

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**INFLUENCIA DEL MATERIAL FINO QUE PASA LA
MALLA No. 100 EN EL CONCRETO ELABORADO CON
CEMENTO TIPO IPM**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

GUILLERMO MARIO LUQUE PAMPAMALLCO

ASESOR

Ing. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ

Lima- Perú

2021

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos”.

Luque Pampamallco, Guillermo Mario

inglp.92@gmail.com

937192852 - 2808058

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor y esfuerzo,
por haber sido mi apoyo a lo largo de
toda mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi cordial agradecimiento al Laboratorio de Ensayos y Materiales y al personal técnico integrante, por el soporte brindado para la realización de ensayos durante este proceso investigativo.

A mi asesor de tesis, el ingeniero Carlos Barzola Gastelú por su apoyo desinteresado, constante y su capacidad para guiar mis ideas. Le agradezco su disponibilidad y los conocimientos transmitidos que han sido un aporte importante para el desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
PRÓLOGO	5
LISTA DE CUADROS	6
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. GENERALIDADES.....	14
1.2. PROBLEMÁTICA.....	15
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. HIPÓTESIS.....	16
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO	17
2.1. AGREGADOS.....	17
2.2. CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO.....	19
2.3. OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA.....	21
CAPÍTULO III. MATERIALES EMPLEADOS	23
3.1. CEMENTO.....	23
3.2. AGREGADO GRUESO.....	23
3.3. AGREGADO FINO.....	25
3.3.1. Agregado fino original.....	25
3.3.2. Obtención de las arenas con distintos porcentajes de material pasante por la malla No. 100.....	27
CAPÍTULO IV. DISEÑO DE MEZCLAS	35
4.1. DISEÑO DE LAS MEZCLAS PATRONES.....	35
4.2. VARIACIÓN DEL TIPO DE ARENA EN LOS DISEÑOS PATRONES.....	38
CAPÍTULO V. ENSAYOS Y RESULTADOS	42

5.1.	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN EL ESTADO FRESCO	42
5.1.1.	Consistencia	42
5.1.2.	Densidad.....	43
5.1.3.	Contenido de aire.....	44
5.1.4.	Exudación	45
5.1.5.	Tiempo de fraguado	47
5.2.	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO ..	49
5.2.1.	Resistencia a la compresión.....	49
5.2.2.	Resistencia a la tracción	53
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	58
	BIBLIOGRAFÍA	59
	ANEXOS	61
	ANEXO A. ANÁLISIS DE COSTOS.....	62
	ANEXO B. CUADROS DETALLADOS.....	68
	ANEXO C. PANEL FOTOGRÁFICO	142
	ANEXO D. CONSTANCIA DE ENSAYOS UNI-LEM.....	146

RESUMEN

La presente tesis estudió la influencia de la cantidad de material fino contenido en la arena sobre el comportamiento del concreto. Para tal efecto y con el propósito de lograr una mejor explicación de la variación de las propiedades del concreto se realizaron ensayos tanto en su estado fresco como en su estado endurecido.

La valoración experimental se desarrolló para mezclas de concreto elaboradas con cemento puzolánico (IPM) y con el uso de 4 tipos de arena (obtenidas a partir de un agregado fino original) cuyo porcentaje de material que pasa por la malla No. 100 se encuentre en rangos de 1 a 2 %, 5 a 6 %, 9 a 10 % y 13 a 14 %. La influencia de estos finos se determinó para relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70.

Con la finalidad de efectuar un análisis comparativo, se consideró tres diseños patrones correspondientes a las tres relaciones a/c y utilizando el agregado fino con escaso material pasante por la malla No. 100 (1 a 2 %). Luego se aumentó esta cantidad manteniendo constante la relación a/c, el asentamiento de 3" a 4" y la proporción arena-piedra en la mezcla.

Los resultados indican que con el progresivo aumento de la cantidad de finos: se incrementa la cantidad de agua requerida para mantener la consistencia, la cantidad de agua exudada disminuye y se adelanta ligeramente el tiempo de fraguado inicial y final. También, la resistencia a la compresión y a la tracción fue mayor para los diseños elaborados con la arena que contiene 5 a 6 % de material que pasa por la malla No. 100. Finalmente, la comparación entre el costo y la resistencia indicó que un contenido de finos entre 1 a 6 % produce un concreto con un mayor beneficio económico.

En conclusión, de acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda el uso de una arena con 1 a 7 % de material pasante por la malla No. 100 para diseños con relaciones a/c entre 0.60 y 0.70, con la posibilidad de aumentarse hasta un 10% cuando la relación a/c es mayor a 0.65 hasta 0.70. No obstante, se repara el hecho de que se deben realizar ensayos para cada tipo de arena y cemento a fin de asegurar el óptimo desempeño del concreto.

ABSTRACT

This thesis studied the influence of the amount of fine material contained in sand on the behavior of concrete. For this purpose and in order to achieve a better explanation of the variation of the properties of the concrete, tests were carried out both in fresh and hardened states of concrete.

The experimental assessment was developed for concrete mixtures made with pozzolanic cement (IPM) and with the use of 4 types of sand (obtained from an original fine aggregate) whose percentage of material that passes through the No. 100 mesh is in ranges from 1 to 2 %, 5 to 6 %, 9 to 10 % and 13 to 14 %. The influence of these fines was determined for w/c ratios of 0.60, 0.65 and 0.70.

In order to carry out a comparative analysis, three standard designs corresponding to the three w/c ratios were considered, using the fine aggregate with little material passing through No. 100 mesh (1 to 2 %). This quantity was then increased, keeping constant the w/c ratio, slump from 3" to 4" and the proportion of fine aggregate/coarse aggregate in the mixture.

The results indicate that with the progressive increase in the amount of fines: the amount of water required to maintain consistency increases, the amount of water exuded decreases and the initial and final setting time is slightly advanced. Also, compressive and tensile strength was higher for designs made with sand that contains 5 to 6 % of material that passes through No. 100 mesh. Finally, the comparison between cost and resistance indicated that a content of fines between 1 to 6 % produces a concrete with a greater economic benefit.

In conclusion, according to the results obtained, the use of a sand with 1 to 7 % of material passing through No. 100 mesh is recommended for designs with w/c ratios between 0.60 and 0.70, with the possibility of increasing up to 10 % when the w/c ratio is greater than 0.65 to 0.70. However, it is suggested that tests be carried out for each type of sand and cement in order to ensure optimum concrete performance.

PRÓLOGO

El concreto es un material que reviste gran importancia en el campo de la construcción, por ende, es necesario investigar los factores que alteran su comportamiento. Hoy en día es usual encontrar canteras que proporcionan agregados con un escaso y a veces ningún control de calidad; en el caso de la arena, particularmente cuando procede de canteras de cerro, se presenta sucia, con altos contenidos de material fino que exceden los límites permitidos por la normatividad.

Es en esta coyuntura que el tesista plantea la presente investigación para dar a conocer los efectos positivos o negativos que puede tener el contenido de finos de la arena sobre las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido, siendo especialmente importante la evaluación de la resistencia a la compresión.

Para llevar a cabo el estudio, el tesista realizó una serie de pruebas en Laboratorio para concretos elaborados con diferentes relaciones a/c y diferentes porcentajes de material fino contenido en la arena, a fin de obtener una mejor comprensión de la influencia que se produce. La tesis comprueba que se debe usar una arena que contiene de 1 a 7 % de material pasante por la malla No. 100 para elaborar un concreto con mejores propiedades y mayor beneficio económico.

En atención al desarrollo de este trabajo, considero que la investigación realizada por el Bachiller Guillermo Luque, seguirá animando a nuevas experiencias y podrá ser útil no solo a los futuros estudiantes, sino también a todos los profesionales involucrados en el diseño de mezclas de concreto.

Ing. Carlos A. Barzola Gastelú
Asesor

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del cemento	23
Cuadro 2. Propiedades físicas del agregado grueso.....	24
Cuadro 3. Granulometría del agregado grueso.....	24
Cuadro 4. Granulometría de la arena (agregado fino original)	26
Cuadro 5. Análisis granulométrico del agregado fino mayor que la malla No. 50.....	27
Cuadro 6. Análisis granulométrico del agregado fino menor que la malla No. 50.....	28
Cuadro 7. Combinaciones teóricas para la obtención de los distintos tipos de arena	29
Cuadro 8. Combinaciones finales para la obtención de los distintos tipos de arena	29
Cuadro 9. Granulometría de la arena A 1-2	30
Cuadro 10. Granulometría de la arena A 5-6	31
Cuadro 11. Granulometría de la arena A 13-14	32
Cuadro 12. Resumen del análisis granulométrico para los diferentes tipos de arena	34
Cuadro 13. Propiedades físicas de los 4 tipos de agregado fino.....	34
Cuadro 14. Granulometría del agregado global	37
Cuadro 15. Diseño de mezcla final ($a/c=0.60$)	39
Cuadro 16. Diseño de mezcla final ($a/c=0.65$)	40
Cuadro 17. Diseño de mezcla final ($a/c=0.70$)	41
Cuadro 18. Variación de la demanda de agua (L) para 1 m ³ de concreto	42
Cuadro 19. Variación de la densidad del concreto fresco (kg/m ³)	43
Cuadro 20. Resultados del ensayo de contenido de aire	45
Cuadro 21. Variación de la capacidad de exudación	45
Cuadro 22. Variación del tiempo de fraguado inicial (h:min)	47
Cuadro 23. Variación del tiempo de fraguado final (h:min).....	48
Cuadro 24. Variación de la resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm ²) ...	49

Cuadro 25. Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²) .	50
Cuadro 26. Variación de la resistencia a la compresión a los 56 días (kg/cm ²) .	51
Cuadro 27. Variación de la resistencia a la tracción a los 28 días (kg/cm ²)	53
Cuadro 28. Costo por m ³ de concreto elaborado con el tipo de arena A 1-2 (patrón)	62
Cuadro 29. Costo por m ³ de concreto elaborado con el tipo de arena A 5-6	63
Cuadro 30. Costo por m ³ de concreto elaborado con el tipo de arena A 9-10 ...	63
Cuadro 31. Costo por m ³ de concreto elaborado con el tipo de arena A 13-14 .	64
Cuadro 32. Variación del costo por variación del contenido de finos de la arena	64
Cuadro 33. Variación del costo por variación del contenido de finos de la arena, fijado para una resistencia patrón.	67
Cuadro 34. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	68
Cuadro 35. Peso unitario suelto del agregado grueso	68
Cuadro 36. Peso unitario compactado del agregado grueso.....	68
Cuadro 37. Contenido de humedad del agregado grueso.....	69
Cuadro 38. Cantidad de material que pasa la malla No. 200 del agregado grueso	69
Cuadro 39. Análisis granulométrico del del agregado grueso	69
Cuadro 40. Peso específico y absorción de los 4 tipos de arena	70
Cuadro 41. Peso unitario suelto de los 4 tipos de arena	71
Cuadro 42. Peso unitario compactado de los 4 tipos de arena	72
Cuadro 43. Contenido de humedad de los 4 tipos de arena	73
Cuadro 44. Impurezas orgánicas en el agregado fino original.....	73
Cuadro 45. Análisis granulométrico de la arena A 1-2	74
Cuadro 46. Análisis granulométrico de la arena A 5-6	75
Cuadro 47. Análisis granulométrico del agregado fino original (A 9-10)	76
Cuadro 48. Análisis granulométrico de la arena A 13-14	77
Cuadro 49. Análisis granulométrico del agregado fino mayor que la malla No. 50.....	78

Cuadro 50. Análisis granulométrico del agregado fino menor que la malla No. 50.....	78
Cuadro 51. Peso unitario compactado para distintas rf.....	79
Cuadro 52. Resistencia a la compresión a los 7 días para determinar la rf óptima	80
Cuadro 53. Diseño de mezcla patrón para la relación a/c de 0.60	81
Cuadro 54. Diseño de mezcla patrón para la relación a/c de 0.65	82
Cuadro 55. Diseño de mezcla patrón para la relación a/c de 0.70	83
Cuadro 56. Densidad del concreto fresco para los distintos diseños.....	84
Cuadro 57. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 1-2; M1).....	85
Cuadro 58. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 1-2; M2).....	86
Cuadro 59. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 5-6; M1).....	87
Cuadro 60. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 5-6; M2).....	88
Cuadro 61. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 9-10; M1).....	89
Cuadro 62. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 9-10; M2).....	90
Cuadro 63. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 13-14; M1).....	91
Cuadro 64. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 13-14; M2).....	92
Cuadro 65. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 1-2; M1).....	93
Cuadro 66. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 1-2; M2).....	94
Cuadro 67. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 5-6; M1).....	95
Cuadro 68. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 5-6; M2).....	96
Cuadro 69. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 9-10; M1).....	97
Cuadro 70. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 9-10; M2).....	98
Cuadro 71. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 13-14; M1).....	99
Cuadro 72. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 13-14; M2).....	100
Cuadro 73. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 1-2; M1).....	101
Cuadro 74. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 1-2; M2).....	102
Cuadro 75. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 5-6; M1).....	103
Cuadro 76. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 5-6; M2).....	104
Cuadro 77. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 9-10; M1).....	105

Cuadro 78. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 9-10; M2).....	106
Cuadro 79. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 13-14; M1).....	107
Cuadro 80. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 13-14; M2).....	108
Cuadro 81. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.60; A 1-2).....	109
Cuadro 82. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.60; A 5-6).....	110
Cuadro 83. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.60; A 9-10).....	111
Cuadro 84. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.60; A 13-14).....	111
Cuadro 85. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.65; A 1-2).....	113
Cuadro 86. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.65; A 5-6).....	114
Cuadro 87. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.65; A 9-10).....	115
Cuadro 88. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.65; A 13-14).....	116
Cuadro 89. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.70; A 1-2).....	117
Cuadro 90. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.70; A 5-6).....	118
Cuadro 91. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.70; A 9-10).....	119
Cuadro 92. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.70; A 13-14).....	120
Cuadro 93. Resistencia a la compresión (7 días) para la relación a/c de 0.60 y los cuatro tipos de arena.....	121
Cuadro 94. Resistencia a la compresión (7 días) para la relación a/c de 0.65 y los cuatro tipos de arena.....	122
Cuadro 95. Resistencia a la compresión (7 días) para la relación a/c de 0.70 y los cuatro tipos de arena.....	123
Cuadro 96. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.60; A 1-2)	124
Cuadro 97. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.60; A 5-6)	125
Cuadro 98. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.60; A 9-10)	126
Cuadro 99. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.60; A 13-14)	127
Cuadro 100. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.65; A 1-2)	128
Cuadro 101. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.65; A 5-6)	129
Cuadro 102. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.65; A 9-10)	130
Cuadro 103. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.65; A 13-14) ...	131
Cuadro 104. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.70; A 1-2)	132

Cuadro 105. Resistencia a la compresión a los 28 días ($a/c=0.70$; A 5-6)	133
Cuadro 106. Resistencia a la compresión a los 28 días ($a/c=0.70$; A 9-10)	134
Cuadro 107. Resistencia a la compresión a los 28 días ($a/c=0.70$; A 13-14) ...	135
Cuadro 108. Resistencia a la compresión (56 días) para la relación a/c de 0.60 y los cuatro tipos de arena	136
Cuadro 109. Resistencia a la compresión (56 días) para la relación a/c de 0.65 y los cuatro tipos de arena	137
Cuadro 110. Resistencia a la compresión (56 días) para la relación a/c de 0.70 y los cuatro tipos de arena	138
Cuadro 111. Resistencia a la tracción (28 días) para la relación a/c de 0.60 y los cuatro tipos de arena	139
Cuadro 112. Resistencia a la tracción (28 días) para la relación a/c de 0.65 y los cuatro tipos de arena	140
Cuadro 113. Resistencia a la tracción (28 días) para la relación a/c de 0.70 y los cuatro tipos de arena	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva granulométrica del agregado grueso	25
Figura 2. Curva granulométrica de la arena (agregado fino original).....	26
Figura 3. Curva granulométrica de la arena A 1-2.....	30
Figura 4 Curva granulométrica de la arena A 5-6.....	31
Figura 5. Curva granulométrica de la arena A 13-14.....	32
Figura 6. Curva granulométrica de los 4 tipos de arena	33
Figura 7. Peso unitario compactado del agregado global a diferentes relaciones de agregado fino.....	36
Figura 8. Resistencia a la compresión a los 7 días a distintas r_f	36
Figura 9. Curva granulométrica del agregado global.....	38
Figura 10. Variación de la demanda de agua por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100.....	43
Figura 11. Variación de la densidad del concreto fresco por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100	44
Figura 12. Variación de la capacidad de exudación por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100	46
Figura 13. Variación del tiempo de fraguado inicial por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100	47
Figura 14. Variación del tiempo de fraguado final por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100.....	48
Figura 15. Variación de la resistencia a la compresión a los 7 días por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100.....	50
Figura 16. Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100.....	51
Figura 17. Variación de la resistencia a la compresión a los 56 días por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100.....	52
Figura 18. Variación de la resistencia a la tracción a los 28 días por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100	54
Figura 19. Comparación entre el costo y la resistencia del concreto con a/c de 0.60 para diferentes cantidades de material pasante por la malla No. 100 ...	65

Figura 20. Comparación entre el costo y la resistencia del concreto con a/c de 0.65 para diferentes cantidades de material pasante por la malla No. 100 ... 65

Figura 21. Comparación entre el costo y la resistencia del concreto con a/c de 0.70 para diferentes cantidades de material pasante por la malla No. 100 ... 66

Figura 22. Área de agregados (preparación y evaluación de las propiedades del agregado grueso)..... 142

Figura 23. Área de agregados (preparación y evaluación de las propiedades del agregado fino)..... 143

Figura 24. Área de mezclado (evaluación de las propiedades del concreto fresco y elaboración de probetas)..... 144

Figura 25. Curado de probetas y ensayos para determinar la resistencia mecánica del concreto 145

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

- A : Área
a/c : Relación agua/cemento (en masa)
D : Diámetro
f'c : Resistencia a la compresión
t(°C) : Temperatura Celcius
rf : Relación de agregado fino
S : Desviación estándar
S/ : Sol (unidad monetaria Sol)
μ : Media

SIGLAS

- ACI : American Concrete Institute
ASTM : American Society for Testing and Materials
BS : British Standards
CSA : Canadian Standards Association
DIN : Deutsches Institut für Normung
NTP : Normas Técnicas Peruanas
SANS : South African National Standard
CV : Coeficiente de variación
MF : Módulo de finura
PE : Peso específico
PUC : Peso unitario compactado
PUS : Peso unitario suelto
RIQ : Rango intercuartílico
RP : Resistencia a la penetración
TMN : Tamaño máximo nominal

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

En el análisis granulométrico de un agregado, se entiende como material que pasa la malla No. 100, aquella que contiene partículas cuyos diámetros son menores a 150 micrómetros (0.150 mm). Este material fino está constituido principalmente de impurezas orgánicas, arcillas, limos y polvo, los cuales pueden estar adheridos a las partículas de mayor tamaño o pueden aparecer en forma de partículas sueltas. Dependiendo del origen y cantidad, su presencia advierte efectos en el comportamiento del concreto, ya sea, interfiriendo con las reacciones químicas de hidratación del cemento (impurezas), o dificultando la adherencia entre la pasta y el agregado (recubrimiento), o variando la cantidad de agua requerida debido a su finura y capacidad de lubricación (Neville, 1999).

Diferentes estándares normativos recomiendan límites mínimos y máximos para el control de la cantidad de este material en el agregado fino. La norma americana ASTM C33 y canadiense CSA A23.1 sugieren entre un 2 y 10 % para este tamaño, la norma británica BS 882 la especifica entre 0 y 15 %, mientras que la norma sudafricana SANS 1083 lo restringe entre 5 y 25 % (Alexander y Mindess, 2005). Las diferencias en los límites porcentuales reflejan ajustes que han sido valorados en base a las experiencias propias de cada realidad. Por otro lado, la NTP 400.037 permite una cantidad de 0 a 10 % para esta fracción de agregado.

Mediante investigaciones se ha establecido que la existencia del contenido de material fino en el agregado que conforma el concreto influye en sus propiedades, mejorándolas al usar una cantidad determinada de finos. La investigación de Muñoz y Oreamuno (1995) demuestra la influencia de los finos pasando la malla No. 200 en mezclas de concreto elaboradas con cemento MC (modificado con caliza) y cemento IP. Tovar (1997) recomienda el uso de una arena con un contenido de material pasante por la malla No. 100 entre 8 y 15 % para relaciones a/c entre 0.65 y 0.75. Jia, He, Pan, Hui, Ling and Collins (2013) estudiaron el efecto de la cantidad de partículas muy finas, menores a 175 μm , presentes en arena de dunas (VPF) sobre las propiedades del concreto y realizaron una comparación de los concretos elaborados con arena dunar (DSC) y los concretos elaborados con arena de río (RSC). Paa-Kofi y Asiedu-Addo (2018) obtuvieron mejores

resistencias para las mezclas con arenas que contienen 4 % de material que pasa por la malla No. 200 para relaciones a/c entre 0.55 y 0.70.

1.2. PROBLEMÁTICA

El concreto es un material que forma parte de la mayoría de las obras en el campo de la construcción, por ende, prestar atención a los factores que afectan su comportamiento es de suma importancia. Entre estos factores está el contenido de finos de la arena, cuya cantidad se encuentra regulada por diferentes normas. Sin embargo, en estos días se utilizan arenas de canteras cuyo proceso de explotación se lleva a cabo con un mínimo y a veces ningún control de calidad, por tanto, expenden un agregado fino que presenta diferentes características y cantidades de partículas finas; particularmente se está extrayendo agregados provenientes de canteras de cerro, los cuales muchas veces contienen material pasante por la malla No. 100 en porcentajes que rebasan los límites normativos. Otras veces se obtiene el agregado fino por voladura de roca, cuyo polvo es usado como arena, no obstante, este material presenta gran cantidad de finos que pasan la malla No. 100, mayores al 15 %.

Por otro lado, la concepción del máximo aprovechamiento de los recursos energéticos y la reducción de los costos de producción ha motivado el uso de los cementos adicionados de manera muy extendida (alrededor del 85 % a nivel mundial); en el Perú las industrias cementeras ya vienen fabricando cada vez más tipos y en mayores volúmenes estos cementos, siendo uno de ellos el cemento portland IPM.

En virtud de lo mencionado y ante la insuficiencia de información sobre el comportamiento del concreto elaborado con este tipo de cemento y agregados nacionales, determinar el efecto que tiene la cantidad de finos puede conducir a un mejor entendimiento de la función que estos ejercen y los beneficios o desventajas que resultan de su inclusión.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la variación de la cantidad de material fino que pasa por la malla No. 100 de la arena sobre las propiedades del concreto, tanto en

estado fresco como en estado endurecido, elaborado con relación a/c de 0.60, 0.65, 0.70 y usando cemento tipo IPM.

1.3.2. Objetivos específicos

Analizar la influencia de la cantidad de material que pasa por la malla No. 100 presente en la arena, sobre las propiedades del concreto en su estado fresco, tales como: consistencia, densidad, contenido de aire, exudación y tiempo de fraguado.

Determinar la influencia de la cantidad de material que pasa por la malla No. 100 presente en la arena, sobre las propiedades del concreto en su estado endurecido, tales como: resistencia a la tracción y en especial la resistencia a la compresión.

Determinar el porcentaje de finos mínimo y máximo de material pasante por la malla No. 100 que debe contener la arena, cuyo efecto no altere significativamente las propiedades del concreto estudiadas.

1.4. HIPÓTESIS

La mayor o menor cantidad de material fino que pasa por la malla No. 100 presente en la arena modifica las propiedades del concreto en su estado fresco y en su estado endurecido; para las relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. AGREGADOS

El agregado es un conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial utilizado como constituyente del concreto o mortero. En esta investigación se emplea agregados naturales, siendo este material de uso frecuente; en general son materiales granulares duros, no cohesivos y de diferentes tamaños.

Para elaborar concreto, regularmente se utilizan dos fracciones de agregados, una gruesa y otra fina, que se definen de la siguiente manera:

- Agregado Fino

Es aquel agregado que pasa a través del tamiz de 9.51 mm (malla de 3/8"), que pasa casi por completo el tamiz de 4,75 mm (malla No. 4) y que queda retenido en su mayoría por el tamiz de 75 μ m (malla No. 200) (ASTM C125, 2015).

- Agregado grueso

Es el agregado que queda retenido en su mayoría por el tamiz de 4.75 mm (malla No. 4) (ASTM C125, 2015)

- Importancia de los agregados

A pesar de la cantidad de agregados utilizados para elaborar el concreto, su influencia a veces se pasa por alto al ser considerados solo como rellenos. Sin embargo, actualmente existen incontables estudios que revelan su importancia ya que en principio proporcionan estabilidad volumétrica y durabilidad.

Comprender el papel de los agregados es fundamental para convertir al concreto en un material de ingeniería, estos tienen una mayor influencia en el comportamiento del concreto en su estado fresco. No obstante, los agregados también tienen efectos importantes en el comportamiento del concreto en su estado endurecido. Según diversos investigadores, indican que aparte de la textura y la forma, el módulo de elasticidad de los agregados es la propiedad que más afecta la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto (Alexander y Mindess, 2005).

Los efectos mencionados deben separarse de las características del agregado que influyen en el requerimiento de agua y, en consecuencia, en la resistencia;

como la forma, la textura de la superficie, la granulometría y el tamaño máximo del agregado.

Por otra parte, el enfoque de la importancia de las cualidades del agregado en su conjunto (agregado grueso más agregado fino) ha dado origen a la noción del agregado global. Más adelante se describe la relevancia de este concepto.

- Propiedades físicas de los agregados

En esta investigación las definiciones se basarán en las Normas Técnicas Peruanas con mención de sus equivalentes normas ASTM.

Granulometría (NTP 400.012 y ASTM C 136)

Es la distribución del tamaño de las partículas del agregado que generalmente se reporta de mayor a menor dimensión por un porcentaje en peso del material que pasa o que es retenido en los diferentes tamices. Los requisitos de gradación (granulometría) y calidad de los agregados se establecen en la NTP 400.037 y ASTM C33.

Densidad (peso específico) y Absorción (NTP 400.022/ ASTM C128 y NTP 400.021/ ASTM C 127)

La densidad es la relación de la masa por unidad de volumen (este volumen incluye el espacio ocupado por los poros internos, pero excluye los vacíos entre partículas). Tanto los poros como la superficie de cada partícula pueden o no contener agua, lo que origina variación en la masa, es por eso que la densidad se determina con un contenido de humedad fijo. Se definen cuatro condiciones de humedad: saturado, secado al aire, saturado superficialmente seco, y secado al horno; estos dos últimos se utilizan como base para los cálculos de esta propiedad. Así, se desprenden los siguientes conceptos:

Densidad seca (OD): es la relación de la masa de agregado seco en horno y el volumen (incluido el volumen de poros permeables e impermeables dentro de las partículas)

Densidad saturada superficialmente seca (SSD): es la relación de la masa de agregado saturado superficialmente seco y el volumen (incluido el volumen de poros permeables e impermeables dentro de las partículas)

Densidad aparente: se refiere a la densidad, incluido el agua contenida en los poros impermeables, pero excluyendo la de los poros permeables (o capilares).

La absorción es una propiedad que mide la capacidad del aumento en la masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas al estar sometido a saturación durante un período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas.

Contenido de Humedad (NTP 339.185 y ASTM C 566)

Se han descrito anteriormente los diversos estados de humedad en los que puede existir un agregado. Sin embargo, los agregados almacenados en el trabajo rara vez se encuentran en el estado saturado superficialmente seco o en condición seca, por lo general llevan algo de humedad en sus poros o en su superficie que se convierte en parte del agua de la mezcla. El contenido de humedad se define entonces como la cantidad de agua que posee una masa de agregado en estado natural en un momento determinado.

Peso unitario (NTP 400.017 y ASTM C 29/C 29M)

Es la masa por unidad de volumen ocupado por el conjunto de partículas del agregado a granel en condiciones secas. Esta propiedad depende del empaquetamiento de las partículas, de esta manera dos medidas prácticas son el peso unitario suelto y el peso unitario compactado, siendo este último el de mayor importancia para el concreto.

2.2. CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO

- Cemento Portland

Es un cemento hidráulico constituido exclusivamente a base de Clinker con una pequeña proporción de sulfato cálcico como una adición durante la molienda.

El Clinker es un producto creado en los hornos de las fábricas de cemento a partir de los componentes de las materias primas calizas y arcillosas. Está compuesto por silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, cal libre, compuestos magnésicos y alcalinos.

La constitución química del Clinker y la finura del molido son los responsables tanto en cuanto a resistencias como en cuanto a estabilidad y a durabilidad, mientras que el sulfato cálcico actúa como regulador del fraguado.

- Cemento Portland puzolánico

Es un producto que resulta de la molienda conjunta de Clinker de cemento portland normal y material puzolánico o por molienda separada y posterior mezclado de estos mismos materiales.

La puzolana es un material silíceo o sílico-aluminoso la cual, por sí misma posee poca o ninguna propiedad hidráulica; pero que finamente dividida y en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ordinaria para formar compuestos con propiedades hidráulicas (NTP 334.090).

Las puzolanas se dividen en dos grandes grupos:

- Puzolanas naturales:

Pueden ser de origen mineral conformado por rocas volcánicas de diversa naturaleza o de origen orgánico como la tierra de diatomeas.

- Puzolanas artificiales:

Son principalmente subproductos derivados de la fabricación industrial; dos de ellos sobresalen por su performance y uso:

La ceniza volante (fly-ash), procedente de la combustión del carbón (humo) en las centrales termoeléctricas. Es la puzolana artificial más usada a nivel mundial, existen de varios tipos más o menos eficientes. No requiere molienda debido a su finura, lo cual la hace muy apreciada.

La microsílíce (silica fume), muy activa y fina, en promedio cien veces más fina que el cemento, se obtiene como subproducto de las industrias que fabrican silicio o ferrosilicio. Debido a su gran finura y actividad, se usan en la preparación de concretos de alta resistencia.

Por otro lado, al margen del ahorro energético que supone para su producción, el uso de los cementos portland puzolánicos es cada vez más extendido por ofrecer algunas ventajas técnicas adicionales frente al cemento portland normal. Entre las principales propiedades cabe destacar las siguientes:

- Disminución del calor en la hidratación, como consecuencia se reduce la tendencia a la fisuración por retracción térmica.

- Inicialmente presentan un endurecimiento lento, pero luego las discrepancias mecánicas disminuyen logrando resistencias iguales o superiores a las de los portland de categoría equivalente.
- Resistencia al ataque de sulfatos, al disminuir la cantidad de cal liberada que propicia la alcalinidad y un ambiente adecuado para el desarrollo de reacciones perniciosas.
- Mayor impermeabilidad evitando la tendencia al deslavado de la cal por aguas puras, o su disolución por ataque de aguas carbónicas agresivas.
- Atenuación de la expansión debida a la reacción del árido (reactivo) y los álcalis.
- Mayor capacidad de fluencia bajo carga antes de la rotura, por la naturaleza de sus productos hidratados.

Todas estas características ponen en evidencia que los cementos puzolánicos pueden tener indistintamente los mismos usos y aplicaciones generales que los portland tradicionales, y algunos otros específicos en casos determinados.

2.3. OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA

Se conoce como diseño de mezclas a la selección de las proporciones de agua, cemento, agregados y opcionalmente aditivos, que integran una unidad cúbica de concreto.

El punto de vista general en el diseño sigue los fundamentos conocidos de la economía de la mezcla: maximice los componentes más baratos y minimice los más costosos, al mismo tiempo que se proporciona el mejor comportamiento para el concreto que se requiere.

El agregado es el componente menos costoso del concreto, por consiguiente, optimizar el diseño implica optimizar el uso de los agregados. Un factor clave en esta discusión es la compacidad del agregado en su conjunto, es decir del agregado global. Si se puede empaquetar más volumen de agregado en cierto volumen de concreto se requerirá menos pasta para llenar los vacíos. Como resultado se obtiene un concreto menos costoso y con menos problemas de durabilidad, generación de calor, porosidad y contracción que ocasiona la pasta.

La investigación muestra que existe una relación clara entre la forma, la textura y la granulometría de los agregados con el contenido de vacíos de los agregados (De Larrard, 1999; Dewar, 1999). Estas propiedades que no son tomados en

cuenta generalmente en los métodos de dosificación, pero que tienen un efecto significativo en el comportamiento del concreto, se incorporan mediante el concepto de compacidad.

Por otro lado, la trabajabilidad del concreto cambia significativamente con la granulometría. Las mezclas con alto contenido de vacíos requieren más pasta para un nivel dado de trabajabilidad.

Por todo lo mencionado anteriormente minimizar el contenido de vacíos de agregados debe ser uno de los objetivos de la optimización de mezclas de concreto. Finalmente, las proporciones de agregado fino y grueso que producen una compacidad máxima se estiman en función de alguna propiedad, en esta investigación se tomó como referencia la resistencia a la compresión.

CAPÍTULO III. MATERIALES EMPLEADOS**3.1. CEMENTO**

Las mezclas de concreto fueron elaboradas con Cemento Portland Tipo IPM, fabricado por la compañía UNACEM S.A.A. Cumple con las especificaciones de la Norma Técnica Peruana 334.090 y la Norma Técnica Americana C - 595.

Formato : Bolsas de 42.5 Kg con 4 pliegos (3 de papel + 1 film plástico).

Apariencia : Polvo gris verdusco o gris acanelado y con tonalidad rosácea.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del cemento

Parámetro	Unidad	Valor	Requisitos NTP 334.090
Contenido de aire	-	5.04 %	máximo 12
Expansión autoclave	-	-0.01 %	máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	451	no especifica
Densidad	g/ml	3.00	no especifica
Resistencia a la compresión			
3 días	kg/cm ²	204	mínimo 133
7 días	kg/cm ²	264	mínimo 204
28 días	kg/cm ²	370	mínimo 255
Tiempo de fraguado			
Vicat inicial	min	144	mínimo 45
Vicat final	min	285	máximo 420
Composición química			
MgO	-	1.85 %	máximo 6.0
SO₃	-	2.77 %	máximo 4.0
Pérdida al fuego	-	3.85 %	máximo 5.0
Residuo insoluble	-	17.57 %	no especifica
Calor de Hidratación a 7 días	cal/g	62.12 %	máximo 70
Resistencia al ataque de sulfatos	-	0.03 %	0.10 % máx. a 180 días

Fuente: <https://www.unacem.com.pe>

3.2. AGREGADO GRUESO

Proviene de la cantera de Carapongo, ubicado en el distrito de Lurigancho, Lima. El agregado es producto de piedra de cantera triturada. La piedra es de forma cúbica-angulosa y textura rugosa, con presencia de partículas subredondeadas.

Se realizaron los ensayos para conocer las propiedades físicas del agregado conforme a la Normas Técnicas Peruanas. Los valores presentados a continuación son el resultado del promedio de varios ensayos (ver anexo C).

Cuadro 2. Propiedades físicas del agregado grueso

Descripción	Unidad	Valor del resultado
Módulo de finura	-	7.43
Tamaño máximo nominal	-	1"
Densidad seca	g/cm ³	2.70
Densidad s.s.s.	g/cm ³	2.72
Densidad aparente	g/cm ³	2.74
Peso unitario suelto	kg/m ³	1409
Peso unitario compactado	kg/m ³	1552
Contenido de humedad	-	0.27 %
Absorción	-	0.46 %

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. Granulometría del agregado grueso

TAMIZ	Masa retenida (g)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
1"	145.6	1.2	1.2	98.8
3/4"	5311.6	44.3	45.5	54.5
1/2"	4785.9	39.9	85.4	14.6
3/8"	1498.6	12.5	97.8	2.2
No. 4	223.3	1.9	99.7	0.3
Fondo	34.8	0.3	100.0	0.0
Σ	12000.0			

% material que pasa la malla No. 200	0.33 %
---	---------------

Fuente: Elaboración propia

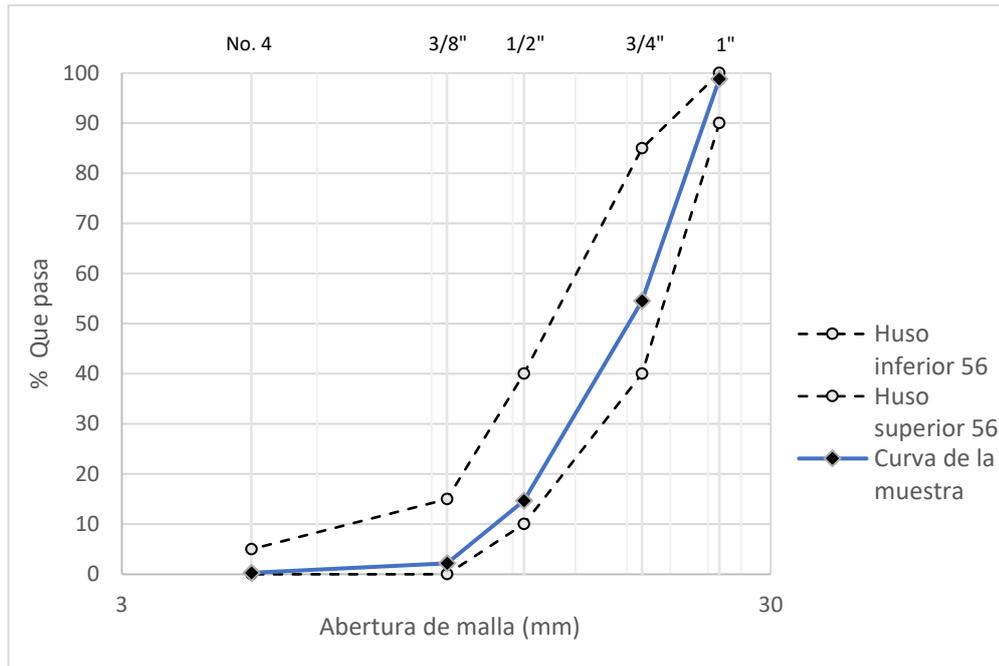


Figura 1. Curva granulométrica del agregado grueso
Fuente: Elaboración propia

3.3. AGREGADO FINO

3.3.1. Agregado fino original

Proviene de la cantera de Cieneguilla, ubicado en el Cuadrángulo de Lurín (25-j), distrito de Cieneguilla, Lima. Es una arena con un contenido inocuo de impurezas orgánicas, de acuerdo a la prueba colorimétrica de la NTP 400.024.

Se realizó los ensayos conforme a lo establecido en la NTP 400.012 y NTP 400.018 para conocer las condiciones granulométricas naturales y con la finalidad de plantear las gradaciones correspondientes a los distintos porcentajes de material que pasa a través de la malla No. 100.

La arena obtenida se clasifica como gruesa ($MF = 3.30$), pero con un alto contenido de finos pasando la malla No. 100 (9.7 %) y malla No. 200 (4.8 %). Así se decidió establecer esta arena como uno de los cuatro tipos a estudiar, por dos motivos: la cantidad de finos existente pertenece a su condición natural (de cantera) y porque los valores porcentuales de finos corresponden al límite superior de la normativa peruana. Luego se eligieron los otros porcentajes:

1 a 2 : por ser una arena con escaso contenido de finos (definida en base a los resultados obtenidos en laboratorio)

5 a 6 : como un rango intermedio entre la arena original y la arena de 1 a 2 %.
13 a 14 : por lo común de encontrar valores iguales o mayores a este porcentaje en agregados finos procedente de cantera de cerro.

Cuadro 4. Granulometría de la arena (agregado fino original)

TAMIZ	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	0.0	0.0	100.0
No. 4	6.4	6.4	93.6
No. 8	22.6	29.0	71.0
No. 16	22.4	51.5	48.5
No. 30	19.1	70.5	29.5
No. 50	12.0	82.6	17.4
No. 100	7.8	90.3	9.7
No. 200	4.9	95.2	4.8
>No. 200	4.8	100.0	0.0

MF= 3.30

Fuente: Elaboración propia

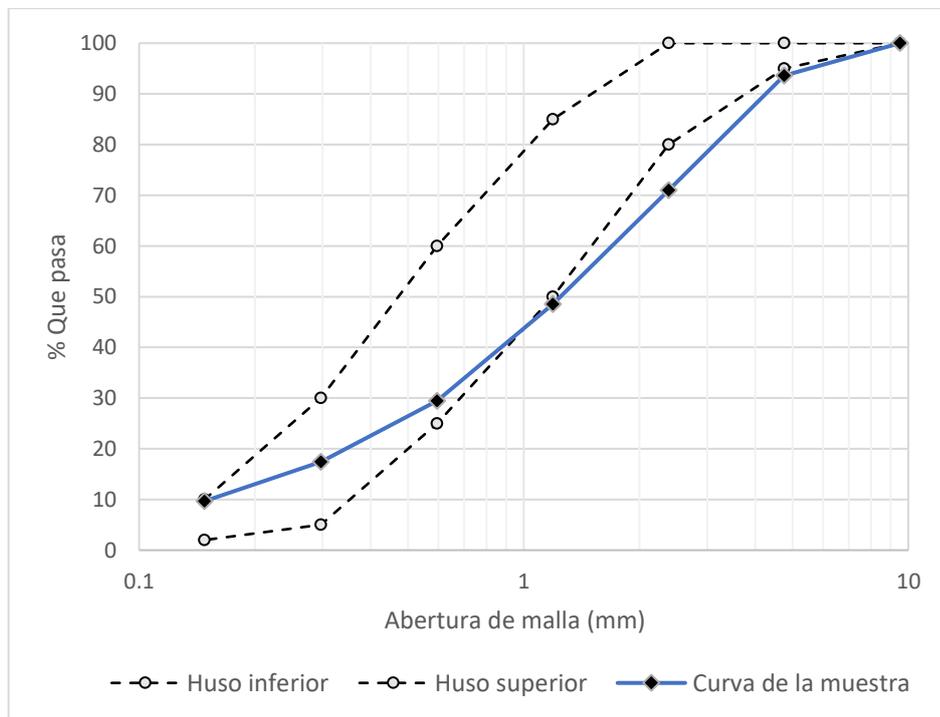


Figura 2. Curva granulométrica de la arena (agregado fino original)
Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Obtención de las arenas con distintos porcentajes de material pasante por la malla No. 100

Para alcanzar el objetivo de la presente investigación se requieren 4 tipos de arena que posean diferente cantidad de material que pasa por la malla N°100, fijado dentro de los siguientes rangos: 1 a 2 %, 5 a 6 %, 9 a 10 % y 13 a 14 %.

Mediante el procedimiento de tamizado manual, se separó el agregado fino original por la malla No. 50, para luego combinar apropiadamente ambas partes y obtener las arenas requeridas.

Seguidamente, se muestran las granulometrías del agregado fino mayor que la malla No. 50 y del agregado fino menor que la malla No. 50.

Cuadro 5. Análisis granulométrico del agregado fino mayor que la malla No. 50

Masa de la muestra: 500 g

Resultado: promedio de 4 ensayos

TAMIZ	Masa retenida (g)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8"				100.0
No. 4	40.1	8.0	8.0	92.0
No. 8	128.1	25.6	33.6	66.4
No. 16	133.3	26.7	60.3	39.7
No. 30	107.4	21.5	81.8	18.2
No. 50	87.5	17.5	99.3	0.7
No. 100	2.9	0.6	99.9	0.1
Fondo	0.6	0.1	100.0	0
Σ	500.0	100		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 6. Análisis granulométrico del agregado fino menor que la malla No. 50

Masa de la muestra: 500 g				
Resultado: promedio de 4 ensayos				
TAMIZ	Masa retenida (g)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
No. 50				
No. 100	243.7	48.7	48.7	51.3
Fondo	256.3	51.3	100.0	0.0
Σ	500.0	100		

Fuente: Elaboración propia

Se plantea las siguientes ecuaciones:

$$\frac{A}{100}(\%R1) + \frac{B}{100}(\%R2) = 100 - \%Y \quad \dots(I)$$

$$A + B = 100 \quad \dots(II)$$

Donde:

A : Porcentaje en peso de material mayor que la malla No. 50

B : Porcentaje en peso de material menor que la malla No. 50

$\%R1$: Porcentaje retenido acumulado en la malla No. 100 de la arena mayor que la malla No. 50.

$\%R2$: Porcentaje retenido acumulado en la malla No. 100 de la arena menor que la malla No. 50.

$\%Y$: Porcentaje requerido de material que pasa por la malla No. 100.

La determinación de $\%Y$ se realizó en base a los rangos requeridos que pasan la malla No. 100, donde se tomó el valor intermedio de cada uno: 1.5 %, 5.5 %, 9.5 % y 13.5 %. También de los cuadros 5 y 6 se tiene $\%R1 = 99.9$ y $\%R2 = 48.7$

Luego reemplazando valores y simplificando las ecuaciones I y II:

$$\frac{A}{100}(99.9) + \frac{100 - A}{100}(48.7) = 100 - \%Y$$

La relación entre A y $\%Y$ se tabuló y se obtuvo el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Combinaciones teóricas para la obtención de los distintos tipos de arena

Rango	Valor intermedio	A (%)	B (%)
1 a 2	1.5	97.3	2.7
5 a 6	5.5	89.5	10.5
9 a 10	9.5	Arena original	
13 a 14	13.5	73.8	26.2

Fuente: Elaboración propia

Los valores encontrados de *A* y *B* son teóricos y referenciales, por lo tanto, estos fueron verificados y ajustados. Para obtener los valores de combinación finales se continuó de la siguiente manera:

La combinación teórica correspondiente se sometió a un análisis granulométrico verificando el cumplimiento de la cantidad de material pasante por la malla No. 100 requerida, seguidamente en base a los resultados se ajustó los valores de *A* y *B*, por medio de tanteos se redujo los valores de *B* hasta obtener resultados aceptables. Los valores fueron considerados aceptables cuando el porcentaje que pasa por la malla No. 100 se encontraba dentro del rango estipulado.

Cuadro 8. Combinaciones finales para la obtención de los distintos tipos de arena

Rango	Valor intermedio	A (%)	B (%)
1 a 2	1.5	100.0	0.0
5 a 6	5.5	92.0	8.0
9 a 10	9.5	83.9	16.1
13 a 14	13.5	75.8	24.2

Fuente: Elaboración propia

Con estos resultados se pudo definir el rango de material que pasa por la malla No. 100 para la arena que debía tener un escaso contenido de finos, puesto que como se aprecia en el cuadro, la fabricación de este tipo de arena no requiere proceso de combinación, lo cual facilita su obtención.

De aquí en adelante, se asigna una nomenclatura a los diferentes tipos de arena que permita nombrarlas apropiadamente.

A 1-2 : Arena con 1 a 2 % de material que pasa por la malla No. 100.

A 5-6 : Arena con 5 a 6 % de material que pasa por la malla No. 100.

A 9-10 : Arena original (procedente de cantera) que contiene 9 a 10 % de material pasante por la malla No. 100.

A 13-14 : Arena con 13 a 14 % de material que pasa por la malla No. 100.

A continuación, se presentan los resultados (promedio de 5 ensayos) del análisis granulométrico de los 3 tipos de arena fabricados, de manera individual y luego una representación en conjunto de los 4 tipos de arena. Para conocer los cálculos detallados revisar el anexo C.

Cuadro 9. Granulometría de la arena A 1-2

TAMIZ	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	0.0	0.0	100.0
No. 4	7.7	7.7	92.3
No. 8	24.4	32.1	67.9
No. 16	26.3	58.4	41.6
No. 30	23.0	81.4	18.6
No. 50	15.9	97.3	2.7
No. 100	1.3	98.6	1.4
No. 200	0.4	98.9	1.1
>No. 200	1.1	100.0	0.0

MF= 3.75

Fuente: Elaboración propia

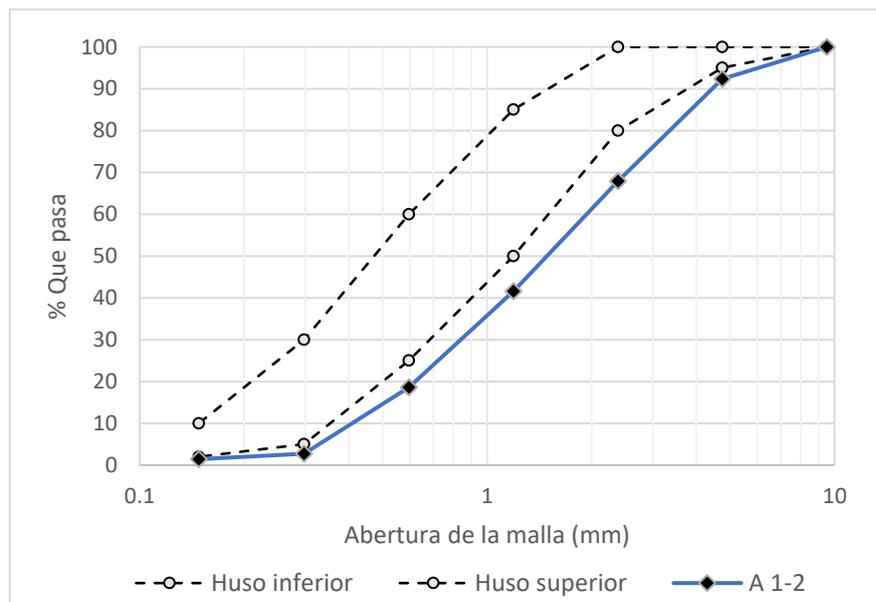


Figura 3. Curva granulométrica de la arena A 1-2
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 10. Granulometría de la arena A 5-6

TAMIZ	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	0.0	0.0	100.0
No. 4	7.3	7.3	92.7
No. 8	23.0	30.2	69.8
No. 16	23.7	53.9	46.1
No. 30	20.8	74.7	25.3
No. 50	15.3	90.0	10.0
No. 100	4.5	94.5	5.5
No. 200	2.4	96.9	3.1
>No. 200	3.1	100.0	0.0
MF= 3.51			

Fuente: Elaboración propia

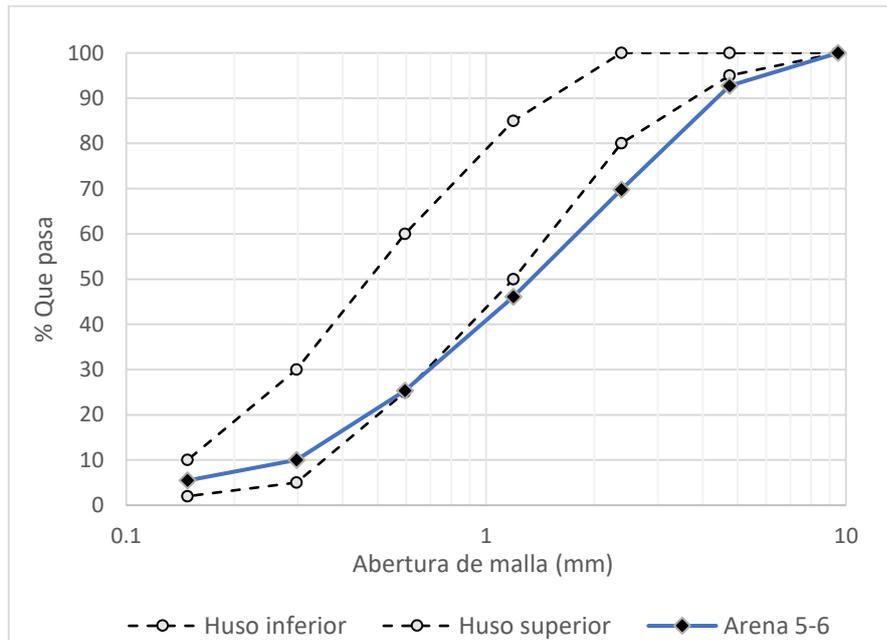


Figura 4 Curva granulométrica de la arena A 5-6
 Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11. Granulometría de la arena A 13-14

TAMIZ	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	0.0	0.0	100.0
No. 4	6.9	6.9	93.1
No. 8	20.2	27.1	72.9
No. 16	20.8	47.9	52.1
No. 30	17.7	65.6	34.4
No. 50	10.1	75.7	24.3
No. 100	10.7	86.3	13.7
No. 200	7.3	93.6	6.4
>No. 200	6.4	100.0	0.0
MF= 3.10			

Fuente: Elaboración propia

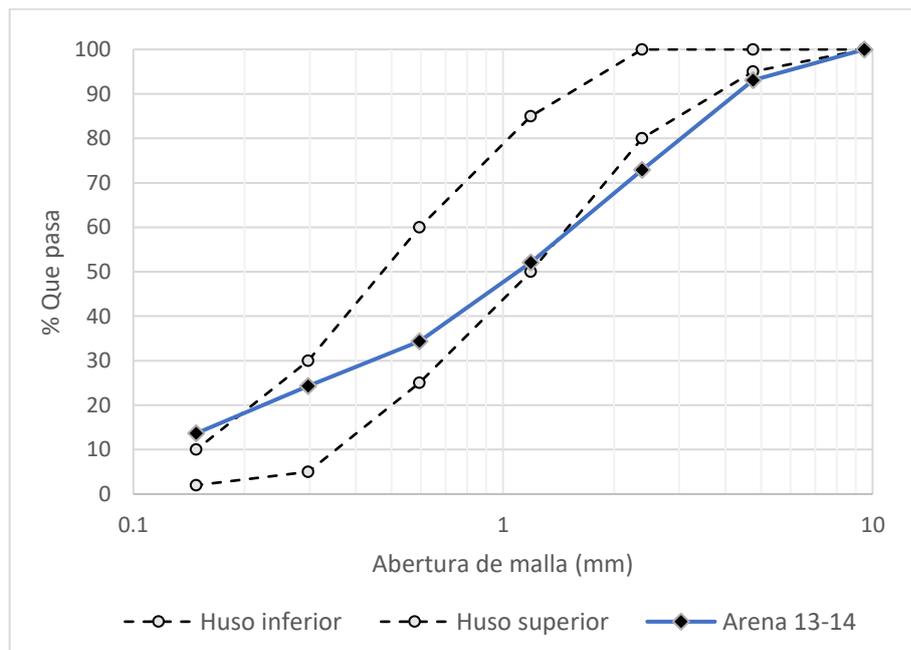


Figura 5. Curva granulométrica de la arena A 13-14
 Fuente: Elaboración propia

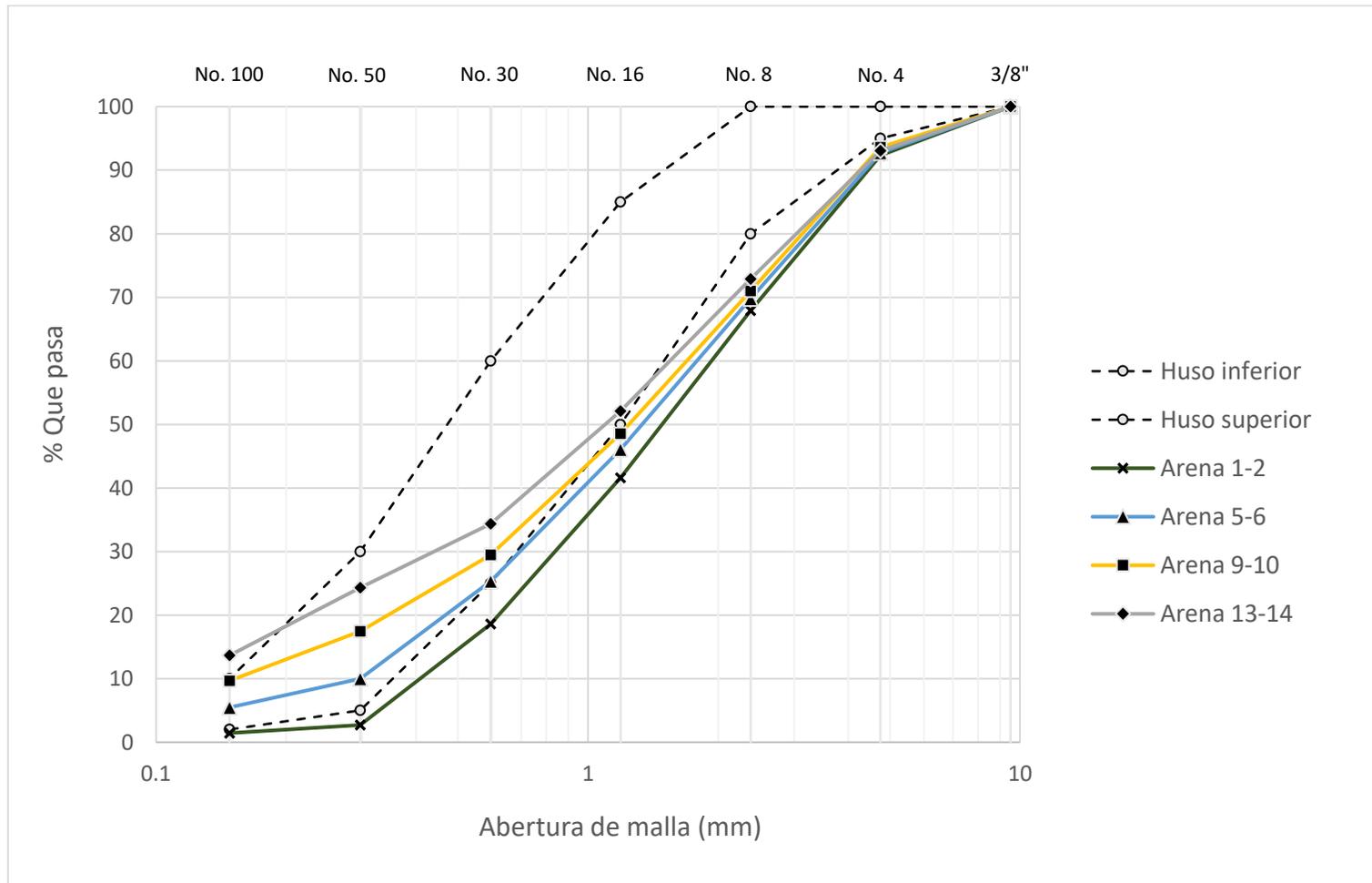


Figura 6. Curva granulométrica de los 4 tipos de arena
 Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12. Resumen del análisis granulométrico para los diferentes tipos de arena

No. malla	TAMIZ	HUSOS		% Que pasa			
	mm	Inferior	Superior	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
3/8"	9.51	100	100	100.0	100.0	100.0	100.0
No. 4	4.75	95	100	92.3	92.7	93.6	93.1
No. 8	2.38	80	100	67.9	69.8	71.0	72.9
No. 16	1.19	50	85	41.6	46.1	48.5	52.1
No. 30	0.595	25	60	18.6	25.3	29.5	34.4
No. 50	0.297	5	30	2.7	10.0	17.4	24.3
No. 100	0.148	2	10	1.4	5.5	9.7	13.7
			MF	3.75	3.51	3.30	3.10

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, para conocer la variación de las características físicas causadas por el cambio en el contenido de finos, se realizó los ensayos respectivos a los 4 tipos de arena. El cuadro 13 presenta los valores promedio obtenidos en laboratorio (ver anexo C). El cálculo para la superficie específica fue realizado en base de los datos de granulometría.

Cuadro 13. Propiedades físicas de los 4 tipos de agregado fino

Descripción	Unidad	Valor del resultado			
		A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
Superficie específica	cm ² /g	28.1	46.7	63.2	78.9
Densidad seca	g/cm ³	2.60	2.60	2.61	2.62
Densidad s.s.s.	g/cm ³	2.63	2.63	2.64	2.65
Densidad aparente	g/cm ³	2.67	2.68	2.69	2.70
Peso unitario suelto	kg/m ³	1529	1544	1580	1632
Peso unitario compactado	kg/m ³	1700	1733	1783	1818
Contenido de humedad	-	0.61 %	0.82 %	0.99 %	1.02 %
Absorción	-	1.01 %	1.04 %	1.16 %	1.18 %

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. DISEÑO DE MEZCLAS

EL diseño de mezcla se hizo siguiendo el procedimiento del ACI 211, con la salvedad del cambio en el proporcionamiento de la relación del agregado fino y agregado grueso, al incorporar el criterio de compacidad de agregados mencionado en el capítulo II. Este cambio implicó el estudio del agregado global permitiendo obtener la relación de agregados requerida para lograr una mezcla de concreto óptima.

Se realizaron en total 12 diseños de mezcla diferentes que corresponden a las relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70 y al uso de las arenas A 1-2, A 5-6, A 9-10, A 13-14.

Con la finalidad de conocer la influencia del contenido de finos, se consideró 3 diseños patrones, una para cada relación a/c y utilizando la arena con escaso contenido de finos (A 1-2). La variación de las propiedades del concreto se verá reflejada cuando a cada diseño patrón se le aumente la cantidad de material que pasa la malla No. 100, debido al cambio del agregado fino; este cambio se efectuó manteniendo constante la relación a/c, la rf óptima y el asentamiento de 3 a 4 pulgadas.

4.1. DISEÑO DE LAS MEZCLAS PATRONES

Como las relaciones a/c en estudio son cercanas, se decidió obtener la rf óptima mediante tandas de prueba para la relación intermedia, es decir con un a/c = 0.65. En base a ese resultado se realizó los diseños óptimos para tres relaciones a/c, manteniendo constante la rf óptima.

- Obtención de la rf óptima

El término rf se refiere a la relación proporcional del peso de agregado fino con el peso del agregado global, expresado en porcentaje, a la cual se denominará como relación de agregado fino.

La combinación de agregados que dio lugar a un mejor empaquetamiento se realizó por el método de compactación por apisonado descrito en la NTP 400.017. En consecuencia, se obtuvo los pesos unitarios compactados a distintos porcentajes en peso de agregado fino y agregado grueso (ver anexo C).

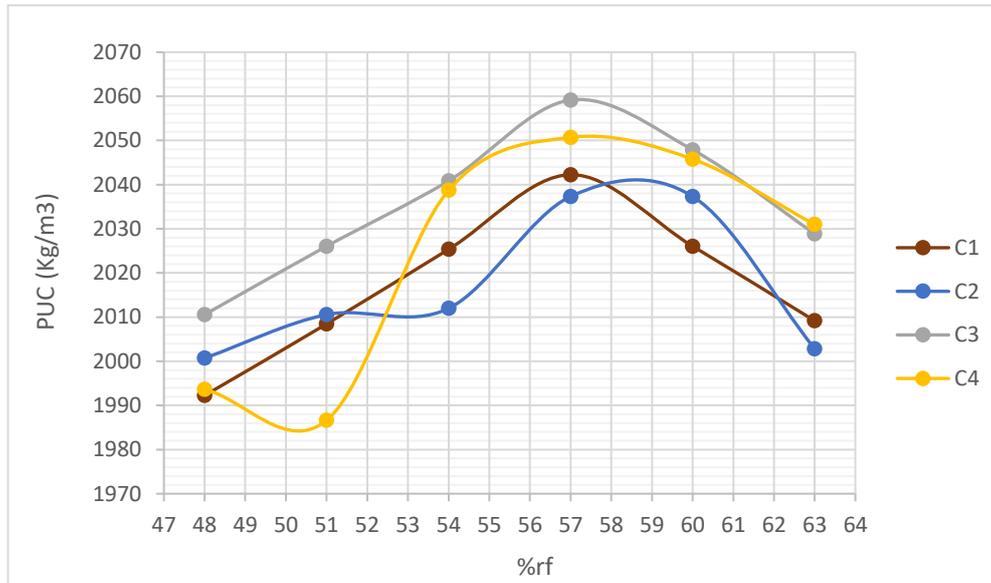


Figura 7. Peso unitario compactado del agregado global a diferentes relaciones de agregado fino
Fuente: Elaboración propia

Se aprecia en la figura 7 que el mayor valor del peso unitario compactado se logra con una relación de agregado fino alrededor de 57 %. Para conocer el proporcionamiento que otorgue una resistencia a la compresión máxima se consideró la preparación de 5 diseños con diferentes relaciones de agregado fino cercanas a el valor encontrado, teniendo en cuenta el cumplimiento del asentamiento entre 3 y 4 pulgadas. Para cada diseño se elaboró 6 probetas de 4" x 8" y el tiempo de curado fue de 7 días.

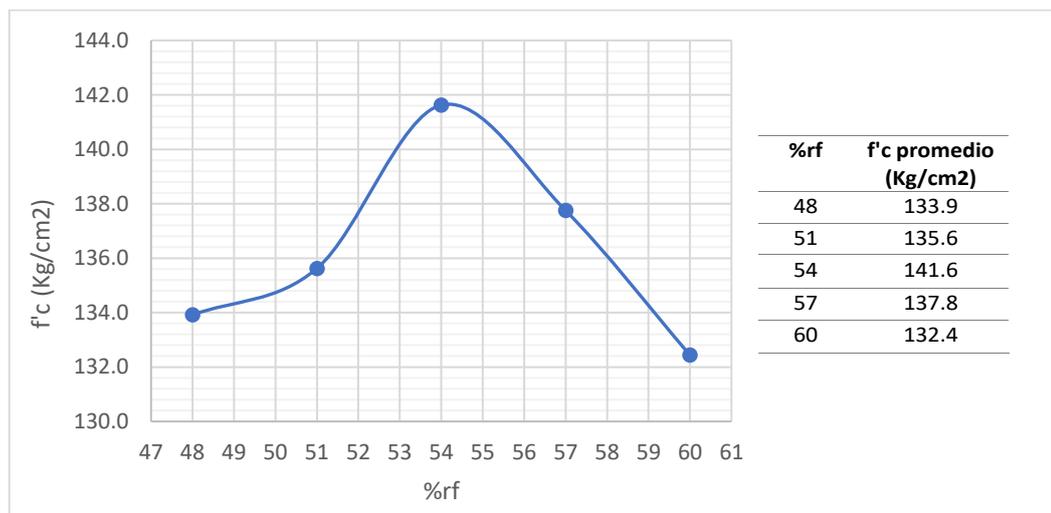


Figura 8. Resistencia a la compresión a los 7 días a distintas rf
Fuente: Elaboración propia

La máxima resistencia alcanzada se obtuvo con el diseño cuya r_f es de 54 %, es decir la proporción de arena/piedra es igual a 54/46, por lo tanto, esta fue la combinación usada en los diseños.

$$r_f \text{ óptima} = 54 \%$$

Se presenta la granulometría del agregado global obtenida con la combinación óptima.

Cuadro 14. Granulometría del agregado global

TAMIZ		Agregado grueso	Agregado fino	Agregado global	HUSOS DIN 1045		
ASTM	mm				A	B	C
	31.5	0.46	0.54		100	100	100
1"	25	98.8	100.0	99.4			
3/4"	19	54.5	100.0	79.1			
	16				62	80	89
1/2"	12.5	14.6	100.0	60.7			
3/8"	9.51	2.2	100.0	55.0			
	8				38	62	77
No. 4	4.75	0.3	92.3	50.0			
	4				23	47	65
No. 8	2.38	0.0	67.9	36.7			
	2				14	37	53
No. 16	1.19	0.0	41.6	22.5			
	1				8	28	42
No. 30	0.595	0.0	18.6	10.1			
No. 50	0.297	0.0	2.7	1.5			
	0.25				2	8	15
No. 100	0.148	0.0	1.4	0.8			

Fuente: Elaboración propia

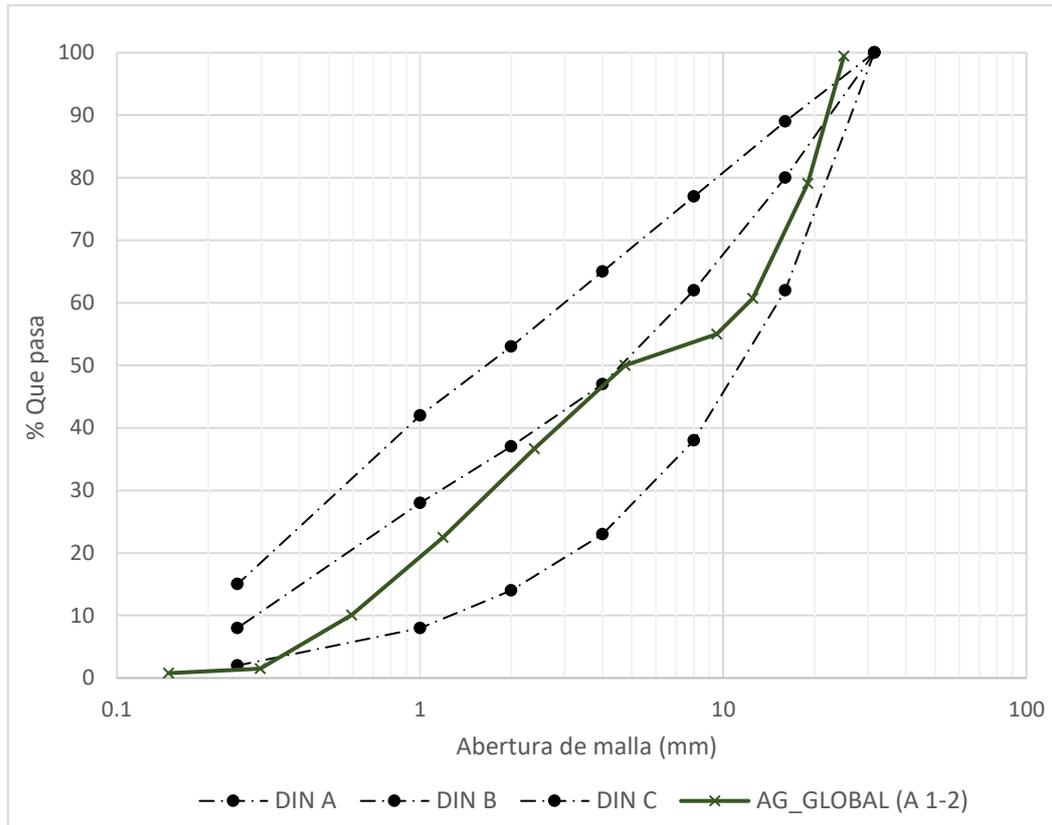


Figura 9. Curva granulométrica del agregado global
Fuente: Elaboración propia

Se procedió a definir la dosificación para los 3 diseños de mezcla patrones. Tomando en cuenta el control del asentamiento se hicieron los ajustes necesarios mediante tandas de prueba. El procedimiento de diseño se muestra en el anexo C.

4.2. VARIACIÓN DEL TIPO DE ARENA EN LOS DISEÑOS PATRONES

Obtenido los diseños patrones, para cada uno de ellos, se procedió a variar el agregado fino utilizando los tipos A 5-6, A 9-10 y A 13-14.

Esta modificación del tipo de arena se realizó con el objetivo de analizar cuantitativa y cualitativamente las posibles alteraciones en las características que no se mantienen constantes.

El cambio del tipo de arena implica el cambio del contenido de finos, pero también las variaciones de sus propiedades físicas debido a ello. Para cada mezcla patrón se mantuvo constante la relación a/c, la relación de agregado fino y el asentamiento. Cabe resaltar que el tipo de agregado grueso se mantuvo constante.

Finalmente, en los siguientes cuadros se presentan los diseños finales para cada caso.

Cuadro 15. Diseño de mezcla final ($a/c=0.60$)

Tipo de arena	Material	Dosificación por m3 de concreto			Proporción en peso		Tanda de prueba
		Peso seco	Volumen	Peso húmedo	Seco	Húmedo	0.030 m3
		kg	m3	kg			kg
A 1-2 (Patrón) Slump 3.5"	Cemento	417	0.139	417	1	1	12.5
	Agua	250	0.25	255	0.6	0.61	7.64
	Arena	852	0.328	858	2.05	2.06	25.73
	Piedra	726	0.269	728	1.74	1.75	21.84
	Aire		0.015				
	Σ	2245	1	2257			67.71
A 5-6 Slump 3.5"	Cemento	425	0.142	425	1.00	1.00	12.75
	Agua	255	0.255	258	0.60	0.61	7.75
	Arena	842	0.323	849	1.98	2.00	25.46
	Piedra	717	0.265	719	1.69	1.69	21.57
	Aire		0.015				
	Σ	2239	1	2251			67.52
A 9-10 Slump 3.5"	Cemento	432	0.144	432	1.00	1.00	12.95
	Agua	259	0.259	262	0.60	0.61	7.85
	Arena	834	0.320	842	1.93	1.95	25.26
	Piedra	710	0.263	712	1.64	1.65	21.36
	Aire		0.015				
	Σ	2234	1	2247			67.42
A 13-14 Slump 3.25"	Cemento	450	0.150	450	1.00	1.00	13.50
	Agua	270	0.270	273	0.60	0.61	8.18
	Arena	811	0.310	819	1.80	1.82	24.58
	Piedra	691	0.255	693	1.54	1.54	20.78
	Aire		0.015				
	Σ	2222	1	2235			67.04

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16. Diseño de mezcla final (a/c=0.65)

Tipo de arena	Material	Dosificación por m3 de concreto			Proporción en peso		Tanda de prueba
		Peso seco	Volumen	Peso húmedo	Seco	Húmedo	0.030 m3
		kg	m3	kg			kg
A 1-2 (Patrón)	Cemento	377	0.126	377	1	1	11.31
	Agua	245	0.245	250	0.65	0.66	7.5
	Arena	878	0.338	884	2.33	2.34	26.51
	Piedra	748	0.277	750	1.99	1.99	22.51
	Aire		0.015				
	Σ	2249	1	2261			67.83
A 5-6	Cemento	386	0.129	386	1.00	1.00	11.58
	Agua	251	0.251	254	0.65	0.66	7.63
	Arena	866	0.333	873	2.24	2.26	26.19
	Piedra	738	0.273	740	1.91	1.92	22.19
	Aire		0.015				
	Σ	2241	1	2253			67.59
A 9-10	Cemento	392	0.131	392	1.00	1.00	11.77
	Agua	255	0.255	258	0.65	0.66	7.74
	Arena	858	0.329	867	2.19	2.21	26.00
	Piedra	731	0.270	733	1.86	1.87	21.99
	Aire		0.015				
	Σ	2236	1	2250			67.49
A 13-14	Cemento	408	0.136	408	1.00	1.00	12.23
	Agua	265	0.265	268	0.65	0.66	8.03
	Arena	838	0.320	847	2.06	2.08	25.41
	Piedra	714	0.264	716	1.75	1.76	21.48
	Aire		0.015				
	Σ	2225	1	2238			67.15

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 17. Diseño de mezcla final (a/c=0.70)

Tipo de arena	Material	Dosificación por m3 de concreto			Proporción en peso		Tanda de prueba
		Peso seco	Volumen	Peso húmedo	Seco	Húmedo	0.030 m3
		kg	m3	kg			kg
A 1-2 (Patrón) Slump 3.5"	Cemento	347	0.116	347	1	1	10.41
	Agua	243	0.243	248	0.7	0.71	7.44
	Arena	896	0.344	901	2.58	2.6	27.03
	Piedra	763	0.282	765	2.2	2.2	22.95
	Aire		0.015				
	Σ	2249	1	2261			67.83
A 5-6 Slump 3.5"	Cemento	356	0.119	356	1.00	1.00	10.67
	Agua	249	0.249	252	0.70	0.71	7.57
	Arena	883	0.339	890	2.48	2.50	26.71
	Piedra	752	0.278	754	2.12	2.12	22.63
	Aire		0.015				
	Σ	2240	1	2253			67.59
A 9-10 Slump 3.5"	Cemento	361	0.120	361	1.00	1.00	10.84
	Agua	253	0.253	256	0.70	0.71	7.68
	Arena	876	0.336	884	2.42	2.45	26.53
	Piedra	746	0.276	748	2.06	2.07	22.44
	Aire		0.015				
	Σ	2236	1	2250			67.49
A 13-14 Slump 3.75"	Cemento	377	0.126	377	1.00	1.00	11.31
	Agua	264	0.264	267	0.70	0.71	8.00
	Arena	854	0.326	863	2.27	2.29	25.89
	Piedra	728	0.269	730	1.93	1.94	21.89
	Aire		0.015				
	Σ	2223	1	2237			67.10

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V. ENSAYOS Y RESULTADOS

En este capítulo se presenta los resultados de los ensayos realizados de consuno a su respectivo análisis. Para cada mezcla se evaluó la consistencia, densidad, contenido de aire, exudación, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción, bajo condiciones de mezclado y prueba similares.

5.1. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN EL ESTADO FRESCO

5.1.1. Consistencia

La medición de la consistencia se realizó mediante la prueba del asentamiento (slump) descrito por la NTP 339.035. El asentamiento establecido para este estudio es de 3" a 4", esto fue ajustado variando la cantidad de agua y por ende la cantidad de cemento.

Cuadro 18. Variación de la demanda de agua (L) para 1 m³ de concreto

	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Cantidad de agua	250	255	259	270
	Variación porcentual	0.0 %	+2.0 %	+3.6 %	+8.0 %
0.65	Cantidad de agua	245	251	255	265
	Variación porcentual	0.0 %	+2.4 %	+4.1 %	+8.2 %
0.70	Cantidad de agua	243	249	253	264
	Variación porcentual	0.0 %	+2.5 %	+4.1 %	+8.6 %

Fuente: Elaboración propia

Para mantener la consistencia deseada, en todos los casos, las mezclas requirieron una mayor cantidad de agua adicional conforme se incrementa la cantidad de material que pasa por la malla No. 100, respecto al concreto patrón. Esto se explica porque la arena al tener más contenido de finos, incrementa su superficie específica, lo que conlleva a una mayor cantidad de pasta necesario para lubricar todas las partículas.

Por otro lado, con el uso de las arenas A 1-2, A 5-6 y A 9-10 se obtienen mezclas plásticas y con buena manejabilidad, mientras que la arena A 13-14 produce un concreto muy cohesivo y pegajoso.

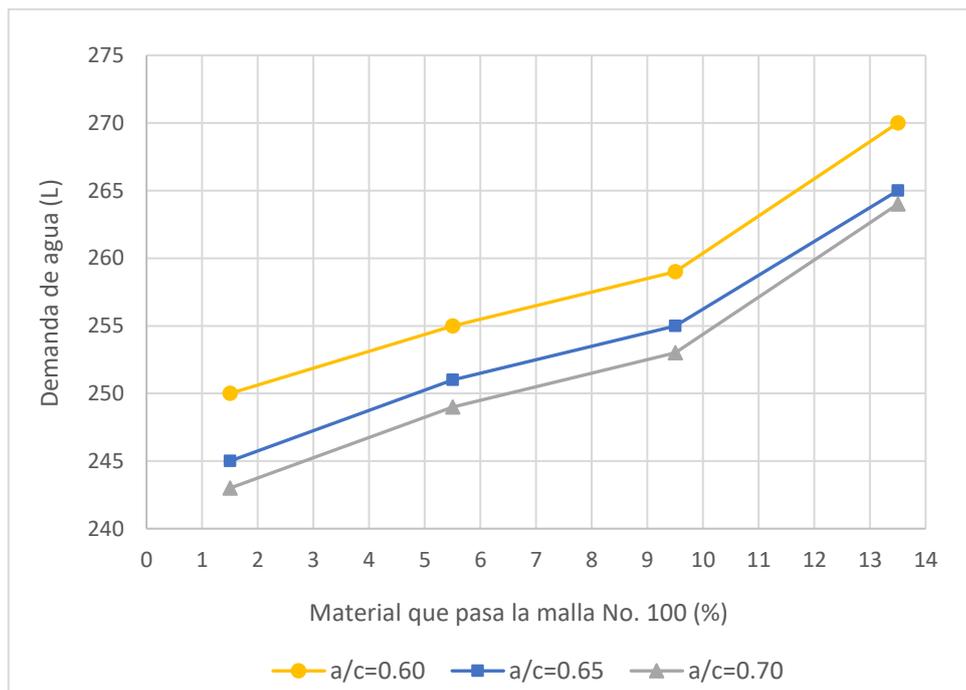


Figura 10. Variación de la demanda de agua por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100
Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Densidad

La densidad o peso unitario se evaluó en conformidad con la NTP 339.046. Dado que el asentamiento está definido entre 3 a 4 pulgadas, la consolidación se realizó por apisonado en un recipiente de 1/3 pie³.

Los resultados revelan la elaboración de un concreto de peso normal, aunque por influencia del tipo de cemento y las relaciones a/c en estudio, los valores son relativamente inferiores al promedio de éste.

Cuadro 19. Variación de la densidad del concreto fresco (kg/m³)

	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Densidad	2274	2263	2263	2249
	Variación porcentual	0.0 %	-0.5 %	-0.5 %	-1.1 %
0.65	Densidad	2280	2271	2269	2256
	Variación porcentual	0.0 %	-0.4 %	-0.5 %	-1.0 %
0.70	Densidad	2276	2266	2264	2254
	Variación porcentual	0.0 %	-0.4 %	-0.5 %	-1.0 %

Fuente: Elaboración propia

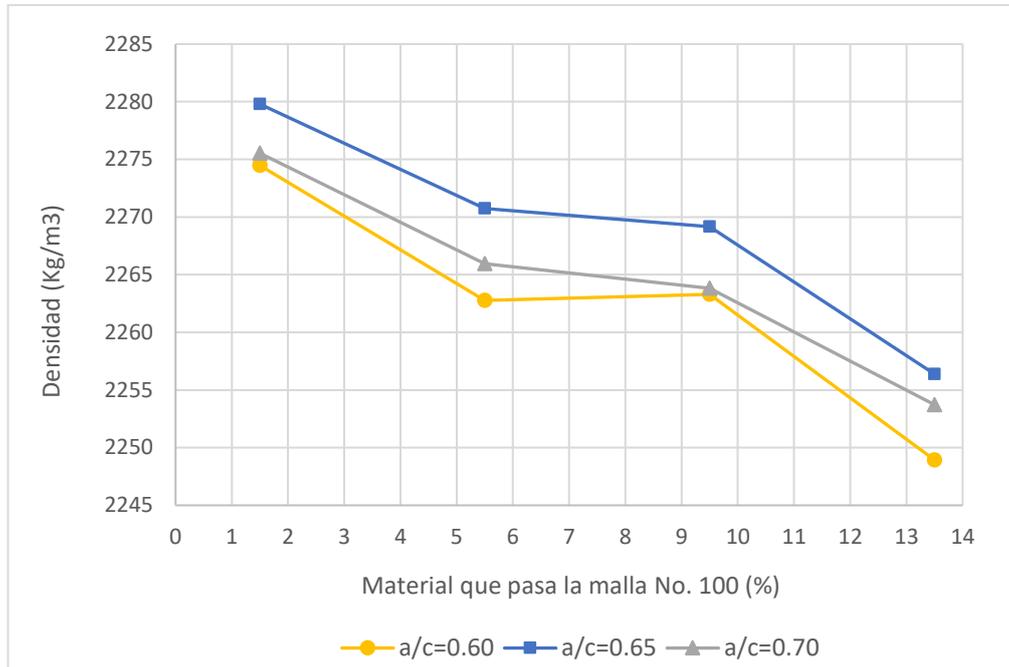


Figura 11. Variación de la densidad del concreto fresco por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100
Fuente: Elaboración propia

Para las tres relaciones a/c , la densidad disminuye con el gradual incremento del contenido de finos de la arena. Esta disminución está asociada a la cantidad de pasta del diseño. Al mantenerse la relación a/c constante, un aumento en el contenido de finos causa un aumento en la cantidad de pasta, y al tener esta un menor peso específico que el agregado global, ocasiona la disminución de la densidad de la mezcla.

5.1.3. Contenido de aire

La determinación del contenido de aire se realizó por el método de presión descrito por la NTP 339.083.

En todas las mezclas los porcentajes de aire atrapado obtenidos fueron bajos y parecidos, oscila entre 1 % y 1.4 %, los cuales se encuentran en el rango de valores normales. Por otra parte, se puede notar que el contenido de aire no guarda relación con la variación del contenido de finos de la arena.

Cuadro 20. Resultados del ensayo de contenido de aire

Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	1.2 %	1.3 %	1.2 %	1.0 %
0.65	1.3 %	1.4 %	1.2 %	1.2 %
0.70	1.3 %	1.1 %	1.3 %	1.2 %

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Exudación

Los ensayos fueron realizados de acuerdo a la NTP 339.077, sobre volúmenes de concreto de aproximadamente 9 litros, midiendo el volumen del agua exudada cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos y posteriormente a intervalos de 30 minutos.

Los parámetros más importantes que caracterizan este ensayo son la capacidad de exudación, esto es la cantidad de agua exudada expresada en porcentaje del volumen total de agua; y la velocidad de exudación, que permite conocer la velocidad a la que se acumula el agua. En consecuencia, se determinó la magnitud de estos parámetros para los diferentes diseños.

En general, la duración de los ensayos estuvo comprendida entre 190 y 220 minutos, las capacidades de exudación variaron entre 1.3 a 2.84 % y las velocidades máximas se presentaron entre 13×10^{-6} a 25×10^{-6} cm/s.

Cuadro 21. Variación de la capacidad de exudación

	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Capacidad de exudación (%)	1.73	1.51	1.37	1.30
	Variación porcentual	0.0 %	-12.6 %	-20.9 %	-24.9 %
0.65	Capacidad de exudación (%)	2.26	1.69	1.57	1.40
	Variación porcentual	0.0 %	-25.2 %	-30.7 %	-38.0 %
0.70	Capacidad de exudación (%)	2.84	2.05	1.73	1.65
	Variación porcentual	0.0 %	-28.0 %	-39.2 %	-41.8 %

Fuente: Elaboración propia

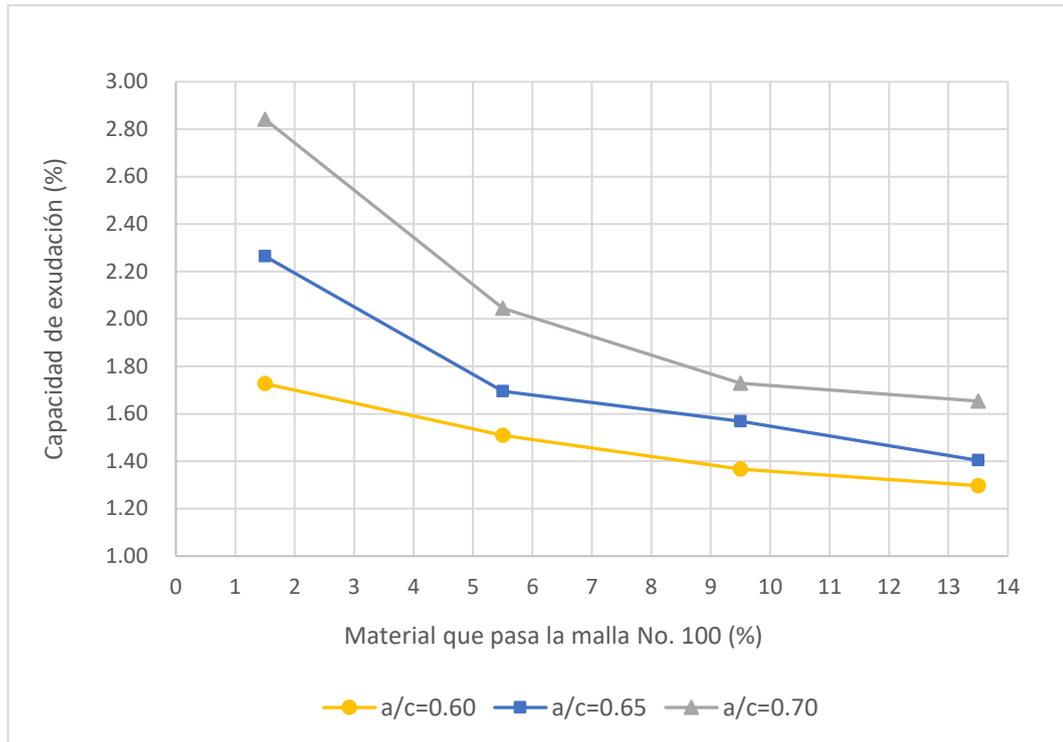


Figura 12. Variación de la capacidad de exudación por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100
Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 21 se deduce que a medida que se incrementa el contenido de finos de la arena, desde A 1-2 hasta A 13-14, la exudación del concreto disminuye para todas las relaciones a/c en estudio, siendo la arena A 13-14 la que causa una reducción más significativa. Esto se explica por la mayor cohesión que genera el aumento de finos de la arena a las mezclas, evitando la segregación y en particular el ascenso del agua a la superficie. Asimismo, al tener relaciones a/c cada vez menores el efecto de la cantidad de finos sobre la exudación es cada vez menor.

Con respecto a las velocidades de exudación, estas fueron ligeramente mayores para las mezclas elaboradas con tipo de arena A 1-2, el aumento del contenido de finos ocasionó variaciones poco significativas en la estimación de este parámetro (los resultados se pueden revisar en el anexo C).

Por otro lado, conforme se disminuye la relación a/c , la exudación del concreto también disminuye, esto se debe a la obtención de mezclas cada vez más ricas en cemento y por lo tanto con alta capacidad de retención de agua.

5.1.5. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado fue determinado bajo los estándares de la NTP 339.082. Se realizó las mediciones de resistencia a la penetración en el concreto tamizado a intervalos de tiempo de 30 y 60 minutos, para conocer el tiempo de fraguado inicial y final.

Cuadro 22. Variación del tiempo de fraguado inicial (h:min)

	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Tiempo de fraguado inicial	6:25	6:20	6:15	6:13
	Variación porcentual	0.0 %	-1.2 %	-2.7 %	-3.0 %
0.65	Tiempo de fraguado inicial	6:37	6:27	6:25	6:24
	Variación porcentual	0.0 %	-2.5 %	-2.9 %	-3.2 %
0.70	Tiempo de fraguado inicial	6:46	6:40	6:38	6:36
	Variación porcentual	0.0 %	-1.6 %	-2.2 %	-2.6 %

Fuente: Elaboración propia

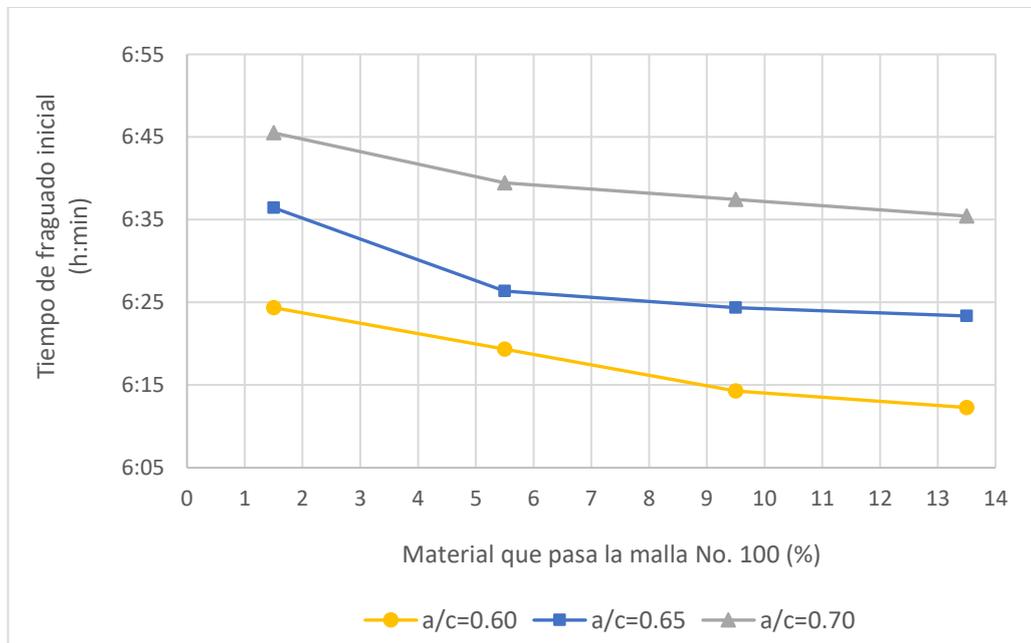


Figura 13. Variación del tiempo de fraguado inicial por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 23. Variación del tiempo de fraguado final (h:min)

	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Tiempo de fraguado final	9:02	8:51	8:44	8:44
	Variación porcentual	0.0 %	-2.0 %	-3.2 %	-3.2 %
0.65	Tiempo de fraguado final	9:14	8:59	8:54	8:53
	Variación porcentual	0.0 %	-2.8 %	-3.6 %	-3.7 %
0.70	Tiempo de fraguado final	9:17	9:12	9:10	9:05
	Variación porcentual	0.0 %	-1.0 %	-1.4 %	-2.3 %

Fuente: Elaboración propia

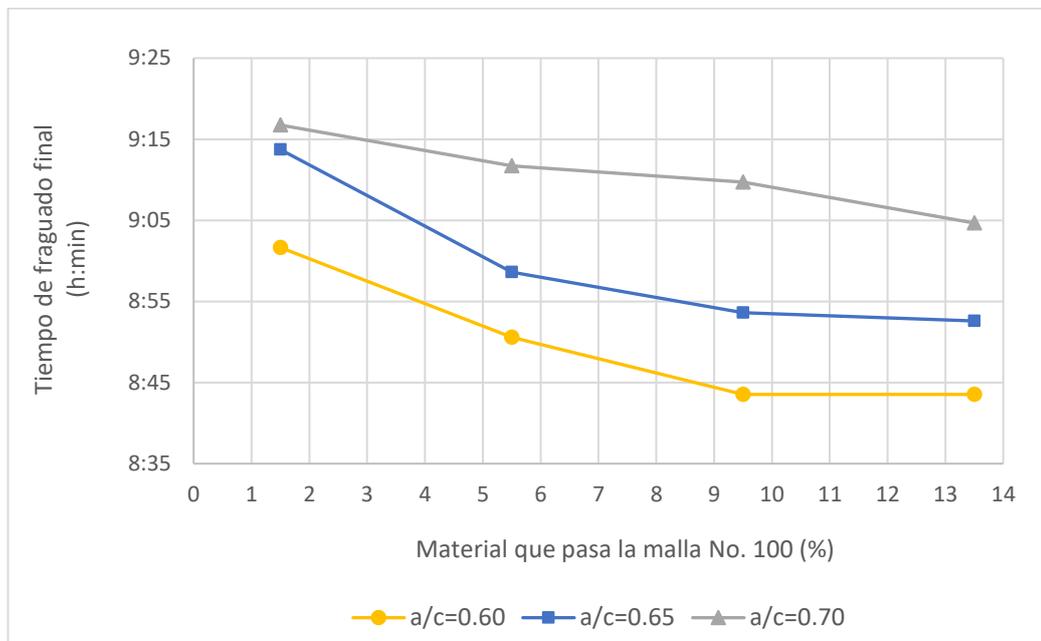


Figura 14. Variación del tiempo de fraguado final por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100

Fuente: Elaboración propia

Conforme se incrementa la cantidad de finos de la arena, desde A 1-2 hasta A 13-14, se adelanta el tiempo de fraguado inicial y final para todas las relaciones a/c estudiadas. Esto indica que la presencia de finos de la arena afecta las reacciones de hidratación del cemento, provocando que se desarrollen más rápidamente, sin embargo, las variaciones porcentuales con respecto al concreto patrón no son amplias.

Estos resultados también revelan una correspondencia entre el tiempo de fraguado y exudación del concreto, donde las mezclas con menor contenido de finos tienden a exudar más porque el desarrollo del proceso de fraguado lo permite, al ser este más dilatado en el tiempo.

5.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO

5.2.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión fue determinada conforme a las disposiciones de la NTP 339.034, aplicado a especímenes cilíndricos.

Siendo este ensayo el de mayor importancia para la presente investigación, se elaboraron un gran número de probetas. En total se llevaron a falla 516 probetas de 4" x 8"; para cada diseño se ensayaron 6 probetas a los 7 días, 31 probetas a los 28 días y 6 probetas a los 56 días.

Los datos experimentales obtenidos se resumen en los siguientes cuadros y figuras.

Cuadro 24. Variación de la resistencia a la compresión a los 7 días (kg/cm²)

	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Resistencia a la compresión	161.4	163.8	161.3	155.0
	Variación porcentual	0.0 %	+1.5 %	-0.1 %	-4.0 %
0.65	Resistencia a la compresión	142.7	145.2	139.3	136.2
	Variación porcentual	0.0 %	+1.8 %	-2.4 %	-4.6 %
0.70	Resistencia a la compresión	120.3	127.4	127.0	122.4
	Variación porcentual	0.0 %	+5.9 %	+5.6 %	+1.8 %

Fuente: Elaboración propia

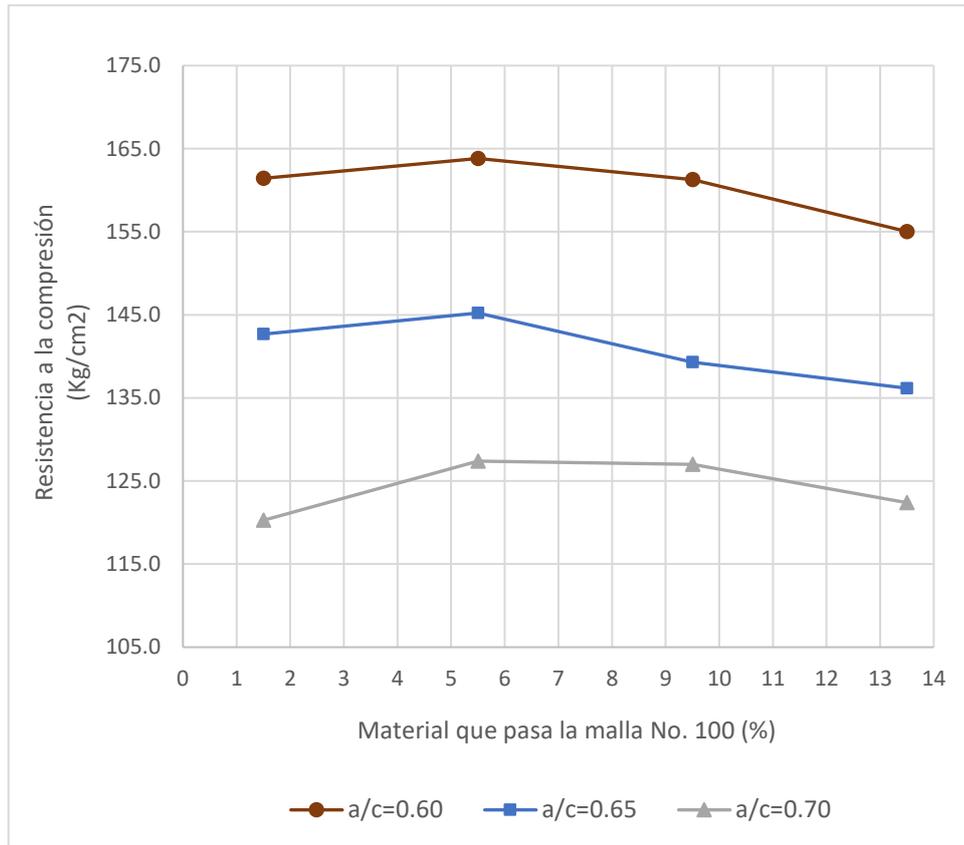


Figura 15. Variación de la resistencia a la compresión a los 7 días por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 25. Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm²)

Tipo de arena		A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Resistencia a la compresión	255.6	257.7	252.0	239.8
	Variación porcentual	0.0 %	+0.8 %	-1.4 %	-6.2 %
0.65	Resistencia a la compresión	224.1	228.7	221.4	217.4
	Variación porcentual	0.0 %	+2.0 %	-1.2 %	-3.0 %
0.70	Resistencia a la compresión	199.7	204.0	200.9	196.9
	Variación porcentual	0.0 %	+2.2 %	+0.6 %	-1.4 %

Fuente: Elaboración propia

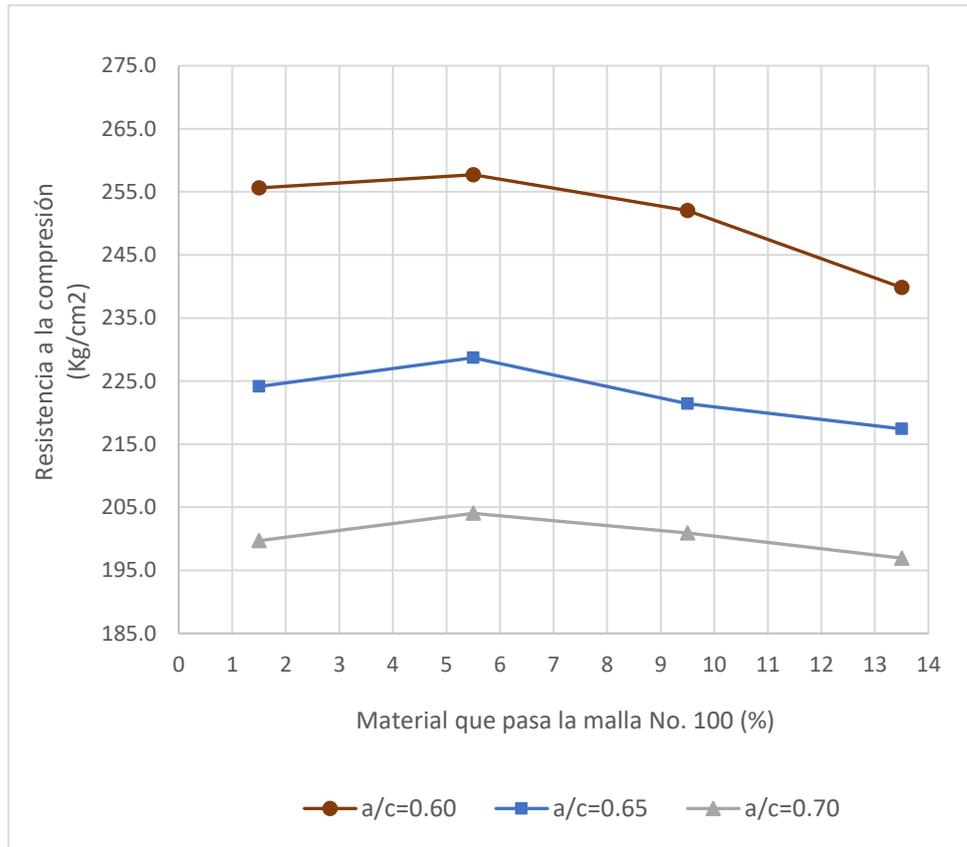


Figura 16. Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26. Variación de la resistencia a la compresión a los 56 días (kg/cm²)

Tipo de arena		A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Resistencia a la compresión	285.9	289.4	285.3	275.8
	Variación porcentual	0.0 %	+1.2 %	-0.2 %	-3.5 %
0.65	Resistencia a la compresión	253.0	257.2	250.9	245.1
	Variación porcentual	0.0 %	+1.6 %	-0.9 %	-3.1 %
0.70	Resistencia a la compresión	226.6	231.7	230.1	225.2
	Variación porcentual	0.0 %	+2.2 %	+1.6 %	-0.6 %

Fuente: Elaboración propia

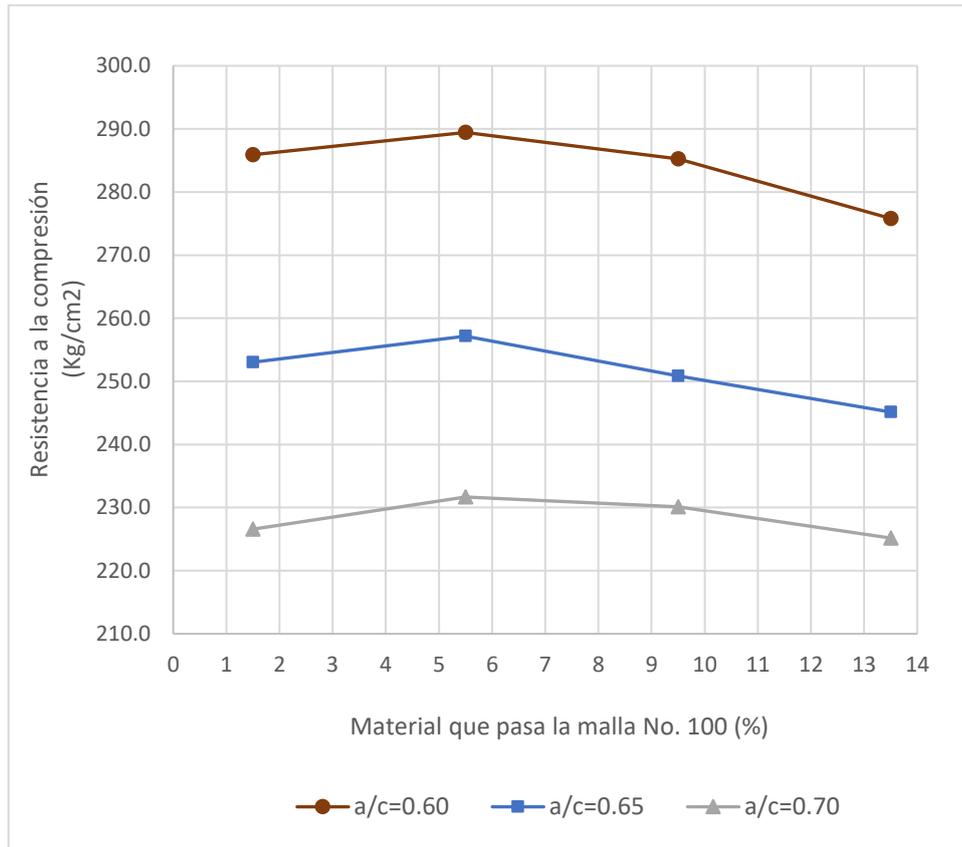


Figura 17. Variación de la resistencia a la compresión a los 56 días por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100
Fuente: Elaboración propia

Al mantener constante la relación a/c y a todas las edades, el incremento del contenido de finos de la arena, desde A 1-2 hasta A 5-6, causó el incremento de la resistencia a la compresión; luego con el uso la arena A 9-10 las resistencias empiezan a disminuir llegando a valores muy similares al del patrón y finalmente las mezclas elaboradas con la arena A 13-14 generó las resistencias más bajas.

Aunque para las 3 relaciones a/c se observa que la máxima resistencia se obtiene con la arena A 5-6, también se aprecia que para la relación $a/c=0.60$ la variación porcentual de su resistencia con respecto al patrón es menor que para la relación a/c de 0.65 y 0.70.

También se puede notar que al comparar la A 9-10 con la arena patrón, conforme se incrementa la relación a/c las variaciones porcentuales pasan de un valor negativo a otro positivo, lo que indica un crecimiento en mayor grado de la resistencia, llegando incluso a ser muy similar a la resistencia alcanzada por la arena A 5-6.

5.2.2. Resistencia a la tracción

La realización de este ensayo se llevó a cabo conforme a lo indicado en la NTP 339.084. El método de prueba permite conocer la resistencia a la tracción de manera indirecta, cuando a la probeta se le induce esfuerzos de tensión al aplicar cargas a compresión diametral.

Se ensayaron en total 72 probetas de 6" x 12" (6 por diseño) después de ser curados por 28 días.

Cuadro 27. Variación de la resistencia a la tracción a los 28 días (kg/cm²)

	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Resistencia a la tracción	23.8	24.6	23.7	21.4
	Variación porcentual	0.0 %	+3.5 %	-0.3 %	-10.0 %
0.65	Resistencia a la tracción	22.1	22.7	21.4	20.8
	Variación porcentual	0.0 %	+2.6 %	-3.4 %	-5.7 %
0.70	Resistencia a la tracción	19.7	20.9	19.8	18.3
	Variación porcentual	0.0 %	+6.1 %	+0.4 %	-7.0 %

Fuente: Elaboración propia

Se verifica de acuerdo a los resultados obtenidos que la resistencia a la tracción guarda la misma tendencia que la resistencia a la compresión.

Para las relaciones a/c estudiadas, la resistencia a la tracción aumenta con el incremento del contenido de finos de la arena, de A 1-2 hasta A 5-6, obteniéndose con este último los mayores valores; luego, el incremento de finos conduce a la disminución progresiva de la resistencia.

Por otra parte, las variaciones porcentuales son mayores a las alcanzadas en el ensayo a compresión, esto se refleja de manera explícita en la figura 18 e indica que el contenido de finos tiene una mayor afectación en la resistencia a la tracción que en la resistencia a la compresión.

También, se aprecia a cada vez menores relaciones a/c el punto máximo de resistencia tiende a desplazarse hacia el diseño con menor contenido de finos.

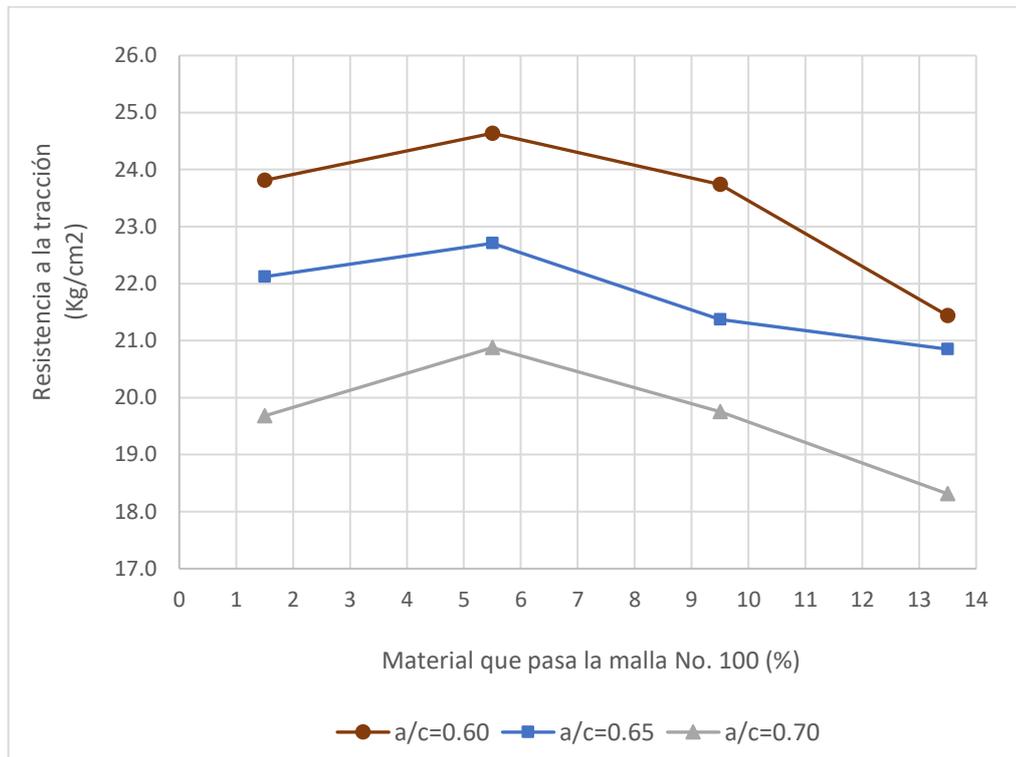


Figura 18. Variación de la resistencia a la tracción a los 28 días por variación de la cantidad de material que pasa la malla No. 100
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

El efecto del contenido de finos de la arena en las propiedades del concreto ha sido estudiado. Se estableció la influencia de estos finos por la cantidad de material pasante por la malla No.100, que en este estudio se precisó en cantidades de 1 a 2 %, 5 a 6 %, 9 a 10 % y 13 a 14 %. Asimismo, se trabajó con relaciones a/c de 0.60, 0.65 y 0.70.

En cumplimiento del objetivo de esta investigación, se realizaron ensayos al concreto en su estado fresco, tales como consistencia, densidad, contenido de aire, exudación, tiempo de fraguado y en el estado endurecido se evaluó la resistencia a la compresión y resistencia a la tracción. Todos los ensayos se realizaron manteniendo constante la relación a/c, el asentamiento de 3" a 4" y la relación de agregado fino en 54 %.

Los materiales empleados comprenden: agregado fino, procedente de la cantera de Cieneguilla; agregado grueso, procedente de la cantera de Carapongo y cemento Andino tipo IPM.

Como resultado de esta investigación efectuada en el Laboratorio de Ensayos y Materiales de la UNI, se formula las siguientes conclusiones.

1. Un concreto elaborado con una arena que contiene una mayor cantidad de material pasante por la malla No.100 requiere un aumento de la cantidad de agua en el diseño para cumplir con el asentamiento establecido. Tomando como base la cantidad de agua que demanda el concreto fabricado con la arena que contiene 1 a 2 % de material fino, se expresa lo siguiente: se necesita de 2 a 2.5 % más de agua en la mezcla de concreto producido con arena que contiene 5 a 6 % de material fino, de 3.6 a 4.1 % más de agua si la arena contiene 9 a 10 % de este material fino y de 8 a 8.6 % más de agua si el contenido de finos de la arena es de 13 a 14 %.
2. La densidad del concreto fresco presenta una ligera disminución conforme se incrementa el contenido de finos de la arena. Tomando como base la densidad obtenida con el diseño con la arena que contiene 1 a 2 % de material más fino que la malla No. 100, ésta disminuyó en 0.5 % cuando se utiliza una arena con un contenido de finos tanto de 5 a 6 % como de 9 a 10% y disminuyó en 1 % cuando el contenido de finos de la arena se encuentra entre 13 a 14 %.

3. Para todos los diseños, el contenido de aire en las mezclas de concreto no revela tendencia al variar el contenido de finos de la arena.
4. La exudación del concreto se reduce al usar una arena con un mayor contenido de material pasante por la malla No. 100. Esta disminución se manifiesta de la siguiente manera: entre 13 y 28 % para las mezclas elaboradas con la arena con un contenido de finos de 5 a 6 %, entre 21 y 39 % cuando la arena contiene de 9 a 10 % de este material fino y entre 25 y 42 % cuando se usa una arena con un contenido de finos de 13 a 14 %. También, al tener a/c cada vez menores, el efecto del contenido de finos de la arena sobre la exudación es menor.
5. El tiempo de fraguado inicial y final del concreto se adelanta ligeramente al usar una arena con un mayor contenido de material pasante por la malla No. 100. La mayor variación se presentó en el diseño de concreto realizado con la arena que contiene entre 13 a 14 % de material fino, donde disminuyó alrededor de 3 % con respecto al patrón.
6. La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días aumentó entre 0.8 y 2.2 % cuando se usa una arena con un contenido de finos de 5 a 6 %, luego disminuyó al aumentar la cantidad de este material fino. Cuando se usa una arena con un 9 a 10 % de finos la resistencia disminuye hasta en 1.4 % y si el contenido de finos esta entre 13 a 14 %, la resistencia disminuye entre 1.4 y 6.2 %.
7. La resistencia a la tracción del concreto a los 28 días aumentó entre 2.6 y 6.1 % cuando se emplea una arena con un contenido de finos de 5 a 6 %, luego disminuyó al aumentar la cantidad de este material fino. Cuando se usa una arena con un 9 a 10 % de finos la resistencia disminuye hasta en 3.4% y si el contenido de finos esta entre 13 a 14 %, la resistencia disminuye entre 5.7 y 10 %.
8. Las variaciones de las resistencias a compresión y a tracción ocasionadas por la variación del contenido de finos de la arena depende de la relación a/c. Conforme se incrementa la relación a/c, un mayor contenido de finos mejora las resistencias mecánicas.
9. La mejor relación costo-resistencia, desde el punto de vista económico, se da cuando el concreto es elaborado con una arena que contiene entre

1 y 6 % de material pasante por la malla No.100, es aceptable cuando este material fino está presente de un 7 a 10 % y desfavorable a mayores cantidades. Lo anterior se deduce a partir de los siguientes resultados. Tomando como referencia la resistencia alcanzada con el diseño con la arena que contiene 1 a 2 % de material más fino que la malla No. 100, los costos para obtener la misma resistencia manifiestan la siguiente tendencia:

- Un aumento entre 0.6 y 0.9 % cuando se diseña con la arena que contiene 5 a 6 % de material pasante por la malla No. 100.
- Un aumento entre 2.5 y 3.8 % cuando se diseña con la arena que contiene 9 a 10 % de material pasante por la malla No. 100.
- Un aumento entre 6.1 a 10.5 % cuando se diseña con la arena que contiene 13 a 14 % de material pasante por la malla No. 100.

10. Se contrasta con las investigaciones precedentes la existencia de una influencia del contenido de finos de la arena sobre el comportamiento del concreto. Aunque las conclusiones a las cuales se llegaron no han sido las mismas, en general se demuestra que existe un contenido óptimo de material fino que debe contener la arena para otorgar al concreto un mejor comportamiento. Una primera lectura indica que este contenido óptimo varía en función del tipo y cantidad de cemento empleado en el diseño, sin embargo, se necesita realizar una investigación más amplia para validar esta sentencia.

RECOMENDACIONES

1. En el caso de diseñar concretos con cemento tipo IPM, para obtener una mezcla más económica, trabajable, con moderada exudación en su estado fresco y de mayor resistencia en su estado endurecido, se recomienda:
 - Cuando la relación a/c es de 0.60 a 0.70, la arena debe tener de 1 a 7 % de material pasante por la malla No. 100.
 - Cuando la relación a/c es mayor a 0.65 hasta 0.70, es posible utilizar arenas hasta un 10 % de material pasante por la malla No. 100.

No obstante, se sugiere realizar ensayos para cada tipo de arena o cemento a utilizar con el fin de asegurar el óptimo desempeño del concreto.

2. Es preciso indicar, que se debe tener precaución en elegir la arena, ya que una presencia excesiva de contenido de finos puede conllevar a resultados inaceptables, impactando en mayor grado sobre la resistencia y costo del concreto.
3. Luego de advertir la clara influencia de la cantidad de finos de la arena en las propiedades del concreto se recomienda realizar estudios complementarios para otras relaciones a/c, o con mayor o menor contenido de cemento, o con el uso de aditivos plastificantes; es probable que los resultados más favorables se obtengan con otros rangos de contenido de finos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI Committee E701. (2016). *Aggregates for Concrete*. ACI. Recuperado el 3 de febrero del 2019, de <https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/E1-16v3.pdf>
2. Alexander, M. y Mindess S. (2005). *Aggregates in concrete*. Londres, Reino Unido. Editorial Taylor & Francis Ltd.
3. Arangurí, G. (2015). *La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad*. In Crescendo Ingeniería, Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote. Recuperado el 12 de diciembre del 2018, de <https://revistas.uladech.edu.pe/index.php/increscendo-ingenieria/index>
4. Biondi, A. (2014). *Los cementos adicionados*. ASOCEM. Recuperado el 11 de noviembre del 2018, de http://www.asocem.org.pe/archivo/files/CC_ed17%20-%20Asocem.pdf
5. Cachay, R. (1995). *Diseño de mezclas - método de agregado global y módulo de finura, para concretos de mediana a alta resistencia* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
6. de Larrard, F. (1999). *Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach*. ResearchGate. Recuperado el 22 de febrero del 2019, de https://www.researchgate.net/publication/37427355_Concrete_Mixture_Proportioning_A_Scientific_Approach
7. Dewar, J. (1999). *Computer Modelling of Concrete Mixtures*. Mobt3ath. Recuperado el 22 de febrero del 2019, de <https://www.mobt3ath.com/uplode/book/book-26237.pdf>
8. Diaz, A (2004). *Minerales no Metálicos para la Industria de la Construcción: Mercados y Perspectivas*. INGEMMET. Recuperado el 14 de diciembre del 2018, de <http://tramite.ingemmet.gob.pe/BusquedaGeodoc/imagenes/Informes/A5744.pdf>
9. Giaccio, G. (1999). *Exudación del hormigón: Efecto de la incorporación de cenizas volantes*. Repositorio de la Universidad Nacional de La Plata. Recuperado el 12 de marzo del 2019, de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77801/Documento_completo.pdf?sequence=1
10. Jia, F., He, L., Pan, Z., Hui, W., Ling, X. y Collins, F. (2013). *Effect of very fine particles on workability and strength of concrete made with dune sand*.

- Artículo publicado por la revista Construction and Building Materials. Australia.
11. Kronlöf, A. (1994). Effect of very fine aggregate on concrete strength. ResearchGate. Recuperado el 25 de febrero del 2019, de https://www.researchgate.net/publication/225705151_Effect_of_very_fine_aggregate_on_concrete_strength
 12. Mindess, S., Young F. y Darwin, D. (2002). *Concrete*. USA. Editorial Prentice Hall.
 13. Muñoz, F. y Oreamuno, J. (1995). *Influencia de los finos pasando la malla No. 200 (ASTM) en mezclas de concreto con cementos Portland con adiciones*. Investigación publicada en la Universidad de Costa Rica.
 14. Neville, A. (1999). *Tecnología del concreto*. México. Editorial Trillas.
 15. Paa-Kofi, P. y Asiedu, S. (2018). *Effect of Sand Fines and Water/Cement Ratio on Concrete Properties*. Artículo publicado por el Department of Construction and Wood Technology, University of Education, Winneba-College of Technology Education, Ghana.
 16. Richardson, D. (2005). *Aggregate gradation optimization- Literature search*. Missouri University of Science and Technology. Missouri, USA.
 17. Stewart, J., Novell, J., Juenger, M. y Fowler, D. (2003). *Characterizing Minus No. 200 Fine Aggregate for Performance in Concrete*. Research report of the International Center for Aggregates Research (Report No. 107-1), University of Texas at Austin. Texas, USA.
 18. Torre, A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles*. Laboratorio de ensayo de materiales, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
 19. Tovar, A. (1997). *Ensayos exploratorios acerca de la influencia del material más fino que pasa la malla No.100 en la resistencia mecánica del concreto* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO A. ANÁLISIS DE COSTOS

ANEXO B. CUADROS DETALLADOS

ENSAYOS AL AGREGADO GRUESO

ENSAYOS AL AGREGADO FINO

DISEÑO DE MEZCLA

ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO

ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO

ANEXO C. PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO D. CONSTANCIA DE ENSAYOS UNI-LEM

ANEXO A. ANÁLISIS DE COSTOS

Se evalúa el costo y beneficio que implica el uso de cada tipo de arena en el concreto, en este caso el costo está determinado específicamente por la cantidad de material para producir un metro cúbico de concreto, mientras que el beneficio está valorado por la capacidad de resistencia a la compresión; para ello se realiza la comparación en base a las variaciones porcentuales de cada variable.

Cuadro 28. Costo por m3 de concreto elaborado con el tipo de arena A 1-2 (patrón)

a/c	Arena 1-2				
	Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo Parcial (S/)
0.60	Cemento	bolsas	9.80	18.22	178.6
	Agua	m3	0.25	8.43	2.1
	Arena	m3	0.54	42.37	23.0
	Piedra	m3	0.52	50.85	26.3
	Costo total (S/)				
0.65	Cemento	bolsas	8.87	18.22	161.6
	Agua	m3	0.25	8.43	2.1
	Arena	m3	0.56	42.37	23.7
	Piedra	m3	0.53	50.85	27.1
	Costo total (S/)				
0.70	Cemento	bolsas	8.17	18.22	148.8
	Agua	m3	0.25	8.43	2.1
	Arena	m3	0.57	42.37	24.2
	Piedra	m3	0.54	50.85	27.6
	Costo total (S/)				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 29. Costo por m3 de concreto elaborado con el tipo de arena A 5-6

a/c	Arena 5-6				
	Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo Parcial (S/)
0.60	Cemento	bolsas	10.00	18.22	182.2
	Agua	m3	0.26	8.43	2.2
	Arena	m3	0.54	42.37	22.8
	Piedra	m3	0.51	50.85	25.9
	Costo total (S/)				
0.65	Cemento	bolsas	9.09	18.22	165.5
	Agua	m3	0.25	8.43	2.1
	Arena	m3	0.55	42.37	23.4
	Piedra	m3	0.52	50.85	26.7
	Costo total (S/)				
0.70	Cemento	bolsas	8.37	18.22	152.5
	Agua	m3	0.25	8.43	2.1
	Arena	m3	0.56	42.37	23.9
	Piedra	m3	0.54	50.85	27.2
	Costo total (S/)				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 30. Costo por m3 de concreto elaborado con el tipo de arena A 9-10

a/c	Arena 9-10				
	Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo Parcial (S/)
0.60	Cemento	bolsas	10.16	18.22	185.1
	Agua	m3	0.26	8.43	2.2
	Arena	m3	0.53	42.37	22.6
	Piedra	m3	0.51	50.85	25.7
	Costo total (S/)				
0.65	Cemento	bolsas	9.23	18.22	168.2
	Agua	m3	0.26	8.43	2.2
	Arena	m3	0.55	42.37	23.2
	Piedra	m3	0.52	50.85	26.5
	Costo total (S/)				
0.70	Cemento	bolsas	8.50	18.22	154.9
	Agua	m3	0.26	8.43	2.2
	Arena	m3	0.56	42.37	23.7
	Piedra	m3	0.53	50.85	27.0
	Costo total (S/)				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 31. Costo por m3 de concreto elaborado con el tipo de arena A 13-14

a/c	Arena 13-14				
	Materiales	Unidad	Cantidad	Costo unitario (S/)	Costo Parcial (S/)
0.60	Cemento	bolsas	10.59	18.22	192.9
	Agua	m3	0.27	8.43	2.3
	Arena	m3	0.52	42.37	22.0
	Piedra	m3	0.49	50.85	25.0
	Costo total (S/)				
0.65	Cemento	bolsas	9.59	18.22	174.8
	Agua	m3	0.27	8.43	2.3
	Arena	m3	0.54	42.37	22.7
	Piedra	m3	0.51	50.85	25.8
	Costo total (S/)				
0.70	Cemento	bolsas	8.87	18.22	161.7
	Agua	m3	0.27	8.43	2.2
	Arena	m3	0.55	42.37	23.1
	Piedra	m3	0.52	50.85	26.3
	Costo total (S/)				

Fuente: Elaboración propia

Nota: El costo de los materiales está referido al mes de abril del 2019 y no incluyen IGV.

Cuadro 32. Variación del costo por variación del contenido de finos de la arena

	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
0.60	Costo (S/)	230.0	233.1	235.5	242.2
	Variación porcentual	0.0 %	+1.3 %	+2.4 %	+5.3 %
0.65	Costo (S/)	214.5	+217.8	220.0	225.6
	Variación porcentual	0.0 %	+1.5 %	+2.6 %	+5.2 %
0.70	Costo (S/)	202.7	205.7	207.8	213.4
	Variación porcentual	0.0 %	+1.5 %	+2.5 %	+5.3 %

Fuente: Elaboración propia

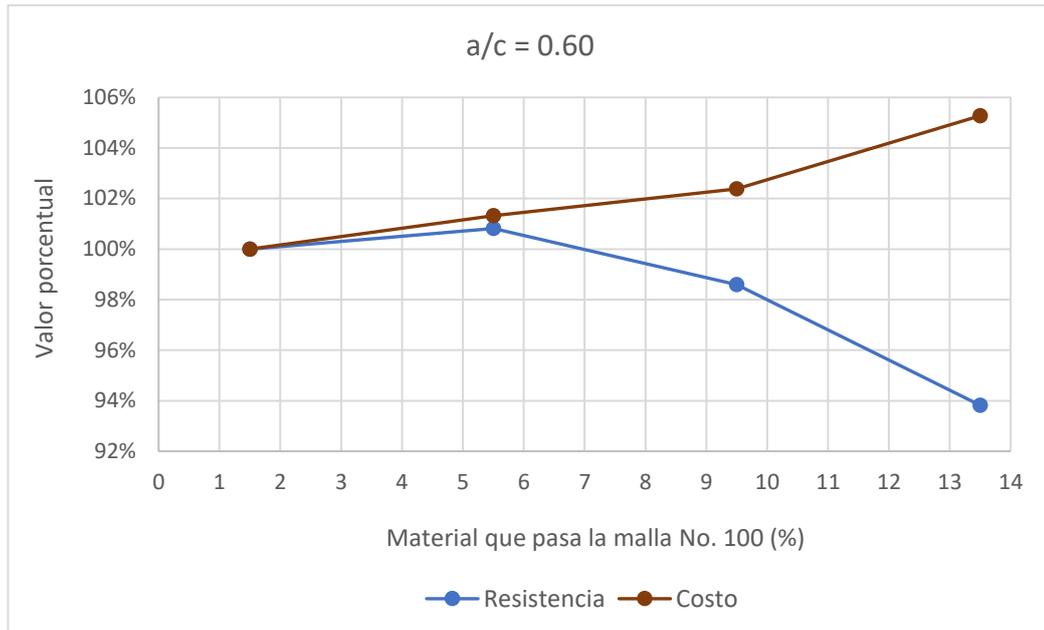


Figura 19. Comparación entre el costo y la resistencia del concreto con a/c de 0.60 para diferentes cantidades de material pasante por la malla No. 100
 Fuente: Elaboración propia

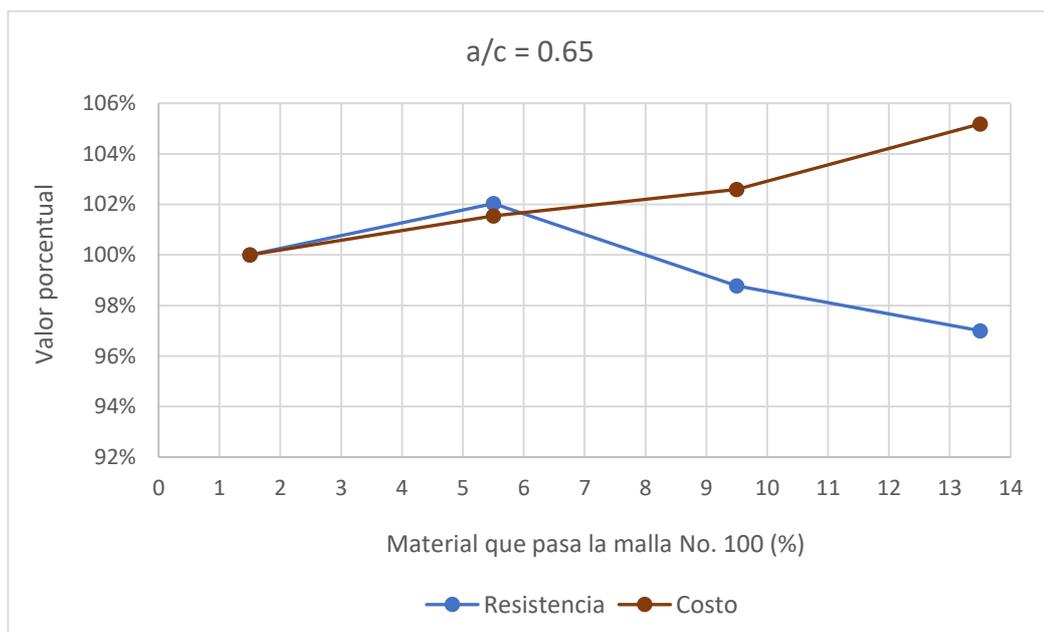


Figura 20. Comparación entre el costo y la resistencia del concreto con a/c de 0.65 para diferentes cantidades de material pasante por la malla No. 100
 Fuente: Elaboración propia

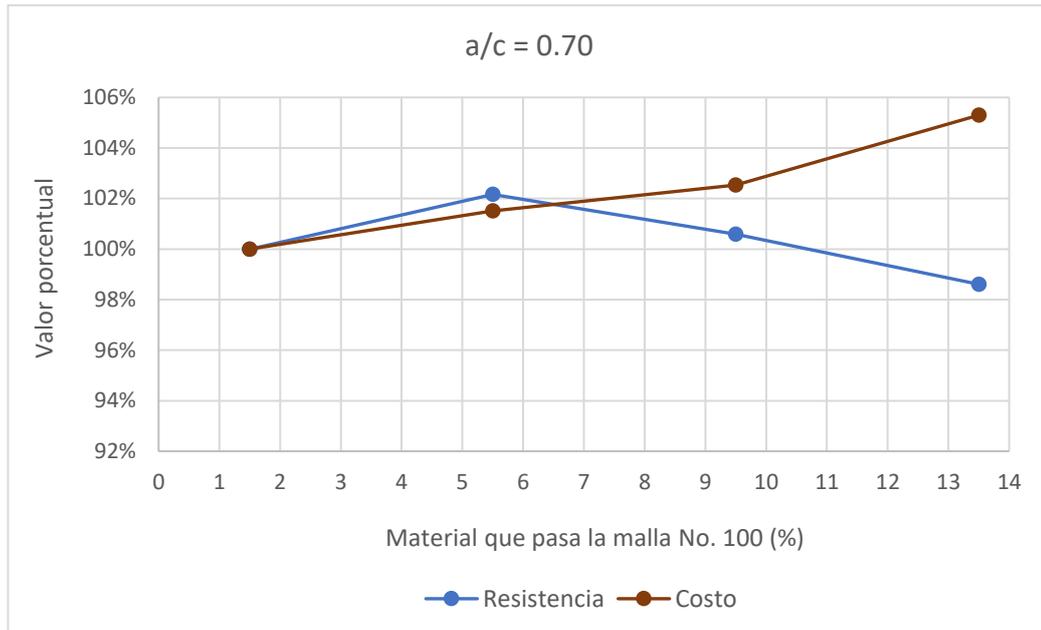


Figura 21. Comparación entre el costo y la resistencia del concreto con a/c de 0.70 para diferentes cantidades de material pasante por la malla No. 100
Fuente: Elaboración propia

De los cuadros y figuras se observa que:

Al mantener constante la relación a/c, un incremento progresivo del contenido de finos de la arena, trae consigo un aumento del costo del concreto, siendo acentuada en forma notable por la arena A 13-14. Este aumento del costo se debe esencialmente al incremento de la cantidad de agua requerida, lo cual conduce al uso de una mayor cantidad de cemento, mermando la cantidad de agregado.

La comparación entre el costo y la resistencia, ilustrada en las figuras, indica que, desde el punto de vista económico, un contenido de finos entre 1 y 6 % es óptimo, aceptable hasta un 7 a 10 % y desfavorable para mayores cantidades.

También se puede notar que a medida que la relación a/c disminuye, la discrepancia entre el costo y resistencia es cada vez mayor, esto es debido a las variaciones porcentuales que induce el contenido de finos en mayor grado sobre la resistencia.

Asimismo, para conocer cuánto es el beneficio o la desventaja económica, se tomará como base la resistencia a la compresión a los 28 días alcanzada por la arena patrón (A 1-2), para hallar el costo de cada uno de los diseños con los distintos tipos de arena manteniendo esta propiedad constante.

Al mantener la resistencia constante, tanto la relación a/c como la cantidad de agua de diseño serán modificados. Se hace necesario establecer una relación entre estas variables.

Respecto a la resistencia y relación a/c, esta quedó definida por la relación de Duff Abrams, que establece lo siguiente:

$$f'c = \frac{A}{B^{a/c}}$$

Luego de aplicar logaritmos a ambos lados para linealizar la función y con apoyo en los datos obtenidos en laboratorio se obtiene:

- Para la A 1-2 : $\text{Log}(f'c) = 3.05 - 1.07 * a/c$ $R^2 = 0.999$
- Para la A 5-6 : $\text{Log}(f'c) = 3.02 - 1.01 * a/c$ $R^2 = 0.999$
- Para la A 9-10 : $\text{Log}(f'c) = 2.99 - 0.98 * a/c$ $R^2 = 0.993$
- Para la A 13-14 : $\text{Log}(f'c) = 2.89 - 0.86 * a/c$ $R^2 = 0.999$

Respecto a la cantidad de agua, esta se estimó en función de la relación a/c hallada en el paso anterior mediante la interpolación o extrapolación según se presentó el caso.

Cuadro 33. Variación del costo por variación del contenido de finos de la arena, fijado para una resistencia patrón.

Resistencia (kg/cm ²)	Tipo de arena	A 1-2	A 5-6	A 9-10	A 13-14
255.6 (a/c=0.60)	Costo (S/)	230.0	232.2	238.8	254.2
	Variación porcentual	0.0 %	+0.9 %	+3.8 %	+10.5 %
224.1 (a/c=0.65)	Costo (S/)	214.5	215.7	220.3	230.8
	Variación porcentual	0.0 %	+0.6 %	+2.7 %	+7.6 %
199.7 (a/c=0.70)	Costo (S/)	202.7	203.9	207.8	214.9
	Variación porcentual	0.0 %	+0.6 %	+2.5 %	+6.1 %

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro anterior, el costo prácticamente se mantiene constante al usar un contenido de finos de 1 a 6 %, luego aumenta progresivamente, en menor medida hasta un 10% y a partir de este límite el incremento se magnifica, llegando a incrementarse el costo entre 6.1 y 10.5 % más con respecto al óptimo.

ANEXO B. CUADROS DETALLADOS

ENSAYOS AL AGREGADO GRUESO

Cuadro 34. Peso específico y absorción del agregado grueso

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
Masa de la muestra saturada superficialmente seca	g	4000.0	4000.0	4000.0	
Masa de la canastilla más la muestra saturada sumergida en agua	g	3486.4	3488.0	3487.2	
Masa de la canastilla sumergida en agua	g	956.1	956.1	956.1	
Masa de la muestra saturada sumergida en agua	g	2530.3	2531.9	2531.1	
Masa de la muestra seca	g	3981.1	3981.6	3982.1	
Peso específico de masa	g/cm ³	2.70	2.71	2.70	2.70
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	g/cm ³	2.71	2.72	2.72	2.72
Peso específico aparente	g/cm ³	2.74	2.74	2.74	2.74
Absorción		0.47 %	0.46 %	0.45 %	0.46 %

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 35. Peso unitario suelto del agregado grueso

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	M4
Masa de la muestra + recipiente	kg	17.57	17.34	17.59	17.33
Masa del recipiente	kg	4.35	4.35	4.35	4.35
Masa de la muestra	kg	13.22	12.99	13.24	12.98
Volumen del recipiente	m ³	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093
Peso unitario suelto	kg/m ³	1422	1397	1424	1396
		1409			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 36. Peso unitario compactado del agregado grueso

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	M4
Masa de la muestra + recipiente	kg	18.84	18.76	18.75	18.80
Masa del recipiente	kg	4.35	4.35	4.35	4.35
Masa de la muestra	kg	14.49	14.41	14.40	14.45
Volumen del recipiente	m ³	0.0093	0.0093	0.0093	0.0093
Peso unitario compactado	kg/m ³	1558	1549	1548	1554
		1552			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 37. Contenido de humedad del agregado grueso

Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra húmeda	g	4000.0	4000.0	4000.0
Masa de la muestra seca	g	3990.5	3988.5	3989.0
Contenido de agua	g	9.5	11.5	11.0
Contenido de humedad	-	0.24 %	0.29 %	0.28 %
		0.27 %		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 38. Cantidad de material que pasa la malla No. 200 del agregado grueso

Descripción	Unidad	M1	M2	M3	M4
Masa seca de la muestra original	g	3000.0	3000.0	3000.0	3000.0
Masa de la muestra ensayada (lavada y secada)	g	2988.6	2990.4	2991.2	2989.9
% material que pasa la malla No. 200	-	0.38 %	0.32 %	0.29 %	0.34 %
		0.33 %			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 39. Análisis granulométrico del del agregado grueso

Masa muestra seca		12000	g					
Tamiz	Masa retenida (g)							
	M1	M2	M3	M4				
1"	84.0	212.4	160.8	116.4				
3/4"	5614.8	5299.2	5018.4	5305.2				
1/2"	4594.8	4694.4	5086.4	4759.2	MF	7.43		
3/8"	1453.2	1528.8	1485.6	1518.0	T.M.N.	1"		
N°4	201.6	222.0	205.2	255.6	El agregado se ajusta al Huso 56 de la ASTM C33			
Fondo	36.0	39.6	31.2	32.4				
Σ	11984.4	11996.4	11987.6	11986.8				
error	15.6	3.6	12.4	13.2				
					Promedio			
Tamiz	Masa retenida (g)				Masa retenida (g)	% Retenido		% Que pasa
	M1	M2	M3	M4		parcial	acum.	
1"	87.1	213.1	163.3	119.0	145.6	1.2	1.2	98.8
3/4"	5617.9	5299.9	5020.9	5307.8	5311.6	44.3	45.5	54.5
1/2"	4597.9	4695.1	5088.9	4761.8	4785.9	39.9	85.4	14.6
3/8"	1456.3	1529.5	1488.1	1520.6	1498.6	12.5	97.8	2.2
N°4	204.7	222.7	207.7	258.2	223.3	1.9	99.7	0.3
Fondo	36.0	39.6	31.2	32.4	34.8	0.3	100.0	0.0
Σ	12000.0	12000.0	12000.0	12000.0	12000.0	100		

Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS AL AGREGADO FINO

Cuadro 40. Peso específico y absorción de los 4 tipos de arena

A 1-2					
Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
M arena s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0	
M picnómetro + arena s.s.s. + agua	g	990.3	990.2	990.8	
M picnómetro llenado con agua	g	680.2	680.2	680.2	
Masa de la arena seca	g	495.1	494.9	495.0	
Densidad seca	g/cm ³	2.60	2.60	2.61	2.60
Densidad s.s.s.	g/cm ³	2.63	2.63	2.63	2.63
Densidad aparente	g/cm ³	2.67	2.67	2.68	2.67
Absorción		0.99 %	1.03 %	1.01 %	1.01 %
A 5-6					
Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
M arena s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0	
M picnómetro + arena s.s.s. + agua	g	989.9	991.2	991.0	
M picnómetro llenado con agua	g	680.3	680.3	680.3	
Masa de la arena seca	g	494.9	495.2	494.5	
Densidad seca	g/cm ³	2.59	2.61	2.61	2.60
Densidad s.s.s.	g/cm ³	2.62	2.64	2.63	2.63
Densidad aparente	g/cm ³	2.66	2.68	2.68	2.68
Absorción		1.03 %	0.97 %	1.11 %	1.04 %
A 9-10					
Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
M arena s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0	
M picnómetro + arena s.s.s. + agua	g	991.2	991.0	991.7	
M picnómetro llenado con agua	g	680.3	680.3	680.3	
Masa de la arena seca	g	494.1	494.4	494.3	
Densidad seca	g/cm ³	2.61	2.61	2.61	2.61
Densidad s.s.s.	g/cm ³	2.64	2.63	2.64	2.64
Densidad aparente	g/cm ³	2.69	2.68	2.70	2.69
Absorción		1.19 %	1.13 %	1.15 %	1.16 %
A 13-14					
Descripción	Unidad	M1	M2	M3	Promedio
M arena s.s.s.	g	500.0	500.0	500.0	
M picnómetro + arena s.s.s. + agua	g	992.0	992.3	992.1	
M picnómetro llenado con agua	g	680.3	680.3	680.3	
Masa de la arena seca	g	493.8	494.2	494.5	
Densidad seca	g/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62
Densidad s.s.s.	g/cm ³	2.65	2.65	2.65	2.65
Densidad aparente	g/cm ³	2.70	2.71	2.70	2.70
Absorción		1.26 %	1.17 %	1.11 %	1.18 %

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 41. Peso unitario suelto de los 4 tipos de arena

A 1-2				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra + recipiente	kg	5.88	5.84	5.86
Masa del recipiente	kg	1.58	1.58	1.58
Masa de la muestra	kg	4.3	4.26	4.28
Volumen del recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario suelto	kg/m3	1536	1521	1529
		1529		
A 5-6				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra + recipiente	kg	5.92	5.89	5.90
Masa del recipiente	kg	1.58	1.58	1.58
Masa de la muestra	kg	4.34	4.31	4.32
Volumen del recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario suelto	kg/m3	1550	1539	1543
		1544		
A 9-10				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra + recipiente	kg	6.00	6.01	6.00
Masa del recipiente	kg	1.58	1.58	1.58
Masa de la muestra	kg	4.42	4.43	4.42
Volumen del recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario suelto	kg/m3	1579	1582	1579
		1580		
A 13-14				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra + recipiente	kg	6.16	6.17	6.12
Masa del recipiente	kg	1.58	1.58	1.58
Masa de la muestra	kg	4.58	4.59	4.54
Volumen del recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario suelto	kg/m3	1636	1639	1621
		1632		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 42. Peso unitario compactado de los 4 tipos de arena

A 1-2				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra + recipiente	kg	6.35	6.32	6.35
Masa del recipiente	kg	1.58	1.58	1.58
Masa de la muestra	kg	4.77	4.74	4.77
Volumen del recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario compactado	kg/m3	1704	1693	1704
		1700		
A 5-6				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra + recipiente	kg	6.41	6.45	6.44
Masa del recipiente	kg	1.58	1.58	1.58
Masa de la muestra	kg	4.83	4.87	4.86
Volumen del recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario compactado	kg/m3	1725	1739	1736
		1733		
A 9-10				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra + recipiente	kg	6.56	6.61	6.55
Masa del recipiente	kg	1.58	1.58	1.58
Masa de la muestra	kg	4.98	5.03	4.97
Volumen del recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario compactado	kg/m3	1779	1796	1775
		1783		
A 13-14				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra + recipiente	kg	6.69	6.65	6.67
Masa del recipiente	kg	1.58	1.58	1.58
Masa de la muestra	kg	5.11	5.07	5.09
Volumen del recipiente	m3	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario compactado	kg/m3	1825	1811	1818
		1818		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 43. Contenido de humedad de los 4 tipos de arena

A 1-2				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra húmeda	g	1000.0	1000.0	1000.0
Masa de la muestra seca	g	993.9	994.1	993.7
Contenido de agua	g	6.1	5.9	6.3
Contenido de humedad		0.61 %	0.59 %	0.63 %
			0.61 %	
A 5-6				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra húmeda	g	1000.0	1000.0	1000.0
Masa de la muestra seca	g	991.3	992.0	992.4
Contenido de agua	g	8.7	8.0	7.6
Contenido de humedad		0.88 %	0.81 %	0.77 %
			0.82 %	
A 9-10				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra húmeda	g	1000.0	1000.0	1000.0
Masa de la muestra seca	g	990.3	990.0	990.2
Contenido de agua	g	9.7	10.0	9.8
Contenido de humedad		0.98 %	1.01 %	0.99 %
			0.99 %	
A 13-14				
Descripción	Unidad	M1	M2	M3
Masa de la muestra húmeda	g	1000.0	1000.0	1000.0
Masa de la muestra seca	g	989.8	990.5	989.3
Contenido de agua	g	10.2	9.5	10.7
Contenido de humedad		1.03 %	0.96 %	1.08 %
			1.02 %	

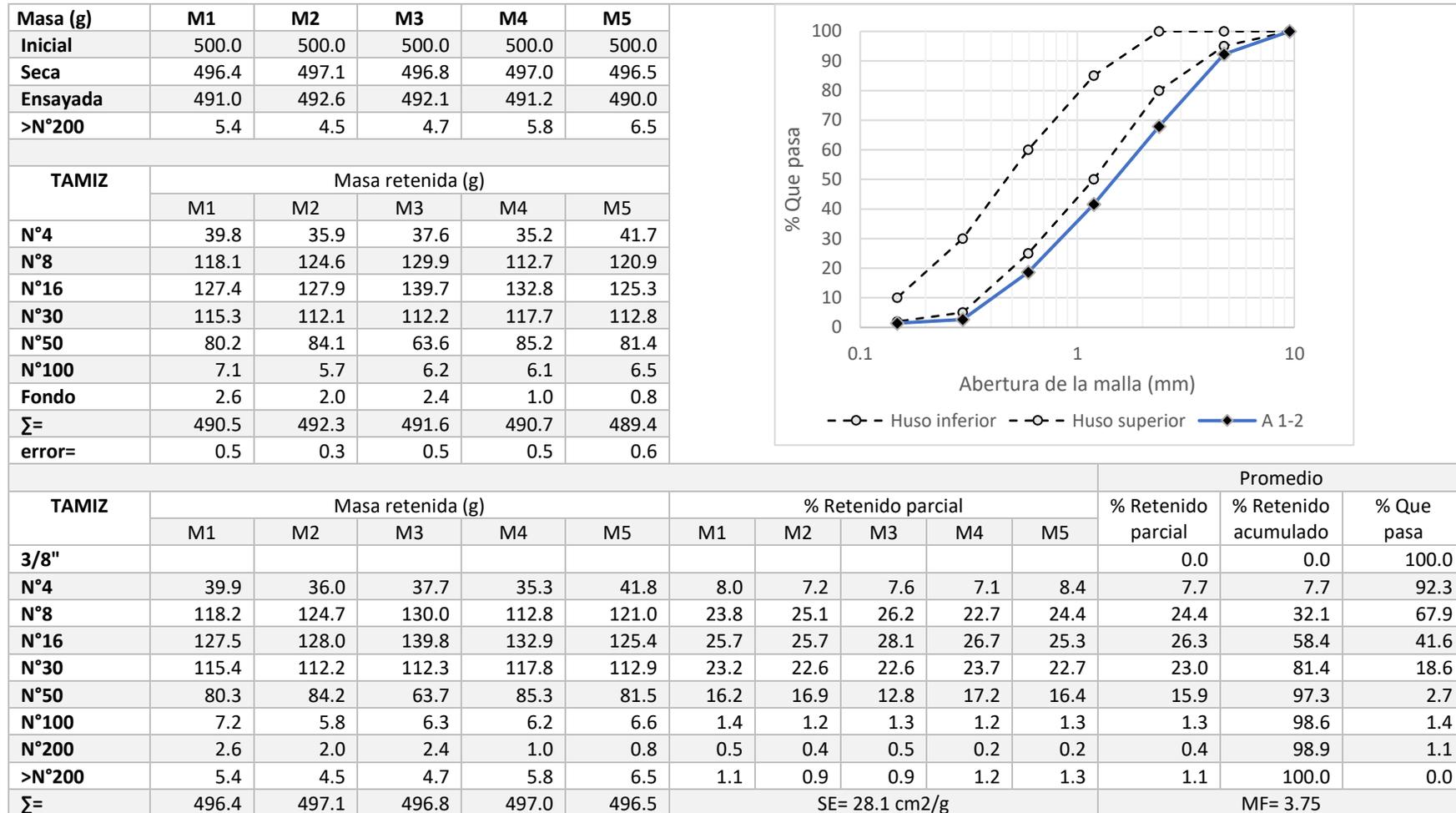
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 44. Impurezas orgánicas en el agregado fino original

	Color en placa orgánica de colores	El color del líquido se asemeja más al nro. 1
	Observaciones	La arena presenta un escaso contenido de impurezas orgánicas y puede ser utilizada para elaborar concreto

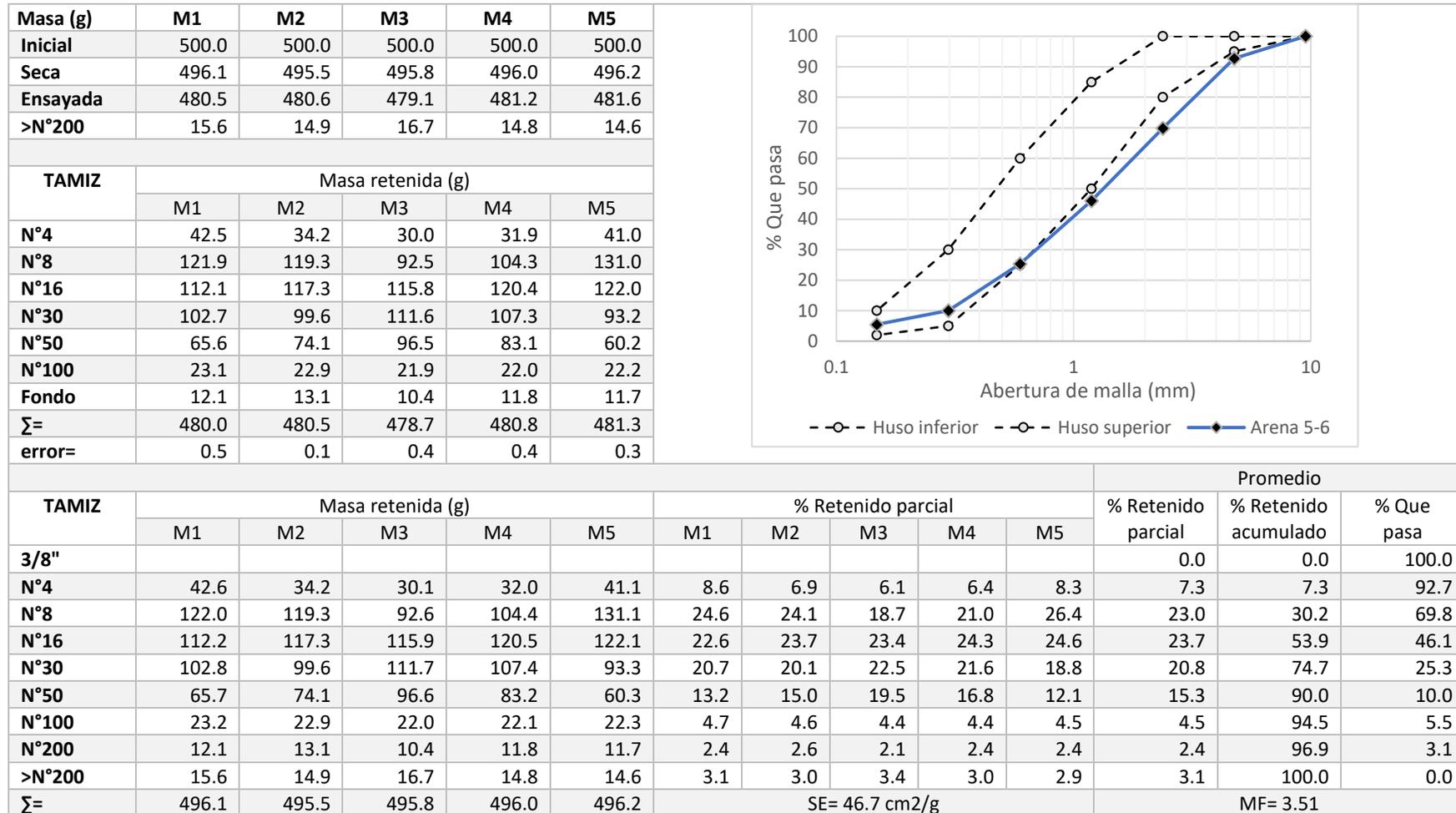
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 45. Análisis granulométrico de la arena A 1-2



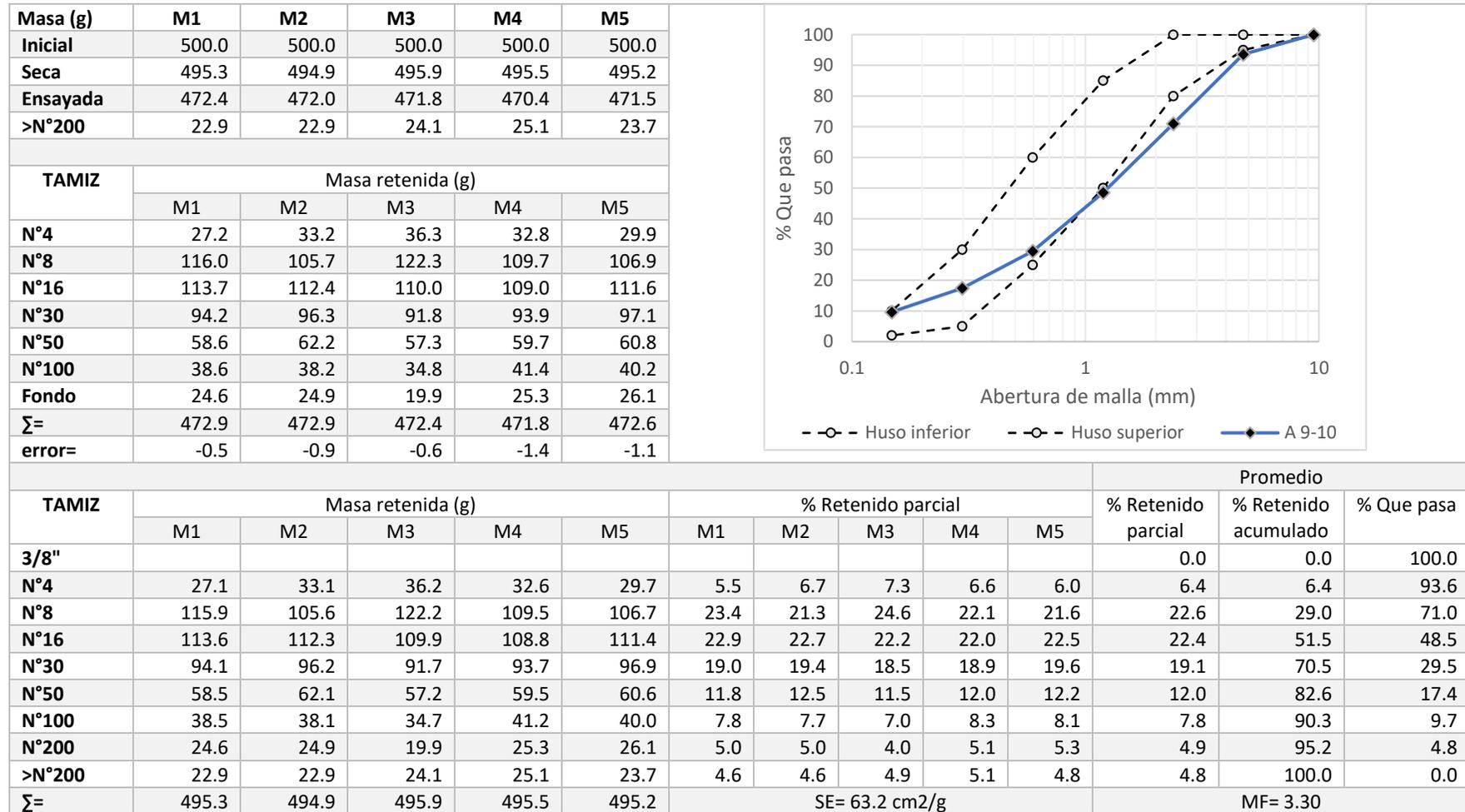
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 46. Análisis granulométrico de la arena A 5-6



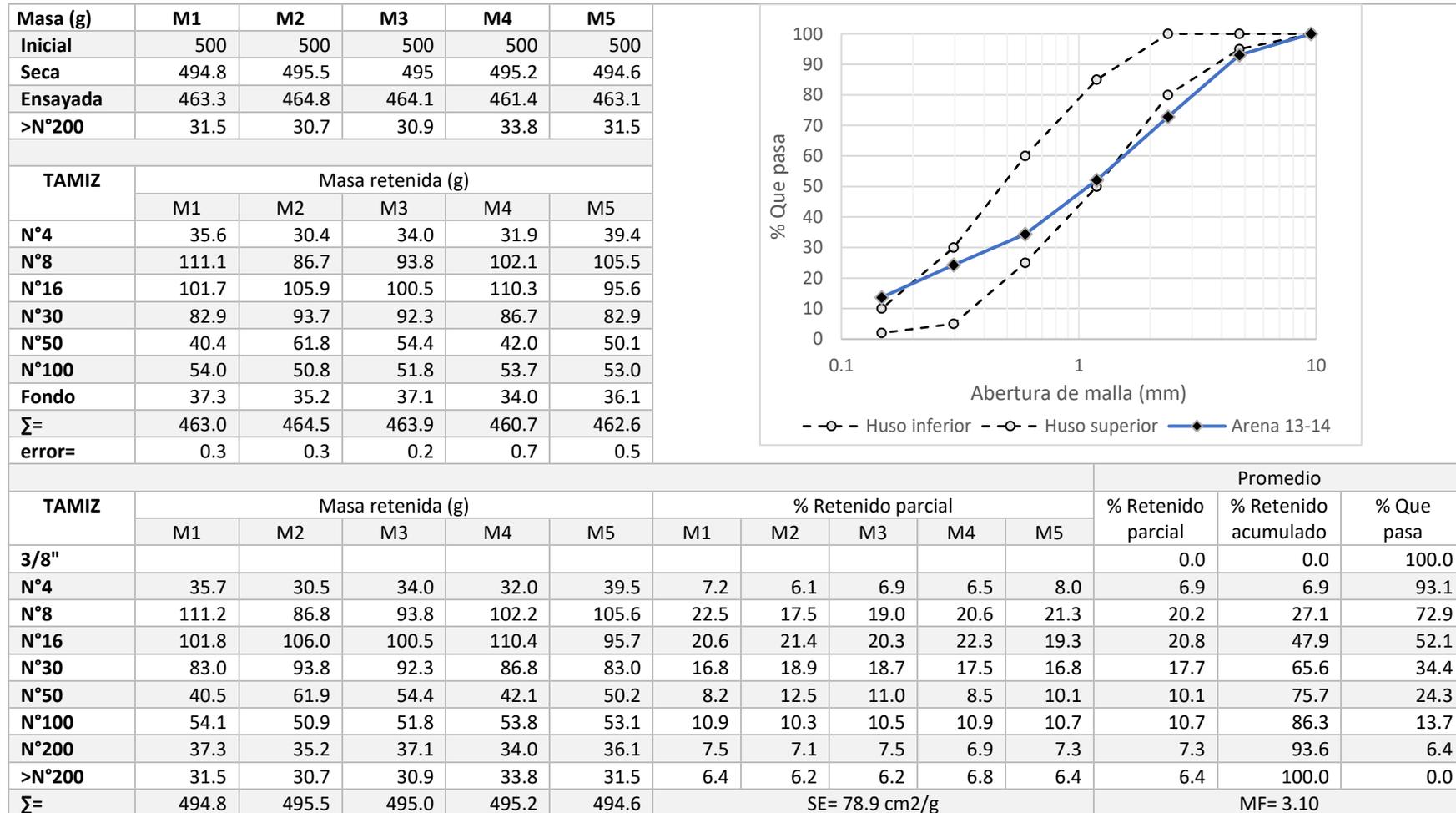
Fuente: Elaboración propia

Cuadro 47. Análisis granulométrico del agregado fino original (A 9-10)



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 48. Análisis granulométrico de la arena A 13-14



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 49. Análisis granulométrico del agregado fino mayor que la malla No. 50

Masa de la muestra		500 g							
TAMIZ	Masa retenida (g)								
	M1	M2	M3	M4					
3/8"									
N°4	36.8	37.7	40.7	44.9					
N°8	116.7	136.1	125.2	133.9					
N°16	137.0	135.6	132.2	127.8					
N°30	111.9	106.6	109.2	101.4					
N°50	92.9	80.7	88.7	87.4					
N°100	2.9	2.3	2.8	3.2					
Fondo	0.4	0.5	0.8	0.8					
Σ=	498.6	499.5	499.6	499.4					
error=	1.4	0.5	0.4	0.6					
					Promedio				
TAMIZ	Masa retenida (g)				Masa retenida (g)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	
	M1	M2	M3	M4					
3/8"								100.0	
N°4	37.0	37.8	40.8	45.0	40.1	8.0	8.0	92.0	
N°8	116.9	136.2	125.3	134.0	128.1	25.6	33.6	66.4	
N°16	137.2	135.7	132.3	127.9	133.3	26.7	60.3	39.7	
N°30	112.1	106.7	109.3	101.5	107.4	21.5	81.8	18.2	
N°50	93.1	80.8	88.8	87.5	87.5	17.5	99.3	0.7	
N°100	3.1	2.4	2.9	3.3	2.9	0.6	99.9	0.1	
Fondo	0.4	0.5	0.8	0.8	0.6	0.1	100.0	0	
Σ=	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	100			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 50. Análisis granulométrico del agregado fino menor que la malla No. 50

Masa de la muestra		500 g							
TAMIZ	Masa retenida (g)								
	M1	M2	M3	M4					
N°50									
N°100	248.8	247.7	233.7	244.3					
Fondo	251.0	252.0	266.0	255.4					
Σ=	499.8	499.7	499.7	499.7					
error	0.2	0.3	0.3	0.3					
					Promedio				
TAMIZ	Masa retenida (g)				Masa retenida (g)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	
	M1	M2	M3	M4					
N°50									
N°100	248.9	247.8	233.8	244.4	243.7	48.7	48.7	51.3	
Fondo	251.1	252.2	266.2	255.6	256.3	51.3	100.0	0.0	
Σ=	500.0	500.0	500.0	500.0	500.0	100			

Fuente: Elaboración propia

DISEÑO DE MEZCLA

Cuadro 51. Peso unitario compactado para distintas rf

Masa del recipiente		6.33 kg						
Volumen del recipiente		0.0142 m ³ (1/2 pie ³)						
	Descripción	Unidad	Relación de agregado fino					
			48	51	54	57	60	63
C1	Masa de la muestra + recipiente	kg	34.62	34.85	35.09	35.33	35.10	34.86
	Masa de la muestra	kg	28.29	28.52	28.76	29.00	28.77	28.53
	Peso unitario compactado	kg/m ³	1992	2008	2025	2042	2026	2009
C2	Masa de la muestra + recipiente	kg	34.74	34.88	34.90	35.26	35.26	34.77
	Masa de la muestra	kg	28.41	28.55	28.57	28.93	28.93	28.44
	Peso unitario compactado	kg/m ³	2001	2011	2012	2037	2037	2003
C3	Masa de la muestra + recipiente	kg	34.88	35.10	35.31	35.57	35.41	35.14
	Masa de la muestra	kg	28.55	28.77	28.98	29.24	29.08	28.81
	Peso unitario compactado	kg/m ³	2011	2026	2041	2059	2048	2029
C4	Masa de la muestra + recipiente	kg	34.64	34.54	35.28	35.45	35.38	35.17
	Masa de la muestra	kg	28.31	28.21	28.95	29.12	29.05	28.84
	Peso unitario compactado	kg/m ³	1994	1987	2039	2051	2046	2031

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 52. Resistencia a la compresión a los 7 días para determinar la r_f óptima

% r_f	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia	f'c prom
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)
48	a1	10.03	79.0	10016	127	133.9
	a2	10.06	79.5	10971	138	
	a3	10.02	78.9	10814	137	
	a4	10.05	79.3	10515	133	
	a5	10.05	79.3	10792	136	
	a6	10.04	79.2	10526	133	
51	b1	10.05	79.3	11082	140	135.6
	b2	10.03	79.0	10324	131	
	b3	10.01	78.7	10659	135	
	b4	10.02	78.9	10620	135	
	b5	10.06	79.5	10982	138	
	b6	10.05	79.3	10715	135	
54	c1	10.03	79.0	10818	137	141.6
	c2	10.05	79.3	11077	140	
	c3	10.02	78.9	11207	142	
	c4	10.01	78.7	10806	137	
	c5	10.04	79.2	11568	146	
	c6	10.06	79.5	11736	148	
57	d1	10.02	78.9	11251	143	137.8
	d2	10.02	78.9	10339	131	
	d3	10.01	78.7	10893	138	
	d4	10.02	78.9	10654	135	
	d5	10.04	79.2	11174	141	
	d6	10.02	78.9	10885	138	
60	e1	10.04	79.2	10825	137	132.4
	e2	10.06	79.5	10603	133	
	e3	10.06	79.5	10732	135	
	e4	10.07	79.6	10490	132	
	e5	10.04	79.2	9948	126	
	e6	10.05	79.3	10479	132	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 53. Diseño de mezcla patrón para la relación a/c de 0.60

Características de los materiales						
Descripción	Unidad	Cemento	Agua	Arena	Piedra	
Peso específico	kg/m ³	3000	1000	2602	2704	
% de humedad	-			0.61 %	0.27 %	
% de absorción	-			1.01 %	0.46 %	
Parámetros de diseño						
a/c	0.60					
slump	3" - 4"		Cantidad de agua		250 L	
rf	0.54		% de aire		1.5 %	
Cálculos						
Material	Peso	Volumen	Ajuste por humedad de agregados			
	kg	m ³	Ajuste en el peso			
Cemento	417	0.139	Peso húmedo de la arena		858 kg	
Agua	250	0.250	Peso húmedo de la piedra		728 kg	
Arena	Va*PEa	Va	Ajuste en la cantidad de agua			
Piedra	Vp*PEp	Vp	Aporte de la Arena		-3.41 L	
Aire		0.015	Aporte de la Piedra		-1.38 L	
	∑ =	0.404	∑ =		-4.79 L	
	1-∑ =	0.596	Agua efectiva		255 L	
	Va =	0.328				
	Vp =	0.269				
Resultados						
Material	Dosificación por m ³ de concreto			Proporción en peso		Tanda de prueba
	Peso seco	Volumen	Peso húmedo	Seco	Húmedo	0.030 m ³
	kg	m ³	kg			
Cemento	417	0.139	417	1.00	1.00	12.50
Agua	250	0.250	255	0.60	0.61	7.64
Arena	852	0.328	858	2.05	2.06	25.73
Piedra	726	0.269	728	1.74	1.75	21.84
Aire		0.015				
∑	2245	1	2257			67.71

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 54. Diseño de mezcla patrón para la relación a/c de 0.65

Características de los materiales							
Descripción	Unidad	Cemento	Agua	Arena	Piedra		
Peso específico	kg/m ³	3000	1000	2602	2704		
% de humedad	-			0.61 %	0.27 %		
% de absorción	-			1.01 %	0.46 %		
Parámetros de diseño							
a/c	0.65						
slump	3"- 4"		Cantidad de agua		245 L		
rf	0.54		% de aire		1.5 %		
Cálculos							
Material	Peso	Volumen	Ajuste por humedad de agregados				
	kg	m ³	Ajuste en el peso				
Cemento	377	0.126	Peso húmedo de la arena		884 kg		
Agua	245	0.245	Peso húmedo de la piedra		750 kg		
Arena	Va*PEa	Va	Ajuste en la cantidad de agua				
Piedra	Vp*PEp	Vp	Aporte de la Arena				-3.51 L
Aire		0.015	Aporte de la Piedra				-1.42 L
	∑ =	0.386	∑				-4.94 L
	1-∑ =	0.614	Agua efectiva				250 L
	Va =	0.338					
	Vp =	0.277					
Resultados							
Material	Dosificación por m ³ de concreto			Proporción en peso		Tanda de prueba	
	Peso seco	Volumen	Peso húmedo	Seco	Húmedo		
	kg	m ³	kg			0.030 m ³	
Cemento	377	0.126	377	1.00	1.00	11.31	
Agua	245	0.245	250	0.65	0.66	7.50	
Arena	878	0.338	884	2.33	2.34	26.51	
Piedra	748	0.277	750	1.99	1.99	22.51	
Aire		0.015					
∑	2249	1	2261			67.83	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 55. Diseño de mezcla patrón para la relación a/c de 0.70

Características de los materiales						
Descripción	Unidad	Cemento	Agua	Arena	Piedra	
Peso específico	kg/m ³	3000	1000	2602	2704	
% de humedad	-			0.61 %	0.27 %	
% de absorción	-			1.01 %	0.46 %	
Parámetros de diseño						
a/c	0.70					
slump	3"- 4"		Cantidad de agua		243 L	
rf	0.54		% de aire		1.5 %	
Cálculos						
Material	Peso	Volumen	Ajuste por humedad de agregados			
	kg	m ³	Ajuste en el peso			
Cemento	347	0.116	Peso húmedo de la arena		901 kg	
Agua	243	0.243	Peso húmedo de la piedra		765 kg	
Arena	Va*PEa	Va	Ajuste en la cantidad de agua			
Piedra	Vp*PEp	Vp	Aporte de la Arena		-3.58 L	
Aire		0.015	Aporte de la Piedra		-1.45 L	
	∑ =	0.374	∑		-5.03 L	
	1-∑ =	0.626	Agua efectiva		248 L	
	Va =	0.344				
	Vp =	0.282				
Resultados						
Material	Dosificación por m ³ de concreto			Proporción en peso		Tanda de prueba
	Peso seco	Volumen	Peso húmedo	Seco	Húmedo	
	kg	m ³	kg			0.030 m ³
Cemento	347	0.116	347	1.00	1.00	10.41
Agua	243	0.243	248	0.70	0.71	7.44
Arena	896	0.344	901	2.58	2.60	27.03
Piedra	763	0.282	765	2.20	2.20	22.95
Aire		0.015				
∑	2249	1	2261			67.83

Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO

Cuadro 56. Densidad del concreto fresco para los distintos diseños

Relación a/c	Descripción	Unidad	A 1-2		A 5-6		A 9-10		A 13-14	
			M1	M2	M1	M2	M1	M2	M1	M2
0.60	Masa r+c	kg	26.37	26.41	26.34	26.22	26.27	26.3	26.1	26.2
	Masa r	kg	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01
	Mas c	kg	21.36	21.4	21.33	21.21	21.26	21.29	21.09	21.19
	Volumen	m3	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
	Densidad	kg/m3	2272	2277	2269	2256	2262	2265	2244	2254
			2274		2263		2263		2249	
0.65	Masa r+c	kg	26.46	26.42	26.4	26.31	26.31	26.37	26.16	26.28
	Masa r	kg	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01
	Mas c	kg	21.45	21.41	21.39	21.3	21.3	21.36	21.15	21.27
	Volumen	m3	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
	Densidad	kg/m3	2282	2278	2276	2266	2266	2272	2250	2263
			2280		2271		2269		2256	
0.70	Masa r+c	kg	26.44	26.36	26.32	26.3	26.32	26.26	26.19	26.2
	Masa r	kg	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01	5.01
	Mas c	kg	21.43	21.35	21.31	21.29	21.31	21.25	21.18	21.19
	Volumen	m3	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
	Densidad	kg/m3	2280	2271	2267	2265	2267	2261	2253	2254
			2276		2266		2264		2254	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 57. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 1-2; M1)

A 1-2							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	12.50		Humedad	0.61%	0.27%
	Agua	Kg	7.64		Absorción	1.01%	0.46%
	Arena	Kg	25.73				
	Piedra	Kg	21.84		Masa seca	25.57	21.78
			-----		Masa sss	25.83	21.88
	Masa total	Kg	67.71		Agua absorbida	0.10	0.04
				Total agua absorbida	0.14		
	Área r		323.65				
	Masa r	Kg	5.01				
	Masa r+c	Kg	22.67				
	Masa c	Kg	17.66				
	Masa del agua	Kg	1.96				
	Hora de inicio	07:37					
Hora	Tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3	cm	10(-6) cm/s		
07:47	10	0.7	0.7	0.0022	4		
07:57	10	2.4	3.1	0.0074	12		
08:07	10	2.8	5.9	0.0087	14		
08:17	10	3	8.9	0.0093	15		
08:47	30	8.4	17.3	0.0260	14		
09:17	30	7.8	25.1	0.0241	13		
09:47	30	5	30.1	0.0154	9		
10:17	30	2.1	32.2	0.0065	4		
10:47	30	0.6	32.8	0.0019	1		
11:17	30	0	32.8	0.0000	0		
	D	g	32.8				
	% exudación		1.68%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 58. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 1-2; M2)

A 1-2							
Tanda	30 litros				Arena	Piedra	
	Cemento	Kg	12.50		Humedad	0.61%	0.27%
	Agua	Kg	7.64		Absorción	1.01%	0.46%
	Arena	Kg	25.73				
	Piedra	Kg	21.84		Masa seca	25.57	21.78
			-----		Masa sss	25.83	21.88
Masa total	Kg	67.71		Agua absorbida	0.10	0.04	
				Total agua absorbida	0.14		
Área r		323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.69					
Masa c	Kg	17.68					
Masa del agua	Kg	1.96					
Hora de inicio	08:18						
Hora	Tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:28	10	0.8	0.8	0.0025	4		
08:38	10	2.3	3.1	0.0071	12		
08:48	10	3.2	6.3	0.0099	16		
08:58	10	3.3	9.6	0.0102	17		
09:28	30	8.8	18.4	0.0272	15		
09:58	30	8.4	26.8	0.0260	14		
10:28	30	5.2	32	0.0161	9		
10:58	30	2.2	34.2	0.0068	4		
11:28	30	0.6	34.8	0.0019	1		
11:58	30	0	34.8	0.0000	0		
D	g	34.8					
% exudación		1.78%					

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 59. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 5-6; M1)

A 5-6							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	12.75		Humedad	0.82%	0.27%
	Agua	Kg	7.75		Absorción	1.04%	0.46%
	Arena	Kg	25.46				
	Piedra	Kg	21.57		Masa seca	25.25	21.51
			-----		Masa sss	25.51	21.61
	Masa total	Kg	67.52		Agua absorbida	0.06	0.04
				Total agua absorbida	0.10		
Área r			323.654729				
Masa r	Kg		5.01				
Masa r+c	Kg		22.94				
Masa c	Kg		17.93				
Masa del agua	Kg		2.03				
Hora de inicio	07:43						
Hora	Tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
				cm	10(-6) cm/s		
07:53	10	0.9	0.9	0.0028	5		
08:03	10	2.5	3.4	0.0077	13		
08:13	10	2.5	5.9	0.0077	13		
08:23	10	2.8	8.7	0.0087	14		
08:53	30	8.7	17.4	0.0269	15		
09:23	30	8	25.4	0.0247	14		
09:53	30	4.8	30.2	0.0148	8		
10:23	30	0.6	30.8	0.0019	1		
10:53	30	0	30.8	0	0		
	D	g	30.8				
	% exudación		1.52%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 60. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 5-6; M2)

A 5-6							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	12.75		Humedad	0.82%	0.27%
	Agua	Kg	7.75		Absorción	1.04%	0.46%
	Arena	Kg	25.46				
	Piedra	Kg	21.57		Masa seca	25.25	21.51
			-----		Masa sss	25.51	21.61
	Masa total	Kg	67.52		Agua absorbida	0.06	0.04
				Total agua absorbida	0.10		
Área r		323.654729					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.62					
Masa c	Kg	17.61					
Masa del agua	Kg	2.00					
Hora de inicio	08:25						
Hora	Tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:35	10	0.8	0.8	0.0025	4		
08:45	10	2.5	3.3	0.0077	13		
08:55	10	2.6	5.9	0.0080	13		
09:05	10	2.9	8.8	0.0090	15		
09:35	30	8.3	17.1	0.0256	14		
10:05	30	7.7	24.8	0.0238	13		
10:35	30	4.7	29.5	0.0145	8		
11:05	30	0.5	30	0.0015	1		
11:35	30	0	30	0	0		
	D	g	30				
	% exudación		1.50%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 61. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 9-10; M1)

A 9-10							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	12.95		Humedad	0.99%	0.27%
	Agua	Kg	7.85		Absorción	1.16%	0.46%
	Arena	Kg	25.26				
	Piedra	Kg	21.36		Masa seca	25.01	21.30
			-----		Masa sss	25.30	21.40
Masa total	Kg	67.42		Agua absorbida	0.04	0.04	
				Total agua absorbida	0.08		
Área r			323.7				
Masa r	Kg		5.01				
Masa r+c	Kg		23.21				
Masa c	Kg		18.2				
Masa del agua	Kg		2.10				
Hora de inicio		07:44					
Hora	Tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
07:54	10	0.70	0.7	0.0022	4		
08:04	10	2.40	3.1	0.0074	12		
08:14	10	2.80	5.9	0.0087	14		
08:24	10	2.90	8.8	0.0090	15		
08:54	30	8.10	16.9	0.0250	14		
09:24	30	7.40	24.3	0.0229	13		
09:54	30	4.60	28.9	0.0142	8		
10:24	30	0.60	29.5	0.0019	1		
10:54	30	0	29.5	0	0		
	D	g	29.5				
	% exudación		1.41%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 62. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 9-10; M2)

A 9-10							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	12.95		Humedad	0.99%	0.27%
	Agua	Kg	7.85		Absorción	1.16%	0.46%
	Arena	Kg	25.26				
	Piedra	Kg	21.36		Masa seca	25.01	21.30
			-----		Masa sss	25.30	21.40
Masa total	Kg	67.42		Agua absorbida	0.04	0.04	
				Total agua absorbida	0.08		
Área r			323.7				
Masa r	Kg		5.01				
Masa r+c	Kg		23.46				
Masa c	Kg		18.45				
Masa del agua	Kg		2.13				
Hora de inicio		08:21					
Hora	Tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:31	10	0.6	0.6	0.0019	3		
08:41	10	2.1	2.7	0.0065	11		
08:51	10	2.6	5.3	0.0080	13		
09:01	10	2.7	8	0.0083	14		
09:31	30	8.1	16.1	0.0250	14		
10:01	30	7.3	23.4	0.0226	13		
10:31	30	4.3	27.7	0.0133	7		
11:01	30	0.5	28.2	0.0015	1		
11:31	30	0	28.2	0	0		
	D	g	28.2				
	% exudación		1.33%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 63. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 13-14; M1)

A 13-14							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	13.50		Humedad	1.02%	0.27%
	Agua	Kg	8.18		Absorción	1.18%	0.46%
	Arena	Kg	24.58				
	Piedra	Kg	20.78		Masa seca	24.33	20.72
			-----		Masa sss	24.62	20.82
	Masa total	Kg	67.04		Agua absorbida	0.04	0.04
					Total agua absorbida	0.08	
	Área r	cm2	323.7				
	Masa r	Kg	5.01				
Masa r+c	Kg	22.6					
Masa c	Kg	17.59					
Masa del agua	Kg	2.13					
Hora de inicio	07:55						
Hora	Tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:05	10	0	0	0.0000	0		
08:15	10	1.9	1.9	0.0059	10		
08:25	10	2.6	4.5	0.0080	13		
08:35	10	2.2	6.7	0.0068	11		
09:05	30	7.2	13.9	0.0222	12		
09:35	30	6.6	20.5	0.0204	11		
10:05	30	5.1	25.6	0.0158	9		
10:35	30	1.1	26.7	0.0034	2		
11:05	30	0.2	26.9	0.0006	0		
11:35	30	0	26.9	0	0		
	D	g	26.9				
	% exudación		1.27%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 64. Exudación del concreto (a/c=0.60; A 13-14; M2)

A 13-14							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	13.50		Humedad	1.02%	0.27%
	Agua	Kg	8.18		Absorción	1.18%	0.46%
	Arena	Kg	24.58				
	Piedra	Kg	20.78		Masa seca	24.33	20.72
			-----		Masa sss	24.62	20.82
	Masa total	Kg	67.04		Agua absorbida	0.04	0.04
				Total agua absorbida	0.08		
Área r	cm2	323.7					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.71					
Masa c	Kg	17.7					
Masa del agua	Kg	2.14					
Hora de inicio	08:35						
Hora	Tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:45	10	0.2	0.2	0.0006	1		
08:55	10	1.9	2.1	0.0059	10		
09:05	10	2.7	4.8	0.0083	14		
09:15	10	2.5	7.3	0.0077	13		
09:45	30	7.4	14.7	0.0229	13		
10:15	30	6.8	21.5	0.0210	12		
10:45	30	5.3	26.8	0.0164	9		
11:15	30	1.4	28.2	0.0043	2		
11:45	30	0.2	28.4	0.0006	0		
12:15	30	0	28.4	0	0		
	D	g	28.4				
	% exudación		1.33%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 65. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 1-2; M1)

A 1-2							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	11.31		Humedad	0.61%	0.27%
	Agua	Kg	7.50		Absorción	1.01%	0.46%
	Arena	Kg	26.51				
	Piedra	Kg	22.51		Masa seca	26.35	22.45
			-----		Masa sss	26.62	22.55
	Masa total	Kg	67.83		Agua absorbida	0.11	0.04
				Total agua absorbida	0.15		
Área r		323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.26					
Masa c	Kg	17.25					
Masa del agua	Kg	1.87					
Hora de inicio	07:55						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:05	10	1.8	1.8	0.0056	9		
08:15	10	3.7	5.5	0.0114	19		
08:25	10	3.4	8.9	0.0105	18		
08:35	10	3.4	12.3	0.0105	18		
09:05	30	11.5	23.8	0.0355	20		
09:35	30	9.4	33.2	0.0290	16		
10:05	30	6.7	39.9	0.0207	12		
10:35	30	2.7	42.6	0.0083	5		
11:05	30	0.4	43	0.0012	1		
11:35	30	0	43	0.0000	0		
	D	g	43				
	% exudación		2.30%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 66. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 1-2; M2)

A 1-2							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	11.31		Humedad	0.61%	0.27%
	Agua	Kg	7.50		Absorción	1.01%	0.46%
	Arena	Kg	26.51				
	Piedra	Kg	22.51		Masa seca	26.35	22.45
			-----		Masa sss	26.62	22.55
	Masa total	Kg	67.83		Agua absorbida	0.11	0.04
					Total agua absorbida	0.15	
	Área r		323.65				
	Masa r	Kg	5.01				
	Masa r+c	Kg	22.45				
	Masa c	Kg	17.44				
	Masa del agua	Kg	1.89				
	Hora de inicio	08:34					
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3	cm	10(-6) cm/s		
08:44	10	1.7	1.7	0.0053	9		
08:54	10	3.5	5.2	0.0108	18		
09:04	10	3.3	8.5	0.0102	17		
09:14	10	3.4	11.9	0.0105	18		
09:44	30	11.4	23.3	0.0352	20		
10:14	30	9.4	32.7	0.0290	16		
10:44	30	6.5	39.2	0.0201	11		
11:14	30	2.5	41.7	0.0077	4		
11:44	30	0.4	42.1	0.0012	1		
12:14	30	0	42.1	0.0000	0		
	D	g	42.1				
	% exudación		2.23%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 67. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 5-6; M1)

A 5-6							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	11.58		Humedad	0.82%	0.27%
	Agua	Kg	7.63		Absorción	1.04%	0.46%
	Arena	Kg	26.19				
	Piedra	Kg	22.19		Masa seca	25.98	22.13
			-----		Masa sss	26.25	22.23
Masa total	Kg	67.59		Agua absorbida	0.06	0.04	
				Total agua absorbida	0.10		
Área r		323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.21					
Masa c	Kg	17.2					
Masa del agua	Kg	1.92					
Hora de inicio	07:54						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:04	10	1.2	1.2	0.0037	6		
08:14	10	3.2	4.4	0.0099	16		
08:24	10	3.3	7.7	0.0102	17		
08:34	10	3	10.7	0.0093	15		
09:04	30	10.8	21.5	0.0334	19		
09:34	30	8.1	29.6	0.0250	14		
10:04	30	3.5	33.1	0.0108	6		
10:34	30	0.8	33.9	0.0025	1		
11:04	30	0	33.9	0	0		
	D	g	33.9				
	% exudación		1.77%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 68. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 5-6; M2)

A 5-6							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	11.58		Humedad	0.82%	0.27%
	Agua	Kg	7.63		Absorción	1.04%	0.46%
	Arena	Kg	26.19				
	Piedra	Kg	22.19		Masa seca	25.98	22.13
			-----		Masa sss	26.25	22.23
	Masa total	Kg	67.59		Agua absorbida	0.06	0.04
				Total agua absorbida	0.10		
Área r		323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.3					
Masa c	Kg	17.29					
Masa del agua	Kg	1.93					
Hora de inicio	08:31						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:41	10	0.9	0.9	0.0028	5		
08:51	10	2.9	3.8	0.0090	15		
09:01	10	2.7	6.5	0.0083	14		
09:11	10	2.9	9.4	0.0090	15		
09:41	30	10.5	19.9	0.0324	18		
10:11	30	7.5	27.4	0.0232	13		
10:41	30	3.3	30.7	0.0102	6		
11:11	30	0.5	31.2	0.0015	1		
11:41	30	0	31.2	0	0		
	D	g	31.2				
	% exudación		1.62%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 69. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 9-10; M1)

A 9-10							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	11.77		Humedad	0.99%	0.27%
	Agua	Kg	7.74		Absorción	1.16%	0.46%
	Arena	Kg	26.00				
	Piedra	Kg	21.99		Masa seca	25.74	21.93
			-----		Masa sss	26.04	22.03
	Masa total	Kg	67.49		Agua absorbida	0.04	0.04
				Total agua absorbida	0.09		
	Área r		323.65				
	Masa r	Kg	5.01				
	Masa r+c	Kg	22.14				
	Masa c	Kg	17.13				
	Masa del agua	Kg	1.94				
	Hora de inicio	07:40					
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
07:50	10	0.6	0.6	0.0019	3		
08:00	10	2.3	2.9	0.0071	12		
08:10	10	2.7	5.6	0.0083	14		
08:20	10	2.9	8.5	0.0090	15		
08:50	30	9.6	18.1	0.0297	16		
09:20	30	7.8	25.9	0.0241	13		
09:50	30	3.9	29.8	0.0120	7		
10:20	30	0.2	30	0.0006	0		
10:50	30	0	30	0	0		
	D	g	30				
	% exudación		1.55%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 70. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 9-10; M2)

A 9-10							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	11.77		Humedad	0.99%	0.27%
	Agua	Kg	7.74		Absorción	1.16%	0.46%
	Arena	Kg	26.00				
	Piedra	Kg	21.99		Masa seca	25.74	21.93
			-----		Masa sss	26.04	22.03
Masa total	Kg	67.49		Agua absorbida	0.04	0.04	
				Total agua absorbida	0.09		
Área r		323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.01					
Masa c	Kg	17					
Masa del agua	Kg	1.93					
Hora de inicio	08:15						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:25	10	0.7	0.7	0.0022	4		
08:35	10	2.4	3.1	0.0074	12		
08:45	10	2.8	5.9	0.0087	14		
08:55	10	3.2	9.1	0.0099	16		
09:25	30	9.6	18.7	0.0297	16		
09:55	30	7.9	26.6	0.0244	14		
10:25	30	3.9	30.5	0.0120	7		
10:55	30	0.2	30.7	0.0006	0		
11:25	30	0	30.7	0	0		
	D	g	30.7				
	% exudación		1.59%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 71. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 13-14; M1)

A 13-14							
Tanda	30 litros				Arena	Piedra	
	Cemento	Kg	12.23		Humedad	1.02%	0.27%
	Agua	Kg	8.03		Absorción	1.18%	0.46%
	Arena	Kg	25.41				
	Piedra	Kg	21.48		Masa seca	25.15	21.42
			-----		Masa sss	25.45	21.52
Masa total	Kg	67.15		Agua absorbida	0.04	0.04	
				Total agua absorbida	0.08		
Área r	cm2	323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.05					
Masa c	Kg	17.04					
Masa del agua	Kg	2.02					
Hora de inicio	07:43						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
07:53	10	0.5	0.5	0.0015	3		
08:03	10	1.7	2.2	0.0053	9		
08:13	10	2.2	4.4	0.0068	11		
08:23	10	2.5	6.9	0.0077	13		
08:53	30	7.7	14.6	0.0238	13		
09:23	30	6.6	21.2	0.0204	11		
09:53	30	6	27.2	0.0185	10		
10:23	30	1.4	28.6	0.0043	2		
10:53	30	0.5	29.1	0.0015	1		
11:23	30	0	29.1	0	0		
	D	g	29.1				
	% exudación		1.44%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 72. Exudación del concreto (a/c=0.65; A 13-14; M2)

A 13-14							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	12.23		Humedad	1.02%	0.27%
	Agua	Kg	8.03		Absorción	1.18%	0.46%
	Arena	Kg	25.41				
	Piedra	Kg	21.48		Masa seca	25.15	21.42
			-----		Masa sss	25.45	21.52
	Masa total	Kg	67.15		Agua absorbida	0.04	0.04
				Total agua absorbida	0.08		
Área r	cm2	323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.4					
Masa c	Kg	17.39					
Masa del agua	Kg	2.06					
Hora de inicio	08:58						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
09:08	10	0.6	0.6	0.0019	3		
09:18	10	1.4	2	0.0043	7		
09:28	10	2.1	4.1	0.0065	11		
09:38	10	2.4	6.5	0.0074	12		
10:08	30	7.5	14	0.0232	13		
10:38	30	6.6	20.6	0.0204	11		
11:08	30	5.8	26.4	0.0179	10		
11:38	30	1.3	27.7	0.0040	2		
12:08	30	0.4	28.1	0.0012	1		
12:38	30	0	28.1	0	0		
	D	g	28.1				
	% exudación		1.36%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 73. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 1-2; M1)

A 1-2							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	10.41		Humedad	0.61%	0.27%
	Agua	Kg	7.44		Absorción	1.01%	0.46%
	Arena	Kg	27.03				
	Piedra	Kg	22.95		Masa seca	26.87	22.89
			-----		Masa sss	27.14	22.99
	Masa total	Kg	67.83		Agua absorbida	0.11	0.04
				Total agua absorbida	0.15		
Área r		323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	23.05					
Masa c	Kg	18.04					
Masa del agua	Kg	1.94					
Hora de inicio	08:02						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:12	10	2.3	2.3	0.0071	12		
08:22	10	4.3	6.6	0.0133	22		
08:32	10	4.4	11	0.0136	23		
08:42	10	4.3	15.3	0.0133	22		
09:12	30	14.5	29.8	0.0448	25		
09:42	30	11.8	41.6	0.0365	20		
10:12	30	8.1	49.7	0.0250	14		
10:42	30	3.3	53	0.0102	6		
11:12	30	0.5	53.5	0.0015	1		
11:42	30	0	53.5	0.0000	0		
	D	g	53.5				
	% exudación		2.76%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 74. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 1-2; M2)

A 1-2							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	10.41		Humedad	0.61%	0.27%
	Agua	Kg	7.44		Absorción	1.01%	0.46%
	Arena	Kg	27.03				
	Piedra	Kg	22.95		Masa seca	26.87	22.89
			-----		Masa sss	27.14	22.99
	Masa total	Kg	67.83		Agua absorbida	0.11	0.04
				Total agua absorbida	0.15		
	Área r		323.65				
	Masa r	Kg	5.01				
	Masa r+c	Kg	22.26				
	Masa c	Kg	17.25				
	Masa del agua	Kg	1.85				
	Hora de inicio	08:35					
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
				cm	10(-6) cm/s		
08:45	10	2.4	2.4	0.0074	12		
08:55	10	4.5	6.9	0.0139	23		
09:05	10	4.2	11.1	0.0130	22		
09:15	10	4.3	15.4	0.0133	22		
09:45	30	14.6	30	0.0451	25		
10:15	30	11.9	41.9	0.0368	20		
10:45	30	8.3	50.2	0.0256	14		
11:15	30	3.4	53.6	0.0105	6		
11:45	30	0.6	54.2	0.0019	1		
12:15	30	0	54.2	0.0000	0		
	D	g	54.2				
	% exudación		2.92%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 75. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 5-6; M1)

A 5-6							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	10.67		Humedad	0.82%	0.27%
	Agua	Kg	7.57		Absorción	1.04%	0.46%
	Arena	Kg	26.71				
	Piedra	Kg	22.63		Masa seca	26.50	22.57
			-----		Masa sss	26.77	22.68
	Masa total	Kg	67.59		Agua absorbida	0.06	0.04
					Total agua absorbida	0.10	
	Área r		323.65				
	Masa r	Kg	5.01				
	Masa r+c	Kg	22.73				
	Masa c	Kg	17.72				
	Masa del agua	Kg	1.96				
	Hora de inicio	07:38					
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
				cm	10(-6) cm/s		
	07:48	10	1.4	1.4	0.0043	7	
	07:58	10	3.1	4.5	0.0096	16	
	08:08	10	3.4	7.9	0.0105	18	
	08:18	10	4	11.9	0.0124	21	
	08:48	30	11.5	23.4	0.0355	20	
	09:18	30	10	33.4	0.0309	17	
	09:48	30	5.8	39.2	0.0179	10	
	10:18	30	1.6	40.8	0.0049	3	
	10:48	30	0	40.8	0	0	
	D	g	40.8				
	% exudación		2.08%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 76. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 5-6; M2)

A 5-6							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	10.67		Humedad	0.82%	0.27%
	Agua	Kg	7.57		Absorción	1.04%	0.46%
	Arena	Kg	26.71				
	Piedra	Kg	22.63		Masa seca	26.50	22.57
			-----		Masa sss	26.77	22.68
	Masa total	Kg	67.59		Agua absorbida	0.06	0.04
				Total agua absorbida	0.10		
Área r		323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.77					
Masa c	Kg	17.76					
Masa del agua	Kg	1.96					
Hora de inicio	08:40						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:50	10	1	1	0.0031	5		
09:00	10	2.9	3.9	0.0090	15		
09:10	10	3.3	7.2	0.0102	17		
09:20	10	3.8	11	0.0117	20		
09:50	30	11.3	22.3	0.0349	19		
10:20	30	9.8	32.1	0.0303	17		
10:50	30	5.8	37.9	0.0179	10		
11:20	30	1.5	39.4	0.0046	3		
11:50	30	0	39.4	0	0		
	D	g	39.4				
	% exudación		2.01%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 77. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 9-10; M1)

A 9-10							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	10.84		Humedad	0.99%	0.27%
	Agua	Kg	7.68		Absorción	1.16%	0.46%
	Arena	Kg	26.53				
	Piedra	Kg	22.44		Masa seca	26.27	22.38
			-----		Masa sss	26.58	22.48
	Masa total	Kg	67.49		Agua absorbida	0.04	0.04
				Total agua absorbida	0.09		
Área r		323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.71					
Masa c	Kg	17.7					
Masa del agua	Kg	1.99					
Hora de inicio	07:50						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:00	10	0.9	0.9	0.0028	5		
08:10	10	2	2.9	0.0062	10		
08:20	10	2.7	5.6	0.0083	14		
08:30	10	3	8.6	0.0093	15		
09:00	30	9.8	18.4	0.0303	17		
09:30	30	8.1	26.5	0.0250	14		
10:00	30	5.5	32	0.0170	9		
10:30	30	1.6	33.6	0.0049	3		
11:00	30	0	33.6	0	0		
	D	g	33.6				
	% exudación		1.69%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 78. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 9-10; M2)

A 9-10							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	10.84		Humedad	0.99%	0.27%
	Agua	Kg	7.68		Absorción	1.16%	0.46%
	Arena	Kg	26.53				
	Piedra	Kg	22.44		Masa seca	26.27	22.38
	Masa total	Kg	67.49		Masa sss	26.58	22.48
					Agua absorbida	0.04	0.04
					Total agua absorbida	0.09	
	Área r		323.65				
	Masa r	Kg	5.01				
	Masa r+c	Kg	22.95				
	Masa c	Kg	17.94				
	Masa del agua	Kg	2.02				
	Hora de inicio	08:22					
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:32	10	1.2	1.2	0.0037	6		
08:42	10	2.4	3.6	0.0074	12		
08:52	10	2.9	6.5	0.0090	15		
09:02	10	3.2	9.7	0.0099	16		
09:32	30	10.1	19.8	0.0312	17		
10:02	30	8.3	28.1	0.0256	14		
10:32	30	5.7	33.8	0.0176	10		
11:02	30	1.9	35.7	0.0059	3		
11:32	30	0	35.7	0	0		
	D	g	35.7				
	% exudación		1.77%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 79. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 13-14; M1)

A 13-14							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	11.31		Humedad	1.02%	0.27%
	Agua	Kg	8.00		Absorción	1.18%	0.46%
	Arena	Kg	25.89				
	Piedra	Kg	21.89		Masa seca	25.63	21.84
			-----		Masa sss	25.94	21.94
	Masa total	Kg	67.10		Agua absorbida	0.04	0.04
				Total agua absorbida	0.08		
Área r	cm2	323.65					
Masa r	Kg	5.01					
Masa r+c	Kg	22.65					
Masa c	Kg	17.64					
Masa del agua	Kg	2.08					
Hora de inicio	07:44						
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
07:54	10	1	1	0.0031	5		
08:04	10	2.1	3.1	0.0065	11		
08:14	10	2.6	5.7	0.0080	13		
08:24	10	2.4	8.1	0.0074	12		
08:54	30	9.1	17.2	0.0281	16		
09:24	30	7.7	24.9	0.0238	13		
09:54	30	6.4	31.3	0.0198	11		
10:24	30	3.9	35.2	0.0120	7		
10:54	30	0.3	35.5	0.0009	1		
11:24	30	0	35.5	0	0		
	D	g	35.5				
	% exudación		1.71%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 80. Exudación del concreto (a/c=0.70; A 13-14; M2)

A 13-14							
Tanda	30 litros					Arena	Piedra
	Cemento	Kg	11.31		Humedad	1.02%	0.27%
	Agua	Kg	8.00		Absorción	1.18%	0.46%
	Arena	Kg	25.89				
	Piedra	Kg	21.89		Masa seca	25.63	21.84
	Masa total	Kg	67.10		Masa sss	25.94	21.94
					Agua absorbida	0.04	0.04
					Total agua absorbida	0.08	
	Área r	cm2	323.65				
	Masa r	Kg	5.01				
	Masa r+c	Kg	22.57				
	Masa c	Kg	17.56				
	Masa del agua	Kg	2.07				
	Hora de inicio	08:17					
Hora	tiempo	Volumen		Agua exudada	Velocidad de exudación		
	parcial	parcial	acumulado				
	min	cm3	cm3				
08:27	10	0.7	0.7	0.0022	4		
08:37	10	2.3	3	0.0071	12		
08:47	10	1.9	4.9	0.0059	10		
08:57	10	2.2	7.1	0.0068	11		
09:27	30	8.7	15.8	0.0269	15		
09:57	30	7.3	23.1	0.0226	13		
10:27	30	6.1	29.2	0.0188	10		
10:57	30	3.7	32.9	0.0114	6		
11:27	30	0.3	33.2	0.0009	1		
11:57	30	0	33.2	0	0		
	D	g	33.2				
	% exudación		1.60%				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 81. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.60; A 1-2)

A 1-2								
Hora de inicio		7:13						
t(°C) ambiental		16.8						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in ²	lbf	psi		
11:43	4:30	270	1.125	0.994	68	68	2.431	1.835
12:13	5:00	300	1.125	0.994	92	93	2.477	1.966
12:43	5:30	330	0.800	0.503	108	215	2.519	2.332
13:43	6:30	390	0.563	0.249	114	459	2.591	2.662
14:43	7:30	450	0.354	0.099	116	1176	2.653	3.071
15:43	8:30	510	0.250	0.049	136	2771	2.708	3.443
16:13	9:00	540	0.167	0.022	100	4584	2.732	3.661
m	6.09							
b	-13.06							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.586	385	6 h	25 min				
Tiempo de fragua final	2.734	542	9 h	2 min				

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

Log(t)

$y = 6.095x - 13.059$
 $R^2 = 0.992$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 82. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.60; A 5-6)

A 5-6									
Hora de inicio		7:22							
t(°C) ambiental		16.5							
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)	
	h:min	h:min	min	in	in²	lbf			psi
11:52	4:30		270	1.125	0.994	66	66	2.431	1.822
12:22	5:00		300	1.125	0.994	108	109	2.477	2.036
12:52	5:30		330	0.800	0.503	114	227	2.519	2.356
13:52	6:30		390	0.563	0.249	112	451	2.591	2.654
14:52	7:30		450	0.354	0.099	124	1258	2.653	3.100
15:52	8:30		510	0.250	0.049	162	3300	2.708	3.519
16:22	9:00		540	0.167	0.022	114	5225	2.732	3.718
m	6.24								
b	-13.41								
Descripción	Log(t)	t							
		(min)	(h:min)						
Tiempo de fragua inicial	2.580	380	6 h	20 min					
Tiempo de fragua final	2.725	531	8 h	51 min					

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

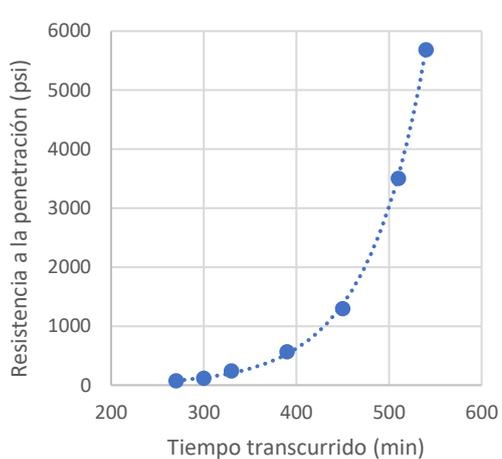
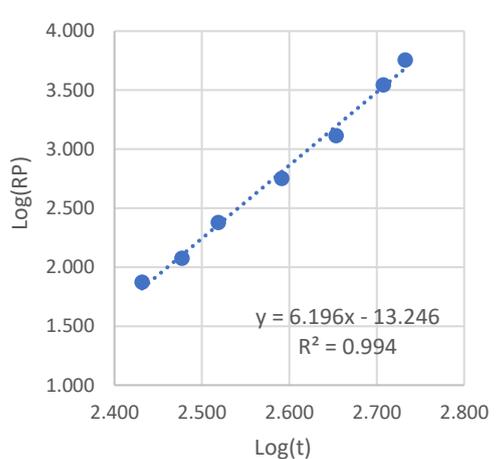
Log(t)

$y = 6.243x - 13.409$
 $R^2 = 0.992$

Fuente: Elaboración propia

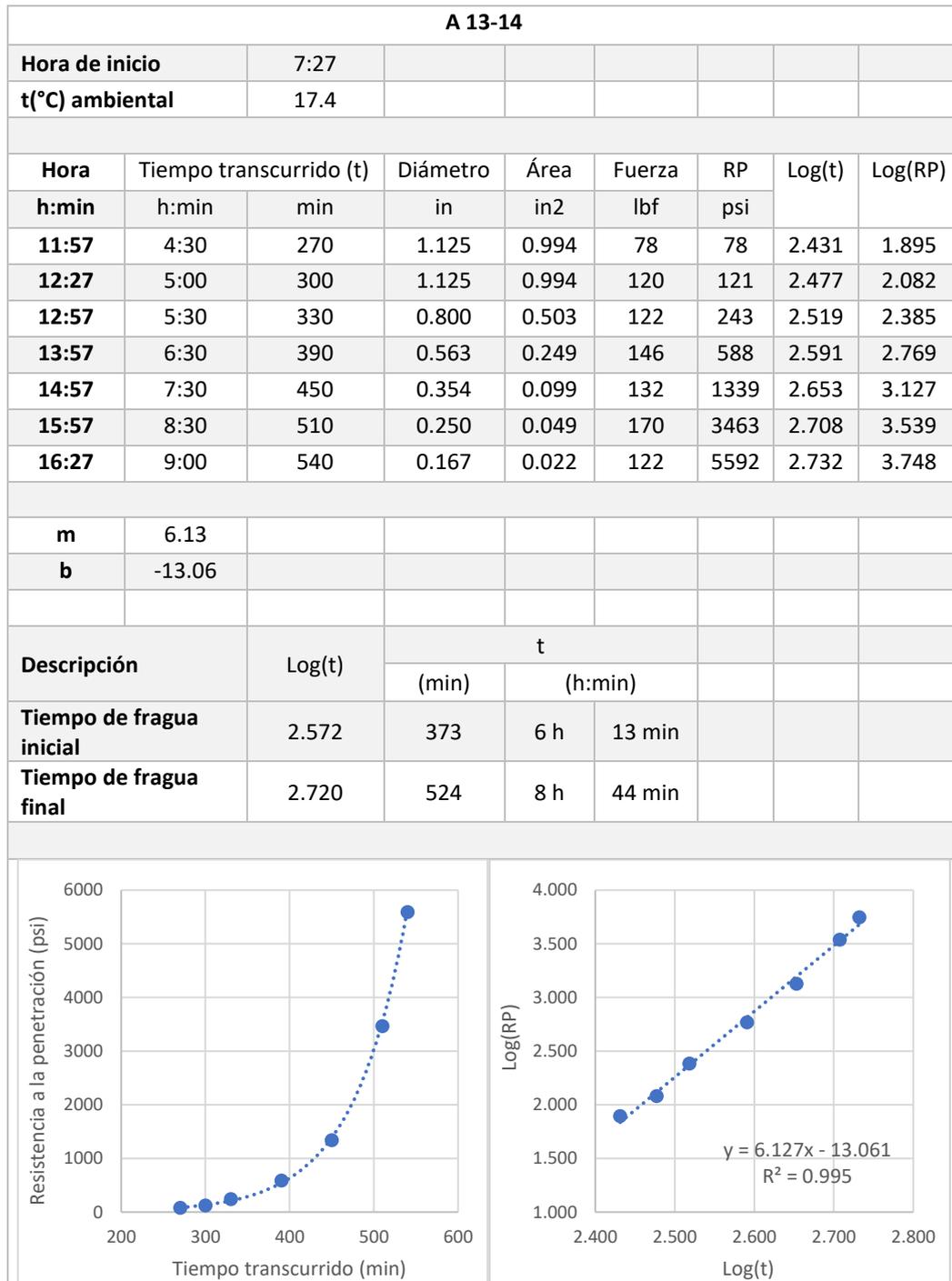
Cuadro 83. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.60; A 9-10)

A 9-10								
Hora de inicio		7:20						
t(°C) ambiental		17						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in²	lbf	psi		
11:50	4:30	270	1.125	0.994	74	74	2.431	1.872
12:20	5:00	300	1.125	0.994	118	119	2.477	2.074
12:50	5:30	330	0.800	0.503	120	239	2.519	2.378
13:50	6:30	390	0.563	0.249	140	563	2.591	2.751
14:50	7:30	450	0.354	0.099	128	1298	2.653	3.113
15:50	8:30	510	0.250	0.049	172	3504	2.708	3.545
16:20	9:00	540	0.167	0.022	124	5684	2.732	3.755
m	6.20							
b	-13.25							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.574	375	6 h	15 min				
Tiempo de fragua final	2.719	524	8 h	44 min				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 84. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.60; A 13-14)



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 85. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.65; A 1-2)

A 1-2								
Hora de inicio		7:17						
t(°C) ambiental		16.5						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in2	lbf	psi		
11:47	4:30	270	1.125	0.994	56	56	2.431	1.751
12:17	5:00	300	1.125	0.994	78	78	2.477	1.895
12:47	5:30	330	0.800	0.503	80	159	2.519	2.202
13:47	6:30	390	0.563	0.249	90	362	2.591	2.559
14:47	7:30	450	0.354	0.099	96	974	2.653	2.988
15:47	8:30	510	0.250	0.049	120	2445	2.708	3.388
16:17	9:00	540	0.167	0.022	90	4125	2.732	3.615
m	6.23							
b	-13.49							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.599	397	6 h	37 min				
Tiempo de fragua final	2.744	554	9 h	14 min				

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

Log(t)

$y = 6.231x - 13.493$
 $R^2 = 0.991$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 86. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.65; A 5-6)

A 5-6								
Hora de inicio		7:24						
t(°C) ambiental		16						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in²	lbf	psi		
11:54	4:30	270	1.125	0.994	58	58	2.431	1.766
12:24	5:00	300	1.125	0.994	102	103	2.477	2.011
12:54	5:30	330	0.800	0.503	96	191	2.519	2.281
13:54	6:30	390	0.563	0.249	100	402	2.591	2.605
14:54	7:30	450	0.354	0.099	116	1176	2.653	3.071
15:54	8:30	510	0.250	0.049	148	3015	2.708	3.479
16:24	9:00	540	0.167	0.022	102	4675	2.732	3.670
m	6.28							
b	-13.54							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.588	387	6 h	27 min				
Tiempo de fragua final	2.731	539	8 h	59 min				

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

Log(t)

$y = 6.277x - 13.544$
 $R^2 = 0.993$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 87. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.65; A 9-10)

A 9-10								
Hora de inicio		7:15						
t(°C) ambiental		17.2						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in²	lbf	psi		
11:45	4:30	270	1.125	0.994	56	56	2.431	1.751
12:15	5:00	300	1.125	0.994	104	105	2.477	2.020
12:45	5:30	330	0.800	0.503	100	199	2.519	2.299
13:45	6:30	390	0.563	0.249	104	419	2.591	2.622
14:45	7:30	450	0.354	0.099	118	1197	2.653	3.078
15:45	8:30	510	0.250	0.049	152	3097	2.708	3.491
16:15	9:00	540	0.167	0.022	110	5042	2.732	3.703
m	6.36							
b	-13.75							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.586	385	6 h	25 min				
Tiempo de fragua final	2.728	534	8 h	54 min				

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

Log(t)

$y = 6.363x - 13.754$
 $R^2 = 0.993$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 88. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.65; A 13-14)

A 13-14								
Hora de inicio		7:20						
t(°C) ambiental		16.6						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in²	lbf	psi		
11:50	4:30	270	1.125	0.994	62	62	2.431	1.795
12:20	5:00	300	1.125	0.994	104	105	2.477	2.020
12:50	5:30	330	0.800	0.503	98	195	2.519	2.290
13:50	6:30	390	0.563	0.249	100	402	2.591	2.605
14:50	7:30	450	0.354	0.099	124	1258	2.653	3.100
15:50	8:30	510	0.250	0.049	156	3178	2.708	3.502
16:20	9:00	540	0.167	0.022	112	5134	2.732	3.710
m	6.33							
b	-13.67							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.584	384	6 h	24 min				
Tiempo de fragua final	2.727	533	8 h	53 min				

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

Log(t)

$y = 6.333x - 13.667$
 $R^2 = 0.991$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 89. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.70; A 1-2)

A 1-2									
Hora de inicio		7:42							
t(°C) ambiental		17.5							
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)	
	h:min	h:min							min
12:12	4:30		270	1.125	0.994	40	40	2.431	1.605
13:12	5:30		330	0.800	0.503	58	115	2.519	2.062
14:12	6:30		390	0.563	0.249	84	338	2.591	2.529
15:12	7:30		450	0.354	0.099	86	872	2.653	2.941
16:12	8:30		510	0.250	0.049	102	2078	2.708	3.318
16:42	9:00		540	0.167	0.022	78	3575	2.732	3.553
17:12	9:30		570	0.167	0.022	116	5317	2.756	3.726
m	6.58								
b	-14.48								
Descripción	Log(t)	t							
		(min)	(h:min)						
Tiempo de fragua inicial	2.609	406	6 h	46 min					
Tiempo de fragua final	2.746	557	9 h	17 min					

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

Log(t)

$y = 6.584x - 14.477$
 $R^2 = 0.995$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 90. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.70; A 5-6)

A 5-6								
Hora de inicio		7:15						
t(°C) ambiental		16.6						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in²	lbf	psi		
11:45	4:30	270	1.125	0.994	44	44	2.431	1.646
12:45	5:30	330	0.800	0.503	70	139	2.519	2.144
13:45	6:30	390	0.563	0.249	96	386	2.591	2.587
14:45	7:30	450	0.354	0.099	94	953	2.653	2.979
15:45	8:30	510	0.250	0.049	118	2404	2.708	3.381
16:15	9:00	540	0.167	0.022	88	4034	2.732	3.606
m	6.45							
b	-14.07							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.602	400	6 h	40 min				
Tiempo de fragua final	2.742	552	9 h	12 min				

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

Log(t)

$y = 6.447x - 14.075$
 $R^2 = 0.996$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 91. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.70; A 9-10)

A 9-10								
Hora de inicio		7:32						
t(°C) ambiental		17						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in ²	lbf	psi		
12:02	4:30	270	1.125	0.994	46	46	2.431	1.665
13:02	5:30	330	0.800	0.503	74	147	2.519	2.168
14:02	6:30	390	0.563	0.249	98	394	2.591	2.596
15:02	7:30	450	0.354	0.099	98	994	2.653	2.997
16:02	8:30	510	0.250	0.049	122	2485	2.708	3.395
16:32	9:00	540	0.167	0.022	90	4125	2.732	3.615
m	6.42							
b	-13.98							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.599	398	6 h	38 min				
Tiempo de fragua final	2.740	550	9 h	10 min				

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 92. Tiempo de fraguado del concreto (a/c=0.70; A 13-14)

A 13-14								
Hora de inicio		7:26						
t(°C) ambiental		17.6						
Hora	Tiempo transcurrido (t)		Diámetro	Área	Fuerza	RP	Log(t)	Log(RP)
h:min	h:min	min	in	in²	lbf	psi		
11:56	4:30	270	1.125	0.994	44	44	2.431	1.646
12:56	5:30	330	0.800	0.503	78	155	2.519	2.191
13:56	6:30	390	0.563	0.249	100	402	2.591	2.605
14:56	7:30	450	0.354	0.099	102	1034	2.653	3.015
15:56	8:30	510	0.250	0.049	126	2567	2.708	3.409
16:26	9:00	540	0.167	0.022	96	4400	2.732	3.643
m	6.52							
b	-14.24							
Descripción	Log(t)	t						
		(min)	(h:min)					
Tiempo de fragua inicial	2.598	396	6 h	36 min				
Tiempo de fragua final	2.736	545	9 h	5 min				

Resistencia a la penetración (psi)

Tiempo transcurrido (min)

Log(RP)

Log(t)

$y = 6.522x - 14.243$
 $R^2 = 0.996$

Fuente: Elaboración propia

ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO

Cuadro 93. Resistencia a la compresión (7 días) para la relación a/c de 0.60 y los cuatro tipos de arena

A 1-2	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
	A7-1	10.06	79.49	13234	166.5
	A7-2	10.05	79.33	13096	165.1
	A7-3	10.05	79.33	12483	157.4
	A7-4	10.04	79.17	12639	159.6
	A7-5	10.02	78.85	12342	156.5
	A7-6	10.07	79.64	13028	163.6
				μ =	161.4
A 5-6	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
	B7-1	10.05	79.33	13251	167.0
	B7-2	10.04	79.17	13397	169.2
	B7-3	10.03	79.01	13141	166.3
	B7-4	10.04	79.17	12918	163.2
	B7-5	10.00	78.54	12132	154.5
	B7-6	10.02	78.85	12832	162.7
				μ =	163.8
A 9-10	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
	C7-1	10.08	79.80	13590	170.3
	C7-2	10.05	79.33	12078	152.3
	C7-3	10.06	79.49	13000	163.6
	C7-4	10.07	79.64	13472	169.2
	C7-5	10.02	78.85	12642	160.3
	C7-6	10.03	79.01	12019	152.1
				μ =	161.3
A 13-14	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
	D7-1	10.05	79.33	12723	160.4
	D7-2	10.09	79.96	12282	153.6
	D7-3	10.08	79.80	13071	163.8
	D7-4	10.06	79.49	11740	147.7
	D7-5	10.07	79.64	12291	154.3
	D7-6	10.05	79.33	11929	150.4
				μ =	155.0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 94. Resistencia a la compresión (7 días) para la relación a/c de 0.65 y los cuatro tipos de arena

	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	E7-1	10.14	80.75	12204	151.1
	E7-2	10.12	80.44	11737	145.9
	E7-3	10.07	79.64	10898	136.8
	E7-4	10.03	79.01	11552	146.2
	E7-5	10.05	79.33	10520	132.6
	E7-6	10.09	79.96	11461	143.3
					$\mu =$
A 5-6	F7-1	10.02	78.85	11378	144.3
	F7-2	10.00	78.54	11102	141.4
	F7-3	10.01	78.70	11692	148.6
	F7-4	10.03	79.01	10872	137.6
	F7-5	10.00	78.54	12197	155.3
	F7-6	10.01	78.70	11351	144.2
					$\mu =$
A 9-10	G7-1	10.03	79.01	10660	134.9
	G7-2	10.04	79.17	11078	139.9
	G7-3	10.06	79.49	11680	146.9
	G7-4	10.01	78.70	11182	142.1
	G7-5	10.00	78.54	10944	139.3
	G7-6	9.98	78.23	10373	132.6
					$\mu =$
A 13-14	H7-1	10.03	79.01	10824	137.0
	H7-2	10.07	79.64	11237	141.1
	H7-3	10.03	79.01	10241	129.6
	H7-4	10.02	78.85	10978	139.2
	H7-5	10.04	79.17	10641	134.4
	H7-6	10.05	79.33	10763	135.7
					$\mu =$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 95. Resistencia a la compresión (7 días) para la relación a/c de 0.70 y los cuatro tipos de arena

	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	I7-1	10.09	79.96	9633	120.5
	I7-2	10.06	79.49	10250	129.0
	I7-3	10.07	79.64	9149	114.9
	I7-4	10.07	79.64	9875	124.0
	I7-5	10.02	78.85	9052	114.8
	I7-6	10.02	78.85	9347	118.5
					μ =
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	J7-1	10.06	79.49	9862	124.1
	J7-2	10.06	79.49	10522	132.4
	J7-3	10.07	79.64	10026	125.9
	J7-4	10.08	79.80	10645	133.4
	J7-5	10.05	79.33	10232	129.0
	J7-6	10.04	79.17	9473	119.7
					μ =
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	K7-1	10.08	79.80	10466	131.2
	K7-2	10.08	79.80	10320	129.3
	K7-3	10.03	79.01	9588	121.3
	K7-4	10.05	79.33	9860	124.3
	K7-5	10.06	79.49	10546	132.7
	K7-6	10.05	79.33	9780	123.3
					μ =
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	L7-1	10.05	79.33	9020	113.7
	L7-2	10.13	80.60	10593	131.4
	L7-3	10.06	79.49	9626	121.1
	L7-4	10.01	78.70	9416	119.6
	L7-5	10.07	79.64	9785	122.9
	L7-6	10.06	79.49	9989	125.7
					μ =

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 96. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.60; A 1-2)

a/c 0.60	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	D28-1	10.05	79.33	20581	259.4
	D28-2	10.03	79.01	20398	258.2
	D28-3	10.03	79.01	19788	250.4
	D28-4	10.06	79.49	20213	254.3
	D28-5	10.01	78.70	19657	249.8
	D28-6	10.01	78.70	19596	249.0
	D28-7	10.02	78.85	19842	251.6
	D28-8	10.02	78.85	19329	245.1
	D28-9	10.04	79.17	21177	267.5
	D28-10	10.05	79.33	19567	246.7
	D28-11	10.04	79.17	20877	263.7
	D28-12	10.02	78.85	21093	267.5
	D28-13	10.03	79.01	20208	255.8
	D28-14	10.02	78.85	20218	256.4
	D28-15	10.03	79.01	21135	267.5
	D28-16	10.03	79.01	19389	245.4
	D28-17	10.05	79.33	21292	268.4
	D28-18	10.06	79.49	19104	240.3
	D28-19	10.01	78.70	19908	253.0
	D28-20	10.05	79.33	20187	254.5
	D28-21	10.04	79.17	20365	257.2
	D28-22	10.04	79.17	20171	254.8
	D28-23	10.10	80.12	20986	261.9
	D28-24	10.03	79.01	20586	260.5
	D28-25	10.04	79.17	20278	256.1
	D28-26	10.05	79.33	19967	251.7
	D28-27	10.05	79.33	20737	261.4
	D28-28	10.06	79.49	20594	259.1
	D28-29	10.03	79.01	19453	246.2
	D28-30	10.04	79.17	20237	255.6
			Parámetros estadísticos	μ	255.6
				S	7.3
				CV	2.9 %
				P25	250.7
				P75	260.3
				RIQ	9.5
			Análisis de datos atípicos	P25 -1.5*RIQ	236.4
				P75 +1.5*RIQ	274.6
				μ -3S	233.7
				μ +3S	277.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 97. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.60; A 5-6)

a/c 0.60	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	C28-1	10.01	78.70	20572	261.4
	C28-2	10.04	79.17	20305	256.5
	C28-3	10.01	78.70	19996	254.1
	C28-4	10.03	79.01	20355	257.6
	C28-5	10.05	79.33	20309	256.0
	C28-6	10.02	78.85	19971	253.3
	C28-7	10.01	78.70	20868	265.2
	C28-8	10.03	79.01	20491	259.3
	C28-9	10.02	78.85	20437	259.2
	C28-10	10.07	79.64	20534	257.8
	C28-11	10.02	78.85	20126	255.2
	C28-12	10.04	79.17	20722	261.7
	C28-13	10.03	79.01	19406	245.6
	C28-14	10.06	79.49	20778	261.4
	C28-15	10.08	79.80	19627	245.9
	C28-16	10.09	79.96	21532	269.3
	C28-17	10.07	79.64	19807	248.7
	C28-18	10.08	79.80	20396	255.6
	C28-19	10.03	79.01	20681	261.7
	C28-20	10.04	79.17	20206	255.2
	C28-21	10.04	79.17	20179	254.9
	C28-22	10.02	78.85	20557	260.7
	C28-23	10.07	79.64	21374	268.4
	C28-24	10.07	79.64	21175	265.9
	C28-25	10.03	79.01	20790	263.1
	C28-26	10.02	78.85	20397	258.7
	C28-27	10.04	79.17	19445	245.6
	C28-28	10.05	79.33	20736	261.4
	C28-29	10	78.54	20662	263.1
	C28-30	10.05	79.33	20282	255.7
	C28-31	10.02	78.85	19800	251.1
			Parámetros estadísticos	μ	257.7
				S	6.2
				CV	2.4 %
				P25	255.1
				P75	261.6
				RIQ	6.5
			Análisis de datos atípicos	P25 -1.5*RIQ	245.3
				P75 +1.5*RIQ	271.4
				μ -3S	239.2
				μ +3S	276.2

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 98. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.60; A 9-10)

a/c 0.60	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	B28-1	10.03	79.01	20639	261.2
	B28-2	10.08	79.80	21237	266.1
	B28-3	10.07	79.64	20089	252.2
	B28-4	10.05	79.33	20017	252.3
	B28-5	10.06	79.49	18731	235.7
	B28-6	10.05	79.33	20341	256.4
	B28-7	10.06	79.49	21318	268.2
	B28-8	10.05	79.33	19598	247.1
	B28-9	10.04	79.17	20120	254.1
	B28-10	10.03	79.01	18768	237.5
	B28-11	10.08	79.80	20279	254.1
	B28-12	10.06	79.49	19836	249.6
	B28-13	10.04	79.17	19555	247.0
	B28-14	10.05	79.33	20251	255.3
	B28-15	10.04	79.17	19452	245.7
	B28-16	10.07	79.64	20371	255.8
	B28-17	10.07	79.64	20078	252.1
	B28-18	10.11	80.28	20362	253.6
	B28-19	10.08	79.80	19859	248.9
	B28-20	10.03	79.01	20356	257.6
	B28-21	10.04	79.17	19376	244.7
	B28-22	10.05	79.33	20160	254.1
	B28-23	10.02	78.85	19372	245.7
	B28-24	10.08	79.80	20290	254.3
	B28-25	10.05	79.33	19891	250.7
	B28-26	10.03	79.01	19346	244.8
	B28-27	10.03	79.01	20226	256.0
	B28-28	10.07	79.64	21258	266.9
	B28-29	10.04	79.17	20003	252.7
	B28-30	10.03	79.01	19918	252.1
	B28-31	10.06	79.49	19120	240.5
				μ	252.0
				S	7.6
			Parámetros estadísticos	CV	3.0 %
				P25	247.0
				P75	255.5
				RIQ	8.5
				P25 -1.5*RIQ	234.3
			Análisis de datos atípicos	P75 +1.5*RIQ	268.3
				μ -3S	229.2
				μ +3S	274.9

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 99. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.60; A 13-14)

a/c 0.60	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	A28-1	10.02	78.85	18122	229.8
	A28-2	10.01	78.70	19079	242.4
	A28-3	10.02	78.85	17812	225.9
	A28-4	10.04	79.17	18877	238.4
	A28-5	10.06	79.49	19768	248.7
	A28-6	10.07	79.64	19319	242.6
	A28-7	10.05	79.33	18937	238.7
	A28-8	10.05	79.33	18417	232.2
	A28-9	10.06	79.49	19474	245.0
	A28-10	10.03	79.01	18276	231.3
	A28-11	10.05	79.33	17636	222.3
	A28-12	10.04	79.17	18944	239.3
	A28-13	10.06	79.49	18952	238.4
	A28-14	10.02	78.85	20061	254.4
	A28-15	10.00	78.54	18231	232.1
	A28-16	10.04	79.17	18583	234.7
	A28-17	10.03	79.01	18995	240.4
	A28-18	10.04	79.17	20028	253.0
	A28-19	10.06	79.49	19360	243.6
	A28-20	10.02	78.85	17874	226.7
	A28-21	10.05	79.33	19987	252.0
	A28-22	10.05	79.33	20446	257.7
	A28-23	10.02	78.85	18487	234.4
	A28-24	10.01	78.70	18787	238.7
	A28-25	10.05	79.33	19344	243.9
	A28-26	10.03	79.01	17825	225.6
	A28-27	10.06	79.49	20108	253.0
	A28-28	10.07	79.64	20331	255.3
	A28-29	10.02	78.85	17910	227.1
	A28-30	10.04	79.17	19600	247.6
			Parámetros estadísticos	μ	239.8
				S	9.9
				CV	4.1 %
				P25	232.1
				P75	246.9
				RIQ	14.8
			Análisis de datos atípicos	P25 -1.5*RIQ	209.9
				P75 +1.5*RIQ	269.1
				μ -3S	210.0
				μ +3S	269.7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 100. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.65; A 1-2)

a/c	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
0.65		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	H28-1	10.03	79.01	17662	223.5
	H28-2	10.04	79.17	17432	220.2
	H28-3	10.02	78.85	17528	222.3
	H28-4	10.02	78.85	17084	216.7
	H28-5	10.07	79.64	17747	222.8
	H28-6	10.06	79.49	18636	234.5
	H28-7	10.07	79.64	18568	233.1
	H28-8	10.01	78.70	17561	223.1
	H28-9	10.02	78.85	18531	235.0
	H28-10	10.03	79.01	17610	222.9
	H28-11	10.05	79.33	18568	234.1
	H28-12	10.03	79.01	18101	229.1
	H28-13	10.04	79.17	16998	214.7
	H28-14	10.02	78.85	17938	227.5
	H28-15	10.03	79.01	17698	224.0
	H28-16	10.04	79.17	17013	214.9
	H28-17	10.05	79.33	17765	223.9
	H28-18	10.06	79.49	18247	229.6
	H28-19	10.02	78.85	17528	222.3
	H28-20	10.00	78.54	16952	215.8
	H28-21	10.08	79.80	18036	226.0
	H28-22	10.01	78.70	17618	223.9
	H28-23	10.02	78.85	17580	222.9
	H28-24	10.03	79.01	18087	228.9
	H28-25	10.07	79.64	18081	227.0
	H28-26	10.06	79.49	18058	227.2
	H28-27	10.05	79.33	17924	226.0
	H28-28	10.05	79.33	17580	221.6
	H28-29	10.05	79.33	17852	225.0
	H28-30	10.04	79.17	16956	214.2
	H28-31	10.04	79.17	17095	215.9
				μ	224.1
				S	5.8
			Parámetros estadísticos	CV	2.6 %
				P25	221.9
				P75	227.3
				RIQ	5.4
			Análisis de datos atípicos	P25 -1.5*RIQ	213.9
				P75 +1.5*RIQ	235.4
				μ -3S	206.7
				μ +3S	241.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 101. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.65; A 5-6)

a/c	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
0.65		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	G28-1	10.03	79.01	17784	225.1
	G28-2	10.04	79.17	18019	227.6
	G28-3	10.02	78.85	17882	226.8
	G28-4	10.02	78.85	17671	224.1
	G28-5	10.07	79.64	18105	227.3
	G28-6	10.06	79.49	18483	232.5
	G28-7	10.07	79.64	18496	232.2
	G28-8	10.01	78.70	18069	229.6
	G28-9	10.02	78.85	17469	221.5
	G28-10	10.03	79.01	17506	221.6
	G28-11	10.05	79.33	18821	237.3
	G28-12	10.03	79.01	18702	236.7
	G28-13	10.04	79.17	18616	235.1
	G28-14	10.02	78.85	18097	229.5
	G28-15	10.03	79.01	17697	224.0
	G28-16	10.04	79.17	18125	228.9
	G28-17	10.05	79.33	18124	228.5
	G28-18	10.06	79.49	18802	236.5
	G28-19	10.02	78.85	17816	225.9
	G28-20	9.98	78.23	17882	228.6
	G28-21	10.08	79.80	18401	230.6
	G28-22	10.01	78.70	17974	228.4
	G28-23	10.02	78.85	17936	227.5
	G28-24	10.03	79.01	17532	221.9
	G28-25	10.07	79.64	18553	233.0
	G28-26	10.06	79.49	18070	227.3
	G28-27	10.05	79.33	18264	230.2
	G28-28	10.05	79.33	17984	226.7
	G28-29	10.05	79.33	18769	236.6
	G28-30	10.04	79.17	17484	220.8
	G28-31	10.04	79.17	18002	227.4
				μ	228.7
				S	4.6
			Parámetros estadísticos	CV	2.0 %
				P25	226.3
				P75	231.4
				RIQ	5.1
				P25 -1.5*RIQ	218.7
			Análisis de datos atípicos	P75 +1.5*RIQ	239.0
				μ -3S	214.8
				μ +3S	242.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 102. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.65; A 9-10)

a/c 0.65	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	F28-1	10.02	78.85	17643	223.7
	F28-2	10.02	78.85	17442	221.2
	F28-3	10.01	78.70	16504	209.7
	F28-4	10.05	79.33	16835	212.2
	F28-5	10.06	79.49	17409	219.0
	F28-6	10.03	79.01	17526	221.8
	F28-7	10.02	78.85	17525	222.2
	F28-8	10.05	79.33	16795	211.7
	F28-9	10.01	78.70	17694	224.8
	F28-10	10.03	79.01	17921	226.8
	F28-11	10.01	78.70	18088	229.8
	F28-12	10.01	78.70	18012	228.9
	F28-13	10.06	79.49	18006	226.5
	F28-14	10.04	79.17	18049	228.0
	F28-15	10.04	79.17	18150	229.3
	F28-16	10.01	78.70	17222	218.8
	F28-17	10.05	79.33	17460	220.1
	F28-18	10.01	78.70	16744	212.8
	F28-19	10.05	79.33	17331	218.5
	F28-20	10.03	79.01	17364	219.8
	F28-21	10.06	79.49	17725	223.0
	F28-22	10.09	79.96	18064	225.9
	F28-23	10.01	78.70	17245	219.1
	F28-24	10.02	78.85	17742	225.0
	F28-25	10.05	79.33	17547	221.2
	F28-26	10.01	78.70	17108	217.4
	F28-27	10.01	78.70	17495	222.3
	F28-28	10.03	79.01	17630	223.1
	F28-29	10.01	78.70	17031	216.4
	F28-30	10.07	79.64	18486	232.1
	F28-31	10.05	79.33	16824	212.1
				μ	221.4
				S	5.8
			Parámetros estadísticos	CV	2.6 %
				P25	218.7
				P75	225.5
				RIQ	6.8
				P25 -1.5*RIQ	208.5
			Análisis de datos atípicos	P75 +1.5*RIQ	235.7
				μ -3S	204.0
				μ +3S	238.8

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 103. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.65; A 13-14)

a/c	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
0.65		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	E28-1	10.04	79.17	17109	216.1
	E28-2	10.01	78.70	16722	212.5
	E28-3	10.02	78.85	17582	223.0
	E28-4	10.05	79.33	18346	231.3
	E28-5	10.05	79.33	17059	215.0
	E28-6	10.04	79.17	17122	216.3
	E28-7	10.03	79.01	16519	209.1
	E28-8	10.03	79.01	16425	207.9
	E28-9	10.06	79.49	17825	224.3
	E28-10	10.04	79.17	17331	218.9
	E28-11	10.02	78.85	17697	224.4
	E28-12	10.02	78.85	17750	225.1
	E28-13	10.04	79.17	17610	222.4
	E28-14	10.03	79.01	17687	223.9
	E28-15	10.05	79.33	17856	225.1
	E28-16	10.04	79.17	16711	211.1
	E28-17	10.05	79.33	16511	208.1
	E28-18	10.07	79.64	18079	227.0
	E28-19	10.06	79.49	17056	214.6
	E28-20	10.01	78.70	16059	204.1
	E28-21	10.02	78.85	16125	204.5
	E28-22	10.03	79.01	18120	229.3
	E28-23	10.04	79.17	17555	221.7
	E28-24	10.05	79.33	17485	220.4
	E28-25	10.05	79.33	17327	218.4
	E28-26	10.03	79.01	16865	213.4
	E28-27	10.06	79.49	17483	220.0
	E28-28	10.04	79.17	17392	219.7
	E28-29	10.03	79.01	17160	217.2
	E28-30	10.04	79.17	16401	207.2
	E28-31	10.02	78.85	16432	208.4
				μ	217.4
				S	7.4
			Parámetros estadísticos	CV	3.4 %
				P25	211.8
				P75	223.4
				RIQ	11.6
			Análisis de datos atípicos	P25 -1.5*RIQ	194.3
				P75 +1.5*RIQ	240.9
				μ -3S	195.1
				μ +3S	239.7

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 104. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.70; A 1-2)

a/c 0.70	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	L28-1	10.03	79.01	14862	188.1
	L28-2	10.02	78.85	15021	190.5
	L28-3	10.03	79.01	15248	193.0
	L28-4	10.05	79.33	15551	196.0
	L28-5	10.05	79.33	15993	201.6
	L28-6	10.06	79.49	16108	202.7
	L28-7	10.08	79.80	16123	202.0
	L28-8	10.01	78.70	15792	200.7
	L28-9	10.00	78.54	16098	205.0
	L28-10	10.02	78.85	15693	199.0
	L28-11	10.01	78.70	15621	198.5
	L28-12	10.05	79.33	16076	202.7
	L28-13	10.02	78.85	15038	190.7
	L28-14	10.01	78.70	15457	196.4
	L28-15	10.03	79.01	16590	210.0
	L28-16	10.01	78.70	15690	199.4
	L28-17	10.04	79.17	16485	208.2
	L28-18	10.03	79.01	15314	193.8
	L28-19	10.05	79.33	15952	201.1
	L28-20	10.06	79.49	15777	198.5
	L28-21	10.07	79.64	16843	211.5
	L28-22	10.08	79.80	16955	212.5
	L28-23	10.01	78.70	15171	192.8
	L28-24	10.01	78.70	16193	205.8
	L28-25	10.03	79.01	15889	201.1
	L28-26	10.04	79.17	15797	199.5
	L28-27	10.01	78.70	15080	191.6
	L28-28	10.04	79.17	15715	198.5
	L28-29	10.02	78.85	15580	197.6
	L28-30	10.02	78.85	15373	195.0
	L28-31	10.03	79.01	16426	207.9
				μ	199.7
				S	6.3
			Parámetros estadísticos	CV	3.2 %
				P25	195.5
				P75	202.7
				RIQ	7.2
				P25 -1.5*RIQ	184.8
			Análisis de datos atípicos	P75 +1.5*RIQ	213.4
				μ -3S	180.8
				μ +3S	218.6

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 106. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.70; A 9-10)

a/c 0.70	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	J28-1	10.04	79.17	15895	200.8
	J28-2	10.07	79.64	16176	203.1
	J28-3	10.05	79.33	15012	189.2
	J28-4	10.01	78.70	15721	199.8
	J28-5	10.03	79.01	16218	205.3
	J28-6	10.05	79.33	16421	207.0
	J28-7	10.03	79.01	15802	200.0
	J28-8	10.04	79.17	15399	194.5
	J28-9	10.05	79.33	16529	208.4
	J28-10	10.01	78.70	15350	195.1
	J28-11	10.00	78.54	14629	186.3
	J28-12	10.00	78.54	15745	200.5
	J28-13	10.02	78.85	15752	199.8
	J28-14	10.04	79.17	16774	211.9
	J28-15	10.01	78.70	15304	194.5
	J28-16	10.03	79.01	15538	196.7
	J28-17	10.03	79.01	15614	197.6
	J28-18	10.07	79.64	16880	211.9
	J28-19	10.06	79.49	16220	204.1
	J28-20	10.02	78.85	15575	197.5
	J28-21	10.04	79.17	16462	207.9
	J28-22	10.06	79.49	17128	215.5
	J28-23	10.04	79.17	15550	196.4
	J28-24	10.02	78.85	15771	200.0
	J28-25	10.02	78.85	16110	204.3
	J28-26	10.03	79.01	15134	191.5
	J28-27	10.04	79.17	16779	211.9
	J28-28	10.04	79.17	16932	213.9
	J28-29	10.04	79.17	14897	188.2
	J28-30	10.04	79.17	16221	204.9
	J28-31	10.03	79.01	14985	189.7
				μ	200.9
				S	7.9
			Parámetros estadísticos	CV	3.9 %
				P25	195.7
				P75	206.1
				RIQ	10.4
				P25 -1.5*RIQ	180.1
			Análisis de datos atípicos	P75 +1.5*RIQ	221.7
				μ -3S	177.3
				μ +3S	224.5

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 107. Resistencia a la compresión a los 28 días (a/c=0.70; A 13-14)

a/c 0.70	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	I28-1	10.08	79.80	16343	204.8
	I28-2	10.05	79.33	15575	196.3
	I28-3	10.03	79.01	16058	203.2
	I28-4	10.06	79.49	15560	195.8
	I28-5	10.01	78.70	14931	189.7
	I28-6	10.01	78.70	15763	200.3
	I28-7	10.02	78.85	15516	196.8
	I28-8	10.06	79.49	16387	206.2
	I28-9	10.02	78.85	15470	196.2
	I28-10	10.01	78.70	15670	199.1
	I28-11	10.03	79.01	16290	206.2
	I28-12	10.01	78.70	14561	185.0
	I28-13	10.07	79.64	16420	206.2
	I28-14	10.02	78.85	14470	183.5
	I28-15	10.06	79.49	15753	198.2
	I28-16	10.01	78.70	16502	209.7
	I28-17	10.02	78.85	15470	196.2
	I28-18	10.05	79.33	16448	207.3
	I28-19	10.01	78.70	15347	195.0
	I28-20	10.03	79.01	16383	207.3
	I28-21	10.01	78.70	15023	190.9
	I28-22	10.00	78.54	15347	195.4
	I28-23	10.01	78.70	14884	189.1
	I28-24	10.00	78.54	14947	190.3
	I28-25	10.02	78.85	14960	189.7
	I28-26	10.05	79.33	16375	206.4
	I28-27	10.04	79.17	15736	198.8
	I28-28	10.05	79.33	15027	189.4
	I28-29	10.06	79.49	15640	196.8
	I28-30	10.05	79.33	15004	189.1
	I28-31	10.03	79.01	14712	186.2
				μ	196.9
				S	7.4
			Parámetros estadísticos	CV	3.8 %
				P25	190.0
				P75	204.0
				RIQ	14.0
				P25 -1.5*RIQ	169.0
			Análisis de datos atípicos	P75 +1.5*RIQ	225.0
				μ -3S	174.6
				μ +3S	219.2

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 108. Resistencia a la compresión (56 días) para la relación a/c de 0.60 y los cuatro tipos de arena

	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	A56-1	10.04	79.17	22250	281.0
	A56-2	10.03	79.01	23147	293.0
	A56-3	10.05	79.33	22460	283.1
	A56-4	10.03	79.01	22238	281.5
	A56-5	10.04	79.17	22805	288.1
	A56-6	10.05	79.33	22904	288.7
					$\mu =$
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	B56-1	10.02	78.85	22356	283.5
	B56-2	10.02	78.85	22571	286.2
	B56-3	10.03	79.01	22769	288.2
	B56-4	10.06	79.49	22913	288.3
	B56-5	10.5	86.59	25646	296.2
	B56-6	10.03	79.01	23249	294.2
					$\mu =$
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	C56-1	10.07	79.64	22747	285.6
	C56-2	10.05	79.33	22844	288.0
	C56-3	10.02	78.85	22461	284.8
	C56-4	10.04	79.17	22695	286.7
	C56-5	10.01	78.70	21675	275.4
	C56-6	10.03	79.01	22998	291.1
					$\mu =$
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	D56-1	10.07	79.64	22303	280.0
	D56-2	10.04	79.17	21154	267.2
	D56-3	10.06	79.49	22122	278.3
	D56-4	10.02	78.85	21685	275.0
	D56-5	10.04	79.17	22048	278.5
	D56-6	10.04	79.17	21803	275.4
					$\mu =$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 109. Resistencia a la compresión (56 días) para la relación a/c de 0.65 y los cuatro tipos de arena

	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	E56-1	10.04	79.17	19673	248.5
	E56-2	10.02	78.85	19479	247.0
	E56-3	10.03	79.01	20463	259.0
	E56-4	10.06	79.49	20512	258.1
	E56-5	10.05	79.33	19827	249.9
	E56-6	10.05	79.33	20289	255.8
					μ =
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	F56-1	10.05	79.33	20840	262.7
	F56-2	10.04	79.17	19683	248.6
	F56-3	10.05	79.33	20604	259.7
	F56-4	10.05	79.33	20241	255.2
	F56-5	10	78.54	20513	261.2
	F56-6	10.02	78.85	20151	255.5
					μ =
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	G56-1	10.04	79.17	19546	246.9
	G56-2	10.03	79.01	19789	250.5
	G56-3	10.05	79.33	19957	251.6
	G56-4	10.03	79.01	19792	250.5
	G56-5	10.02	78.85	20103	254.9
					μ =
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	H56-1	10.06	79.49	19874	250.0
	H56-2	10.00	78.54	18801	239.4
	H56-3	10.01	78.70	18842	239.4
	H56-4	10.07	79.64	19357	243.0
	H56-5	10.02	78.85	20012	253.8
	H56-6	10.04	79.17	19411	245.2
					μ =

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 110. Resistencia a la compresión (56 días) para la relación a/c de 0.70 y los cuatro tipos de arena

	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	I7-1	10.04	79.17	18065	228.2
	I7-2	10.05	79.33	17837	224.9
	I7-3	10.03	79.01	17921	226.8
	I7-4	10.02	78.85	17711	224.6
	I7-5	10.02	78.85	17433	221.1
	I7-6	10.03	79.01	18497	234.1
					$\mu =$
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	J7-1	10.03	79.01	18040	228.3
	J7-2	10.04	79.17	18842	238.0
	J7-3	10.02	78.85	18048	228.9
	J7-4	10.02	78.85	18747	237.7
	J7-5	10.01	78.70	17793	226.1
	J7-6	10.06	79.49	18364	231.0
					$\mu =$
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	K7-1	10.02	78.85	17988	228.1
	K7-2	10.05	79.33	18997	239.5
	K7-3	10.04	79.17	17716	223.8
	K7-4	10.05	79.33	18549	233.8
	K7-5	10.01	78.70	18390	233.7
	K7-6	10.03	79.01	17532	221.9
					$\mu =$
<hr/>					
	ID	Diámetro	Área	Fuerza	Resistencia
		cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	L7-1	10.04	79.17	18371	232.0
	L7-2	10.02	78.85	17767	225.3
	L7-3	10.03	79.01	17504	221.5
	L7-4	10.01	78.70	17359	220.6
	L7-5	10.05	79.33	17482	220.4
	L7-6	10.01	78.70	18194	231.2
					$\mu =$

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 111. Resistencia a la tracción (28 días) para la relación a/c de 0.60 y los cuatro tipos de arena

	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	A-1	15.13	30.62	1455.44	18447	25.3
	A-2	15.22	30.53	1459.79	18031	24.7
	A-3	15.12	30.66	1456.38	16851	23.1
	A-4	15.16	30.5	1452.61	17816	24.5
	A-5	15.12	30.59	1453.05	16671	22.9
	A-6	15.13	30.57	1453.06	16126	22.2
					$\mu =$	23.8
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	B-1	15.18	30.71	1464.54	18788	25.7
	B-2	15.15	30.72	1462.12	18793	25.7
	B-3	15.19	30.78	1468.85	18168	24.7
	B-4	15.13	30.66	1457.34	17842	24.5
	B-5	15.12	30.5	1448.78	16246	22.4
	B-6	15.13	30.34	1442.13	17890	24.8
					$\mu =$	24.6
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	C-1	15.19	30.99	1478.87	18336	24.8
	C-2	15.22	30.93	1478.92	16806	22.7
	C-3	15.19	31.1	1484.12	17611	23.7
	C-4	15.15	30.9	1470.69	16955	23.1
	C-5	15.1	30.57	1450.18	17672	24.4
	C-6					
					$\mu =$	23.7
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	D-1	15.21	30.92	1477.47	16309	22.1
	D-2	15.22	30.98	1481.31	15339	20.7
	D-3	15.13	30.6	1454.49	13876	19.1
	D-4	15.21	30.72	1467.91	16238	22.1
	D-5	15.24	30.87	1477.99	16461	22.3
	D-6	15.18	31.05	1480.76	16556	22.4
					$\mu =$	21.4

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 112. Resistencia a la tracción (28 días) para la relación a/c de 0.65 y los cuatro tipos de arena

	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	E-1	15.18	30.83	1470.26	16935	23.0
	E-2	15.16	30.89	1471.18	17068	23.2
	E-3	15.12	30.47	1447.35	16074	22.2
	E-4	15.28	30.92	1484.27	16224	21.9
	E-5	15.22	30.95	1479.88	14900	20.1
	E-6	15.22	31.11	1487.53	16568	22.3
					$\mu =$	22.1
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	F-1	15.08	31.14	1475.26	17567	23.8
	F-2	15.19	31.05	1481.73	17262	23.3
	F-3	15.22	31.05	1484.66	15127	20.4
	F-4	15.19	31.1	1484.12	17710	23.9
	F-5	15.18	31.01	1478.85	17170	23.2
	F-6	15.15	30.57	1454.98	15759	21.7
					$\mu =$	22.7
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	G-1	15.08	30.77	1457.74	16547	22.7
	G-2	15.21	30.86	1474.60	15944	21.6
	G-3	15.18	30.81	1469.31	14166	19.3
	G-4	15.18	30.96	1476.46	16486	22.3
	G-5	15.18	30.99	1477.89	16400	22.2
	G-6	15.16	30.84	1468.80	14761	20.1
					$\mu =$	21.4
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	H-1	15.19	30.84	1471.71	16138	21.9
	H-2	15.16	30.83	1468.33	14865	20.2
	H-3	15.18	30.8	1468.83	14338	19.5
	H-4	15.16	31.01	1476.90	15953	21.6
	H-5	15.22	30.99	1481.79	15515	20.9
	H-6					
					$\mu =$	20.8

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 113. Resistencia a la tracción (28 días) para la relación a/c de 0.70 y los cuatro tipos de arena

	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 1-2	I-1	15.18	30.98	1477.42	13986	18.9
	I-2	15.21	31.01	1481.77	13528	18.3
	I-3	15.19	31.02	1480.30	14156	19.1
	I-4	15.12	30.57	1452.10	14719	20.3
	I-5	15.21	30.98	1480.34	15532	21.0
	I-6	15.21	31.07	1484.64	15226	20.5
					$\mu =$	19.7
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 5-6	J-1	15.12	30.62	1454.48	15899	21.9
	J-2	15.16	30.74	1464.04	15710	21.5
	J-3	15.19	31.11	1484.59	15709	21.2
	J-4	15.16	31.05	1478.80	14790	20.0
	J-5	15.12	30.89	1467.30	14409	19.6
	J-6	15.19	30.99	1478.87	15622	21.1
					$\mu =$	20.9
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 9-10	K-1	15.22	30.99	1481.79	15347	20.7
	K-2	15.15	30.63	1457.84	14530	19.9
	K-3	15.18	30.93	1475.03	12811	17.4
	K-4	15.19	31.10	1484.12	15460	20.8
	K-5	15.19	31.02	1480.30	15329	20.7
	K-6	15.18	30.87	1472.17	13950	19.0
					$\mu =$	19.8
<hr/>						
	ID	D	L	$\pi*L*D$	Fuerza	Resistencia
		cm	cm	cm ²	(kg)	(kg/cm ²)
A 13-14	L-1	15.08	30.63	1451.10	13123	18.1
	L-2	15.12	30.96	1470.63	12083	16.4
	L-3	15.20	30.87	1474.11	13694	18.6
	L-4	15.18	31.13	1484.57	13937	18.8
	L-5	15.22	31.13	1488.48	14013	18.8
	L-6	15.19	31.10	1484.12	14227	19.2
					$\mu =$	18.3

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C. PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 22. Área de agregados (preparación y evaluación de las propiedades del agregado grueso)
Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Área de agregados (preparación y evaluación de las propiedades del agregado fino)
Fuente: Elaboración propia



Figura 24. Área de mezclado (evaluación de las propiedades del concreto fresco y elaboración de probetas)
Fuente: Elaboración propia



Figura 25. Curado de probetas y ensayos para determinar la resistencia mecánica del concreto
Fuente: Elaboración propia

ANEXO D. CONSTANCIA DE ENSAYOS UNI-LEM



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"



CONSTANCIA

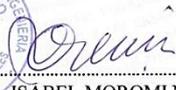
LA JEFA DEL LABORATORIO N° 1 ENSAYO DE MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, deja constancia que:

El Sr. **Guillermo Mario Luque Pampamallo**, Alumno de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, solicitó al Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales permiso para la realización de ensayos, estudio de agregados, Tiempo de fraguado y exudación del concreto, Ensayo de resistencia a la compresión y tracción de muestras cilíndricas de concreto en el marco de la Investigación "INFLUENCIA DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA LA MALLA N°100 EN EL CONCRETO ELABORADO CON CEMENTO TIPO IPM", con fines de tesis.

Se le brindo las facilidades del caso para la realización de dichos ensayos a partir de la fecha del 04 de Abril del 2019 hasta el 08 de Agosto del 2019.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Lima, 21 de Agosto del 2019


MSc. Ing. ISABEL MOROMI NAKATA
Jefe (e) de Laboratorio

UNI-LEM
La Calidad es nuestro compromiso
Laboratorio Certificado ISO 9001



Av. Tupac Amaru N° 210, Lima 25
apartado 1301 - Perú
(511) 381-3343
(511) 481-1070 Anexo: 4058 / 4046



www.lem.uni.edu.pe
lem@uni.edu.pe
Laboratorio de Ensayo
de Materiales - UNI

