.
- Se pasa por el tamiz 4.76 mm y se desecha lo que pasa por el tamiz
- Se deja la muestra 24 horas sumergida en agua y así los poros saturables y no saturables se llenaran de agua
- Al cumplir el tiempo de las 24 horas se saca el material del recipiente y se seca superficialmente.
- En un molde metálico se introduce la muestra apisonándola con 25 golpes, retirando el molde posteriormente y dejando caer la muestra libremente.
- Cuando la muestra esta internamente saturada y superficie seca se toman 500 gramos.
- Con agua a 20° c de temperatura se llena un picnómetro con un volumen de 500 ml, se coloca le coloca el tapón posteriormente se pesa y se registra el peso.
- Se llena con la muestra de 500 gramos de agregado fino el picnómetro y para eliminar las burbujas de aire se gira el picnómetro por unos minutos.
- Se lleva a la balanza y se registra este nuevo peso, posterior mente se saca la muestra del picnómetro y se lleva al horno.
- Se retira del horno al siguiente día la muestra y se lleva a la balanza para registrar su peso.

6.1.2.2.3 *Masa unitaria suelta y compacta* . Con este ensayo se determina la masa del agregado fino condición compactada y suelta, para así determinar la masa de agregado por metro cúbico de concreto, se trabaja con material seco mediante el horno. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.2.2.3.1 Equipo:

- Balanza (precisión de un gramo)
- Varilla de acero de 600 mm de apertura lisa y redondeada.

- Recipiente con un volumen aproximado de 2900 cm³
- Muestra del material (masa).

6.1.2.2.3.2 Procedimiento:

- Para la masa unitaria suelta se siguieron los siguientes pasos:
 - Se coloca la muestra en una bandeja grande.
 - Posteriormente se cuartea la muestra de agregado fino.
 - Se pesa el molde vacío en una balanza y se registra su peso.
 - Se calcula el volumen del molde.
 - Se llena el recipiente con la respectiva muestra y se enrasa con la varilla compactadora.
 - Se pesa el recipiente, se registra su peso lleno.
- Para la masa unitaria compactada se siguen los siguientes pasos:
 - Se coloca la muestra en una bandeja grande.
 - Posteriormente se cuartea la muestra de agregado fino.
 - Se pesa el molde vacío en una balanza y se registra su peso.
 - Se llena la primera capa y posteriormente se compacta con la varilla de acero de 600 mm con 25 golpes distribuidos uniformemente a lo largo de la superficie de la muestra, se repite el proceso dos veces más hasta llenar el molde con 3 capas y se enrasa con la varilla compactadora.
 - Se pesa el recipiente, se registra su peso lleno.

6.1.2.2.4 *Materia orgánica* El objetivo principal de este ensayo es determinar la cantidad de materia orgánica presente en el agregado fino y precisar si el agregado fino es apto o no lo es para realizar un diseño de mezcla, ya que los compuestos del agregado pueden alterar las propiedades físicas del concreto. (Torrado Gómez, 2016)

6.1.2.2.4.1 Equipo:

- Probeta (250 ml)
- Muestra de agregado fino
- Agua
- Hidróxido de sodio
- Escala colorimétrica de Gardner

6.1.2.2.4.2 Procedimiento:

- Se introducen en la probeta 100 ml de agregado fino
- Se mezcla hidróxido de sodio con agua y dicha solución se introduce en la probeta hasta cubrir el agregado fino aproximadamente 3 cm.
- Posteriormente se agita el contenido de la probeta (solución + agregado fino) y se esperan 24 horas.
- A las 24 horas siguientes se compara la coloración del agua en la probeta con la escala colorimétrica.

6.2 Diseño de Mezcla

Para poder desarrollar un concreto confiable en su diseño y que cumpliera con las exigencias de diseño se necesitan los resultados de la caracterización los cuales se exponen a continuación.

6.2.1 Resultados obtenidos de los ensayos de caracterización de los agregados.

Los resultados obtenidos en la caracterización se obtuvieron de las formulas expuestas en el libro llamado GUIA PARA EL LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.

6.2.1.1 Cemento

6.2.1.1.1 Peso específico

Masa de cemento = 64 gr

Lectura inicial (Lo) = 0.2 ml

Lectura final (Lf) = 22.6 ml

Volumen desalojado = Lf – Lo
 = 22.6 ml – 0.2 ml

Volumen desalojado = 22.4 ml

Densidad = masa del cemento / volumen desalojado
 = 64 gr / 22.4 ml

Densidad = 2.85 gr/ml

6.2.1.1.2 Finura del cemento, aparato de Blaine

Tabla 1. Finura del cemento

Muestras	Tiempo
1	00:02:28
2	00:02:38
3	00:02:31
4	00:02:43
Promedio	00:02:35

Fuente. Propia

Blane = $(tp^{1/2}) / (3,15 * 0,01350) * 12,61709$

Tiempo promedio (tp) = 155 segundos

Blane = $(((155)^{1/2}) / (3,15 * 0,01350)) * 12,61709$

Blane = 3693,86

6.2.1.1.3 Consistencia del cemento

Cantidad de cemento = 500 gr

Cantidad de agua = 140 ml

% agua = (cantidad de agua / cantidad de cemento) * 100
 = $(140/500) * 100$

% agua = 28%

Con un 28% de agua, se obtuvo una consistencia normal con una penetración de 9 mm.

6.2.1.1.4 Tiempo de fraguado

Tabla 2. Resultados del tiempo de fraguado

Tiempo (min)	Penetración (mm)
30	40
45	39
60	39
75	38.5
90	38.5
105	36
120	23
135	0.6
150	0.2
165	0.01

Fuente: Propia

Interpolación para hallar una penetración de 25 mm el cual indica el fraguado inicial:

36mm → 105min

13mm → -15min

23mm → 120min

11mm → x

13mm → -15min

$$X = (-15\text{min}) * (11\text{mm}) / (13\text{mm})$$

36mm → 105min

$$x = 12.69\text{min}$$

25mm → x

11mm → x

$$\text{Penetración 25mm} = 105\text{min} - (-12.69\text{min})$$

$$\text{Penetración 25mm} = 117.69\text{min}$$

Tiempo de fraguado = tiempo de fraguado final – tiempo de fraguado inicial

$$= 165 \text{ min} - 117.69 \text{ min}$$

Tiempo de fraguado = 47.31 min

6.2.1.2 Agregado grueso

6.2.1.2.1 Granulometría

Tabla 3. Resultados de la granulometría del agregado grueso

TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3/4"	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	1692,4	56,4	56,4	43,6
3/8"	1066,4	35,6	92,0	8,0
#4	238,6	8,0	99,9	0,1
FONDO	1,6	0,1	100,0	0,0
TOTAL	2999,0	100,0		

Fuente: Propia

Tamaño máximo: 3/4

Tamaño máximo nominal: 1/2

6.2.1.2.2 *Peso específico y absorción del agregado grueso*

Peso superficialmente seco = 5324 gr

Peso sumergido = 3318 gr

Peso seco = 5282 gr

Densidad del agua = 1 gr/cm³

Tabla 4. Peso específico del agregado grueso

CARACTERISTICAS	RESULTADOS
Densidad aparente (gr/cm ³)	2,6
Densidad aparente SSS (gr/cm ³)	2,7
Densidad nominal (gr/cm ³)	2,7
Absorción (%)	0,8

Fuente: Propia

6.2.1.2.3 Masa unitaria suelta

Tabla 5. Masa unitaria suelta del agregado grueso

MUESTRAS	PESO DEL MOLDE + AGREGADO GRUESO (kg)	PESO DEL AGREGADO SUELTO(kg)
1	10,10	7,00
2	10,10	7,00
3	10,15	7,05
PROMEDIO		7,02

Fuente: Propia

Peso del agregado suelto = (peso del molde + agregado suelto) – peso del molde

Peso del molde = 3.10 kg

Altura del molde = 18.5 cm

Diámetro del molde = 18.5 cm

Volumen del molde = $\pi r^2 * h$

Volumen del molde = 0.00497 m³

MUS = peso del agregado suelto / volumen del molde

MUS = 7.02 kg / 0.00497 m³

MUS = 1411 kg/ m³

6.2.1.2.4 Masa unitaria compactada

Tabla 6. Masa unitaria compactada del agregado grueso

MUESTRAS	PESO DEL MOLDE + AGREGADO GRUESO (kg)	PESO DEL AGREGADO COMPACTADO (kg)
1	10,55	7,45
2	10,50	7,40
3	10,50	7,40
PROMEDIO		7,42

Fuente: Propia

Peso del agregado compactado = (peso del molde + agregado compactado) – peso del molde

Peso del molde = 3.10 kg

Altura del molde = 18.5 cm

Diámetro del molde = 18.5 cm

Volumen del molde = $\pi r^2 * h$

Volumen del molde = 0.00497 m³

MUC = peso del agregado suelto / volumen del molde

MUC = 7.42 kg / 0.00497 m³

MUC = 1491.43 kg/ m³

6.2.1.3 Agregado fino

Tabla 7. Resultado de la granulometría del agregado fino

TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
#4	14	2,8	2,8	97,2
#8	32,8	6,6	9,4	90,6
#16	121	24,3	33,6	66,4
#30	174,2	34,9	68,6	31,4
#50	134,8	27,0	95,6	4,4
#100	17,4	3,5	99,1	0,9
FONDO	4,6	0,9	100,0	0,0
TOTAL	498,8	100,0		

Fuente: Propia

Modulo de Finura = 3.09

6.2.1.4 Peso específico y absorción del agregado fino

Peso superficialmente seco = 500 gr

Picnómetro + agua = 996 gr

Peso seco = 496 gr

Picnómetro + agua + muestra = 996 gr

Tabla 8. Resultado peso específico del agregado fino

CARACTERISTICAS	RESULTADOS
Densidad aparente (gr/cm ³)	2,5
Densidad aparente SSS (gr/cm ³)	2,5
Densidad nominal (gr/cm ³)	2,6

Fuente: Propia

6.2.1.4.1 Masa unitaria suelta

Tabla 9. Masa unitaria suelta del agregado fino

MUESTRAS	PESO DEL MOLDE + AGREGADO FINO (kg)	PESO DEL AGREGADO SUELTO (kg)
1	6,55	4,80
2	6,50	4,75
3	6,50	4,75
PROMEDIO		4,77

Fuente: Propia

Peso del agregado suelto = (peso del molde + agregado suelto) – peso del molde

Peso del molde = 1.75 kg

Altura del molde = 15.3 cm

Diámetro del molde = 15.7 cm

Volumen del molde = $\pi r^2 * h$

Volumen del molde = 0.00296 m³

MUS = peso del agregado suelto / volumen del molde

MUS = 4.77 kg / 0.00296 m³

MUS = 1609.29 kg/ m³

6.2.1.4.2 Masa unitaria compactada

Tabla 10. Masa unitaria compactada del agregado fino

MUESTRAS	PESO DEL MOLDE + AGREGADO FINO (kg)	PESO DEL AGREGADO COMPACTADO (kg)
1	6,75	5,00
2	6,75	5,00
3	6,80	5,05
PROMEDIO		5,02

Fuente: Propia

Peso del agregado compactado = (peso del molde + agregado compactado) – peso del molde

Peso del molde = 1.75 kg

Altura del molde = 15.3 cm

Diámetro del molde = 15.7 cm

Volumen del molde = $\pi r^2 * h$

Volumen del molde = 0.00296 m³

MUC = peso del agregado compactado / volumen del molde

MUC = 5.02 kg / 0.00296 m³

MUC = 1693.69 kg/ m³

6.2.1.4.3 Materia orgánica

Según la representación de la paleta de colores al comprarla con la arena después de culminar el ensayo se concluye que se cuenta con una arena limpia de buena calidad.



Ilustración 5. Ensayo de materia orgánica del agregado fino.

Fuente: Propia.

Al cumplir con la caracterización de todos los materiales con los cuales se va a preparar el concreto, se procede a realizar el diseño de mezcla para un concreto de 3000 PSI con las propiedades que tienen los materiales extraídos de la cantera en este caso de pescadero.

6.2.2. Elaboración del diseño de mezcla

6.2.2.1 Asentamiento

ASENTAMIENTO RECOMENDADOS PARA CONCRETOS DE DIFERENTES GRADOS DE MANEJABILIDAD		
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (cm)	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACION
Muy seca	0- 2,0	Pilotes o vigas prefabricadas de alta resistencia, con vibradores de formoleta.
Seca	2,0- 3,5	Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.
Semi seca	3,5 - 5,0	Pavimentos con vibradores normales. Fundaciones de concreto simple. Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración.
Media	5,0-10,0	Pavimentos compactados a mano. Losas medianamente reforzadas, con mediana compactación, columnas, vigas, fundaciones y muros reforzados, con vibración.
Humeda	10,0-15,0	Revestimiento de túneles. Secciones con demasiado refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Normalmente no es apropiado para compactarlo con demasiado vibración.

Ilustración 6. Asentamiento recomendado para concretos de diferentes grados de manejabilidad.

Fuente: Notas técnicas-ICPC, método práctico para dosificar mezclas de concreto.

Asentamiento 5cm de consistencia media, el cual sirve para todo tipo de estructuras.

6.2.2.3 Tamaño del agregado. La granulometría hecha con respecto al agregado grueso utilizado en este proyecto arrojó un tamaño máximo igual a $\frac{3}{4}$ y un tamaño máximo nominal igual a $\frac{1}{2}$.

6.2.2.4 Estimación del contenido de agua y aire

AGUA EN KILOGRAMOS POR METRO CUBICO DE CONCRETO PARA LOS TAMAÑOS MAXIMOS DE AGREGADO INDICADOS							
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO							
ASENTAMIENTO (cm)	10mm.	13mm.	20mm.	25mm.	40mm.	50mm.	75mm.
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
6 a 10	225	215	200	195	175	170	180
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
CONTENIDO DE AIRE, POR CIENTO	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO							
ASENTAMIENTO (cm)	10mm.	13mm.	20mm.	25mm.	40mm.	50mm.	75mm.
3 a 5	190	175	165	160	145	140	135
6 a 10	200	190	180	175	165	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
CONTENIDO DE AIRE, POR CIENTO	8	7	6	5	4.5	4	3.5

Ilustración 7. Agua en kilogramos por metro cubico para los tamaños máximos de agregado indicados.

Fuente: Notas técnicas-ICPC, método práctico para dosificar mezclas de concreto.

El agregado del cual se dispone cuenta con un tamaño máximo nominal de ½ pulgada o 12.5 mm, dicho tamaño no se encuentra en la tabla por lo cual se procede a hacer una interpolación para encontrar su valor exacto en contenido de agua para ello se usa la tabla en la que no se incluye el aire.

- Interpolación para el contenido de agua en kilogramos.

10mm → 205kg

13mm → 200kg

-3mm → 5kg

-3mm → 5kg

-2.5mm → x

$$X = (5\text{kg}) * (-2.5\text{mm}) / (-3\text{mm})$$

$$x = 4.16\text{kg}$$

10mm → 205kg

12.5mm → x

-2.5mm → x

$$\text{Agua} = 205\text{kg} - 4.16\text{kg}$$

$$\text{Agua} = 200.83\text{kg}$$

- Interpolación para el contenido de aire.

10mm → 3%

13mm → 2.5%

-3mm → 0.5%

-3mm → 0.5%

-2.5mm → x

$$X = (0.5\%) * (-2.5\text{mm}) / (-3\text{mm})$$

$$x = 0.416\%$$

10mm → 3%

12.5mm → x

-2.5mm → x

$$\text{Agua} = 3\% - 0.416\%$$

$$\text{Aire} = 2.58\%$$

6.2.2.5 Resistencia del diseño

COEFICIENTES DE VARIACION PARA DIFERENTES CONTROLES				
CLASE DE OPERACION	GRADO DE CONTROL			
	Excelente	Buena	Regular	Pobre
Construcción en general	10	10 - 15	15 - 20	20
Laboratorio	5	5 - 7	7 - 10	10

Ilustración 8. Coeficientes de variación para diferentes controles.

Fuente: Notas técnicas-ICPC, método práctico para dosificar mezclas de concreto.

El coeficiente de variación a utilizar V será 9, elegido de un intervalo de control regular en laboratorio el cual va de 7 a 10.

Para obtener la resistencia de diseño se usa la siguiente tabla.

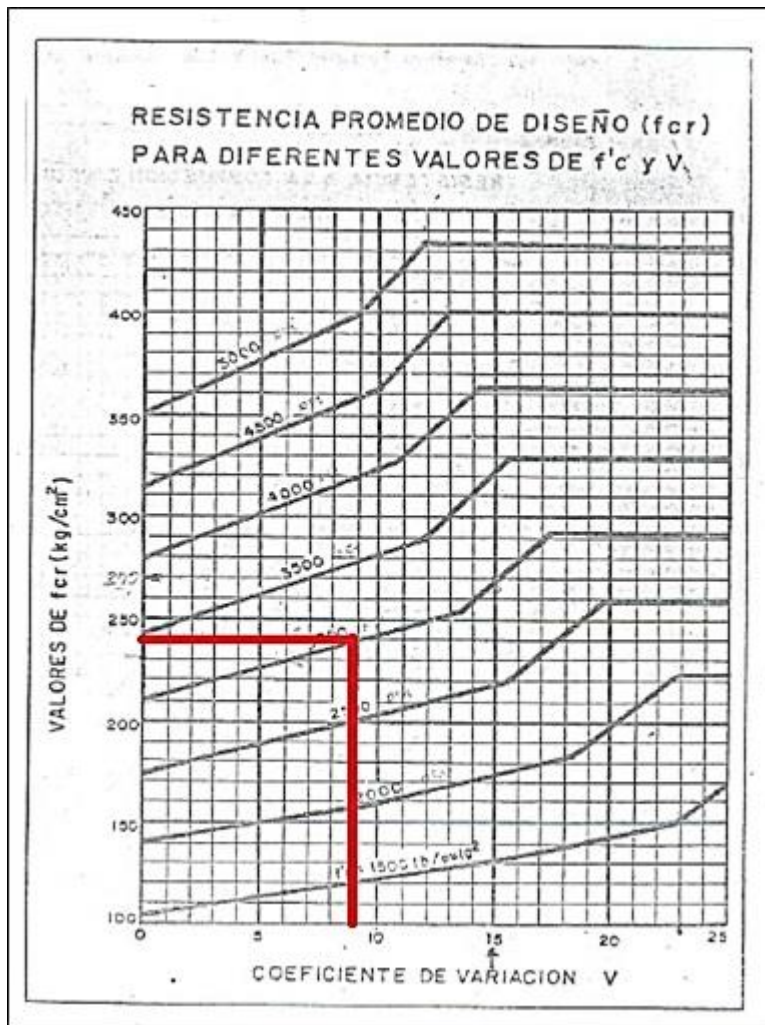


Ilustración 9. Resistencia promedio de diseño f_{cr} .

Fuente: Notas técnicas-ICPC, método práctico para dosificar mezclas de concreto.

Según el coeficiente de variación $V=9$ y la resistencia a la compresión $f'_c = 3000\text{Psi}$ del proyecto, la resistencia de diseño es $f_{cr} = 240\text{kg/cm}^2$.

6.2.2.6 Relación agua/cemento

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO Y LA RELACION AGUA/CEMENTO				
Resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm ² <i>f_{cr}</i>	Relacion agua/cemento máxima permisible			
	Concreto sin inductor de aire		Concreto con inductor de aire	
	Relación absoluta por peso	Litros por saco de cemento de 50 kg	Relación absoluta por peso	Litros por saco de cemento de 50 kg
175	0.65	32.4	0.54	27.0
210	0.58	29.3	0.46	23.0
240 245	0.51	25.7	0.40	20.0
280	0.44	22.2	0.35	17.7
315	0.38	19.1	0.30	15.1
350	0.31	15.1	-	-

Ilustración 10. Relación entre la resistencia a la compresión del concreto y la relación a/c.

Fuente: Notas técnicas-ICPC, método práctico para dosificar mezclas de concreto.

Para obtener la relación a/c apropiada para el diseño se utiliza la tabla anterior y se hace una interpolación para obtener un resultado con un $f_{cr} = 240 \text{ kg/cm}^2$.

210 → 0.58
 245 → 0.51

 35 → 0.07

35 → 0.07
 30 → x

$$X = (0.07) * (30) / (35)$$

$$x = 0.06$$

210 → 0.58
 240 → x

 30 → x

$$A/C = 0.58 - 0.06$$

$$A/C = 0.52$$

6.2.2.7 Contenido de cemento. Para conocer cuánto cemento se necesita, se divide el contenido de agua entre la relación agua/cemento, ambos datos conocidos en pasos anteriores a este.

$$C = A / (A/C)$$

$$C = 200.83\text{kg} / 0.52$$

$$C = 386.21\text{kg}$$

6.2.3 Contenido de agregado grueso

Módulo de finura: 3.09

$$b = (b/b_0) * b_0$$

(b/b_0) : volumen seco y compactado del agregado grueso.

b_0 : relación entre la masa unitaria seca y compactada y la densidad aparente seca del agregado grueso.

b : volumen absoluto de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

b/b_0		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO			
Tamaño máximo de agregado, mm.	Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena.				
	2,40	2,60	2,80	3,00	
10	0,50	0,48	0,46	0,44	
13	0,59	0,57	0,55	0,53	
20	0,66	0,64	0,62	0,60	
25	0,71	0,69	0,67	0,65	
40	0,75	0,73	0,71	0,69	
50	0,78	0,76	0,74	0,72	
75	0,81	0,79	0,77	0,75	
150	0,87	0,85	0,83	0,81	

Ilustración 11. Volumen de agredo grueso por volumen unitario de concreto.

Fuente: Notas técnicas-ICPC, método práctico para dosificar mezclas de concreto.

$$b = 0.53 \text{ m}^3 * 1491.43 \text{ kg/ m}^3$$

$$b = 790.46 \text{ kg}$$

6.2.4 Contenido de agregado fino. Para hallar la cantidad de agregado fino se calcula el volumen absoluto de los otros materiales, de esta manera a 1 metro cubito se le resta la suma de estos volúmenes y así se obtiene el volumen de agregado fino.

Volumen absoluto:

$$\text{Cemento} = (386.21\text{kg}) / ((2.85 \text{ gr/cm}^3) * 1000) = 0.1355 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua} = 200.83\text{kg} / (1000\text{kg/m}^3) = 0.2008 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = 2.58 / 100 = 0.0258 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 790.46\text{kg} / ((2.6 \text{ gr/cm}^3) * 1000) = 0.3040 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 1 - 0.1355 - 0.2008 - 0.0258 - 0.3040 = 0.3338 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 0.3338 \text{ m}^3 * ((2.5 \text{ gr/cm}^3) * 1000) = 834.5 \text{ kg}$$

6.2.5 Cantidad para un m³ de concreto. De acuerdo a la cantidad de agregados que han resultado del diseño de mezcla para un metro cubico se ordenan los datos en la siguiente tabla.

Tabla 11. Cantidad para un m³ de concreto.

MATERIALES	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
Cemento	386,21	0,1355
Agregado grueso	790,46	0,3040
Agregado fino	834,5	0,3338
Agua	200,83	0,2008
Aire atrapado		0,0258
Total metro cubico		1,0

Fuente: propia

6.2.6 Procedimiento a seguir en la ejecución del diseño de mezcla. Teniendo en cuenta la cantidad de agregados que se necesitan según el diseño para 1 m³ de concreto, se tiene en cuenta una matriz en la cual se muestra la cantidad total de cilindros que se utilizan en 3 diferentes mezclas, en las cuales lo único que se modifica de la una a la otra es la cantidad de agua partiendo de la relación a/c que se obtuvo en el diseño anteriormente expuesto la cual fue 0,52, las otras dos llevan relaciones agua/cemento de 0,42 y 0,62 y las proporciones de los demás materiales se mantienen igual a la mezcla de la relación a/c=0,52.

Tabla 12. Matriz de trabajo.

A/C	ENSAYOS	DIAS DE PRUEBAS			TOTAL
		7	14	28	
0,52	f'c	8	8	8	72
	ión	8	8	8	
	permeabilidad	8	8	8	
0,42	f'c	8	8	8	72
	ión	8	8	8	
	permeabilidad	8	8	8	
0,62	f'c	8	8	8	72
	ión	8	8	8	
	permeabilidad	8	8	8	
TOTAL					216

Fuente: Propia

Para los ensayos de ion cloruro y resistencia a la compresión se usa la formaleta tipo 1 y para el ensayo de permeabilidad se usa formaleta tipo 2, esto según las especificaciones de los equipos de laboratorio que están sujetos a las normas y condiciones de los ensayos, ahora debido a esto por mezcla se usan 48 formaletas tipo 1 y 12 formaletas tipo 2 (la formaleta tipo 2 se divide en dos partes iguales así se obtienen 24 muestras), y el total es 72 muestras por cada relación a/c.

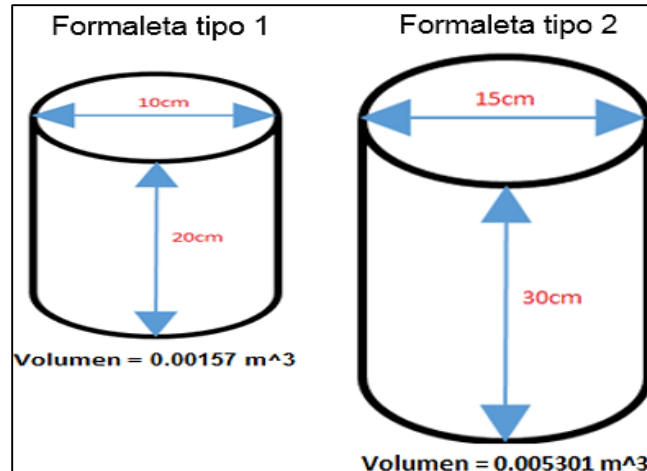


Ilustración 12. Tipos de formaleta.

Fuente: Propia.

Según la cubicación de las formaletas el cálculo para el diseño de mezcla con relación a/c de 0,52 es el siguiente:

$$\text{Cantidad de concreto} = (0.001571 \times 48) + (0.005301 \times 12) = 0.1390 \text{ m}^3$$

Tabla 13. Cantidad de concreto en volumen para una preparación de concreto.

MATERIALES	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)
cemento	53,68	0,0188
agregado grueso	109,87	0,0423
agregado fino	116,00	0,0464
agua	27,92	0,0279
aire		0,0036
total		0,1390

Fuente: Propia

Debido a la compactación cada diseño cuenta con un desperdicio del 25% de más con respecto a cada material, a continuación en las tres siguientes tablas se muestra la cantidad total en peso para cada una de las relaciones agua/cemento, los datos del agua para 0,42 y 0,62 se reajustan.

Tabla 14. Cantidad de material para el concreto con relación a/c = 0,52.

MATERIALES	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)	DESPERDICIO 25%	TOTAL A USAR (kg)
cemento	53,68	0,0188	13,42	67,10
agregado grueso	109,87	0,0423	27,47	137,34
agregado fino	116,03	0,0464	29,01	145,04
agua	27,92	0,0279	6,98	34,89
aire		0,0036		
total		0,1390		

Fuente: Propia

Tabla 15. Cantidad de material para el concreto con relación a/c = 0,62.

MATERIALES	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)	DESPERDICIO 25%	TOTAL A USAR (kg)
cemento	53,68	0,0188	13,42	67,10
agregado grueso	109,87	0,0423	27,47	137,34
agregado fino	116,03	0,0464	29,01	145,04
agua	33,28	0,0279	8,32	41,60
aire		0,0036		
total		0,1390		

Fuente: Propia

Tabla 16. Cantidad de material para el concreto con relación a/c = 0,42.

MATERIALES	PESO (kg)	VOLUMEN (m ³)	DESPERDICIO 25%	TOTAL A USAR (kg)
cemento	53,68	0,0188	13,42	67,10
agregado grueso	109,87	0,0423	27,47	137,34
agregado fino	116,03	0,0464	29,01	145,04
agua	22,55	0,0279	5,64	28,18
aire		0,0036		
total		0,1390		

Fuente: Propia

6.3 Procedimiento de la elaboración de los cilindros de concreto

La elaboración de la mezcla de concreto se realizó en el laboratorio de materiales de construcción, donde se encontraban los materiales provenientes de pescadero respectivamente marcados y ubicados en las zonas dispuesta por el laboratorio para los materiales de los proyectos de grado, lugar apropiado para los ambientes naturales, lo primero que se hizo fue pesar en baldes con el uso de una balanza la cantidad de material que se usó según los resultados de las tablas 4, 5, y 6, las cuales pertenecen a la dosificación para las relaciones a/c 0,52, 0,62, y 0,42 como se observa en la ilustración 13; teniendo en cuenta que se dejó un día por medio para

preparar el concreto de cada relación a/c, esto debido a la cantidad de concreto que se tenía que preparar por cada relación y que solo se contaba con la formaleta para hacer 72 cilindros por día.



Ilustración 13. Cuantificación de los materiales para la fundición del concreto.

Fuente : Propia

La formaleta se tenía con anterioridad engrasada con el aceite suministrado por el laboratorio (ilustración 14), para que al desencofrar 24 horas después los cilindros salieran fácil de la las formaletas, (ilustración 14). La preparación de las tres mezclas de concreto que se realizaron se hicieron utilizando la ayuda del mezclador de eje horizontal – tipo trompo, verificando en el interior del mismo que no tuviera agujeros para evitar pérdidas de agua y que tampoco se encontrara concreto endurecido; como se observa en la (ilustración 15) al inicio del mezclado se contaba con todo listo y cerca del lugar de preparación del concreto, el cemento, los agregados fino y grueso, el agua y la formaleta con las herramientas para su llenado y compactado.



Ilustración 14. Formaletas preparadas para el vaciado del concreto.

Fuente: Propia



Ilustración 15. Inicio de la mezcla de concreto.

Fuente: Propia

La capacidad del trompo no era la suficiente para preparar toda la cantidad en un solo uso, por este motivo se repartieron en tres partes iguales las cantidades y así cada vez que salía del trompo una parte de las tres se arrojaba sobre un plástico limpio para evitar el contacto con el suelo y con posibles contaminantes que alterarían las cualidades del concreto, al terminar de usar el trompo y tener las tres partes de concreto sobre el plástico se procedía a mezclar manualmente con palas para lograr uniformidad en la mezcla, (ilustración 16).



Ilustración 16. Elaboración del concreto utilizando un trompo y mezclando manualmente.

Fuente: Propia

El siguiente paso fue medir el asentamiento de la mezcla de concreto con el cono de Abrams y un flexómetro como se observa en la (ilustración 17), el cual nos arrojó 4,76 cm, 23 cm y 0,5 cm, para las relaciones agua/cemento 0,52, 0,62 y 0,42.



Ilustración 17. Medición de la consistencia con el cono de Abrams para la tres relaciones agua/cemento 0,52, 0,62 Y 0,42.

Fuente: Propia

El paso a seguir fue el vertimiento individual en cada formaleta cilíndrica con ayuda del palustre y para sacar los vacíos de aire se utilizó la barra compactadora y el martillo como se observa en la (ilustración 18).



Ilustración 18. Vertimiento de la mezcla de concreto en las formaletas cilíndricas.

Fuente: Propia

Se dejaron las muestras en el laboratorio de materiales de construcción, bajo techo durante 24 horas para que completaran el proceso de endurecimiento o fraguado, (ilustración 19). Al siguiente día con la ayuda de un compresor se desencofraron los cilindros de la formaleta de plástico y con unas llaves las formaletas metálicas, (ilustración 20).



Ilustración 19. Fraguado de las muestras.

Fuente: Propia



Ilustración 20. Desencofrado de formaletas.

Fuente: Propia

Al finalizar el desencofrado se marcaron todas las muestras con un corrector para así tener orden y control de las muestras en el laboratorio (ilustración 21), posteriormente se sumergieron en

agua para iniciar el proceso de curado, (ilustración 22) y por último se procedió a limpiar la formaleta.



Ilustración 21. Cilindros individualmente marcados.

Fuente: Propia



Ilustración 22. Cilindros sumergidos en agua.

Fuente: Propia

6.4 Determinación del concreto a las propiedades de resistencia a la compresión, ion cloruro y permeabilidad

Los cilindros de concreto se ensayaron a las edades de 7,14 y 28 días, 8 muestras se fallaron por edad para así determinar la resistencia a la compresión de las muestras de concreto mediante la norma ASTM C39 en la máquina de compresión con capacidad Max de 2000 KN que se encuentra en el laboratorio, a estas mismas edades se hicieron las pruebas de permeabilidad a 8 muestras por edad y finalmente se usaron 8 muestras más por edad en el ensayo de permeabilidad rápida a cloruros según la norma ASTM C 1202.

6.4.1 Resistencia a la compresión del concreto. En la (ilustración 23), se ve un cilindro en la máquina de compresión de capacidad máxima de 2000 KN, las muestras para los ensayos de compresión tienen las dimensiones de la formaleta tipo 1 (ilustración 11), en este ensayo se le aplica una fuerza de compresión que es transmitida por la maquina la cual es designada por la norma ASTM C39, en el momento en que comienza el ensayo por medio de un programa llamado ELECAV se van registrando los datos de resistencia hasta que el cilindro falla (ilustración 24), el programa de computador arroja y guarda los datos para así hacer su análisis pertinente de cumplimiento de la resistencia en los cilindros de concreto diseñados.

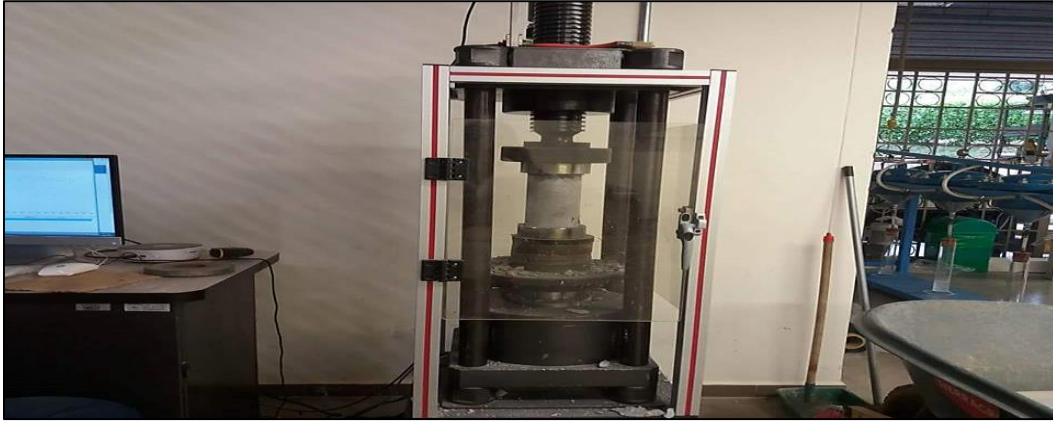


Ilustración 23. Ensayo de compresión del concreto.

Fuente: Propia

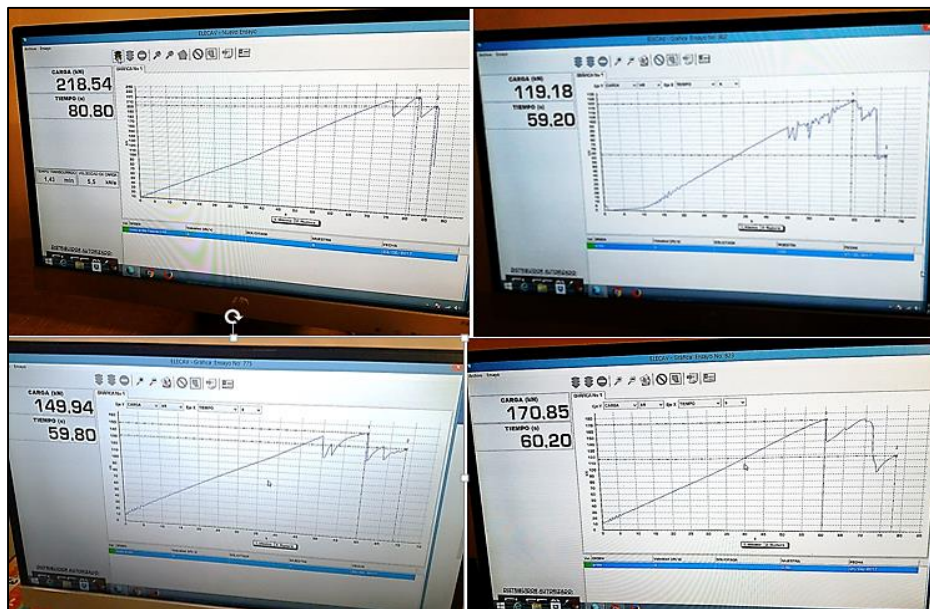


Ilustración 24. Registro de datos programa ELECVA

Fuente: Propia.

6.4.2 Resistencia a la penetración del ion cloruro. La resistencia a la penetración del ion cloruro se estudió mediante el ensayo de permeabilidad rápida a cloruros según la ASTM C1202, en inglés (rapid chloride permeability test) utilizando el equipo Giatec Perma2. Para este ensayo se usan muestras de concreto de 5 cm de altura y 10 cm de diámetro, por tal motivo se cortan los cilindros de 20 cm de altura sacando de estos las muestras centrales del cilindro, ya que el ensayo se hace con las caras internas de los cilindros es decir que lo agregados se vean por las dos caras de las muestras a usar como en la ilustración 25.



Ilustración 25. Corte de cilindros, para obtener muestras.

Fuente: Propia



Ilustración 26. Muestras de concreto para el ensayo del ion cloruro.

Fuente: Propia

Se realiza el montaje del ensayo colocando cada muestra en las celdas y se vierte una solución de 3% NaCl en la terminal negativa y al otro lado de la muestra en la terminal positiva se vierte una solución de 0,3N NaOH; este ensayo consisten en que los iones cargados negativamente migren hacia el polo positivo durante seis horas, al terminar el tiempo en la pantalla de la consola aparecen los resultados (ilustración 30), los cuales se clasifican en la tabla de permeabilidad al ion cloruro (tabla 17), también el programa arroja los datos que toma cada determinado tiempo a un programa de computador, para obtener el resultado se utiliza la ecuación que aparece en la norma (ilustración 29).

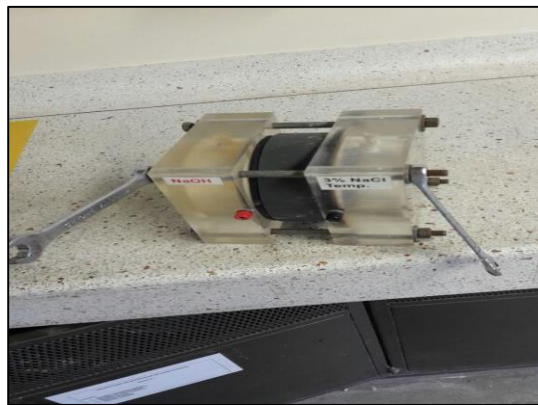


Ilustración 27. Preparación del montaje de las muestras para el ion cloruro.

Fuente: Propia

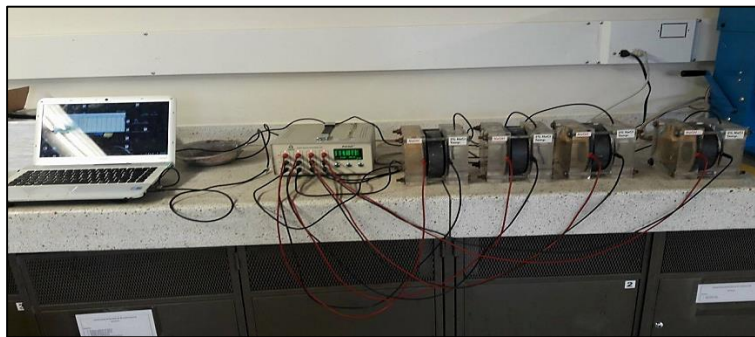


Ilustración 28. Montaje completo de la penetración del ion cloruro en muestras de concreto.

Fuente: Propia

$$Q = \frac{1}{2} 1800 (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

Ilustración 29. Ecuación norma ASTM C1202.

Fuente: ASTM C1202

Esta ecuación (ilustración 29), es para calcular la carga eléctrica total en intervalos de 30 minutos, el equipo del laboratorio calcula la carga cada 60 segundos y arroja los datos cada 5 segundos, para calcular cada 60 segundos modifica la ecuación según aparece en el manual el equipo cambiando 1800 de la fórmula que equivale a 30 minutos y utiliza 60 segundos y los intervalos de tiempo cada 60 segundos durante 6 horas, en este trabajo ya que el programa registraba en el computador los datos cada 5 segundos se modificó la ecuación cambiando el 1800 a 5 segundos y los intervalos de tiempo a 5 segundos, al comparar los resultados del cálculo con los que arrojaba la pantalla del equipo dieron parecidos, se pueden comparar en las ilustraciones 30 y 31, estos resultados corresponde a la permeabilidad del ion cloruro y se clasifican en la tabla de la norma con la cual se conoce el nivel de penetración (alta, moderada, baja, muy baja o despreciable).

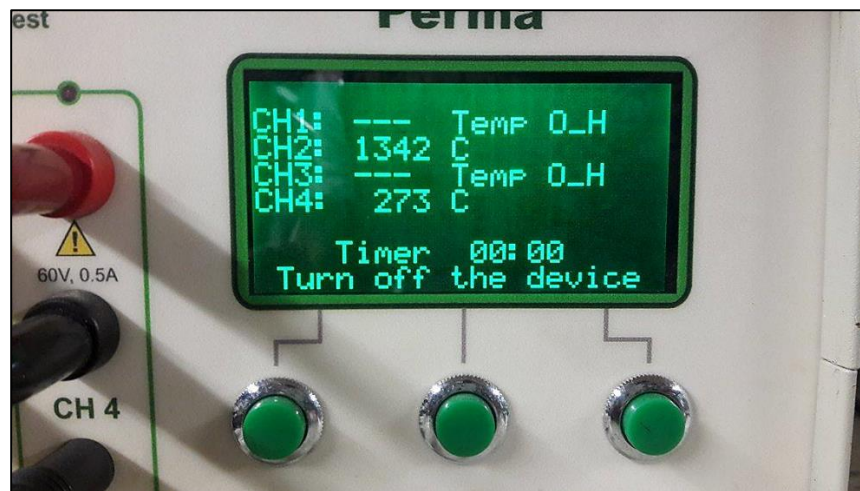


Ilustración 30. Resultados arrojados por el programa.

Fuente: Propia

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	22/03/2017 10:33:44 3a17									
2	-----									
3	10:34:01		91,5 Err		90,7 Err		122,5 Err		27,9 Err	
4	10:34:06		86,5 Err		88,9 Err		83,9 Err		31 Err	
5	10:34:11		82,1 Err		66 Err		70,4 Err		23,3 Err	
6	10:34:16		71,2 Err		54,4 Err		57,7 Err		22,5 Err	
7	10:34:21		72,6 Err		50,1 Err		67,5 Err		22,1 Err	
8	10:34:26		76,8 Err		53,8 Err		76,2 Err		25,3 Err	
9	10:34:31		77,6 Err		55,5 Err		85,5 Err		21,1 Err	
10	10:34:36		77,2 Err		54,5 Err		80,3 Err		27,5 Err	
4316	16:33:18	---	O_H		80,1 Err	---	O_H		10,7 Err	
4317	16:33:23	---	O_H		78,1 Err	---	O_H		15,7 Err	
4318	16:33:28	---	O_H		72,7 Err	---	O_H		8,9 Err	
4319	16:33:33	---	O_H		78,8 Err	---	O_H		11,9 Err	
4320	16:33:38	---	O_H		75,5 Err	---	O_H		10,7 Err	
4321	16:33:43	---	O_H		82,3 Err	---	O_H		10,9 Err	
4322	16:33:48	---	O_H		80,2 Err	---	O_H		11,3 Err	
4323	16:33:52	---								
4324			#IVALOR!		1348		#IVALOR!		270	
4325										

Ilustración 31. Datos registrados en el computador y resultados usando los intervalos cada 5 segundos.

Fuente: Propia

Tabla 17. Clasificación de la penetración del ion cloruro.

PENETRABILIDAD DEL ION CLORURO	
Carga (Coulombs)	PENETRACION
> 4000	Alta
2000 - 4000	Moderada
1000 - 2000	Baja
100 - 1000	Muy Baja
< 100	Despreciable

Fuente: Propia

6.4.3 Permeabilidad del concreto. El método utilizado en este ensayo para evaluar la permeabilidad determinando el coeficiente de permeabilidad según la NTC 4483 es el flujo constante.

En este ensayo se midió el flujo constante que pasa verticalmente a través de las caras superficiales de las muestras en un determinado tiempo, las dimensiones de las muestras son 15 cm de diámetro y 14,9 cm de alto.



Ilustración 32. Cilindros para analizar la permeabilidad.

Fuente: Propia

A las muestras se les aplicó lateralmente un impermeabilizante 20 horas antes de su uso, ya que en este ensayo no se mide la absorción capilar sino el flujo vertical del agua a través de las caras de la muestra de concreto, dicho impermeabilizante venía de fábrica con la máquina que sirve para medir el coeficiente de permeabilidad (ilustración 33).



Ilustración 33. Impermeabilizante para muestras de concreto.

Fuente: Propia

Se calibró la presión del manómetro a 31 bar (ilustración 36), se montaron las muestras en las capsulas y se aseguraron las muestras de manera que no se filtrara el agua (ilustración 34), con

anterioridad se verifico que las celdas y los moldes donde van las muestras no se encontraran sucias con algún material para así evitar taponamientos en el sistema.



Ilustración 34. Montaje las muestras para realizar el ensayo de permeabilidad.

Fuente: Propia

Posteriormente se aseguraron las muestras con las tuercas respectivas y se procedió a colocar las tapas de las celdas como se observa en la (ilustración 35) teniendo en cuenta que los empaques estuvieran bien acomodados para evitar filtraciones, y se colocaron las arandelas y las tuercas asegurándolas bien para que no se desacomodaran debido a la presión y hubieran pérdidas de agua lo cual provocaría que la presión se bajara de 31 bar y el ensayo quedara mal.



Ilustración 35. Equipo para hallar la conductividad hidráulica.

Fuente: Propia

Una vez colocadas las muestras en la máquina y terminado el montaje del ensayo se encendió la máquina y se buscaba la presión calibrada la cual fue 31 bar (**manual del manejo del equipo más adelante**).



Ilustración 36. Presión del manómetro.

Fuente: Propia

Al llegar a la presión indicada se registró el tiempo inicial y se abrieron las llaves de paso del agua hacia las probetas de 1000 ml y se esperó hasta obtener un caudal que se pudiera registrar,

en el momento en el cual se obtuvo dicho caudal se cerró la llave de paso a la probeta y se registró el caudal y el tiempo final.

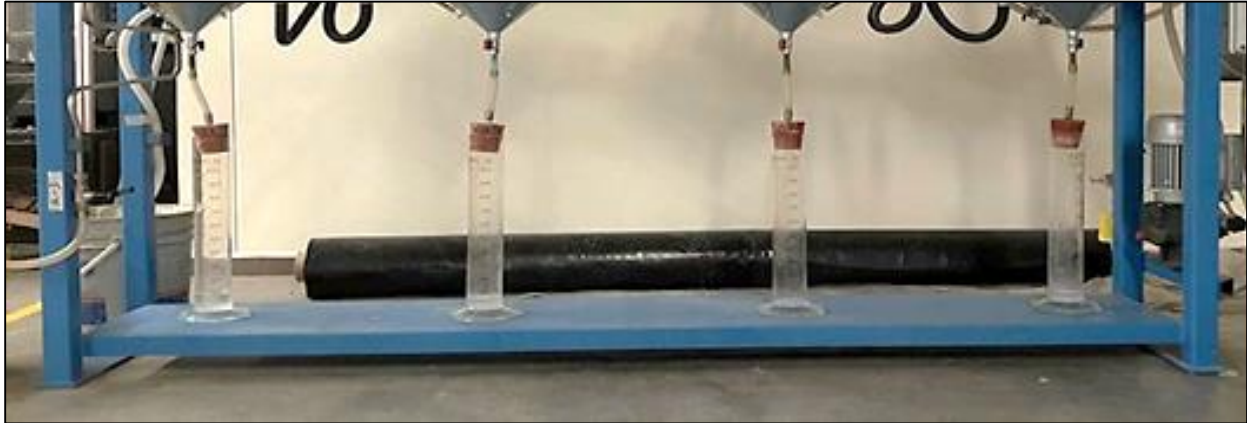


Ilustración 37. Probetas del equipo.

Fuente: Propia

El coeficiente de permeabilidad k (coeficiente de Darcy), se obtiene en (cm/s) según la ecuación que se encuentra en el manual del equipo la cual aparece en la ilustración 38.

$$K = \frac{cc \times h}{A \times t \times P}$$

Donde: cc = impregnado de agua en cm^3
 h = superficie de muestra de la altura (cm)
 A = superficie de la muestra (cm cuadrados)
 t = tiempo para permear (seg)
 P = presión hidrostática en cm. de columna de agua

Ilustración 38. Coeficiente de permeabilidad.

Fuente: Manual del equipo de permeabilidad

El resultado del coeficiente de permeabilidad k que se obtuvo se pasó a (m/s) y se clasificó en la tabla de la norma NTC 4483.

Relación de la permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad y la profundidad de penetración				
Determinación	Unidades	Permeabilidad		
		Baja	Media	Alta
Coefficiente de permeabilidad al agua	m/s	$< 10^{-12}$	10^{-12} a 10^{-10}	$> 10^{-10}$
Profundidad de penetración	mm	< 30	30 a 60	> 60

Ilustración 39. Relación de la permeabilidad del concreto con el coeficiente de permeabilidad y profundidad de penetración.

Fuente: NTC 4483.

7. Análisis y resultados

7.1 Resistencia a la compresión

En las siguientes graficas con el fin de lograr un mejor desarrollo del análisis se pueden observar los resultados de los ensayos obtenidos de cada relación agua/cemento 0,42, 0,52 y 0,62 durante cada edad 7, 14 y 28 días con su respectiva desviación estándar para cada gráfica y así poder depurar los datos que se encuentran fuera del rango, con el objetivo de sacar una gráfica que recopile la información total.

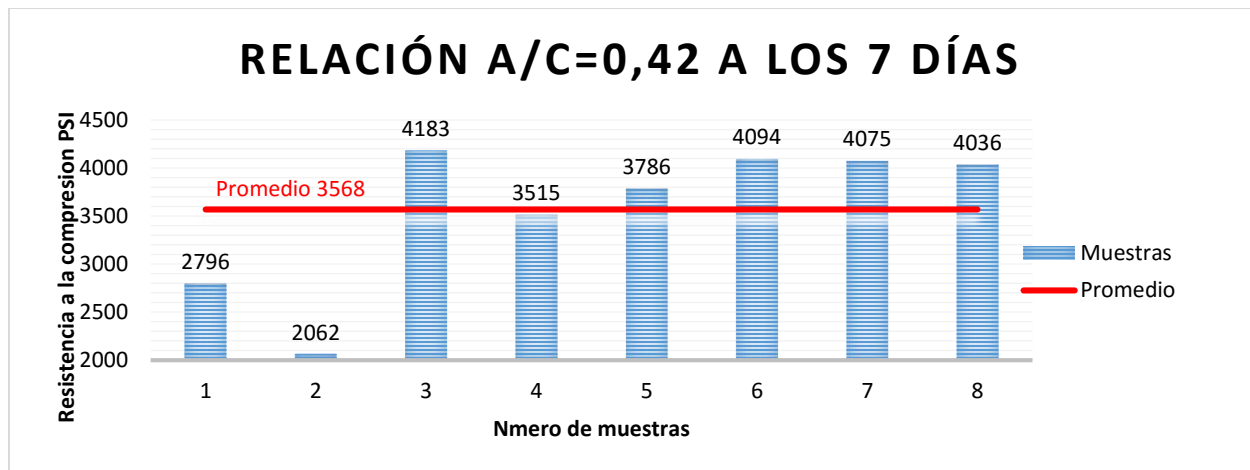


Ilustración 40. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 7 días.

Fuente: Propia

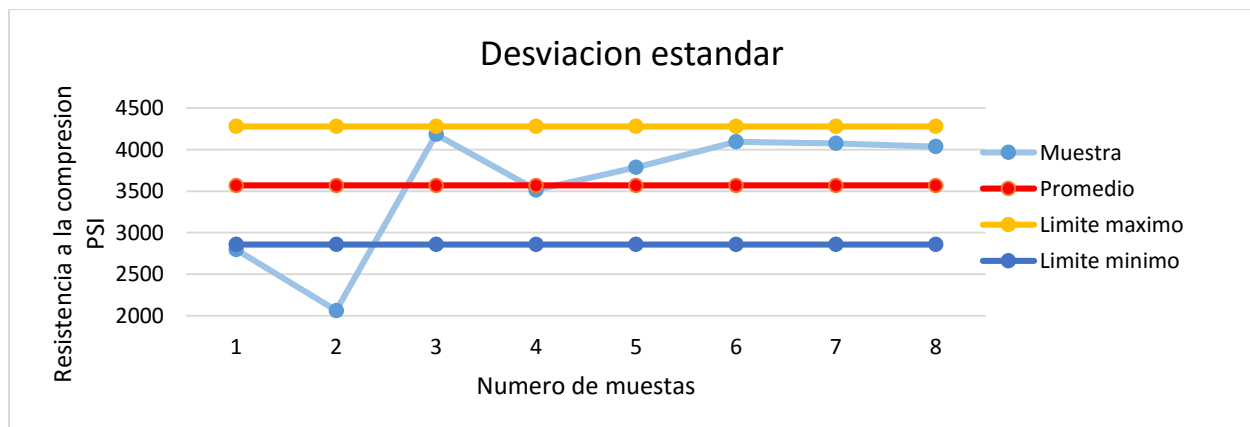


Ilustración 41. Desviación estándar de resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 7 días.

Fuente: Propia

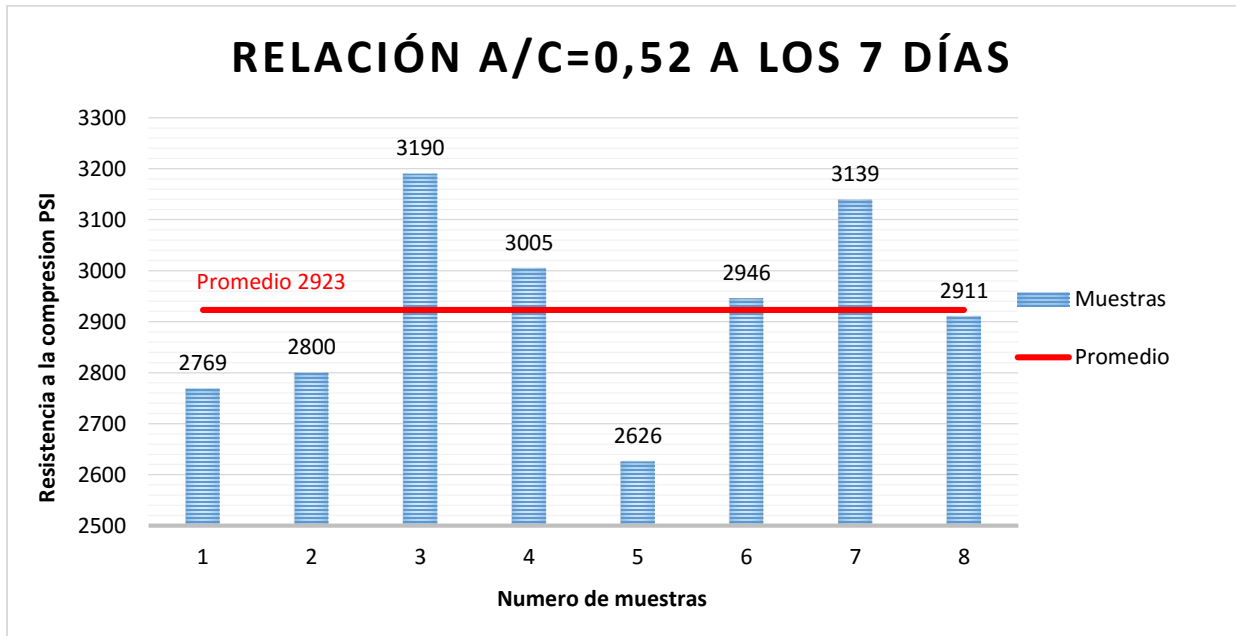


Ilustración 42. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 7 días.

Fuente: Propia

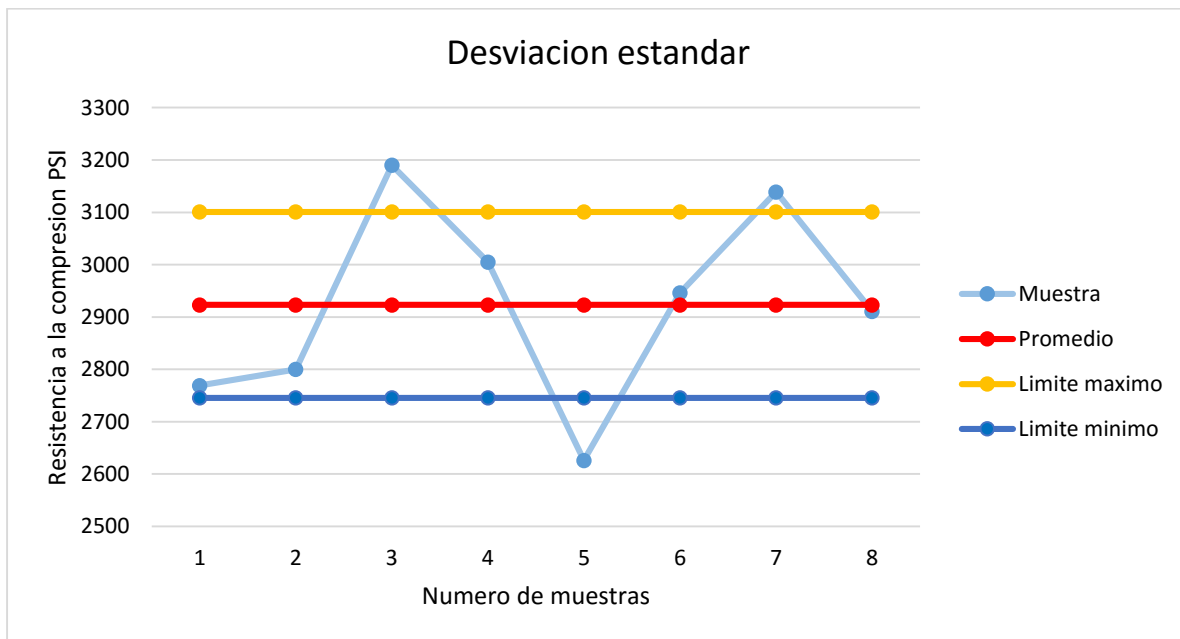


Ilustración 43. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 7 días.

Fuente: Propia

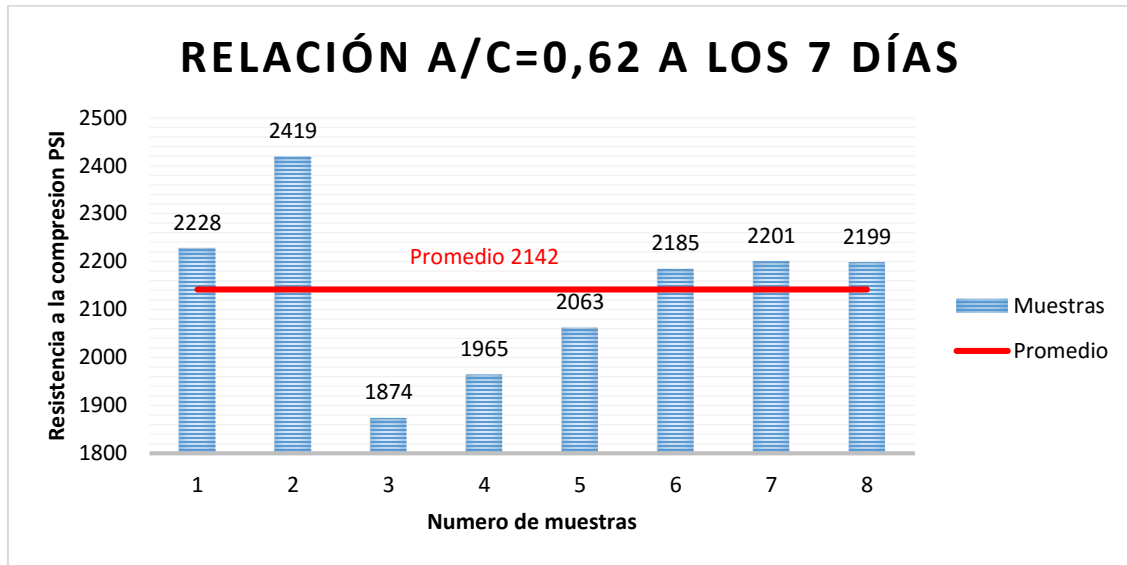


Ilustración 44. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 7 días.

Fuente: Propia

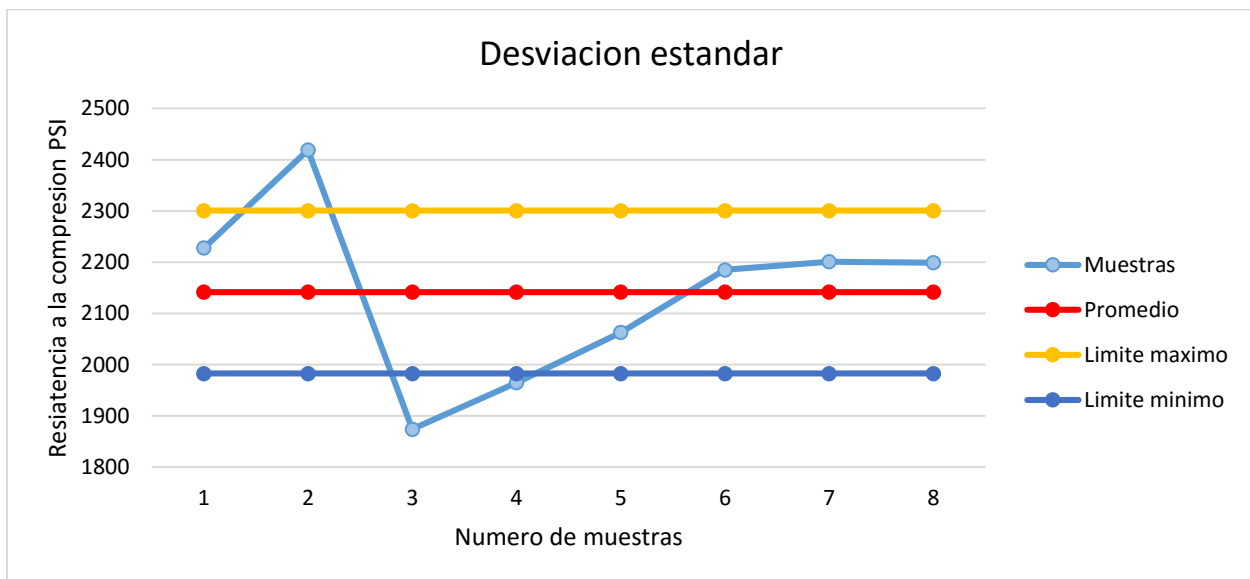


Ilustración 45. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 7 días.

Fuente: Propia

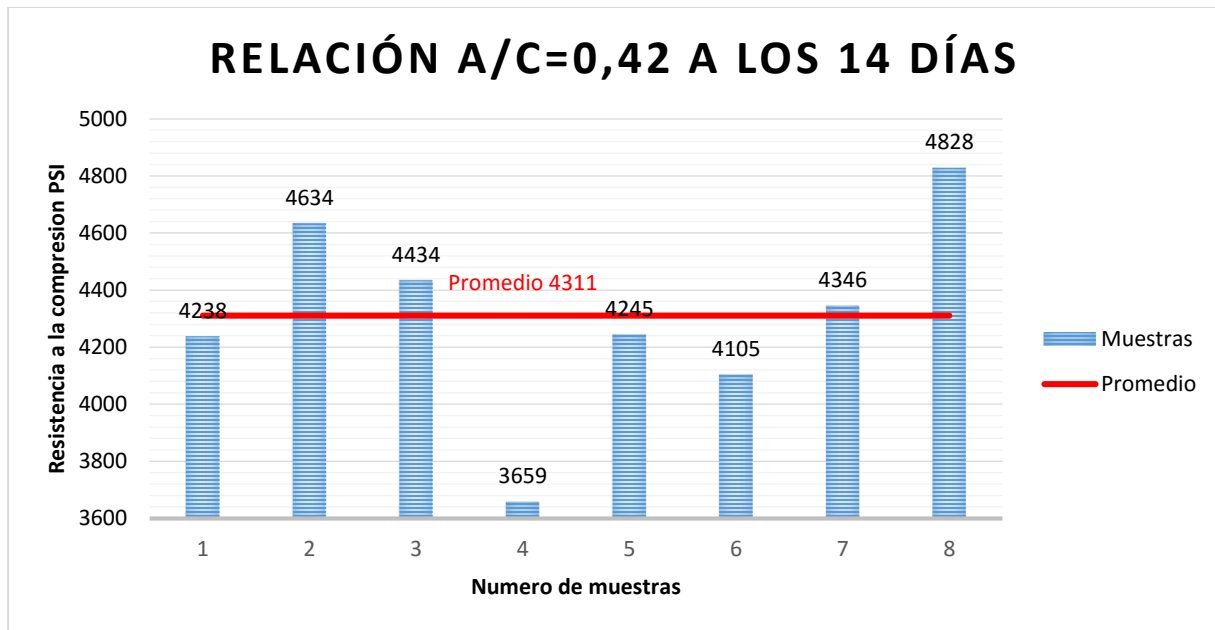


Ilustración 46. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 14 días.

Fuente: Propia

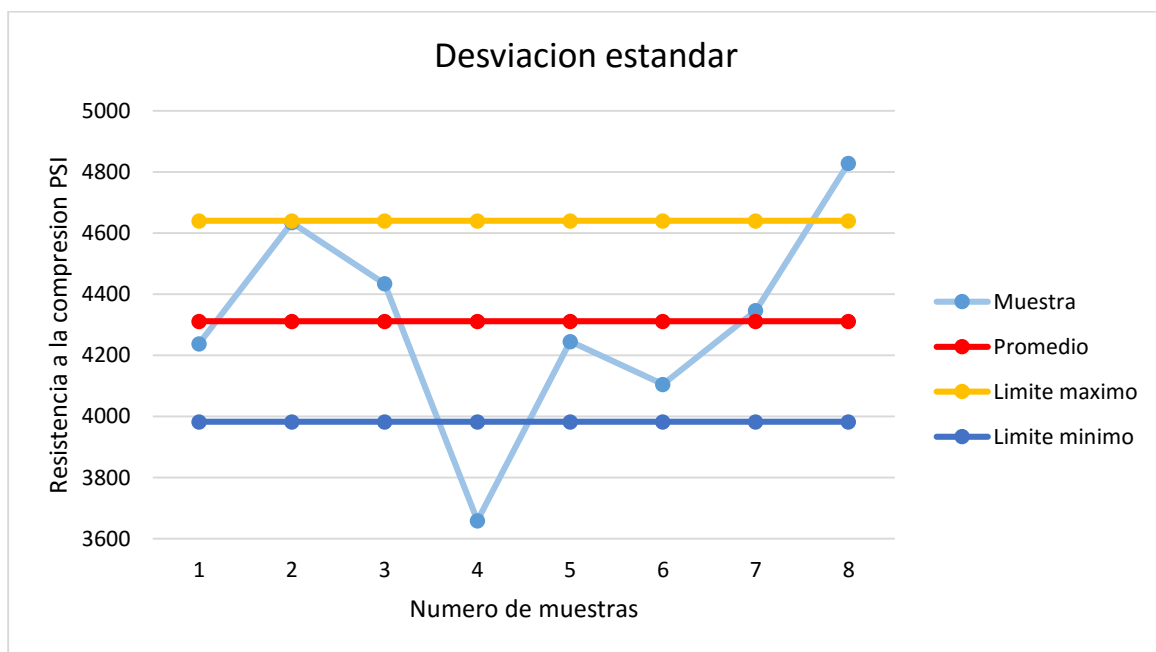


Ilustración 47. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 14 días.

Fuente: Propia

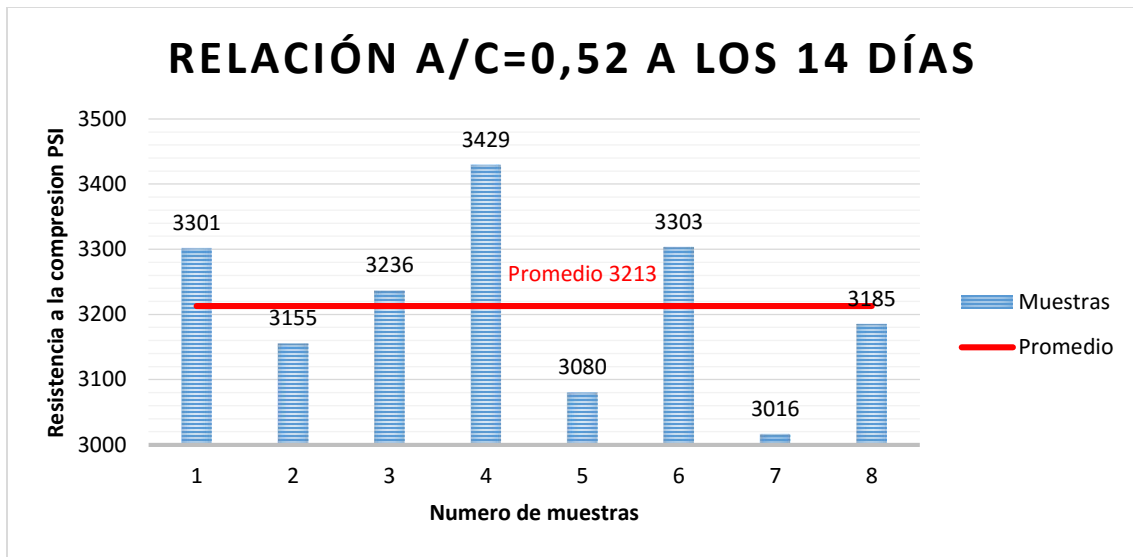


Ilustración 48. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 14 días.

Fuente: Propia

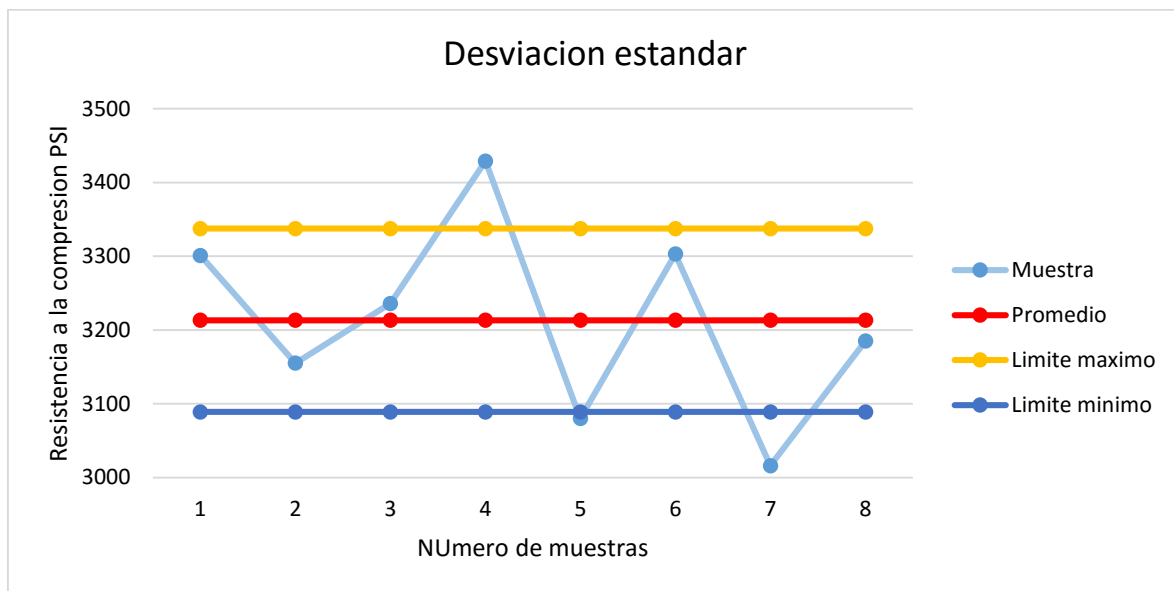


Ilustración 49. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 14 días.

Fuente: Propia

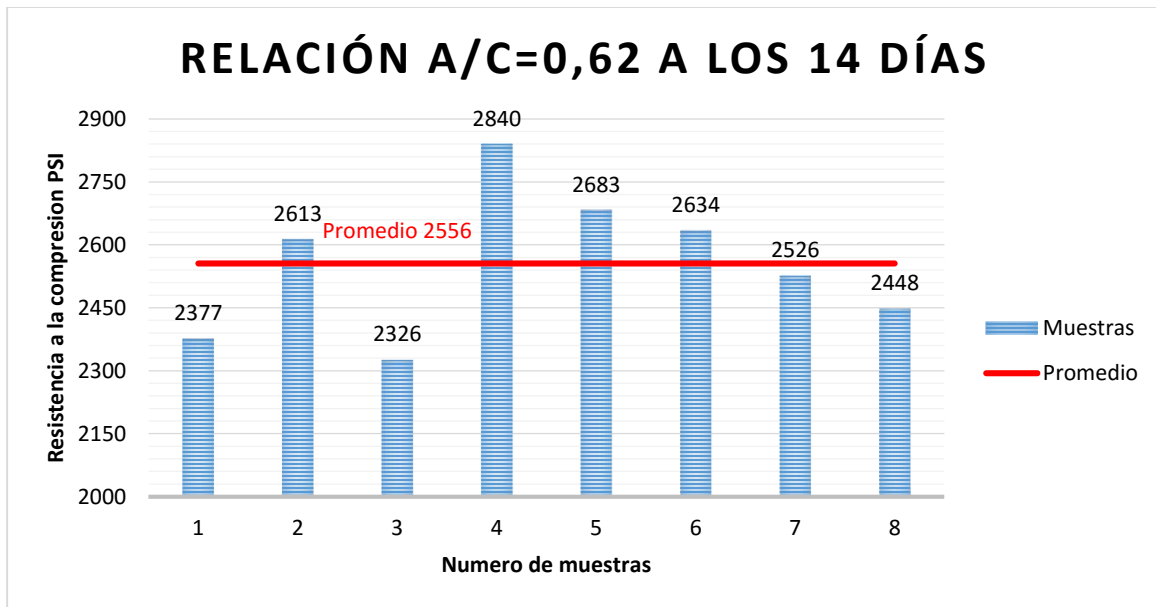


Ilustración 50. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 14 días.

Fuente: Propia

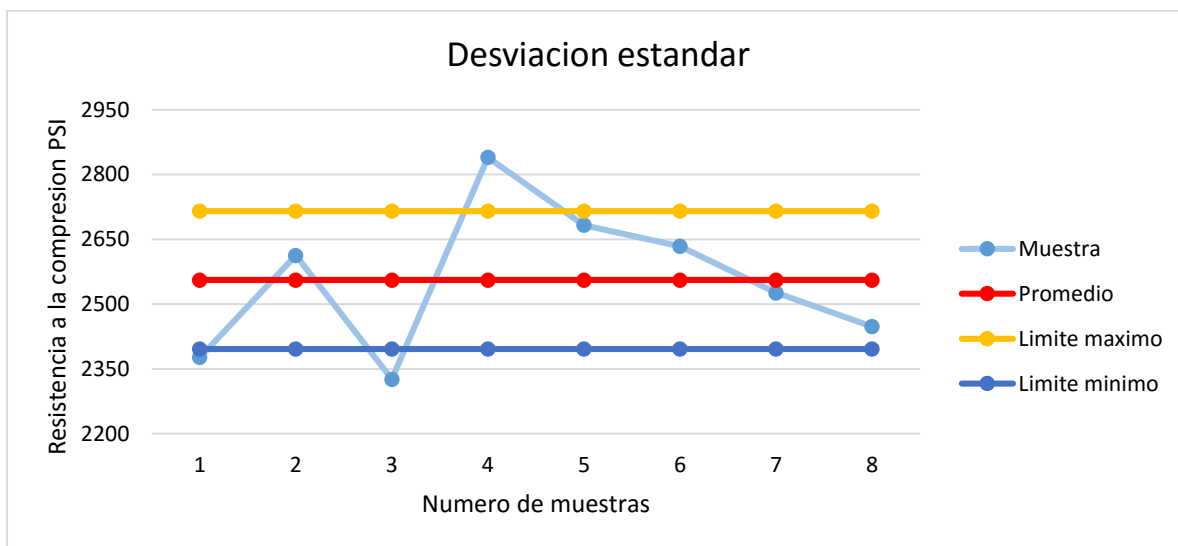


Ilustración 51. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 14 días.

Fuente: Propia

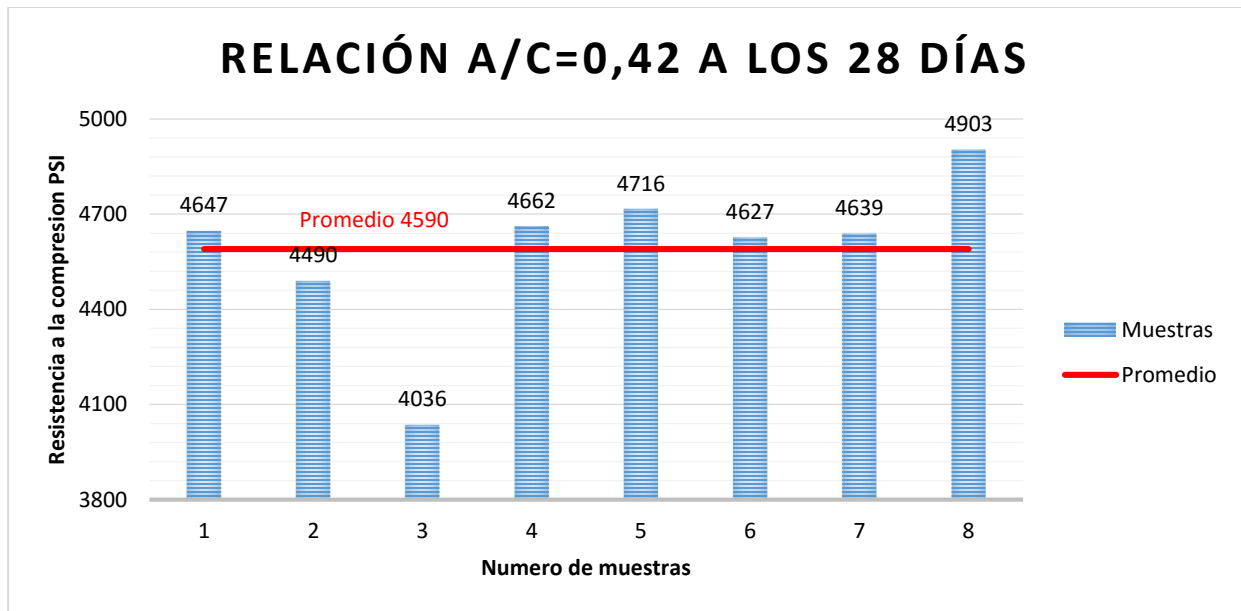


Ilustración 52. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 28 días.

Fuente: Propia

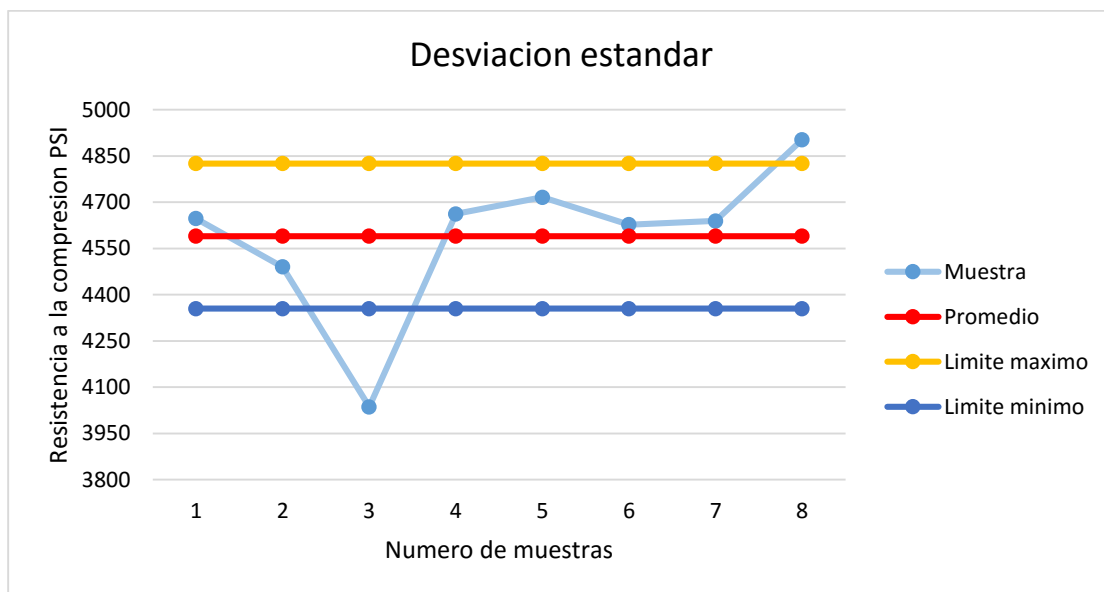


Ilustración 53. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 28 días.

Fuente: Propia

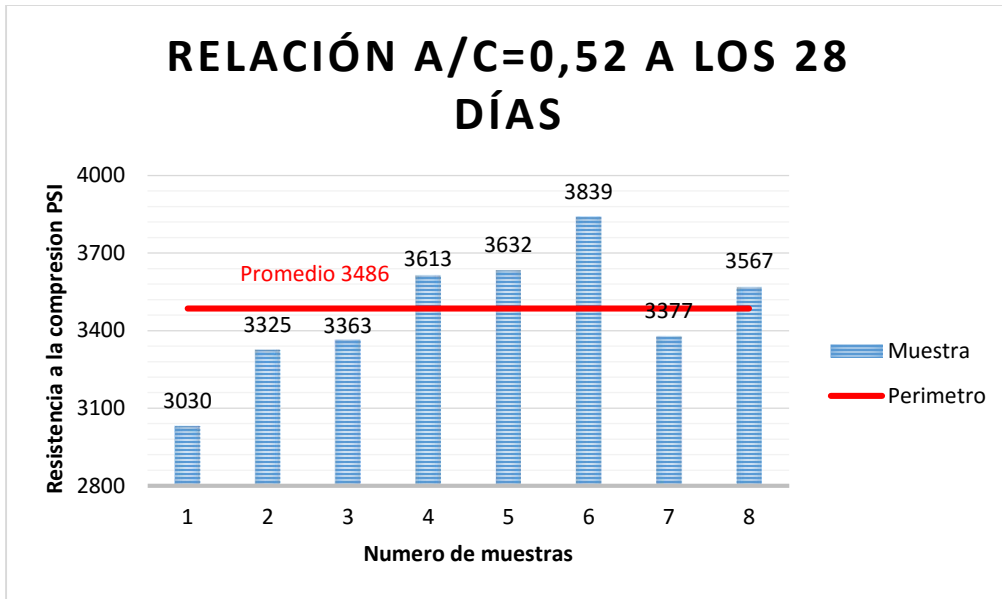


Ilustración 54. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 28 días.

Fuente: Propia

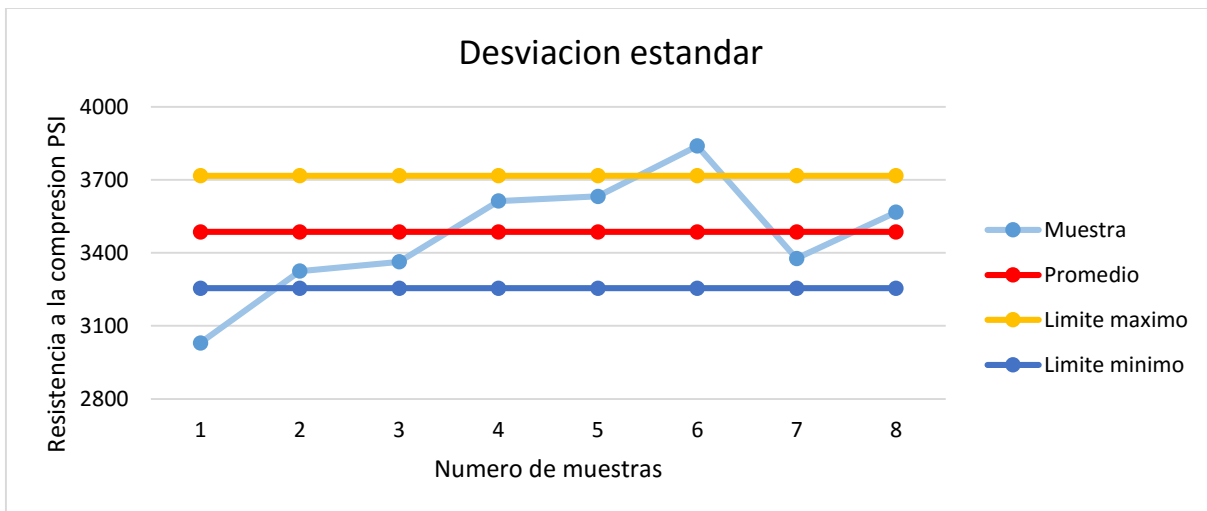


Ilustración 55. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 28 días.

Fuente: Propia

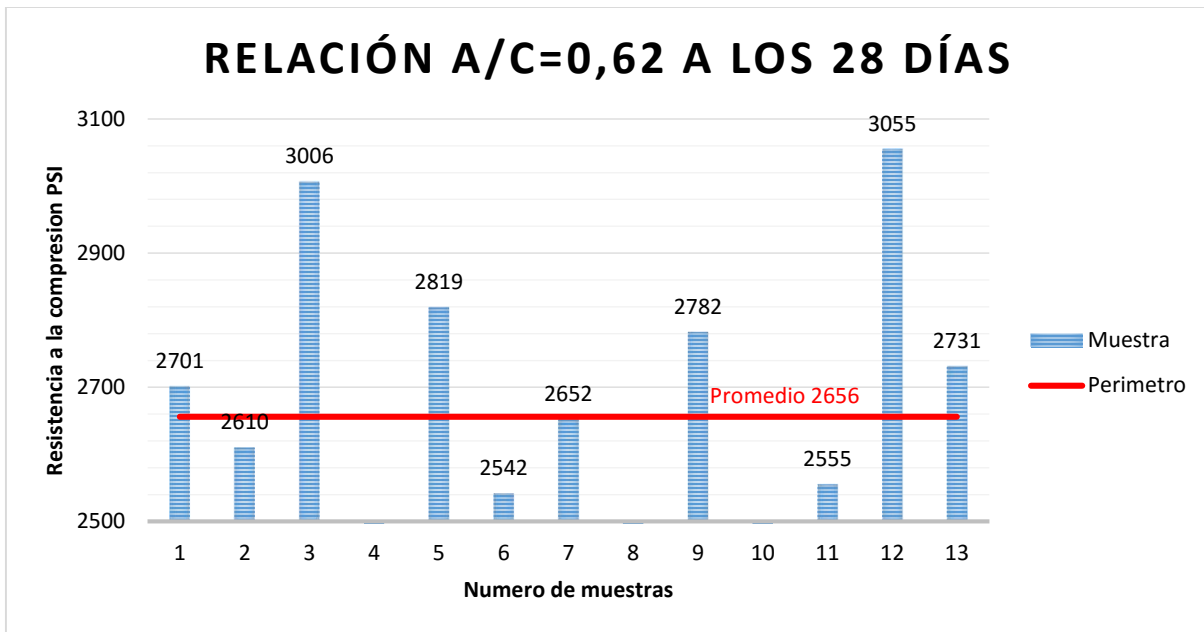


Ilustración 56. Resultados de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 28 días.

Fuente: Propia



Ilustración 57. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 28 días.

Fuente: Propia

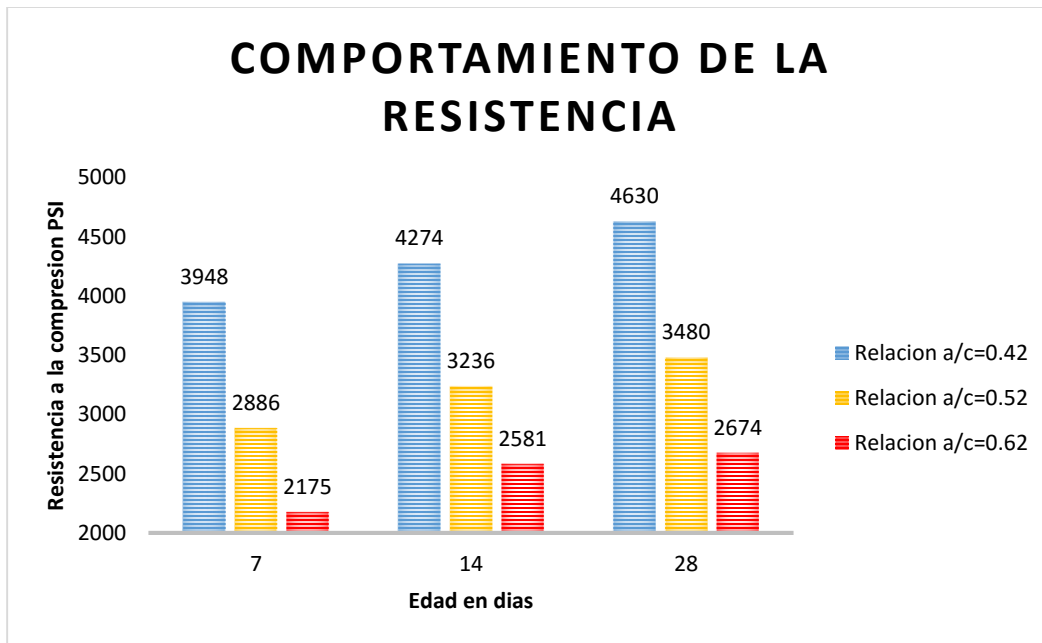


Ilustración 58. Comportamiento de la resistencia a la compresión de cada relación a/c a través del tiempo.

Fuente: Propia

El análisis se puede hacer con respecto al gráfico anterior de acuerdo a los resultados obtenidos los cuales son los siguientes:

- A los 7 días de curado las relaciones agua/cemento en el siguiente orden 0,42, 0,52 y 0,62 dieron las siguientes resistencias 3948, 2886 y 2175 PSI, sabiendo que la muestra patrón es la relación agua/cemento 0,52 y a los 7 días los concretos alcanza una resistencias del 60% - 65%.
- A los 14 días las resistencias obtenidas en el mismo orden del párrafo anterior fueron 4274, 3236 y 2581 PSI, lo cual representa un crecimiento respecto a los primeros 7 días.
- a los 28 días de curado los resultados crecieron un poco más y fueron 4630, 3480 y 2674.

De acuerdo a lo anterior y refiriéndose a la gráfica explícitamente se observa, un crecimiento constante con respecto al avance de la edad de curado de los concretos y que a mayor relación agua/cemento más baja es la resistencia con relación a las otras, también que la relación agua/cemento alcanzo niveles muy superiores a los otros dos concretos casi con una diferencia de 1000 PSI con respecto a la muestra patrón.

7.2 Penetración de cloruros

Las siguientes graficas expuestas tienen el mismo fin del ensayo anterior lograr un mejor desarrollo del análisis ya que se pueden identificar mejor los datos a depurar y la información se ve organizada y clara, los resultados obtenidos llevan el siguiente orden primero los resultados obtenidos a los 7 días de cada relación agua/cemento 0,42, 0,52 y 0,62, después al igual que a los siete días van los 14 días y posterior a ellos los 28 días.

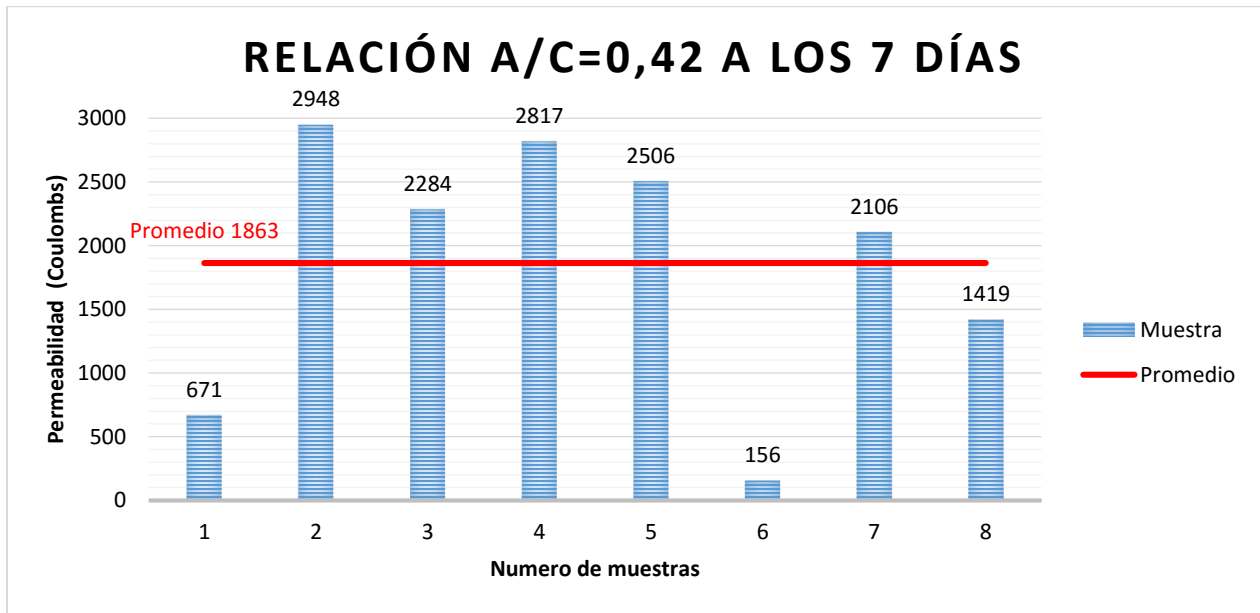


Ilustración 59. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,42 a los 7 días.

Fuente: Propia

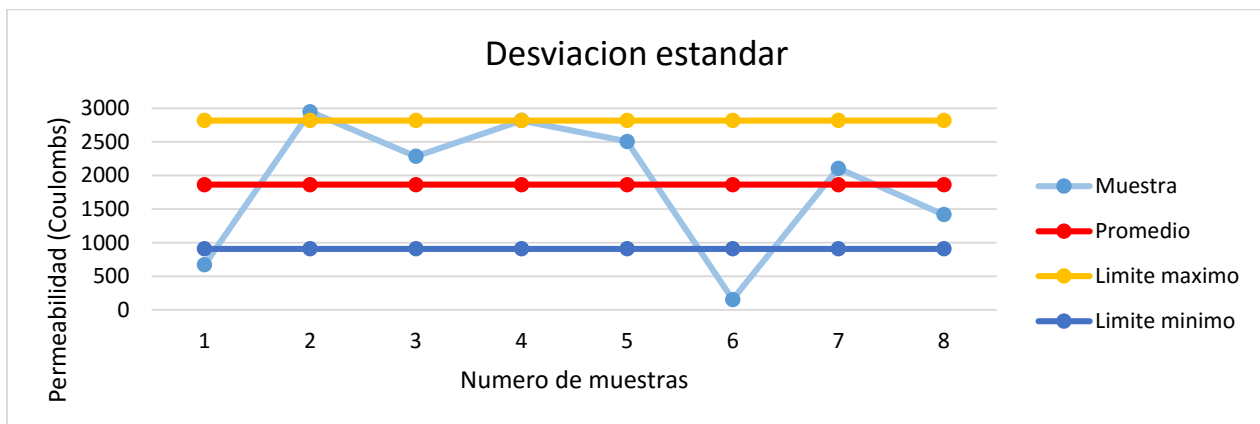


Ilustración 60. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 7 días.

Fuente: Propia

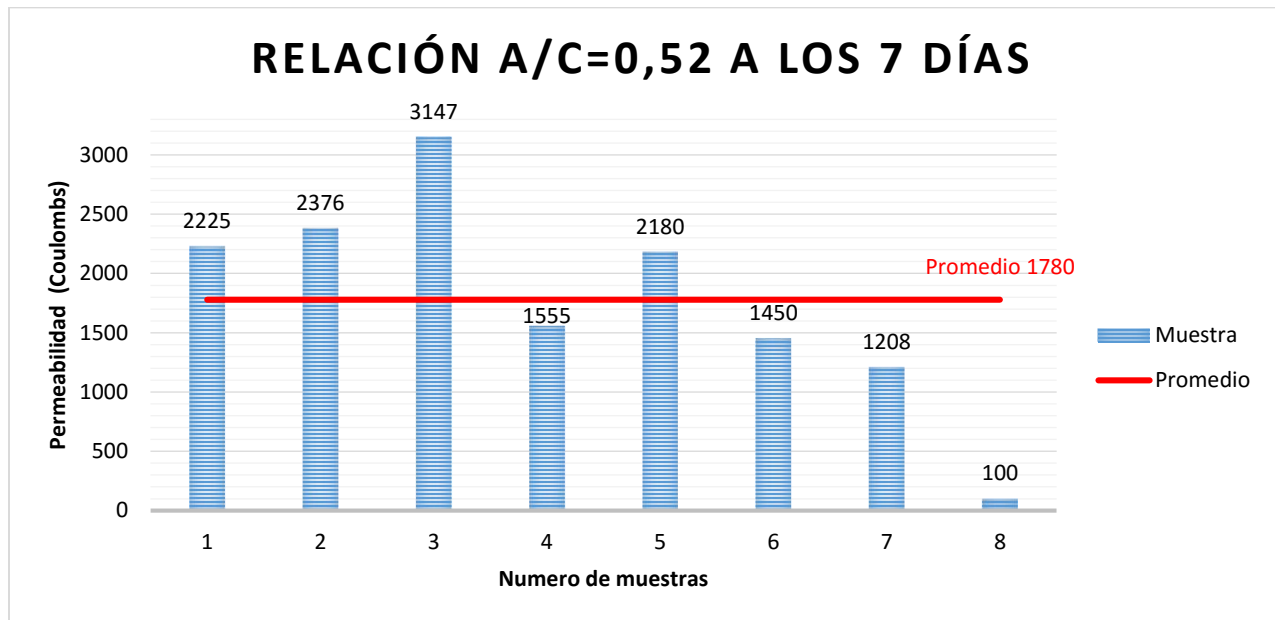


Ilustración 61. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,52 a los 7 días.

Fuente: Propia

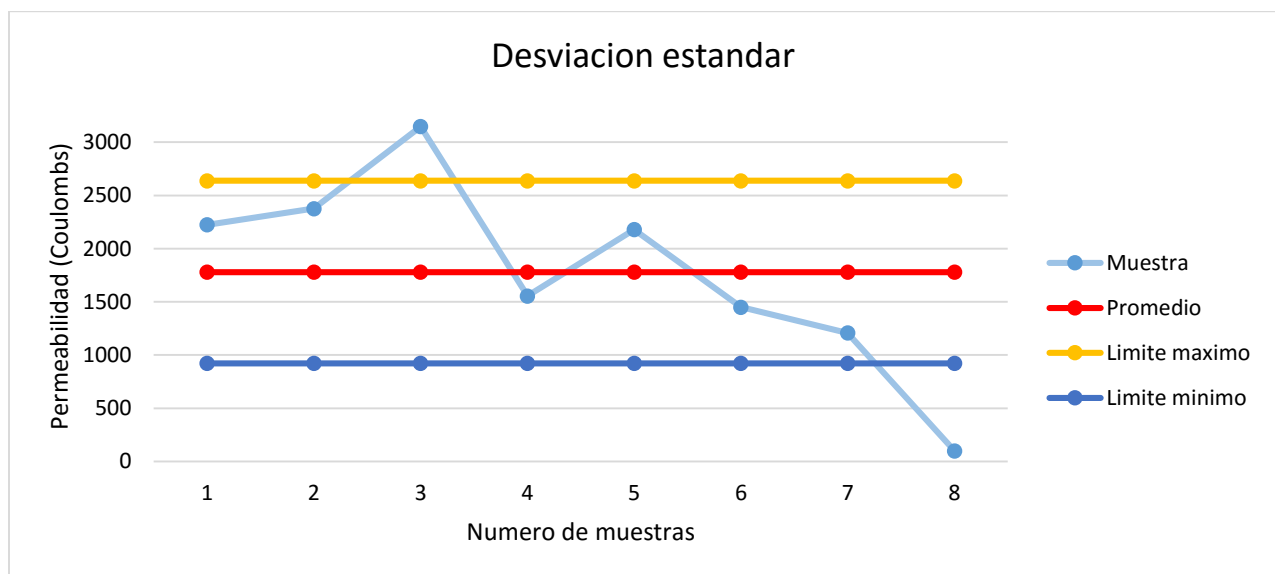


Ilustración 62. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 7 días.

Fuente: Propia

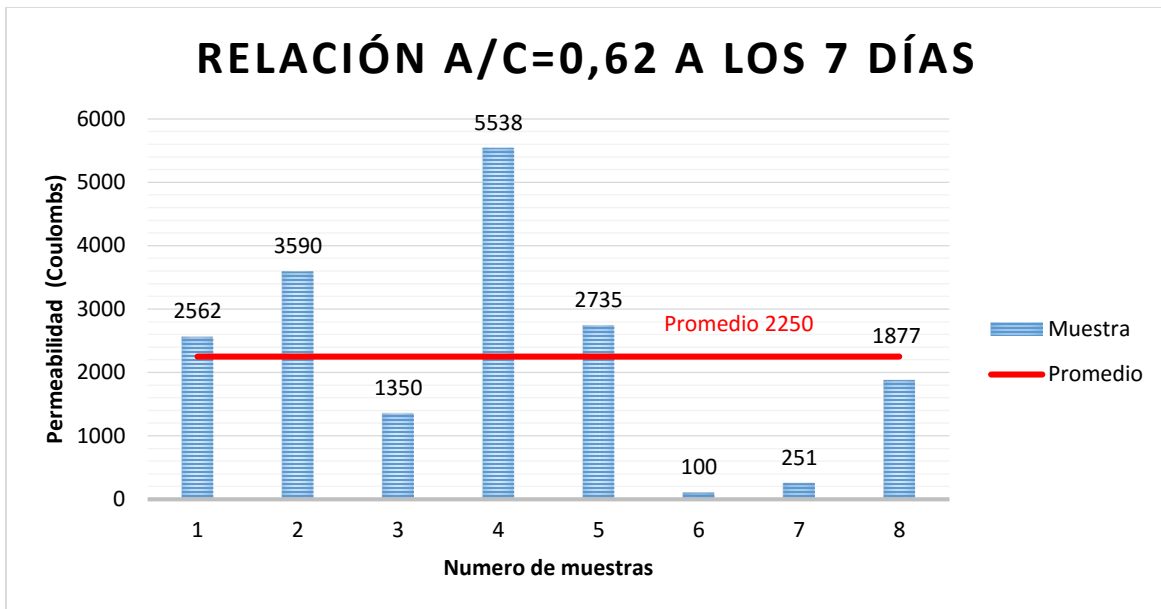


Ilustración 63. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,62 a los 7 días.

Fuente: Propia

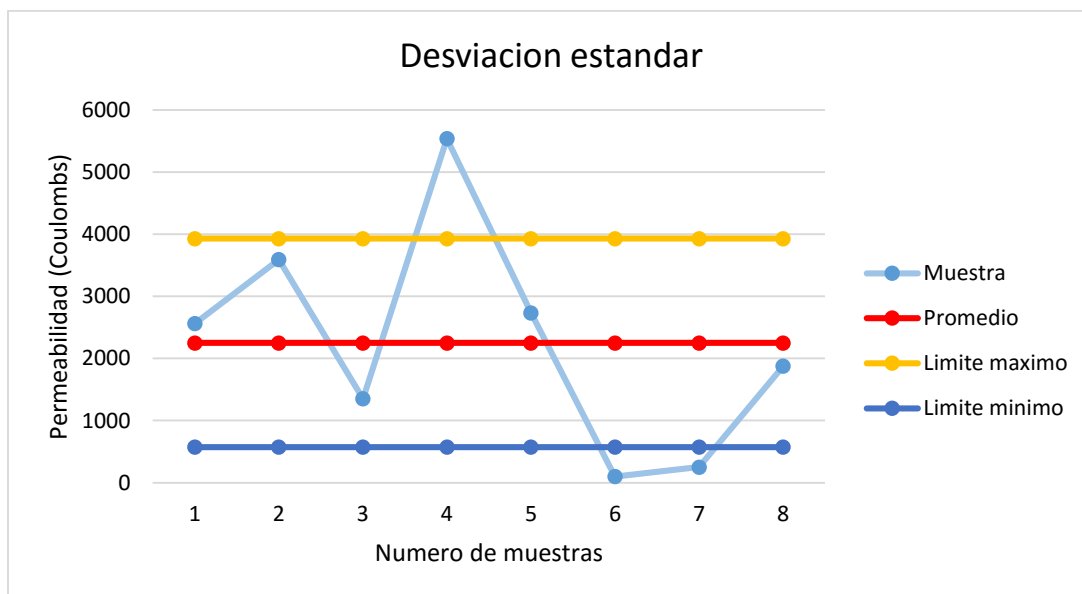


Ilustración 64. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 7 días.

Fuente: Propia

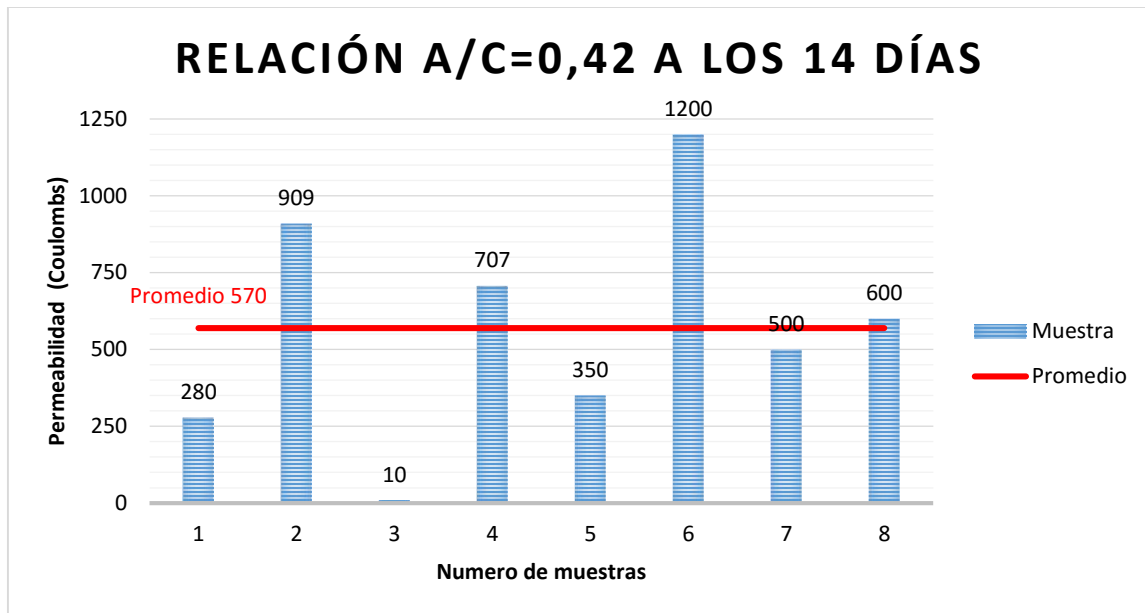


Ilustración 65. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,42 a los 14 días.

Fuente: Propia

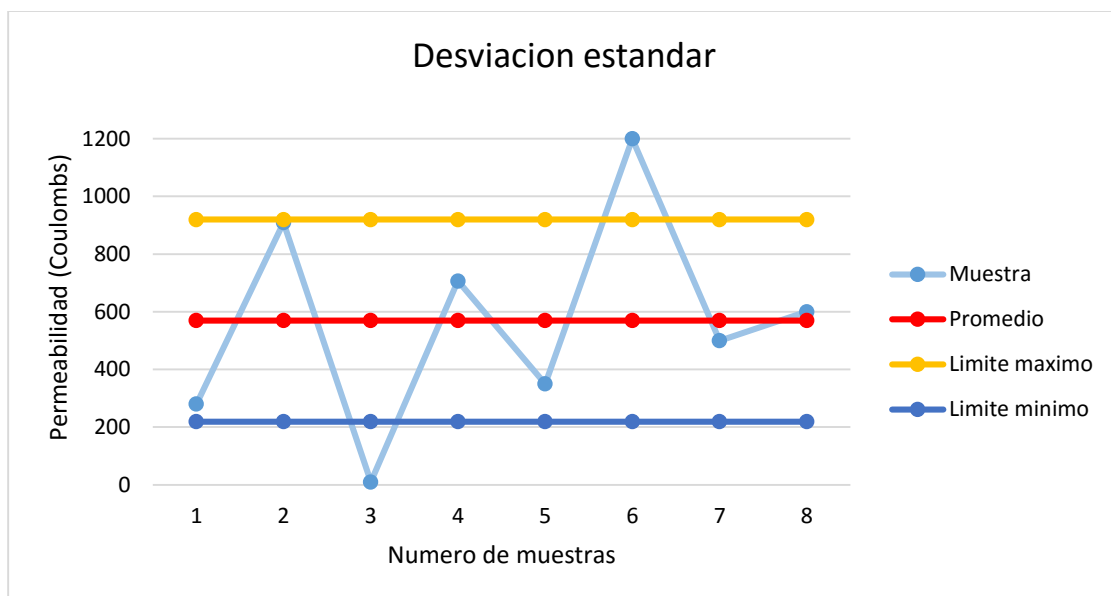


Ilustración 66. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 14 días.

Fuente: Propia

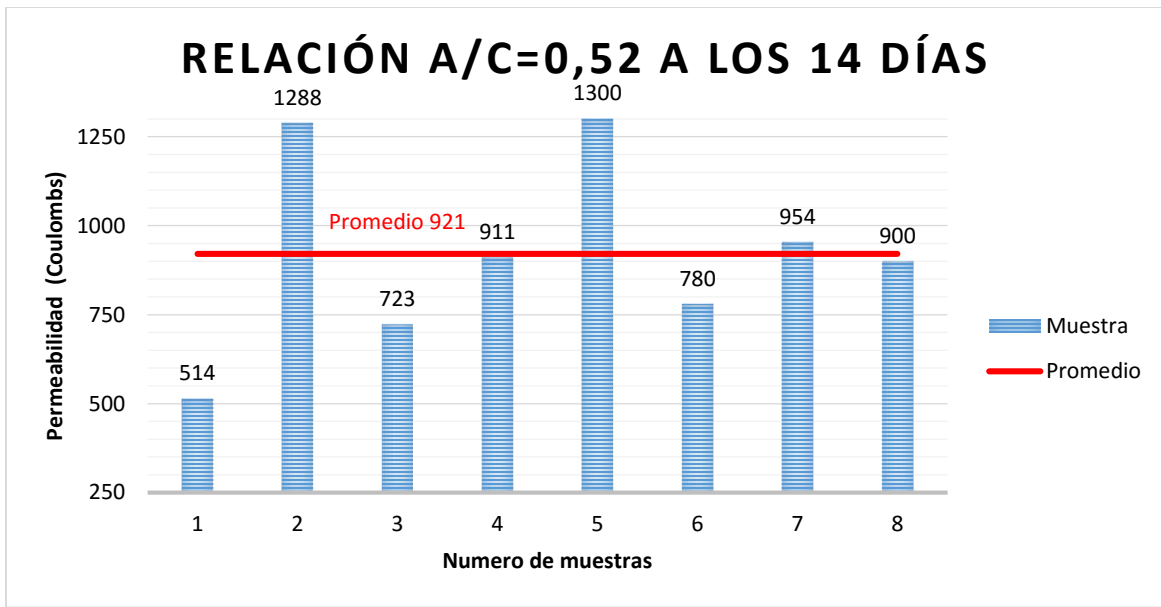


Ilustración 67. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,52 a los 14 días.

Fuente: Propia



Ilustración 68. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 14 días.

Fuente: Propia

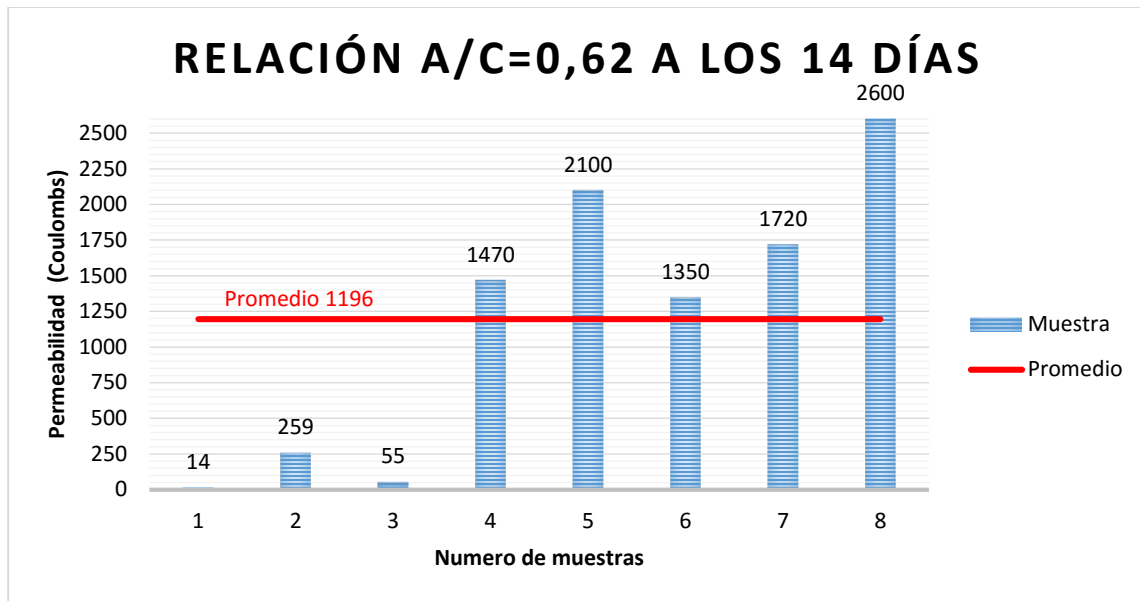


Ilustración 69. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,62 a los 14 días.

Fuente: Propia

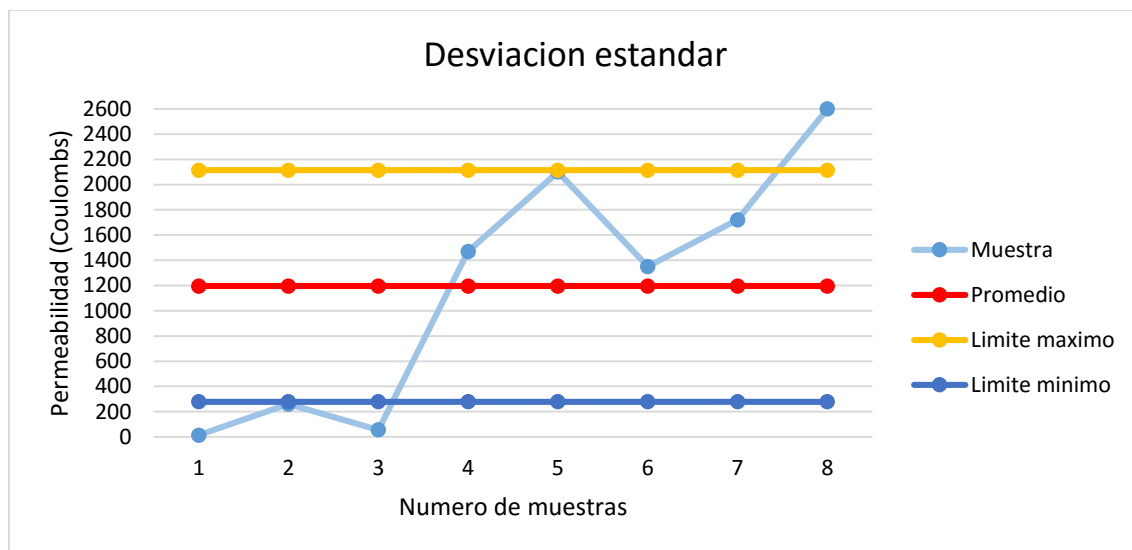


Ilustración 70. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 14 días.

Fuente: Propia

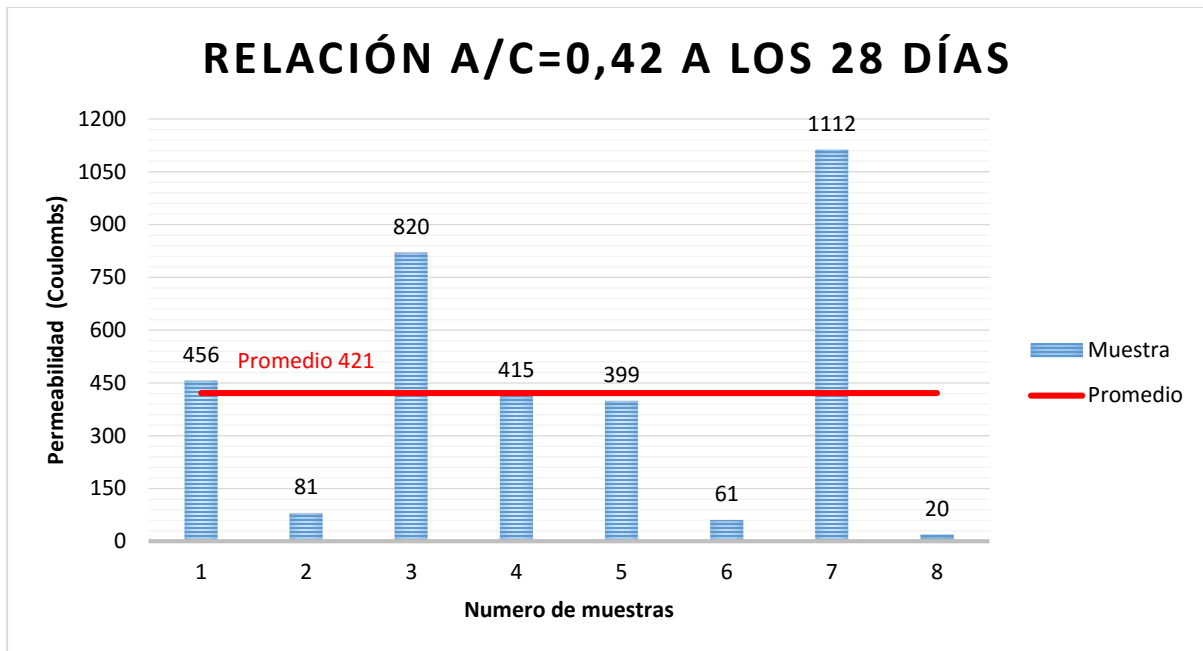


Ilustración 71. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,42 a los 28 días.

Fuente: Propia



Ilustración 72. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,42 a los 28 días.

Fuente: Propia

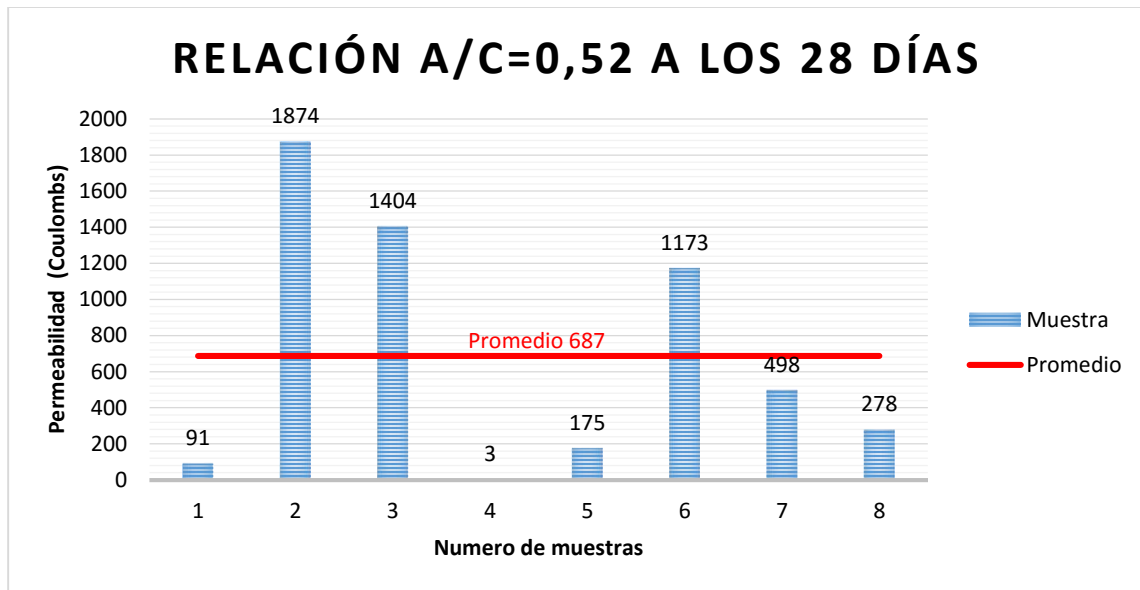


Ilustración 73. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,52 a los 28 días.

Fuente: Propia

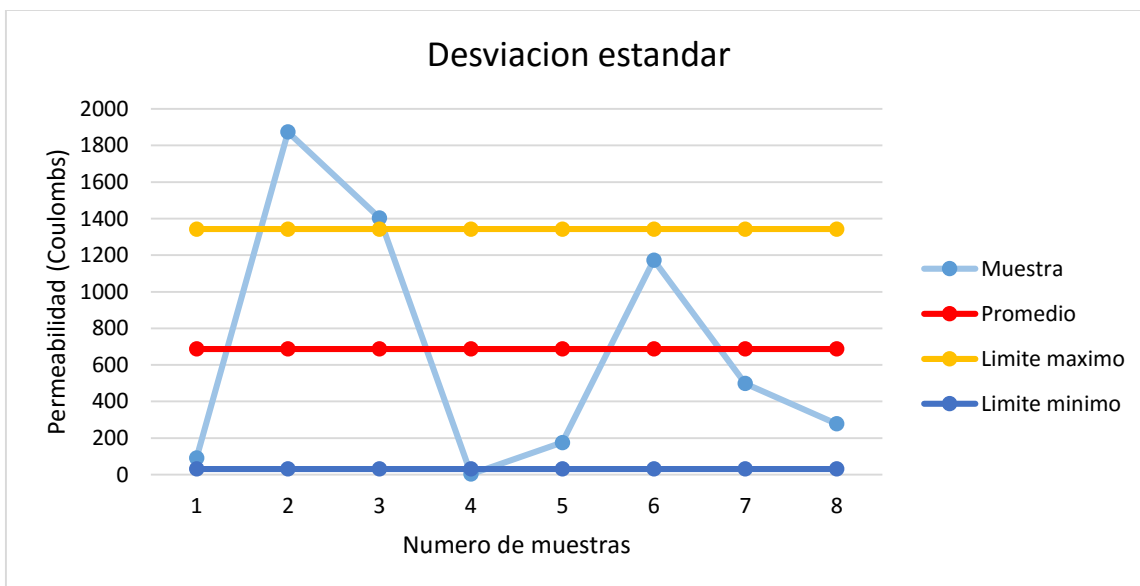


Ilustración 74. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,52 a los 28 días.

Fuente: Propia

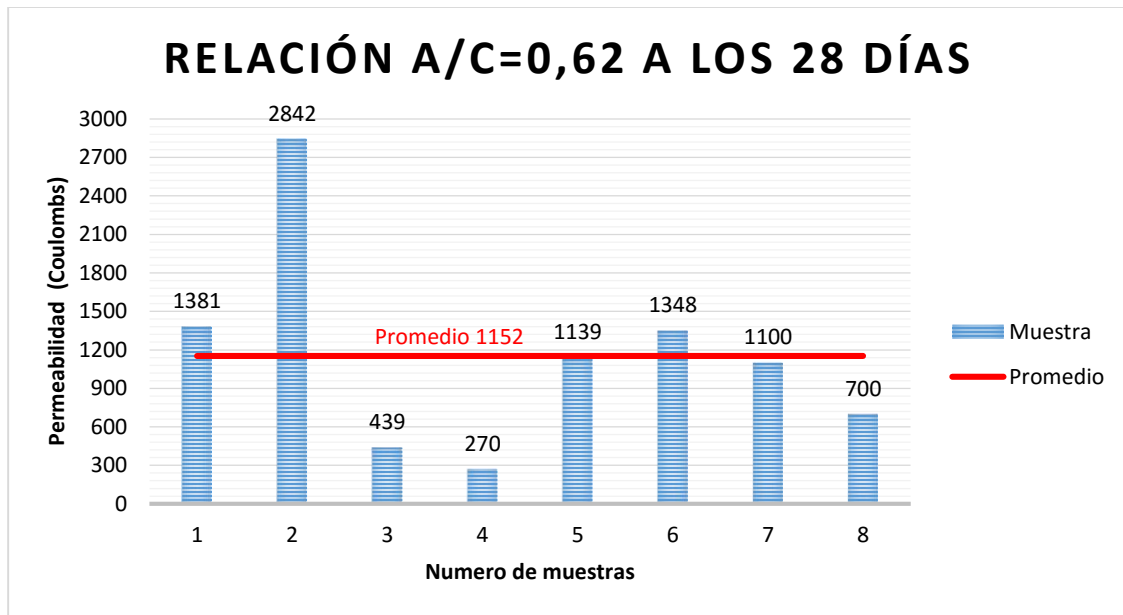


Ilustración 75. Resultados de la penetración al ion cloruro en la relación a/c=0,62 a los 28 días.

Fuente: Propia

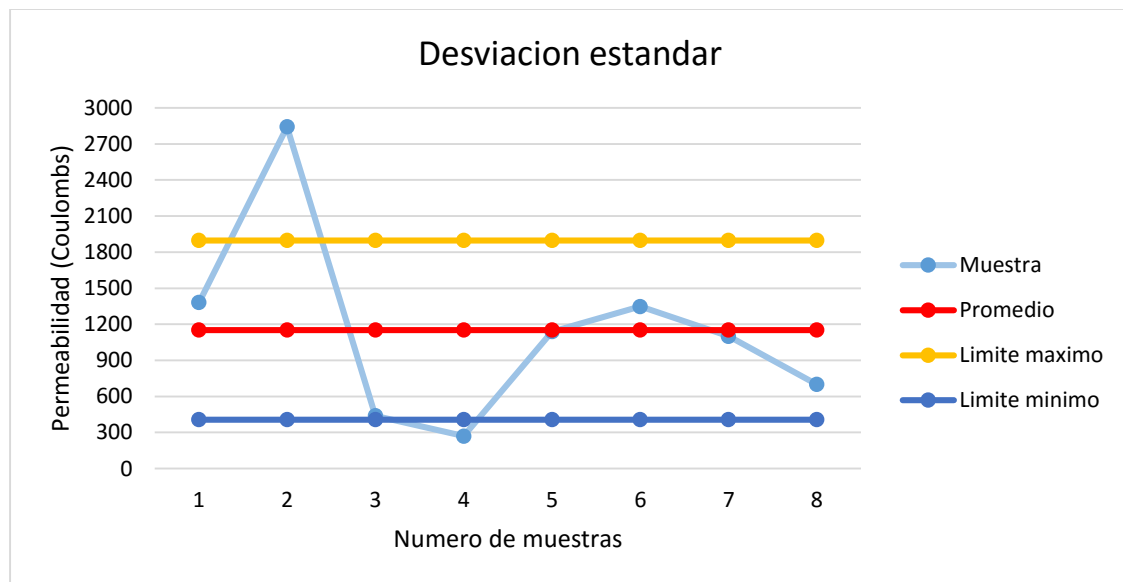


Ilustración 76. Desviación estándar de la resistencia a la compresión en la relación a/c=0,62 a los 28 días.

Fuente: Propia

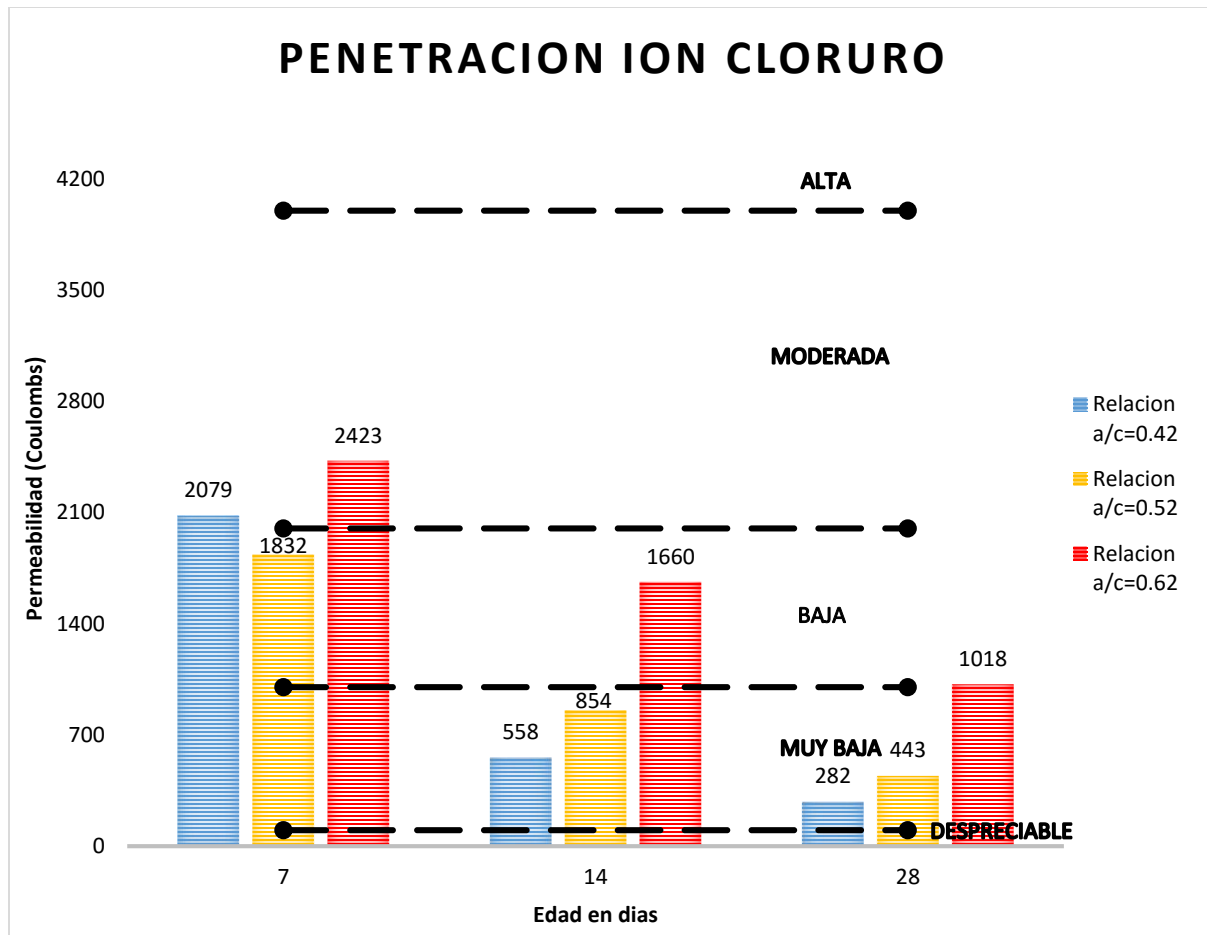


Ilustración 77. Comportamiento de la penetrabilidad del ion cloruro de cada relación a/c a través del tiempo.

Fuente: Propia

El análisis de este ensayo penetración del ion cloruro se hace con respecto a la tabla de clasificación según la NORMA ASTM C1202 (tabla 17), la cual tiene una clasificación de penetrabilidad alta, moderada, baja, muy baja y despreciable las cuales pertenecen a una carga en coulombs, en el grafico se muestran las cargas en coulombs que pasaron por la muestra de concreto y su clasificación, los resultados obtenidos los siguientes:

- A los 7 días de curado las relaciones agua/cemento en el siguiente orden 0,42, 0,52 y 0,62 dieron las siguientes cargas 2079, 1832 y 2423 coulombs.
- A los 14 días en el mismo orden de relaciones agua/cemento las cargas obtenidas fueron 558, 854 y 1660 coulombs.

- A los 28 días de curado los resultados decrecieron en las tres muestras obteniendo cargas de 282, 443 y 1018 coulombs.

En la gráfica se encuentra que las cargas decrecen significativamente en el transcurso de los días, a los primeros siete días las cargas se encuentran ubicadas en penetración moderada y solo una muestra la de relación agua/cemento 0,52 en penetración baja, pero a los 14 días bajan las cargas al concreto adquirir más resistencia y se clasifican en baja y muy baja, a los 28 días la tendencia se mantiene y a más resistencia la carga es mucho menor esto se ve reflejado cuando se comparan las gráficas 58 y 77.

7.3 Permeabilidad

Las siguientes graficas al igual que en los dos ensayos anteriores representan los datos obtenidos de cada prueba durante los 28 días, pero en este ensayo son de vital importancia estas graficas ya que los resultados obtenidos de la constante k son muy pequeños y al interpretar solo los números es un poco complicado.

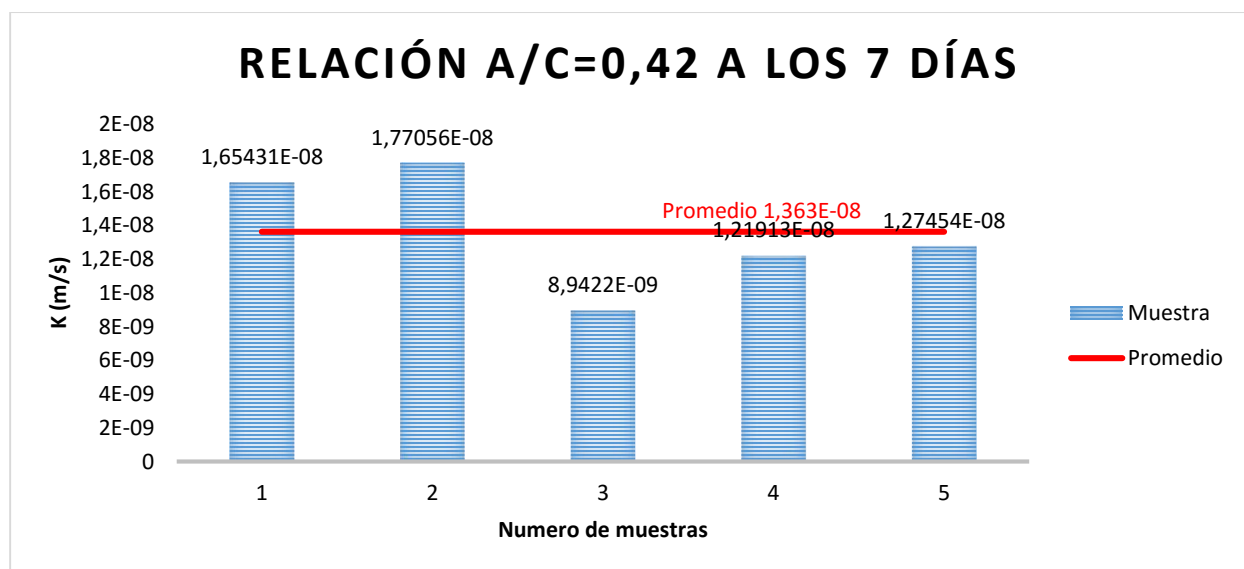


Ilustración 78. Resultados de permeabilidad en la relación a/c=0,42 a los 7 días.

Fuente: Propia

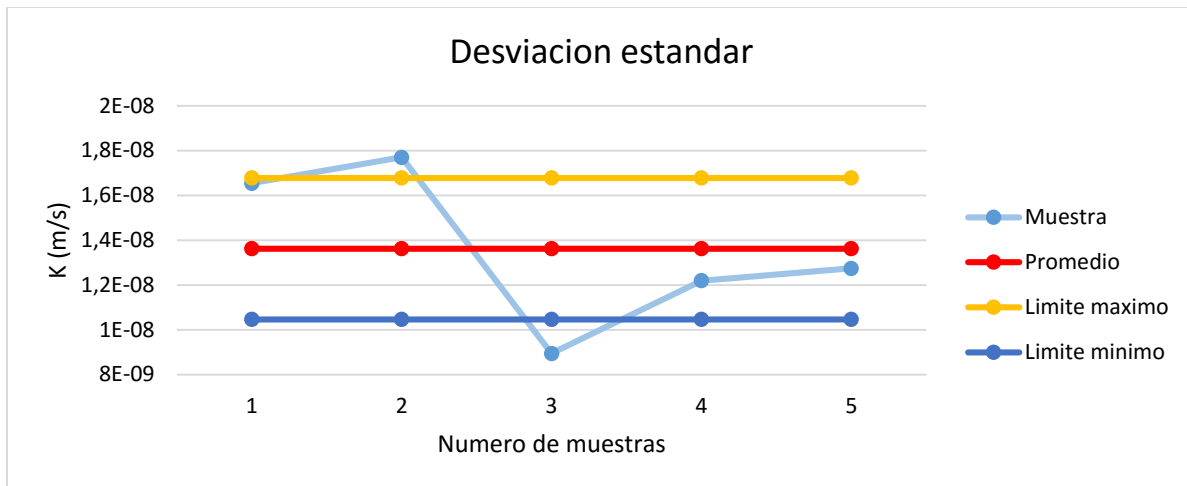


Ilustración 79. Desviación estándar de permeabilidad en la relación a/c=0,42 a los 7 días.

Fuente: Propia

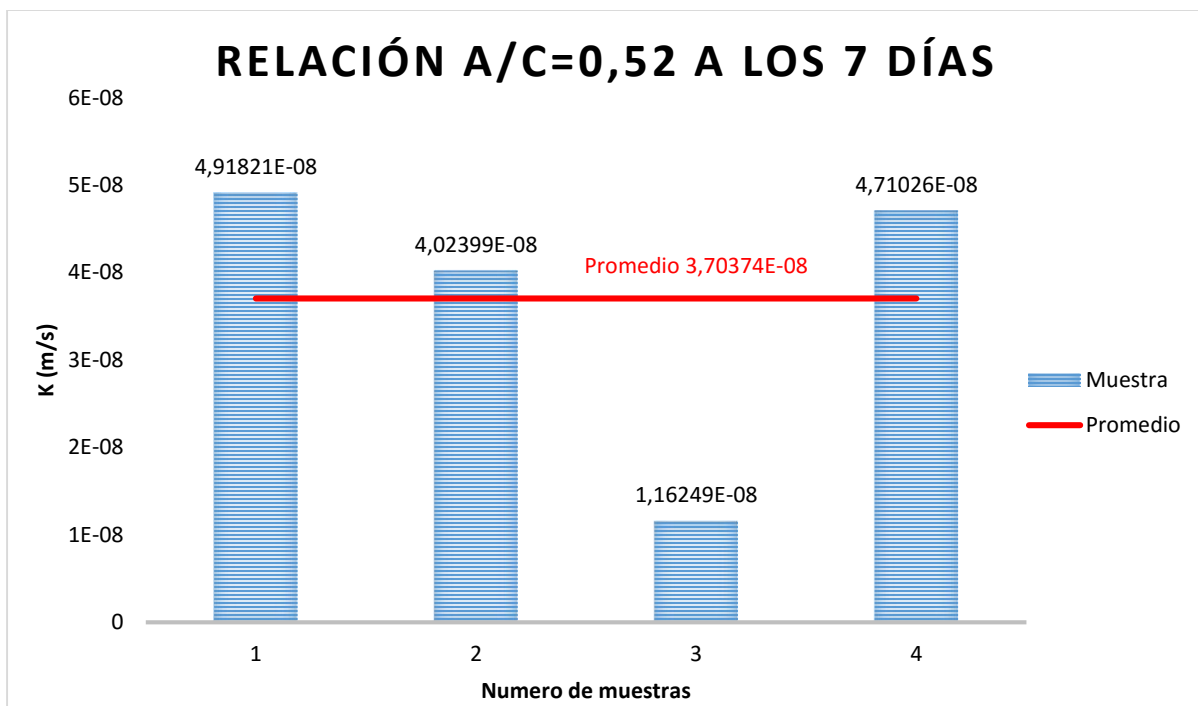


Ilustración 80. Resultados de permeabilidad en la relación a/c=0,52 a los 7 días.

Fuente: Propia

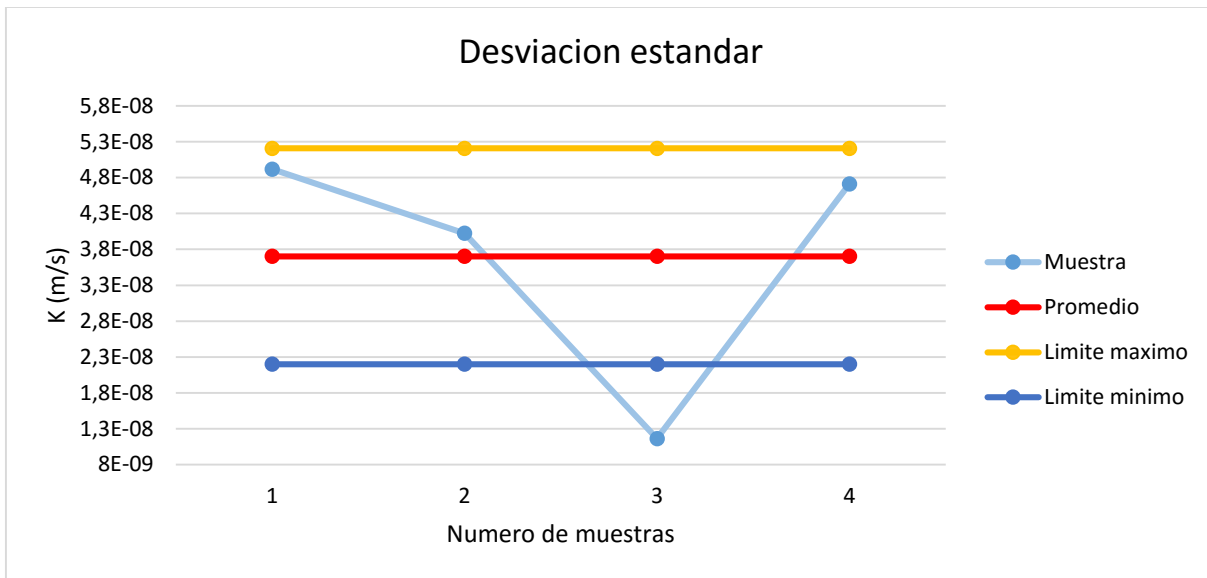


Ilustración 81. Desviación estándar de permeabilidad en la relación a/c=0,52 a los 7 días.

Fuente: Propia

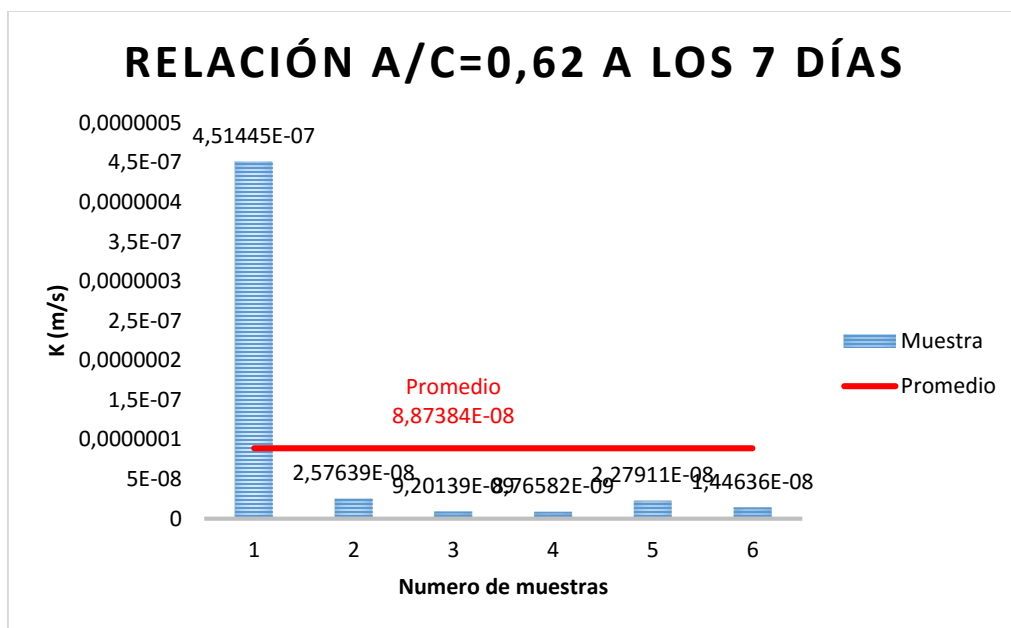


Ilustración 82. Resultados de permeabilidad en la relación a/c=0,62 a los 7 días.

Fuente: Propia

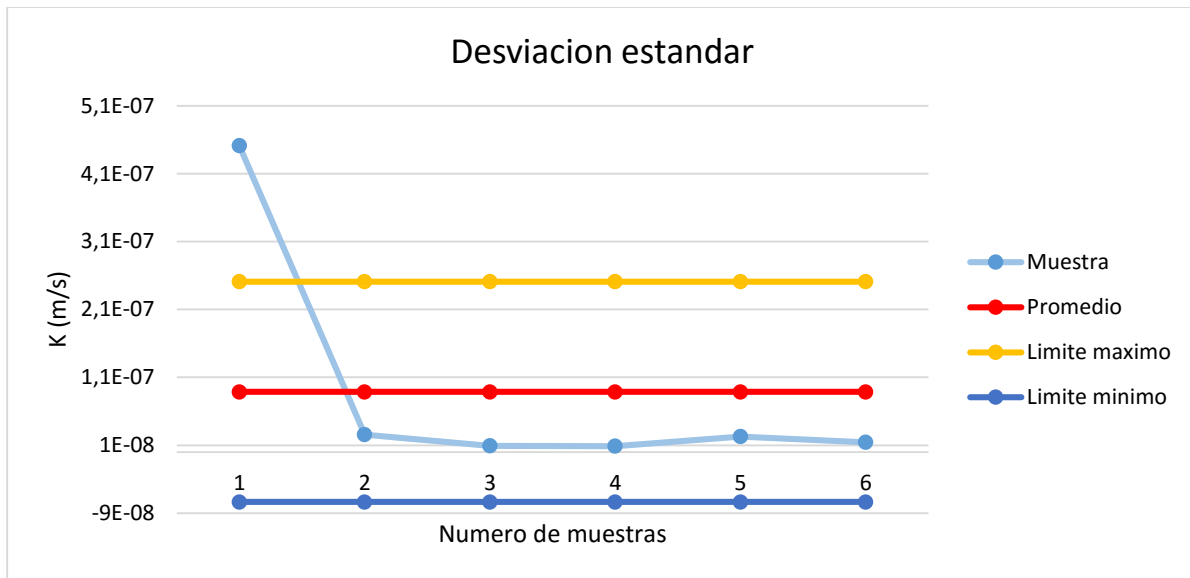


Ilustración 83. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,62$ a los 7 días.

Fuente: Propia

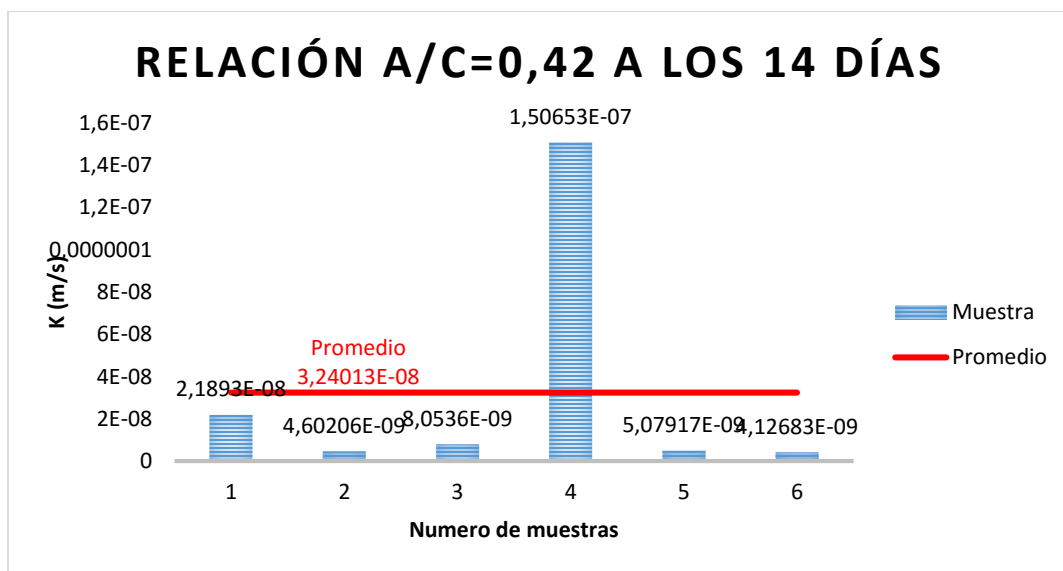


Ilustración 84. Resultados de permeabilidad en la relación $a/c=0,42$ a los 14 días.

Fuente: Propia

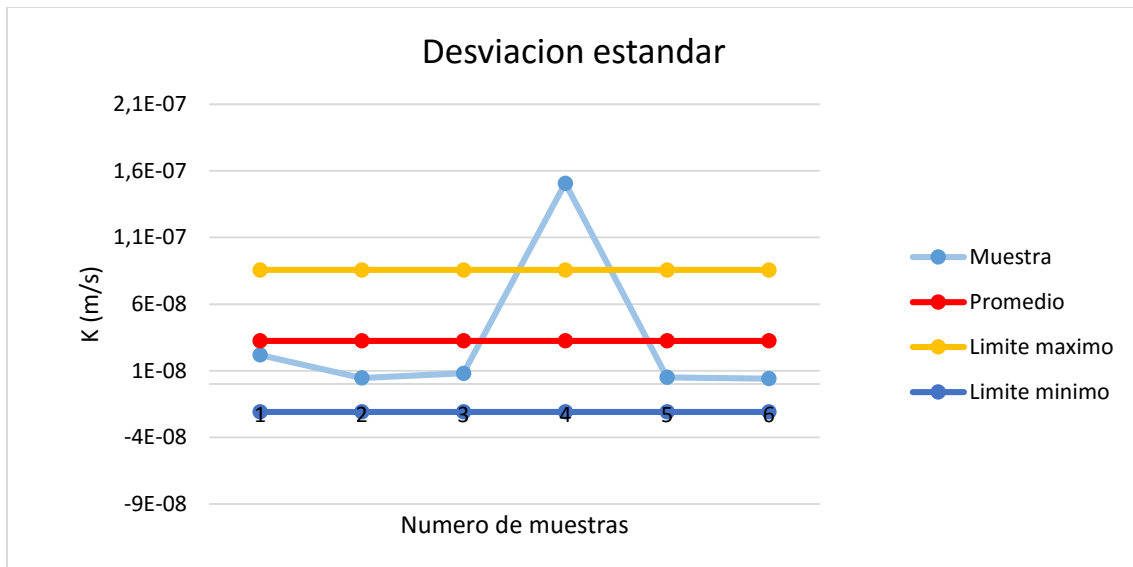


Ilustración 85. Desviación estándar de permeabilidad en la relación a/c=0,42 a los 14 días.

Fuente: Propia

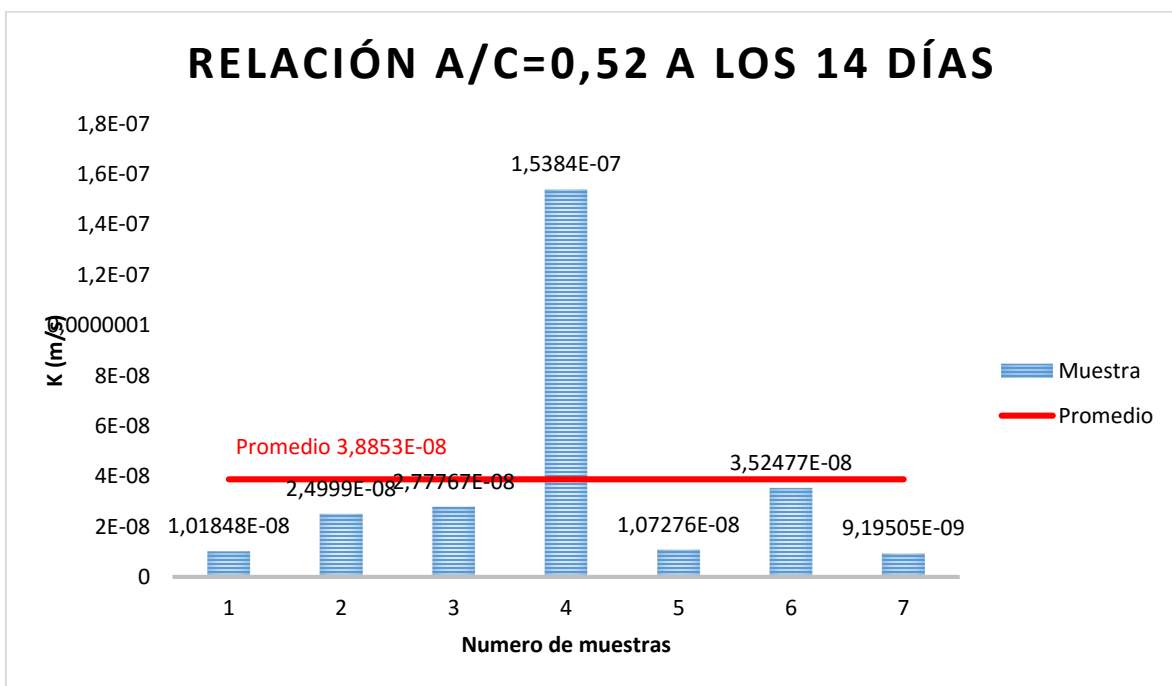


Ilustración 86. Resultados de permeabilidad en la relación a/c=0,52 a los 14 días.

Fuente: Propia



Ilustración 87. Desviación estándar de permeabilidad en la relación a/c=0,52 a los 14 días.

Fuente: Propia

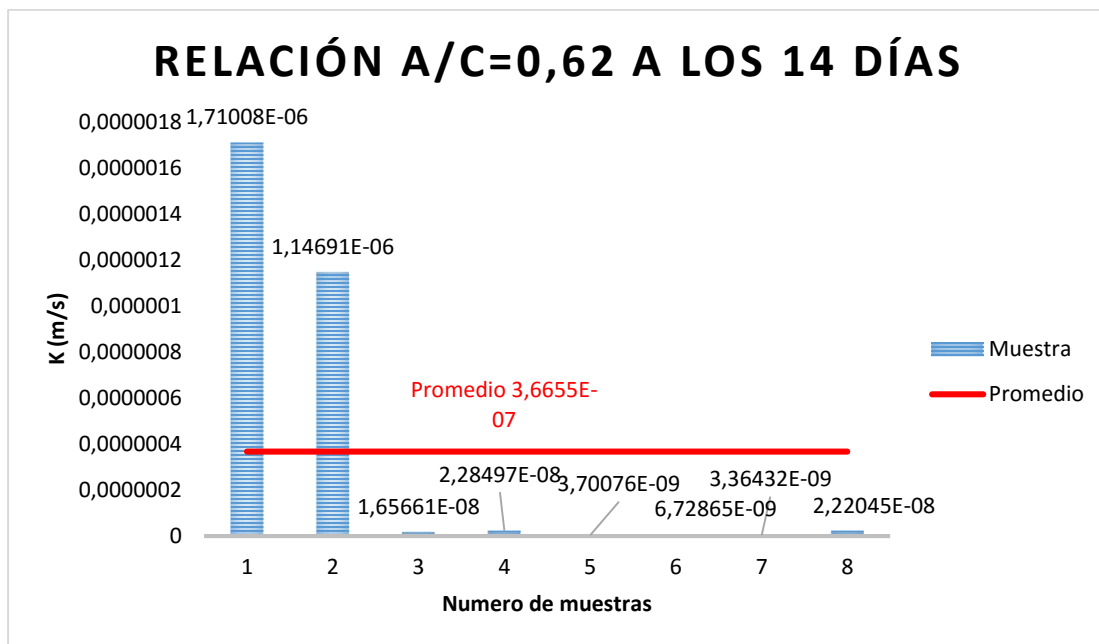


Ilustración 88. Resultados de permeabilidad en la relación a/c=0,62 a los 14 días.

Fuente: Propia

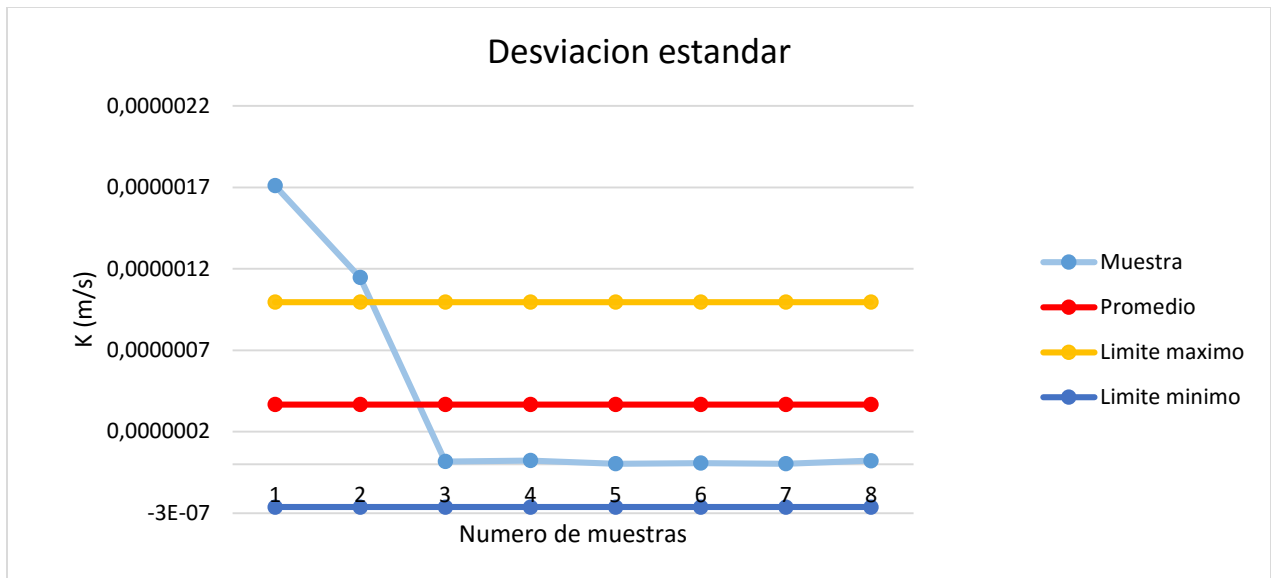


Ilustración 89. Desviación estándar de permeabilidad en la relación a/c=0,62 a los 14 días.

Fuente: Propia

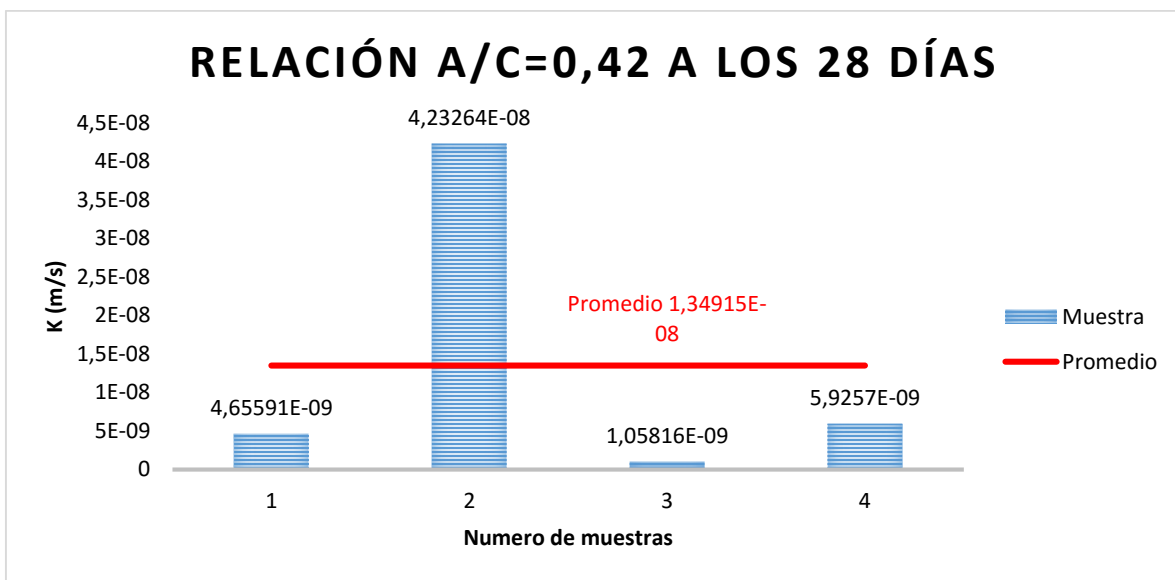


Ilustración 90. Resultados de permeabilidad en la relación a/c=0,42 a los 28 días.

Fuente: Propia



Ilustración 91. Desviación estándar de permeabilidad en la relación a/c=0,42 a los 28 días.

Fuente: Propia

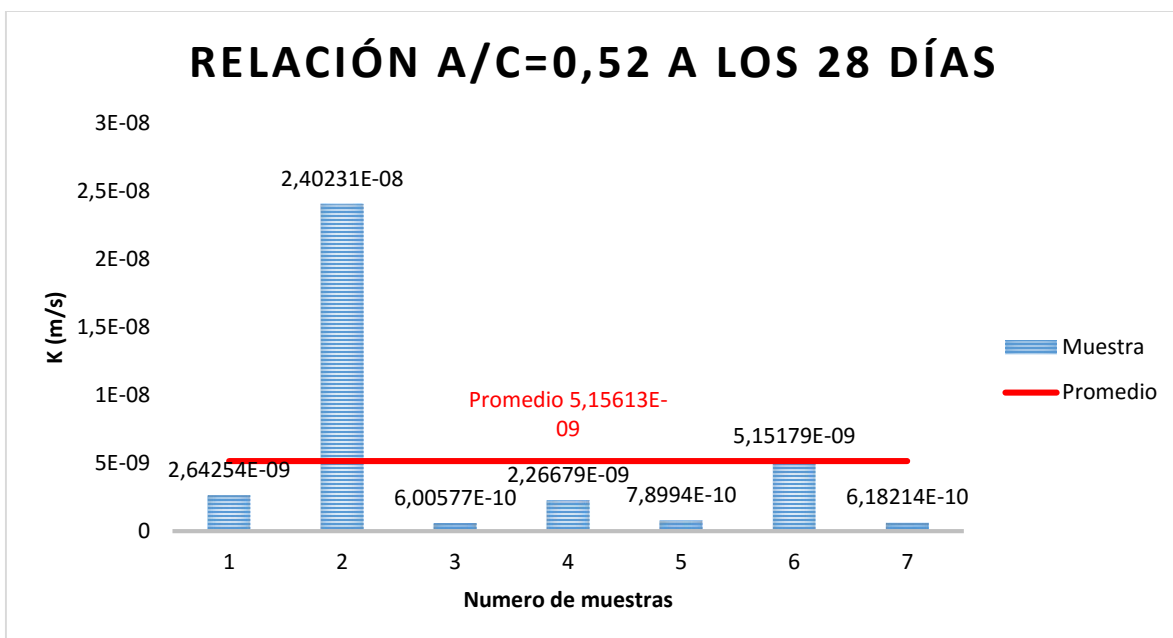


Ilustración 92. Resultados de permeabilidad en la relación a/c=0,52 a los 28 días.

Fuente: Propia

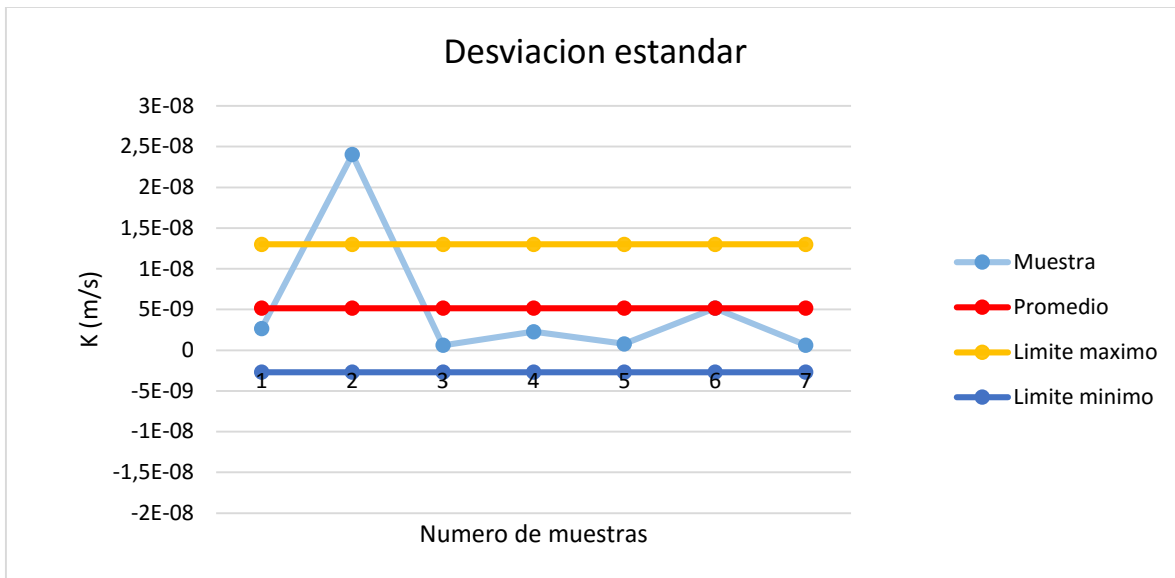


Ilustración 93. Desviación estándar de permeabilidad en la relación a/c=0,52 a los 28 días.

Fuente: Propia

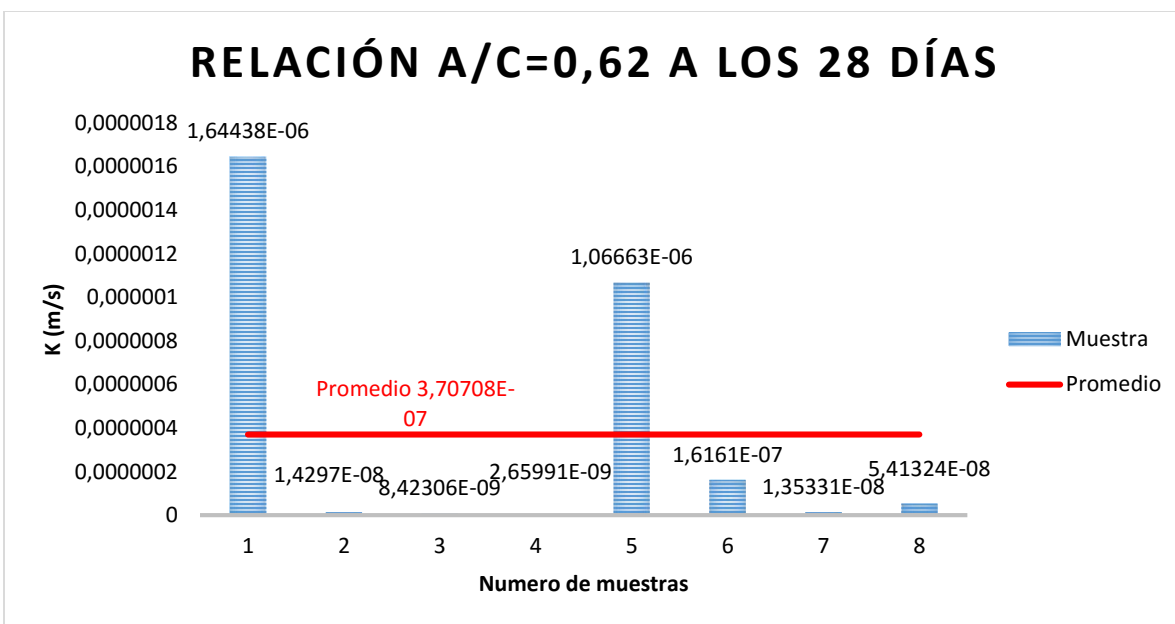


Ilustración 94. Resultados de permeabilidad en la relación a/c=0,62 a los 28 días.

Fuente: Propia

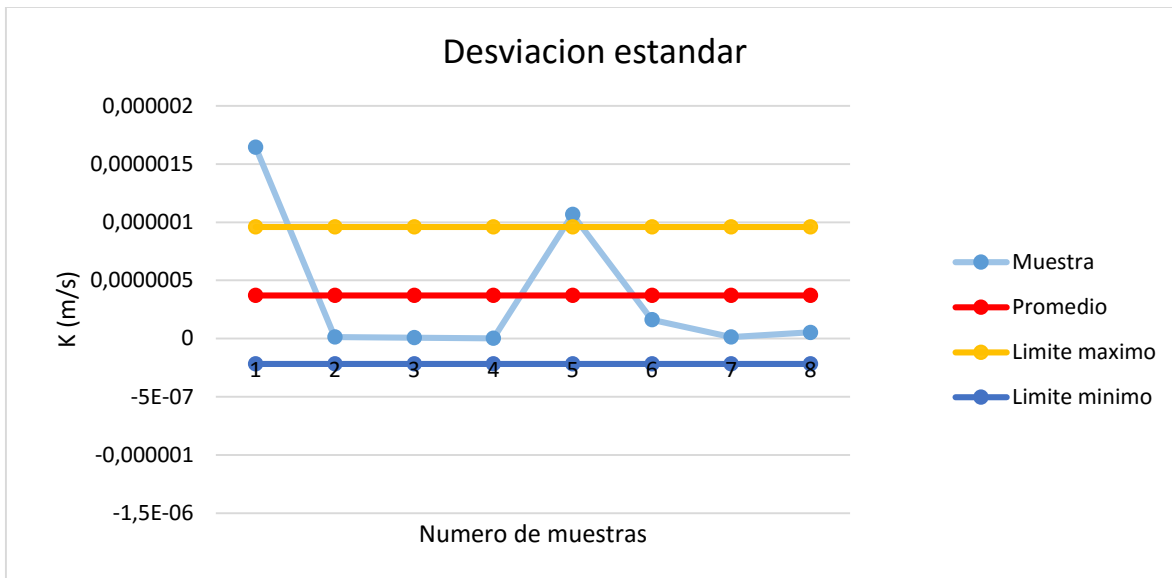


Ilustración 95. Desviación estándar de permeabilidad en la relación $a/c=0,62$ a los 28 días.

Fuente: Propia

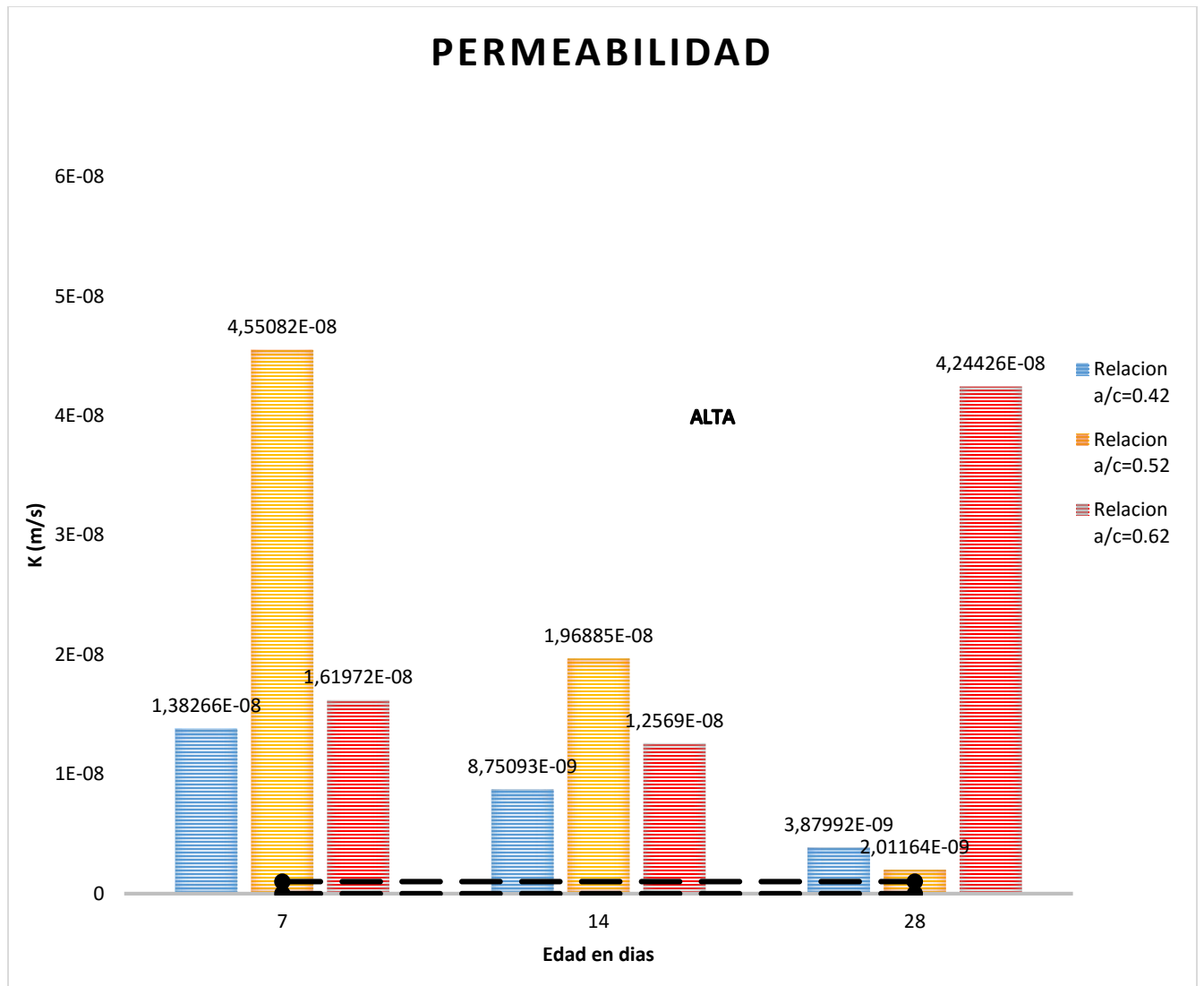


Ilustración 96. Comportamiento de la permeabilidad de cada relación a/c a través del tiempo.

Fuente: Propia

En la ilustración 96, se encuentran graficados los coeficientes de permeabilidad K, los cuales se evalúan con base a la tabla de la norma NTC 4483 (ilustración 38) la norma clasifica la permeabilidad en alta, media o baja.

La grafica muestra que ningún resultado se clasifico en permeabilidad media o baja, todos ellos están ubicados en permeabilidad alta, al analizar individualmente las relaciones agua/cemento se encuentra que la relación a/c 0,42 disminuyo su permeabilidad en el tiempo transcurrido de 28 días favorablemente, algo similar paso con la 0,52 que fue la única que se acercó al cabo de 28 días al límite donde está ubicado el rango de permeabilidad media, pero en

cambio con la relación a/c de 0,62 las cosas son diferentes primero disminuyo y después aumento exageradamente, remitiéndose a los antecedentes de este documento encontramos que los concretos de mayor relación agua/cemento tienen mayor volumen de huecos y esto beneficia la conexión entre fisuras lo cual hace al concreto más débil y por consiguiente permeable.

8. Manuales prácticos del uso de los equipos de permeabilidad rápida de cloruros y de permeabilidad

8.1 Manual práctico del uso de equipo de permeabilidad rápida de cloruros.

Accesorios del equipo:

- Dispositivo de medición
- 4 cables conectores de color rojo y 4 cables conectores negros, los colores corresponden uno a la terminal negativa y el otro a la terminal positiva.
- 4 sensores de temperatura.
- 8 celdas de acrílico, 4 van conectadas al terminal positivo (color rojo) y las otras 4 se conectan al terminal negativo (color negro).
- 4 anillos espaciadores.
- 1 cable USB.
- 16 tornillos, 32 arandelas y 16 tuercas.
- 8 rejillas.
- 8 juntas de goma.
- 1 cable de energía.

ACCESORIOS DEL EQUIPO				
				
DISPOSITIVO DE MEDICION	CABLES CONECTORES	SENSORES DE TEMPERATURA	CELDAS DE ACRILICO	ESPACIADORES
				
TORNILLOS, TUERCAS Y ARANDELAS	CABLE USB	REJILLAS	JUNTAS DE GOMA	CABLE DE ENERGIA

Ilustración 97. Accesorios del equipo de permeabilidad rápida de cloruros.

Fuente: Manual del equipo

8.1.1 Procedimiento para armar las 4 células de prueba. Inicialmente se introducen en la celda de acrílico 4 tornillos con sus respectivas arandelas y en la parte interior de la celda de acrílico se coloca una rejilla de acero inoxidable como se observa en la ilustración 98.

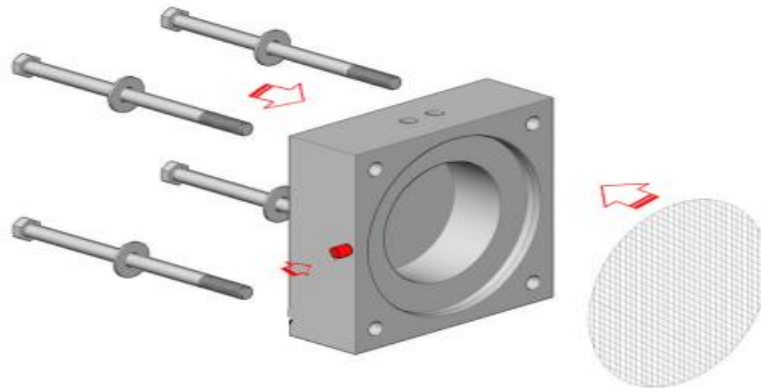


Ilustración 98. Montaje de las celdas de acrílico paso número 1

Fuente: Manual del equipo

Después se coloca la muestra de concreto en medio del anillo espaciador y se distribuye igualmente el espacio que sobresale de la muestra para colocar una junta de goma en cada cara de la muestra como en la ilustración 99.



Ilustración 99. Montaje de las celdas de acrílico paso número 2

Fuente: Manual del equipo

Se acomoda en la celda del primer paso el conjunto (muestra, anillo espaciador y juntas de goma) de la ilustración 99, y se acopla una segunda celda de acrílico con su respectiva rejilla ya acomodada, cabe resaltar que las dos celdas son diferentes una es para el terminal positivo (conector rojo) y la otra es para el terminal negativo (conector negro) y por ultimo colocar las arandelas y tuercas ajustándolas debidamente para evitar filtraciones de las soluciones que van a cada lado ilustración 100.

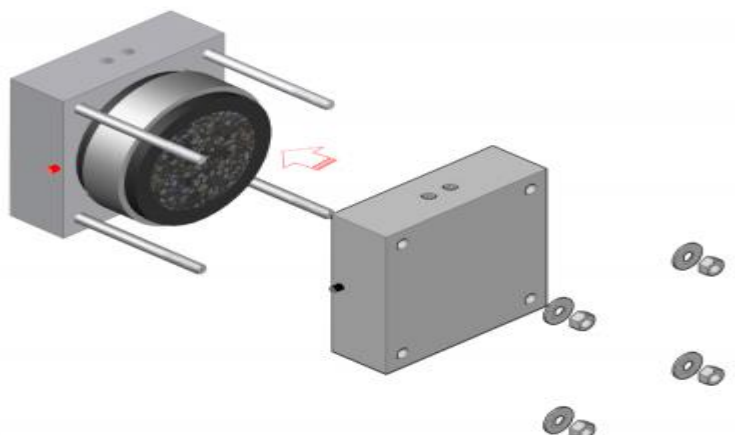


Ilustración 100. Montaje de las celdas de acrílico paso número 3

Fuente: Manual del equipo

Cuando se tienen las cuatro muestras montadas en las celdas de acrílico como se ve en la ilustración 101, se vierten las respectivas soluciones en cada celda ilustración 102, al terminar se conectan los cables positivos con positivos, negativos con negativos y la temperatura se conecta al dispositivo de medición y su sensor se introduce en el terminal negativo de las celdas que corresponden a la solución de 3% NaCl ilustración 103.

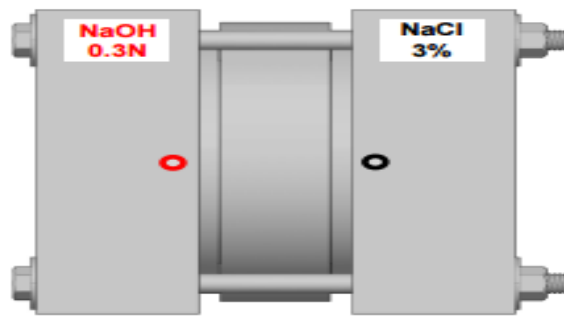


Ilustración 101. Montaje de las celdas de acrílico paso número 4

Fuente: Manual del equipo

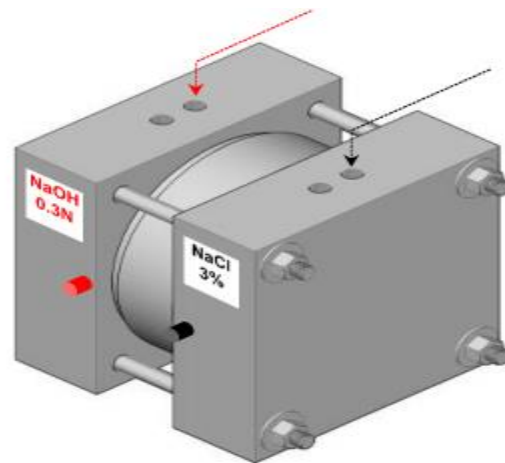


Ilustración 102. Montaje de las celdas de acrílico paso número 5

Fuente: Manual del equipo

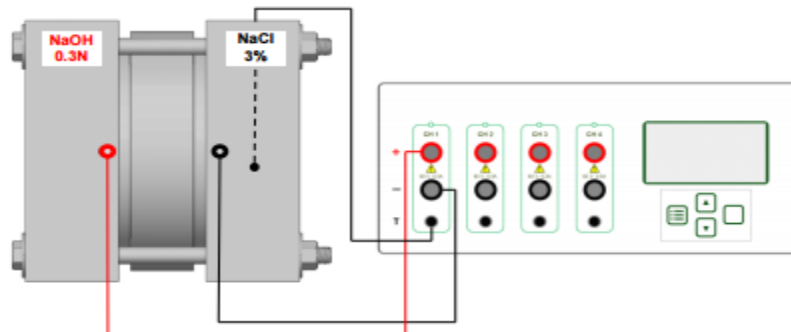


Ilustración 103. Montaje de las celdas de acrílico paso numero 6

Fuente: Manual del equipo

Al tener las cuatro muestras listas con las soluciones en cada celda y conectados todos los cables se enciende el dispositivo de medición y se conecta el cable USB al computador, se abre el programa ilustración 104, y se procede así:

Al abrir la ventana del programa ilustración 105, se presiona “file” después “new project” y se guarda el archivo en el destino de su preferencia, cuando termine de guardar el archivo le vuelve aparecer la ventana del programa, ahí presiona esta vez “start data monitoring” y en el dispositivo de medición presiona “run” en la pantalla del dispositivo se empezara un chequeo en cada celda y saldrá “ok” al reconocerlas, posteriormente empezara la toma de datos durante 6 horas al finalizar el tiempo el dispositivo de medición dará los resultados del ensayo y en el programa de computador se presiona “stop” para generar el archivo guardado en el cual aparecen todos los datos registrados por el programa los cuales se pueden reemplazar en la fórmula de la norma y obtener también el resultado.



Ilustración 104. Programa PERMA DM

Fuente: Propia

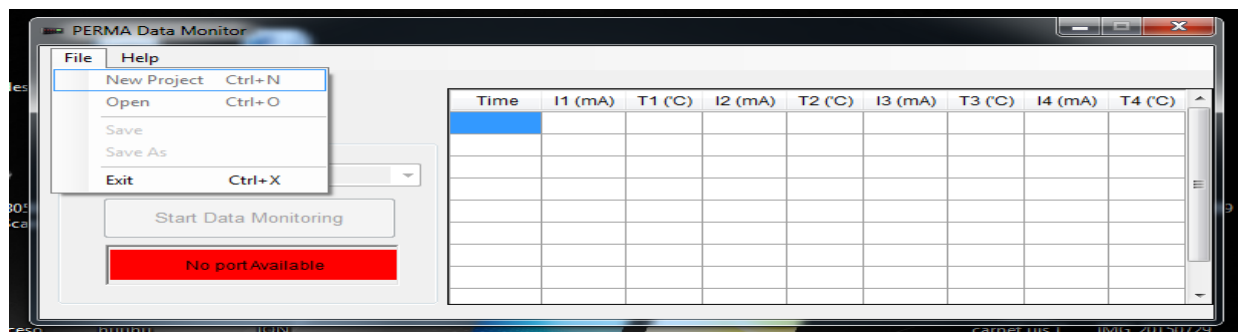


Ilustración 105. Ventana de datos.

Fuente: Propia

8.2 Manual práctico del uso del equipo de permeabilidad

Este paso a paso corresponde al uso del equipo, primero se colocan y aseguran con las tuercas las muestras de concreto, y posteriormente las tapas de las capsulas como se explicó en la elaboración del ensayo en este documento.

En las ilustraciones 106 y 107, se muestran las llaves que se van a utilizar para encender el equipo según se encuentra en el manual del mismo y también su posterior vaciado.

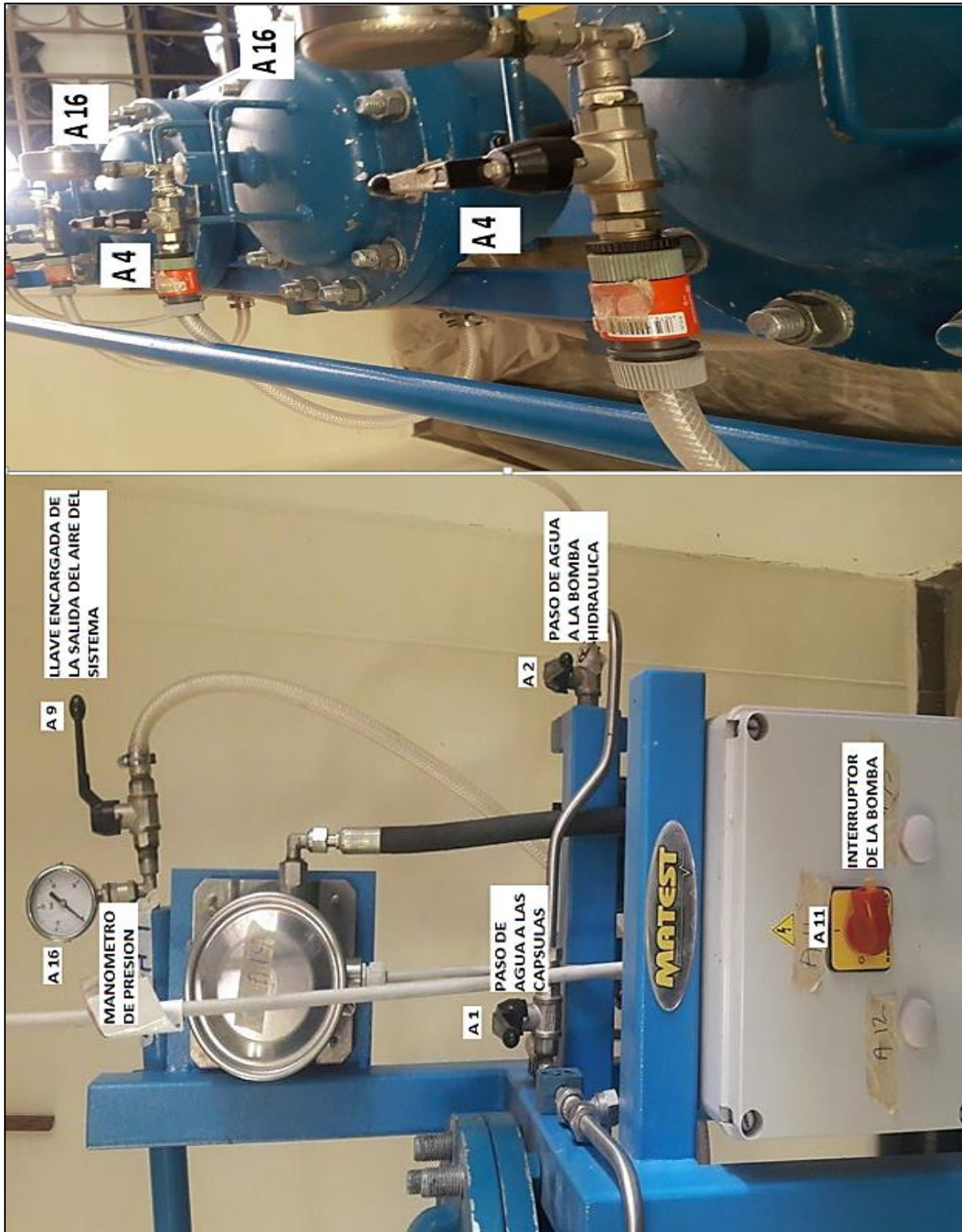


Ilustración 106. Equipo de permeabilidad con el nombre de las llaves

Fuente: Propia



Ilustración 107. Equipo de permeabilidad con el nombre de las llaves

Fuente: Propia

1. Después de colocar las muestras y colocar las capsulas con sus arandelas y tuercas verificar que todas las llaves (**A1, A2, A3, A4, A6, A9 Y A15**) estén cerradas, las llaves

están marcadas con una flecha de dos puntas una punta indica “ON” y la otra indica “OFF”, colocar las llaves en dirección hacia “OFF”, para las llaves A15 en dirección horizontal están cerradas y en dirección vertical abiertas.

2. Cuanto todas las llaves **A1, A2, A3, A4, A6 y A9** estén en la dirección OFF y **A15** este en horizontal, se abre la llave **A1** (dejarla en dirección “ON”) para llenar las capsulas las cuales se llenan una por una de la siguiente forma:

- Para llenar la primera capsula se abren las llaves **A6** y **A4** que corresponde a la primera capsula, la llave **A6** (dejarla en dirección “ON”) permite el paso del flujo de agua a la capsula y la llave **A4** (dejarla en dirección “ON”) corresponde a la salida del aire y agua de la capsula, cuando la capsula se llena, por la manguera conectada a la llave **A4** el agua empieza a salir en ese momento se cierra la llave **A4** (dejarla en dirección “OFF”) y se mantiene la llave **A6** abierta (dejarla en dirección “ON”).
- Para llenar la segunda capsula se abren las llaves **A6** y **A4** que corresponde a la segunda capsula, la llave **A6** permite el paso del flujo de agua a la capsula y la llave **A4** corresponde a la salida del aire y agua de la capsula, cuando la capsula se llena, por la manguera conectada a la llave **A4** el agua empieza a salir en ese momento se cierra la llave **A4** (dejarla en dirección “OFF”) y se mantiene la llave **A6** abierta (dejarla en dirección “ON”).
- Para llenar la tercera capsula se abren las llaves **A6** y **A4** que corresponde a la tercera capsula, la llave **A6** permite el paso del flujo de agua a la capsula y la llave **A4** corresponde a la salida del aire y agua de la capsula, cuando la capsula se llena, por la manguera conectada a la llave **A4** el agua empieza a salir en ese momento se cierra la llave **A4** (dejarla en dirección “OFF”) y se mantiene la llave **A6** abierta (dejarla en dirección “ON”).
- Para llenar la cuarta capsula se abren las llaves **A6** y **A4** que corresponde a la cuarta capsula, la llave **A6** permite el paso del flujo de agua a la capsula y la llave **A4** corresponde a la salida del aire y agua de la capsula, cuando la capsula se llena, por la manguera conectada a la llave **A4** el agua empieza a salir en ese momento se cierra la llave **A4** (dejarla en dirección “OFF”) y se mantiene la llave **A6** abierta (dejarla en dirección “ON”).

- Las llaves **A6** se mantienen siempre abiertas durante el ensayo, terminado el llenado de las capsulas se abre la llave **A10** (dejar en dirección “ON”).
-
- 3. Se abre la llave **A3** (dejarla en dirección “ON”) para sacar el aire atrapado en el sistema, cuando el flujo saliente de agua sea constante en la manguera de drenaje que está ubicada cerca a la llave **A3** se cierra la llave **A3** (dejarla en dirección “OFF”).
- 4. Se abre la llave **A9** (dejarla en dirección “ON”) para sacar el aire atrapado en el las mangueras de aire de las capsulas, cuando el flujo saliente de agua sea constante se cierra la llave (dejarla en dirección “OFF”).
- 5. Se cierra la llave **A1** (dejarla en dirección “OFF”) y se abre la llave **A2** (dejarla en dirección “ON”) la cual permite el paso del agua a la bomba hidráulica.
- 6. Se gira el interruptor de la bomba **A11** hacia la derecha y los manómetros empiezan a subir hasta llegar a la presión calibrada.
- 7. Registrar la hora cuando los manómetros lleguen a la presión calibrada para el ensayo, se abren las llaves **A15** (dejarlas en dirección “vertical”) y se revisa que las juntas de goma (rojas) no tengan tapado el ducto por donde sale el agua hacia las probetas.
- 8. Cuando se obtenga un caudal registrar la hora y el caudal, si se registra en alguna capsula un caudal muy rápido cerrar la llave **A6** (dejarla en dirección “OFF”) correspondiente a esa capsula y dejar que continúe el ensayo con las demás capsulas.
- 9. Al terminar el ensayo se cierra la llave **A2** (dejarla en dirección “OFF”) y se girar el interruptor de la bomba **A11** hacia la izquierda.
- 10. Después se abren en el orden que aparecen, las llaves **A3**, **A9** y **A4** (dejarlas en dirección “ON”) para drenar el sistema.
- 11. Cuando sale el agua del sistema se sueltan las tuercas de las tapas de las capsulas y se retiran con cuidado.
- 12. En el interior de las capsulas todavía se va a encontrar agua depositada, para sacarla se desenroscan los tornillos que aseguran la muestra, cuando sale el agua se sacan las muertas y se deja todo organizado como se encontró antes de empezar el ensayo.

NOTA: Cualquier duda consultar con los laboratoristas.

9. Conclusiones

- Al comparar las gráficas del comportamiento de la resistencia a la compresión vs penetración al ion cloruro se encontró una similitud muy importante que a medida que crece la resistencia a la compresión se disminuyen los valores de penetración al ion cloruro y que la muestra que alcanza la mayor resistencia es la que menor penetración del ion cloruro en valor obtiene.
- La muestra que mejor se comportó de las tres relaciones agua cemento fue la de 0,42, ya que siempre tuvo buenos resultados en todas las edades de los tres ensayos al contrario de la relación mayor que se mantuvo alejada de los resultados idóneos para un concreto duradero y esto se ve reflejado en la prueba de permeabilidad que a los 28 llegó casi al nivel en el que se encontraba la muestra de 0,52 a los 7 días de curado.
- Con respecto a la pregunta del inicio del documento ¿qué tanto puede variar las propiedades del concreto como la permeabilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la penetración del ion cloruro con respecto a la variación de la relación a/c ? La respuesta es que pueden variar mucho a medida que pasa el tiempo de curado, al observar en los extremos de la prueba en las relaciones agua/cemento 0,42 y 0,62 se ven las grandes diferencias que hay mientras una alcanza valores altos de resistencia, la otra no alcanza la resistencia de diseño de la relación patrón a sus 28 días, lo mismo sucede con la penetración de cloruros la una se clasifica en muy baja siendo el mejor resultado y la otra se clasifica en baja con casi 800 Coulombs de diferencia y si se observa la permeabilidad, sabiendo que las dos están clasificadas en permeabilidad alta la diferencia en la gráfica es muy alta.

10. Recomendaciones

- Se debe garantizar durante la fundida que los especímenes de concreto queden bien compactados y sacar muy bien los vacíos de los mismos para no obtener cilindros de baja calidad.
- Para las muestras del ion cloruro realizar un corte uniforme para que las muestras encajen bien en las celdas de acrílico.
- Realizar las dos soluciones que se requieren para el ion cloruro con mucha precaución usando guantes y tapabocas ya que en una se usa soda caustica y su reacción con el agua puede ser peligrosa.
- Para el ensayo de resistencia al ion cloruro al culminar las 6 horas del ensayo no apagar el equipo sin antes tomar de manera manual o tecnológica los datos del resultado del ensayo.
- Para las muestras de permeabilidad realizar un corte uniforme para que las muestras encajen bien en el equipo.
- Impermeabilizar las muestras un tiempo considerable antes de hacer el ensayo para que el impermeabilizante se alcance a secar.
- Leer los manuales del uso de los equipos para los ensayos de permeabilidad y penetración rápida de cloruros.

Bibliografía

(s.f.).

Soler, M. (2009). *La retracción por secado del hormigón. Cálculo. Figuración*. Construction Chemicals.

ANDRADE PARDO, S., & LAMUS BAEZ, F. (2015). *CONCRETO REFORZADO FUNDAMENTOS* (1 ed.). BOGOTA: ECOE EDICIONES.

ARGOS. (4 de octubre de 2016). *argos.co*. Obtenido de <http://www.argos.co/Media/Colombia/images/concreto+agua-cementante-1.pdf>

Castañeda Valdés, A., Días Brito, N., Gonzáles Mellor, E., Martínez Hernández, M., & Corvo Pérez, F. (28 de septiembre de 2016). *EBSCOhost*. Obtenido de EBSCOhost: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=3&sid=fb591abf-0191-4c8e-833c-73632896f750%40sessionmgr2&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=27617674>

Forero Ramírez, S. (24 de septiembre de 2016). *CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA LIDERA LA DEMANDA DE CONCRETO EN EL PAÍS*. Obtenido de CAMACOL: <http://camacol.co/noticias/construcci%C3%B3n-de-vivienda-lidera-la-demanda-de-concreto-en-el-pa%C3%ADs>

García, T., & Horstmann, P. (s.f.).

García, T., & Horstmann, P. (1985). Hormigones y morteros sin retracción. *Revista de obras publicas*, 973 – 996.

Garín, L., Santilli, A., & Pejoja, E. (25 de septiembre de 2016). *Influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón: estudio experimental*. Obtenido de EBSCOhost: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=3&sid=a4823569-3f6c-467e-a5c5-b5addeb7dad2%40sessionmgr1&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=110006300>

Gonzales Sandoval, F. (2004). *Manual de supervicion de obras de concreto*. Limusa noriega editores.

Harmsen, T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. En P. u. Perú. Fondo editorial . Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2007). *CONCRETOS, DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO*. En N. T. NTC. Bogotá, D.C.

- McCORMAN , J., & BROWN, R. (s.f.). Diseño de concreto reforzado. cv mexico: Alfaomega grupo editor s.a.
- PAEZ, A. (1986). *HORMIGON ARMADO*. BARCELONA: REVERTE, S.A.
- PERIODICO EL TIEMPO. (27 de septiembre de 2016). *Producción de concreto creció 6,3%*. Obtenido de CAMACOL: <http://camacol.co/prensa/medios/producci%C3%B3n-de-concreto-creci%C3%B3-63>
- Real Academia de Ingeniería. (7 de octubre de 2016). *Real Academia de Ingeniería*. Obtenido de <http://diccionario.raing.es/es/lema/despasivaci%C3%B3n>
- SANCHEZ DE GUZMAN, D. (2001). TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO. En *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO* (pág. 127). BOGOTA : BHANDAR EDITORES LTDA.
- Santamaría Díaz, N. K., Yamín Lacouture, L. E., & Arcila López, C. A. (27 de septiembre de 2016). *EBSCOhost*. Obtenido de <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=3&sid=2d0ddfc2-6121-4201-8381-16acba20986e%40sessionmgr4009&hid=4104&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=23564868&db=a9h>
- SEPULVEDA REQUENA , M. (s.f.). *PATOLOGIA EN OBRAS DE EDIFICACION*.
- Soler, M. (2009). *La retracción por secado del hormigón*. Cálculo. Figuración. Construction Chemicals.
- Torrado Gómez, L. M. (2016). *Guía para el Laboratorio de Materiales de Construcción*. Bucaramanga: UIS.