

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil



TESIS

Influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en las propiedades físicas y mecánicas para obtener un concreto ligero estructural

Para obtener el título profesional de Ingeniero Civil.

Elaborado por

Samuel Eli Ponce Yaurimo

 [0009-0005-7043-5629](https://orcid.org/0009-0005-7043-5629)

Asesor

Mag. Max Huaynalaya Rashuaman

 [0000-0002-8956-2194](https://orcid.org/0000-0002-8956-2194)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Ponce Yaurimo [1]
Referencia/Reference	[1] S. Ponce Yaurimo, " <i>Influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en las propiedades físicas y mecánicas para obtener un concreto ligero estructural</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Ponce, 2025)
Referencia/Reference	Ponce, S. (2025) <i>Influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en las propiedades físicas y mecánicas para obtener un concreto ligero estructural</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera hasta la culminación de la presente tesis.

A la Universidad Nacional de Ingeniería por todas las enseñanzas y las oportunidades que hasta ahora me sigue brindando.

A mis amigos por su paciencia, amistad y consejos tanto personales como profesionales.

Agradecimientos

A mi asesor, el Mag. Max Huaynalaya Rashuaman, por su guía y orientación a lo largo del desarrollo de la presente tesis.

Al Ing. Juan Herradda Montagne, por los consejos brindados en los diversos ensayos de la presente tesis.

Al Laboratorio No.1 Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzales de la Coterá” por brindarme las facilidades para desarrollar la presente tesis, así como el apoyo en los diversos ensayos de los técnicos Germán Ponte Lopez, José Luís Julcamanyan, Moisés Rojas Supanta, Mitsu Morales Quipe, Celeste Correa Huatuco y al practicante Néstor Gonzales Pacori.

Muchas gracias por todo.

Resumen

En zonas urbanas del Perú con suelos de baja capacidad portante, se propone usar concretos ligeros estructurales con arcilla expandida (AE) como agregado grueso para reducir el peso de las edificaciones sin afectar su desempeño.

Los antecedentes evidencian variaciones en resistencia y densidad del concreto con AE, sin verificar su cumplimiento con la Norma E.060 (densidad $<1850 \text{ kg/m}^3$ y resistencia a la compresión $f'c >17 \text{ MPa}$). La mayoría de los estudios se limitan a bajos porcentajes de reemplazo y presentan limitaciones en diseño y mezclado, lo que explica la disminución no uniforme del $f'c$. No obstante, se reconoce que un tratamiento adecuado del agregado ligero, el probable aumento de la trabajabilidad asociada a la morfología de la AE y el uso de aditivos podrían contribuir a reducir la diferencia en resistencia frente a concretos convencionales.

En este estudio se plantea alcanzar reemplazos de hasta un 70 %. Se siguió una metodología aplicada, con enfoque cuantitativo y nivel experimental, mediante la elaboración de probetas cilíndricas. Se manipuló la variable independiente, el % de reemplazo y se evaluaron como variables dependientes la densidad y el $f'c$. Con el objetivo de evaluar la influencia de la AE y determinar la posibilidad de obtener concretos ligeros estructurales.

El mejor resultado se alcanzó con un 70 % de AE. Mediante el prehumedecimiento de la AE, el ajuste de la relación agua/cemento, y uso de un superplastificante, se logró una densidad de 1842 kg/m^3 y un $f'c$ de 228 kg/cm^2 ($22,4 \text{ MPa}$), clasificándose como concreto ligero estructural.

Palabras Clave - Arcilla expandida, concreto ligero estructural, resistencia a la Compresión, densidad

Abstract

In urban areas of Peru with low-bearing capacity soils, the use of structural lightweight concrete with expanded clay (EC) as coarse aggregate is proposed to reduce the weight of buildings without affecting their performance.

The background evidence shows variations in the strength and density of concrete with EC, without verifying its compliance with Standard E.060 (density $<1850 \text{ kg/m}^3$ and compressive strength $f_c >17 \text{ MPa}$). Most studies are limited to low replacement percentages and present design and mixing limitations, which explain the uneven decrease in f_c . However, it is recognized that proper treatment of the lightweight aggregate, the probable increase in workability associated with the morphology of EC, and the use of admixtures could contribute to reducing the difference in strength compared to conventional concrete.

This study proposes replacement rates of up to 70%. A quantitative, experimental methodology was followed, using cylindrical specimens. The independent variable, % replacement, was manipulated, and density and f_c were evaluated as dependent variables. The objective was to assess the influence of EA and determine the possibility of obtaining structural lightweight concretes.

The best result was achieved with 70 % EC. By pre-wetting the EC, adjusting the water/cement ratio, and using a superplasticizer, a density of 1842 kg/m^3 and a f_c of 228 kg/cm^2 ($22,4 \text{ MPa}$) were achieved, classifying it as structural lightweight concrete.

Keywords: Expanded clay, structural lightweight concrete, compressive strength, density

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Prólogo	x
Lista de tablas	xi
Lista de figuras	xiv
Lista de símbolos y siglas	xvi
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Planteamiento de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema General.....	4
1.2.2. Problemas Específicos.....	4
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Hipótesis	5
1.5.1. Hipótesis General	5
1.5.2. Hipótesis Específicas	5
1.6. Antecedentes Referenciales	5
1.6.1. Antecedentes Nacionales.....	5
1.6.2. Antecedentes Internacionales	8
Capítulo II. Marco teórico y conceptual	15
2.1. Marco Teórico.....	15
2.1.1. Ley de Terzaghi	15
2.1.2. La arcilla expandida para la producción del concreto	15
2.2. Marco Conceptual.....	16
2.2.1. El Concreto	16
2.2.2. Concreto Ligero Estructural.....	16
2.2.3. Cemento Portland	16
2.2.4. Agregados	17
2.2.5. Agregados Ligeros.....	17
2.2.6. Arcilla Expandida (LECA).....	18
2.2.7. Aditivos.....	19

2.2.8. Resistencia a la Compresión del Concreto.....	19
2.2.9. Densidad / Peso Unitario / Peso específico del Concreto.....	20
Capítulo III. Caracterización de los agregados.....	21
3.1. Agregado fino y grueso	21
3.1.1. Granulometría	21
3.1.2. Peso Específico y Porcentaje de Absorción.	25
3.1.3. Peso Unitario.	27
3.1.4. Contenido de humedad.....	28
3.1.5. Malla No. 200 (75 μ m).....	30
3.1.6. Partículas desmenuzables y terrones de arcilla.	30
3.1.7. Impurezas orgánicas.....	32
3.1.8. Abrasión.....	33
3.1.9. Durabilidad.....	34
3.2. Agregado Ligero	35
3.2.1. Granulometría.....	35
3.2.2. Densidad Aparente Suelta	38
3.2.3. Impurezas orgánicas.....	39
3.2.4. Otros ensayos realizados.....	39
3.2.5. Ensayos complementarios	40
3.3. Otros Materiales Empleados	41
3.3.1. Cemento Pórtland	41
3.3.2. Agua.....	42
3.3.3. Aditivos.....	43
Capítulo IV. Diseños de mezclas	44
4.1. Diseño de mezcla del concreto patrón	44
4.1.1. Método del ACI	44
4.1.2. Aplicación del método del ACI	45
4.2. Dosificación del concreto con arcilla expandida	52
4.3. Diseño de mezclas del concreto con modificaciones en sus dosificaciones	56
4.3.1. Reducción de Agua – Diseño de Mezcla.....	56
4.3.2. Aditivo Superplastificante – Diseño de Mezcla	57
4.4. Proceso de curado de las muestras de concreto.....	58
Capítulo V. Ensayos del concreto	60
5.1. Ensayos de concreto fresco.....	60
5.1.1. Muestreo de mezclas de Concreto Fresco	60
5.1.2. Asentamiento.....	62

5.1.3. Temperatura	64
5.1.4. Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire.....	65
5.2. Ensayos de concreto endurecido	67
5.2.1. Resistencia a la Compresión.....	67
5.2.2. Densidad.....	70
5.2.3. Resistencia a la Tracción	73
5.2.4. Densidad, absorción y vacíos	76
Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados	79
6.1. Agregados fino y grueso	79
6.1.1. Agregado Fino	79
6.1.2. Agregado Grueso.....	80
6.2. Agregado ligero.....	81
6.3. Concreto en estado fresco	82
6.3.1. Asentamiento	82
6.3.2. Temperatura.	85
6.3.3. Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire.....	87
6.4. Concreto en estado endurecido	90
6.4.1. Resistencia a la Compresión del Concreto.....	90
6.4.2. Densidad.....	98
6.4.3. Resistencia a la Tracción Indirecta del Concreto.....	107
6.4.4. Densidad, absorción y % de vacíos del Concreto.	111
Capítulo VII. Contratación de hipótesis	114
Conclusiones	115
Recomendaciones	116
Referencias bibliográficas.....	117
Anexos	123

Prólogo

Zonas de terrenos con capacidad de carga limitada generalmente implican cimentaciones profundas o costosas, edificaciones de gran altura con un gran peso (carga muerta), son problemas comunes a los cuales se le trata de buscar soluciones más eficientes. Dentro de esas se encuentra hacer el uso del concreto ligero estructural.

La presente investigación propone el uso de la arcilla expandida con el fin de elaborar un concreto de peso ligero, pero con categorización estructural. Por tanto, se busca determinar la influencia de este agregado ligero en las propiedades del concreto; físicas y mecánicas.

Los hallazgos de esta investigación establecen un precedente para continuar explorando este tema.

Mag. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN

Asesor

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1: Antecedentes nacionales - 1 (Resumen).....	11
Tabla 2: Antecedentes nacionales – 2 (Resumen).....	11
Tabla 3: Antecedentes nacionales – 3 (Resumen).....	12
Tabla 4: Antecedentes nacionales – 4 (Resumen).....	12
Tabla 5: Antecedentes internacionales - 1 (Resumen).....	13
Tabla 6: Antecedentes internacionales – 2 (Resumen).....	13
Tabla 7: Antecedentes internacionales – 3 (Resumen).....	14
Tabla 8: Antecedentes internacionales – 4 (Resumen).....	14
Tabla 9: Requerimientos granulométricos para agregados finos.....	21
Tabla 10: Requerimientos granulométricos para agregados gruesos.....	22
Tabla 11: Análisis Granulométrico del agregado fino - Cantera Trapiche.....	23
Tabla 12: Análisis Granulométrico del agregado grueso - Cantera UNICON.	23
Tabla 13: TMN y MF de los agregados.....	25
Tabla 14: PE y % de absorción del agregado fino.....	26
Tabla 15: PE y % de absorción del agregado grueso.	26
Tabla 16: PUS y PUC del agregado fino – Cantera Trapiche.....	28
Tabla 17. PUS y PUC del agregado grueso – Cantera UNICON.	28
Tabla 18: Contenido de Humedad de los agregados fino y grueso.	29
Tabla 19: Materiales más finos que pasan por la malla No. 200.	30
Tabla 20: Partículas desmenuzables y terrones de arcilla en los agregados.	31
Tabla 21: Impurezas orgánicas del agregado fino - Cantera Trapiche.	32
Tabla 22: Abrasión del agregado grueso – Cantera UNICON.....	34
Tabla 23: Inalterabilidad del agregado fino – Cantera Trapiche.	34
Tabla 24: Requerimientos granulométricos para agregados ligeros.....	36
Tabla 25: Análisis granulométrico del agregado ligero – Marca Argex.....	36
Tabla 26: Máxima densidad aparente seca suelta de los A. Ligeros.....	38
Tabla 27: Densidad aparente seca suelta del agregado ligero – Marca Argex..	38
Tabla 28: Impurezas orgánicas del agregado ligero – Marca Argex.....	39
Tabla 29: Otros ensayos del agregado ligero – Marca Argex.....	39
Tabla 30: Propiedades físicas y químicas del Cemento SOL Tipo I.	41
Tabla 31: Propiedades químicas del agua utilizada.	42
Tabla 32: Límites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada.....	42

Tabla 33: Aditivos empleados en la investigación presente	43
Tabla 34: Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción	45
Tabla 35: Volumen Unitario de Agua - Método ACI.....	46
Tabla 36: Requisitos de Sobrerresistencias – Método ACI	46
Tabla 37: Relación Agua Cemento por resistencia - Método ACI.....	47
Tabla 38: Volumen del AG compactado por unidad de volumen de concreto. ...	48
Tabla 39: Dosificación del Concreto Patrón - Método ACI.	50
Tabla 40: Dosificación del Concreto Patrón – 2° Tanda de Prueba.....	51
Tabla 41: Resistencia a la Compresión a los 7 días - 2° Tanda de Prueba.....	51
Tabla 42: Diseño de mezcla del Concreto Patrón $f'c$ 210 kg/cm ²	52
Tabla 43: Diseño de mezcla del Concreto (30 % de AE No Saturada).....	53
Tabla 44: Diseño de mezcla del Concreto (30% de AE Saturada).	54
Tabla 45: Diseño de mezcla del Concreto (40% de AE Saturada).	54
Tabla 46: Diseño de mezcla del Concreto (50% de AE Saturada).	55
Tabla 47: Diseño de mezcla del Concreto (60% de AE Saturada).	55
Tabla 48: Diseño de mezcla del Concreto (70% de AE Saturada).	55
Tabla 49: Diseño de mezcla del Concreto (50% de AE Saturada) + R.A.	56
Tabla 50: Diseño de mezcla del Concreto (60% de AE Saturada) + R.A.	57
Tabla 51: Diseño de mezcla del Concreto (70% de AE Saturada) + R.A.	57
Tabla 52: Diseño de mezcla del Concreto (60% de AE Saturada) + S.P.....	58
Tabla 53: Diseño de mezcla del Concreto (70% de AE Saturada) + S.P.....	58
Tabla 54: Muestreo de mezclas de concreto fresco.	61
Tabla 55: Medición de Asentamientos - 1	63
Tabla 56: Medición de Asentamientos - 2	63
Tabla 57: Medición de Temperaturas - 1	64
Tabla 58: Medición de Temperaturas - 2	64
Tabla 59: Características del ensayo - NTP 339.046	65
Tabla 60: Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire - 1.....	67
Tabla 61: Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire - 2.....	67
Tabla 62: Resistencia a la Compresión ($f'c$) - 1.....	69
Tabla 63: Resistencia a la Compresión ($f'c$) - 2.....	70
Tabla 64: Densidad del concreto (ρ) - 1	71
Tabla 65: Densidad del concreto (ρ) - 2	71
Tabla 66: Densidad seca y de equilibrio - 1	73
Tabla 67: Densidad seca y de equilibrio - 2	73

Tabla 68: Resistencia a la Tracción Indirecta (f't).....	75
Tabla 69: Densidad, absorción y vacíos	77
Tabla 70: Propiedades del agregado fino – Cantera Trapiche (Resumen).	79
Tabla 71: Propiedades del agregado grueso – Cantera UNICON (Resumen)...	80
Tabla 72: Propiedades del agregado ligero – Marca ARGEX (Resumen).	81
Tabla 73: Variación del asentamiento.	83
Tabla 74: Variación de la temperatura - 1	86
Tabla 75: Variación de la temperatura - 2	87
Tabla 76: Variación del peso unitario del concreto fresco – 1	88
Tabla 77: Variación del peso unitario del concreto fresco – 2	89
Tabla 78: Variación de la resistencia a la compresión (f'c).....	92
Tabla 79: Variación de la resistencia a la compresión (f'c) – 50% AE	93
Tabla 80: Variación de la resistencia a la compresión (f'c) – 60% AE	94
Tabla 81: Variación de la resistencia a la compresión (f'c) – 70% AE	96
Tabla 82: Variación de la densidad (ρ) – 1.....	101
Tabla 83: Variación de la densidad (ρ) – 2.....	101
Tabla 84: Variación de la densidad (ρ) – 50% AE	104
Tabla 85: Variación de la densidad (ρ) – 60% AE	104
Tabla 86: Variación de la densidad (ρ) – 70% AE	104
Tabla 87: Variación de la densidad seca y de equilibrio – 1.....	105
Tabla 88: Variación de la densidad seca y de equilibrio – 2.....	106
Tabla 89: Variación de la resistencia a la tracción indirecta (f't) – 1.	108
Tabla 90: Variación de la resistencia a la tracción indirecta (f't) – 2.	109
Tabla 91: Variación de la densidad, absorción y vacíos.....	112
Tabla 92: Resumen de Resultados – 1.	113
Tabla 93: Resumen de Resultados – 2.	113

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Distribución granulométrica del agregado fino.	23
Figura 2: Curva Granulométrica del agregado fino - Cantera Trapiche.	24
Figura 3: Curva Granulométrica del agregado grueso - Cantera UNICON.	24
Figura 4: Distribución granulométrica del agregado grueso.	25
Figura 5: Ensayo de PE y absorción de los agregados fino y grueso.	27
Figura 6. Pesaje de la arena en el recipiente de 1/10 ft ³	28
Figura 7. Agregados en el horno para su secado.	29
Figura 8. Ensayo de la Malla No. 200 del agregado fino.	30
Figura 9: Ensayo de terrones de arcilla en el agregado fino.	31
Figura 10: Arena en hidróxido de sodio y la placa de colores Gardner.	32
Figura 11: Ensayo de abrasión del agregado grueso.	33
Figura 12: Agregado fino en sulfato de magnesio (Ensayo de Durabilidad).	35
Figura 13: Curva granulométrica del agregado ligero – Marca Argex.	37
Figura 14: Distribución granulométrica del agregado ligero – Marca Argex.	37
Figura 15: Muestra para el ensayo de granulometría del agregado ligero.	37
Figura 16: Muestra para el ensayo de densidad aparente suelta.	38
Figura 17: PE del agregado ligero.	40
Figura 18: Curado de probetas cilíndricas de concreto.	59
Figura 19: Muestreo de la Mezcla de Concreto.	60
Figura 20: Elaboración de Probetas Cilíndricas (4x8”) de Concreto.	61
Figura 21: Ensayo de Asentamiento del Concreto Patrón.	62
Figura 22: Ensayo de Asentamiento del Concreto 70% AE.	63
Figura 23: Medición de la Temperatura del Concreto.	65
Figura 24: Ensayo del peso unitario del concreto fresco.	66
Figura 25: Esquema de los patrones de tipos de fracturas.	68
Figura 26: Ensayo de la Resistencia a la Compresión.	69
Figura 27: Ensayo de Densidad del concreto.	70
Figura 28: Ensayo de Tracción Indirecta del concreto.	74
Figura 29: Probetas ensayadas a tracción - 1.	75
Figura 30: Probetas ensayadas a tracción - 2.	75
Figura 31: Probetas ensayadas a tracción - 3.	76
Figura 32: Ensayo de Densidad, absorción y vacíos.	78

Figura 33: Asentamiento vs. % de reemplazo de AE.	82
Figura 34: Morfología de los agregados.....	83
Figura 35: Segregación del agregado ligero.	84
Figura 36: Sección transversal de una probeta de concreto de 70% AE.....	84
Figura 37: Temperatura Ambiental y Temperatura del Concreto – 1.....	85
Figura 38: Temperatura Ambiental y Temperatura del Concreto – 1.....	86
Figura 39: Peso Unitario y Rendimiento del Concreto – 1.....	87
Figura 40: Peso Unitario y Rendimiento del concreto – 2.....	89
Figura 41: Resistencia a la Compresión (f_c) vs. Edad de Ensayo – 1.	90
Figura 42: Resistencia a la Compresión (f_c) vs. % de reemplazo de AE.	91
Figura 43: Resistencia a la Compresión (f_c) vs. Edad de Ensayo – 2.	94
Figura 44: Resistencia a la Compresión (f_c) vs. Edad de Ensayo – 3.	95
Figura 45: Resistencia a la Compresión (f_c) vs. Edad de Ensayo – 4.	96
Figura 46: Densidad (ρ) vs. Edad de Ensayo – 1.....	99
Figura 47: Densidad (ρ) vs. % de reemplazo de AE.....	100
Figura 48: Densidad (ρ) vs. Edad de Ensayo – 2.....	102
Figura 49: Densidad (ρ) vs. Edad de Ensayo – 3.....	103
Figura 50: Densidad Seca y de Equilibrio del Concreto – 1.	105
Figura 51: Densidad Seca y de Equilibrio del Concreto – 2.	106
Figura 52: Densidad Seca y de Equilibrio del Concreto – 3.	107
Figura 53: Resistencia a la Tracción Indirecta (f_t) vs. Edad de Ensayo.	108
Figura 54: Resistencia a la T. Indirecta (f_t) vs. % de reemplazo de AE.	110
Figura 55: Densidad, Absorción y vacíos vs. % de reemplazo de AE.	111

Lista de símbolos y siglas

CISMID: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres

CENEPRED: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres

ACI: American Concrete Institute

ASTM: American Society for Testing and Materials

NTP: Norma Técnica Peruana

AG: Agregado Grueso

AF: Agregado Fino

TMN: Tamaño Máximo Nominal

MF: Módulo de Finura

LECA: Light Expanded Clay Aggregate

AE: Arcilla Expandida

CP: Concreto Patrón

RA: Reducción de agua

SP: Superplastificante

a/c: Relación de agua/cemento

PE: Peso específico

PU: Peso Unitario

PUS: Peso unitario suelto

PUC: Peso unitario compactado

ZTF: Zona de Transición de Fase

=: Igual

Δ: Variación

π : Número "pi"

N°: Número

%: Porcentaje

in, ": Pulgadas

ft: Pies

m: Metro

cm: Centímetro

mm: Milímetros

μm : milésima de milímetro

kg: Kilogramo

g: Gramo

ml: Mililitros

cm^3 : Centímetro cúbico

m^3 : Metro cúbico

L: Litro

T.C.: Temperatura del Concreto

T.A.: Temperatura Ambiental

°C: Grados Celsius

°F: Grados Fahrenheit

ρ : Densidad

lb/ft^3 : Libra por pie cúbico

g/cm^3 : Gramo por centímetro cúbico

kg/m^3 : Kilogramo por metro cúbico

$f'c$: Resistencia a la Compresión del Concreto

$f'cr$: Resistencia Requerida a la Compresión del Concreto

ft: Resistencia a la Tracción del Concreto

kgf/cm²: Kilogramo fuerza por centímetro cuadrado

PSI: Pounds per square inch (libras por pulgada cuadrada)

MPa: Megapascal

MPa/s: Megapascal por segundo

MPa/min: Megapascal por minuto

Ppm: Partes por millón

mg/L: Miligramo por litro

g/L: Gramo por lit

Capítulo I. Introducción

1.1. Planteamiento de la realidad problemática

Existe una gran diversidad de tipos de suelos en el Perú, suelos de buena composición granulométrica, capacidad portante y de pequeñas deformaciones; como lo son los suelos cohesivos, granulares y compactados, pero, también existen suelos muy malos en lo que respecta a poder edificar sobre ellos (Ayasca & Quispe, 2022). Los suelos arcillosos, las zonas pantanosas de Ventanilla y Chorrillos, las laderas de cerros de Ate o Comas, o los suelos arenosos que se encuentran en Villa El Salvador, Ancón y La Molina son algunos de los más riesgosos. Son estos suelos menos consolidados y los más propensos a sufrir deslizamientos o el fenómeno de licuación como consecuencia de un terremoto y sus réplicas (CISMID, 2013). Si se incluyen los factores sociales en el análisis de riesgo, la población expuesta solo en Lima y Callao supera los 7 millones, el 76% de la población de Lima y Callao vive en zonas de nivel de riesgo muy alto (7,073,121 personas). Solo en cuestión de viviendas son 226,894 con riesgo muy alto en el Callao y 1,752,970 en Lima, principalmente en San Juan de Lurigancho, San Martín de Porres, Comas, Ate y el Callao (CENEPRED, 2017).

Por tanto, en los terrenos muy flojos o blandos (capacidades portantes muy limitadas) sometidos a cargas considerables se generan daños tanto a nivel geotécnico como estructural (Rodríguez, 2016). Estas cargas considerables provienen de estructuras de gran envergadura; edificaciones de varios pisos (cargas importantes debido a su peso propio, cargas laterales debido al viento y movimientos sísmicos), torres de energía y telecomunicaciones, estructuras industriales u otros (López, 2016).

Desde el 2006, vecinos de la urbanización Limatambo vienen enfrentado un grave problema, el terreno donde han construido sus casas se están hundiendo. Esto ha ocasionado no solo que las viviendas y los edificios tengan grandes grietas, sino que el nivel del piso haya descendido unos 40 cm del suelo original. La razón de este desnivel en el suelo se debe a que las edificaciones fueron construidas sobre una antigua cantera, de hasta 30 metros de profundidad, que fue rellenada con desmonte de todo tipo, desde sanitario hasta de construcción, provenientes de la construcción de la Vía Expresa de la avenida Paseo de la República, por ende la edificación no tiene soportes para resistir

tanto su propio peso y las fuerzas externas que se le aplican (Obregón et al., 2022).

El edificio Millennium Tower en San Francisco (California, EE. UU) de 56 pisos se encuentra sobre un relleno de arcilla y arena, lo que resulta en un suelo con baja capacidad portante. Su cimentación consistió en pilotes de concretos profundos, pero no llegan hasta una capa de suelo más resistente, entonces la carga del edificio sobre el suelo comprimió las capas de arcilla y arena, lo que provoca un proceso de consolidación del suelo desde su construcción en el 2008. Este proceso lo llevó a problemas de hundimiento (40 centímetros durante los 8 años posteriores a su construcción), asentamientos e inclinación (5 centímetros hacia el noroeste) de la estructura reflejada en grietas en paredes, ventanas desalineadas y otras complicaciones (Garala, 2017).

En la ciudad de New York de acuerdo con los oceanólogos de la Universidad de Rhode Island junto a un geólogo del USGS Moffett Field descubrieron que el enorme peso de los edificios está contribuyendo a su caída por hundimiento. Esto debido a los asentamientos y las reducciones en el nivel freático. La estimación del peso de los edificios en la ciudad de Nueva York es de 764,000,000,000 kilogramos. Ese peso sumado al peso natural del suelo además de las condiciones que se sabe que existen debajo de la ciudad de Nueva York, en su mayoría depósitos de lagos de limo, arena y arcilla junto con algunos afloramientos de lecho rocoso, mostró tasas de hundimiento estimadas para diferentes partes de la ciudad y también dio un promedio para toda la ciudad: 1 a 2 milímetros por año (lleva un hundimiento de 22 centímetros desde 1950). Algunas partes de la ciudad corren más riesgo que otras: los suelos ricos en arcilla, por ejemplo (en estas zonas el peso de los edificios empuja con mayor fuerza estos componentes, aumentando el hundimiento de la ciudad), y se descubrió que los rellenos artificiales son más propensos a hundirse que los depósitos de arena o el lecho rocoso (Parsons et al., 2023).

Por todo lo descrito, surge la necesidad de aligerar las estructuras; la reducción en las cargas a la cimentación puede hacer que se reduzca el tamaño de la cimentación (con una carga menor, los requisitos para la capacidad de carga del suelo son menos estrictos); haciendo que se requieran menos pilotes, o menores encamisados de los pilotes, o un menor requerimiento de refuerzo estructural. Al reducirse la carga muerta pueden requerirse miembros de apoyo

más pequeños (cubiertas, vigas, trabes y pilas), lo que provocaría una mayor reducción en el costo. Al reducir la carga muerta se reducen las fuerzas de inercia sísmicas reduciendo el grado de deterioro que podría sufrir la estructura (ACI 213R, 2003).

Otras aplicaciones presentes son en el caso de rehabilitación de puentes, un nuevo puente puede hacerse más ancho o se podría añadir un carril adicional para tráfico sin hacer modificaciones estructurales o en la cimentación. En reparaciones de las cubiertas de los puentes o en la colocación de capas sobrepuestas, la cubierta puede ser más gruesa para permitir mayor recubrimiento sobre el esfuerzo o para dar un mejor drenaje sin añadir carga muerta a la estructura. En aplicaciones de prefabricación o de presfuerzo, se pueden fabricar elementos más largos o grandes sin incrementar la masa general. Esto puede hacer que se requieran menos columnas o menos pilas generando un sistema que es más fácil de levantar o erguir y menos puntos o más elementos por carga al transportar (ACI 213R, 2003).

Por lo que la investigación se enfoca en el concreto ligero estructural y para ello se hará uso de un agregado ligero, la arcilla expandida.

La arcilla expandida es uno de los materiales con mayor resistencia a la compresión entre los agregados ligeros, además de poseer ligereza; la arcilla natural se somete a altas temperaturas en un horno rotatorio, entre 1100 y 1200 °C, durante este proceso, el agua contenida en la arcilla se evapora y crea pequeñas burbujas de aire dentro del material, lo que le otorga una estructura porosa. Gracias a su porosidad, la densidad de la arcilla expandida es mucho menor que la de los agregados convencionales, lo que reduce el peso de los productos fabricados con ella. Adición a esto está su durabilidad (resistente a la humedad y a los agentes químicos, lo que ayuda a preservar la integridad del concreto a lo largo del tiempo); que en comparación del poliestireno expandido es susceptible a la degradación por exposición a la luz ultravioleta y a ciertos productos químicos. También esta su capacidad aislante (tanto térmica como sonora); los vacíos llenos de aire en la arcilla expandida ayudan a frenar el calor y el sonido. Y por último su estabilidad dimensional; ya que la arcilla expandida tiene una baja tasa de contracción y expansión térmica a diferencia del poliestireno expandido (Vijayalakshmi & Ramanagopal, 2018).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en las propiedades físicas y mecánicas para obtener un concreto ligero estructural?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuál es la influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en reemplazos porcentuales de 30, 40, 50, 60 y 70% en la densidad del concreto?

¿Cuál es la influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en reemplazos porcentuales de 30, 40, 50, 60 y 70% en la resistencia a la compresión del concreto?

1.3. Justificación

Si bien la mayoría de las investigaciones coinciden en que la resistencia a compresión ($f'c$) tiende a disminuir con el incremento del porcentaje de reemplazo por arcilla expandida, esta observación no es suficiente para descartar la viabilidad del presente estudio. En efecto, los resultados reportados no muestran una tendencia uniforme, ya que la magnitud de la reducción depende de factores como la dosificación empleada, el porcentaje de sustitución, el estado del agregado (seco o saturado) y la corrección realizada por absorción. Además, en muchos casos los valores de $f'c$ obtenidos superan el mínimo normativo establecido para considerarse estructural, lo cual evidencia que es posible aprovechar la reducción de densidad como una ventaja en la disminución de cargas muertas, manteniendo a la vez un desempeño mecánico adecuado.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en las propiedades físicas y mecánicas para obtener un concreto ligero estructural.

1.4.2. Objetivos Específicos

Evaluar la influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en reemplazos porcentuales de 30, 40, 50, 60, y 70% en la densidad del concreto.

Evaluar la influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en reemplazos porcentuales de 30, 40, 50, 60 y 70% en la resistencia a la compresión del concreto.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

La influencia de la arcilla expandida como agregado grueso resultará óptima en las propiedades físicas y mecánicas para obtener de un concreto ligero estructural.

1.5.2. Hipótesis Específicas

La influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en reemplazos porcentuales de 30, 40, 50, 60 y 70% resultará óptima para minimizar la densidad del concreto.

La influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en reemplazos porcentuales de 30, 40, 50, 60, y 70% resultará óptima para maximizar la resistencia a la compresión del concreto.

1.6. Antecedentes Referenciales

1.6.1. Antecedentes Nacionales

Castro (2023), desarrolló la tesis titulada “Variación del Peso Volumétrico y la Resistencia a la Compresión de un Concreto $f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ al reemplazar parte del Agregado Grueso por Arcilla Expandida en diferentes porcentajes”, tuvo como objetivo determinar la variación de la resistencia a la compresión y el peso volumétrico de un concreto con f'_c de 210 Kg/cm^2 al reemplazar el agregado grueso por 7.5, 12.5 y 22.5% de arcilla expandida marca Argex. La arcilla expandida presentó un peso específico de 0.29 gr/cm^3 y una absorción de 22.70%. Elaboraron un total de 72 especímenes cilíndricos, 18 por cada porcentaje de reemplazo incluido el concreto patrón, los cuales fueron ensayados para las edades de 7, 14 y 28 días. El peso unitario del concreto fresco patrón fue de 2326.42 kg/m^3 , y para las mezclas con arcilla expandida se obtuvieron 2277.97 , 2237.56 y 2200.43 kg/m^3 , evidenciando una reducción progresiva con el incremento del agregado ligero. En cuanto a la resistencia a la compresión a los 7 días, el concreto patrón alcanzó 189.67 kg/cm^2 , mientras que las mezclas con arcilla expandida registraron 177.39 , 170.74 y 159.10 kg/cm^2 . A los 28 días, la

resistencia a la compresión del concreto patrón fue de 251.89 kg/cm², mientras que los concretos con 7.5, 12.5 y 22.5% de arcilla expandida alcanzaron 229.70, 220.08 y 211.51 kg/cm², respectivamente. Respecto a la densidad del concreto endurecido a los 28 días, el concreto patrón presentó un valor de 2347.13 kg/m³, y los concretos con arcilla expandida mostraron densidades de 2279.29, 2255.42 y 2231.98 kg/m³, evidenciando una disminución con el incremento del agregado ligero. De estos resultados se concluye que el peso unitario del concreto fresco disminuyó en 2.08, 3.82 y 5.42%, mientras que la resistencia a la compresión a los 28 días se redujo en 8.81, 12.63 y 16.03%, respectivamente. Finalmente, la densidad del concreto endurecido a los 28 días disminuyó en 2.89, 3.91 y 4.91% en comparación con el concreto patrón. De acuerdo con los diseños de mezclas se realizó la sustitución de la arcilla expandida por el agregado grueso en volumen, pero al usar el agregado ligero en estado seco, el reajuste del agua libre aumenta debido al alto porcentaje de absorción.

Castrejón y Romero (2023), desarrollaron la tesis titulada “Determinación de la resistencia a compresión y peso volumétrico del concreto $f'c=210$ kg/cm² al reemplazar el agregado grueso por arcilla expandida en 5, 10 y 20%”, tuvo como objetivo determinar la variación de la resistencia a la compresión y el peso volumétrico de un concreto $f'c= 210$ Kg/cm² al reemplazar el agregado grueso por el 5, 10 y 20% de arcilla expandida. Elaboraron un total de 90 especímenes, 15 por cada porcentaje de reemplazo incluido el concreto patrón, fueron ensayados para las edades de 7, 14 y 28 días. La resistencia a compresión promedio a los 7 días del concreto patrón fue 214.38 kg/cm² y para los concretos con arcilla expandida fueron 189.36, 155.65 y 142.99 kg/cm² a medida que el porcentaje de reemplazo aumentaba. A los 28 días el concreto patrón obtuvo una resistencia a la compresión de 289.01 kg/cm² y para el concreto con reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida se obtuvieron valores de 237.20, 202.73 y 187.52 kg/cm². La densidad del concreto endurecido patrón a los 28 días fue de 2332.01 kg/m³ y para los concretos con arcilla expandida se obtuvieron 2297, 2245 y 2128 kg/m³ a mayor uso del agregado ligero. De acuerdo con estos resultados concluyeron que la resistencia a compresión a los 28 días presentó una disminución de 17.93, 29.85 y 35.12% respecto a la resistencia del concreto patrón, de igual manera que la densidad del concreto endurecido a los 28 días descendió de 0.66, 3.63 y 7.59%. De acuerdo con los diseños de mezclas si se realizó la sustitución de la arcilla expandida por el agregado grueso en volumen,

pero se empleó la misma cantidad de agua, sin considerar el porcentaje de absorción del agregado ligero. La arcilla expandida seca absorberá parte del agua diseñada para hidratar el cemento. Esto reduce la relación a/c afectando el fraguado y resistencia.

Obregón y Osorio (2021), desarrollaron la tesis titulada “Influencia de la arcilla expandida en el diseño de mezcla de concreto liviano de alto rendimiento en el distrito de Lircay-Angares-Huancavelica”, donde se marcaron el objetivo de determinar la influencia de la incorporación de arcilla expandida tanto en la densidad y resistencia a la compresión empleando porcentajes de reemplazo de 0, 5, 10, 15 y 20% respecto al agregado grueso. La arcilla expandida presentó un peso específico de 1.52 gr/cm^3 y una absorción de 28.92%. El concreto patrón fue diseñado para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm^2 y un asentamiento de 6”. De acuerdo con los ensayos del concreto en estado fresco; los pesos unitarios fueron de 2336 kg/m^3 para el concreto patrón, 2364, 2395, 2343 y 2328 kg/m^3 en el caso de los concreto con arcilla expandida. De acuerdo con los ensayos en estado endurecido para el concreto patrón se obtuvo una resistencia a la compresión a los 7 días de 207.6 kg/cm^2 y a los 28 días de 330.6 kg/cm^2 . En el caso de las resistencias a la compresión de los concretos con porcentajes de reemplazo de 5, 10, 15 y 20% de arcilla expandida por el agregado grueso alcanzaron a los 7 días 214.0, 203.0, 210.7 y 159.3 kg/cm^2 , y a los 28 días resistencias de 317.2, 295.0, 285.1 y 260.0 kg/cm^2 . De acuerdo con estos resultados concluyeron que para los pesos unitarios ocurrieron aumentos de 1.20, 2.53 y 0.30% para los porcentajes de 5, 10 y 15% y un descenso del 0.34% para un reemplazo del 20%. La sustitución de arcilla expandida por el agregado grueso no fue realizada por volumen sino por peso siendo la explicación de la poca variación de esta propiedad. En el caso de las resistencias a la compresión del concreto a los 28 días, a medida que iba en aumento el porcentaje de reemplazo de la arcilla expandida por el agregado grueso ocurrieron descensos de 4.05, 10.77, 13.76 y 21.36% respecto al $f'c$ del concreto patrón.

Quispe y Vera (2018), desarrollaron la tesis titulada “Evaluación del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano”, que tuvo como objetivos determinar la densidad y la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida. El reemplazo de la arcilla expandida por el agregado grueso fue del 100%, su peso específico fue de 0.45

g/cm³ y en estado saturado superficialmente seco fue de 0.96 g/cm³, además de presentar un contenido de humedad de 0.00% y una absorción de 25.96%. Dentro de las mezclas realizadas, desarrollaron una que tenía una relación a/c de 0.41. El peso unitario del concreto fresco fue de 1620.98 kg/m³, respecto a las propiedades en estado endurecido la resistencia a la compresión a los 7 días fue de 198.84 kg/cm² y a los 28 días, 214.85 kg/cm². De acuerdo con estos resultados concluyeron que el peso unitario es menor de 1850 kg/m³ siendo el límite máximo permitido de acuerdo con la norma ACI318S-14, en el caso de la resistencia a la compresión a los 28 días se encontró dentro de los límites establecidos en la norma mencionada; 17 a 35 MPa (173.35 a 356.90 kg/cm²). A pesar de los resultados positivos, el estudio no incluyó un concreto patrón convencional, lo que limita la comparación directa entre el concreto con y sin arcilla. También indica que saturaron la arcilla expandida antes de realizar las mezclas de concreto.

1.6.2. Antecedentes Internacionales

Díaz (2017), desarrolló la tesis titulada “Determinación de la resistencia a compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida (arilita) en sustitución parcial del agregado grueso”, donde se marcaron el objetivo de determinar la influencia de la incorporación de arcilla expandida tanto en la densidad y resistencia a la compresión empleando porcentajes de reemplazo de 0, 5, 10, 20 y 30% respecto al agregado grueso. La arcilla expandida presentó una densidad aparente suelta de 0.48 g/cm³, una densidad aparente compactada de 0.54 g/cm³ y una absorción de 9.31%. El concreto patrón fue diseñado en base a una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y slump de 6 a 9 cm. De acuerdo con los ensayos del concreto en estado fresco; los pesos unitarios fueron de 2372.02 kg/m³ para el concreto patrón, 2271.96, 2244.42, 2166.43 y 2071.96 kg/m³ en el caso de reemplazos del agregado grueso por la arcilla expandida. De acuerdo con los ensayos en estado endurecido para el concreto patrón obtuvieron resistencias a la compresión a los 7 días de 136.88 kg/cm² y a los 28 días, 234.95 kg/cm². En el caso de las resistencias a la compresión de los concretos con porcentajes de reemplazo de 5, 10, 20 y 30% de arcilla expandida por el agregado grueso alcanzaron a los 7 días 136.74, 127.21, 122.98 y 117.81 kg/cm², y a los 28 días resistencias de 235.13, 224.02, 217.19 y 195.16 kg/cm². La densidad en estado endurecido para el concreto patrón fue de 2378.03 kg/m³, para los porcentajes de reemplazo fueron 2281.83, 2253.22, 2161.46 y 2076.39 kg/m³ mientras aumentaba el uso de la arcilla expandida. De acuerdo con estos

resultados concluyeron que los pesos unitarios del concreto fresco descienden en 4.22, 5.38, 8.67 y 12.65% respecto al concreto patrón a mayor porcentaje de reemplazo. En el caso de las resistencias a la compresión del concreto a los 28 días, hubo un pequeño aumento del 0.15% para el 5 % de arcilla expandida, pero hubo descensos de 4.65, 7.56 y 16.94% para 10, 20 y 30% de arcilla respectivamente. Finalmente, para la densidad en estado endurecido también hubo descensos de 4.05, 5.25, 9.11 y 12.68%. De acuerdo con los diseños de mezclas se realizó la sustitución de la arcilla expandida por el agregado grueso en volumen, pero se hizo mediante el peso unitario suelto siendo no tan preciso esta sustitución; se obtendrá menos masa sólida.

Patel et al. (2019), desarrollaron el artículo titulado "To Study the Effect of Addition of Lightweight Expanded Clay Aggregate on fresh and hardened properties of Concrete", donde se marcaron el objetivo de determinar la influencia de la incorporación de arcilla expandida tanto en la densidad y resistencia a la compresión empleando porcentajes de reemplazo de 0, 25, 50, 75 y 100% respecto al agregado grueso. La arcilla expandida presentó un peso específico de 0.92 g/cm^3 y una absorción del 18%. El concreto patrón fue diseñado en base a una resistencia a la compresión de 25 MPa (254.93 kg/cm^2), cabe mencionar que también se usó cenizas volantes y un aditivo plastificante. Respecto a los ensayos en estado endurecido para el concreto patrón obtuvieron resistencias a la compresión a los 7 días de 255.75 kg/cm^2 y a los 28 días 342.62 kg/cm^2 . Ocurrieron descensos a medida que el porcentaje de reemplazo aumentaba, a los 7 días se obtuvo 246.67 , 233.62 , 221.28 y 212.51 kg/cm^2 , y a los 28 días resistencias de 328.86 , 312.95 , 296.43 y 284.81 kg/cm^2 . La densidad en estado endurecido para el concreto patrón fue de 2568.89 kg/m^3 , para los porcentajes de reemplazo fueron 2355.56 , 2154.07 , 2053.33 y 1845.93 kg/m^3 mientras aumentaba el uso de la arcilla expandida. De acuerdo con estos resultados concluyeron que, para las resistencias a la compresión del concreto a los 28 días, hubo descensos del 4.02, 8.66, 13.48 y 16.85% a medida que aumentaba el porcentaje de reemplazo. Y la densidad en estado endurecido hubo disminuciones de 8.30, 16.15, 20.07 y 28.14% mientras aumentaba el uso de la arcilla expandida.

Chen, H.-J. y Wu, C.-H. (2018), desarrollaron el artículo titulado "Influence of Aggregate Gradation on the Engineering Properties of Lightweight Aggregate Concrete" con el objetivo de evaluar cómo diferentes gradaciones de agregado

afectan las propiedades del concreto ligero estructural (LWAC) en comparación con concreto normal (NWC), manteniendo fija la cantidad de pasta y el volumen de agregados. Para una relación $a/c = 0.7$, se evaluó la gradación estándar (ASTM C33/C330) y tres tamaños uniformes de agregado grueso (16 mm, 11 mm, 7 mm), usando arcilla expandida en LWAC y grava natural en NWC. Los resultados mostraron que el LWAC presentó asentamientos consistentemente mayores que el NWC, siendo el incremento más notorio con agregados pequeños: con 7 mm, el LWAC alcanzó 130 mm frente a 70 mm del NWC, equivalente al 186 % del asentamiento del concreto patrón (NWC estándar, 160 mm = 100 %). Con agregado de 16 mm, el LWAC logró 220 mm (138 % del patrón), y con gradación estándar alcanzó 180 mm (113 %). Este aumento de trabajabilidad se atribuyó a la forma más redondeada del agregado ligero, que reduce la fricción interna, y a la presencia de agua libre inicial debido a su alta absorción, que no retiene de inmediato toda el agua de mezclado.

Domagała (2015), en su artículo *The Effect of Lightweight Aggregate Water Absorption on the Reduction of Water-cement Ratio in Fresh Concrete*, investigó cómo la absorción de agua de los agregados ligeros (arcilla volante sinterizada Pollytag 6/12 mm) afecta la relación agua/cemento (a/c) efectiva y el comportamiento del concreto ligero estructural. Se elaboraron 18 mezclas con a/c nominales de 0.54, 0.46 y 0.37, utilizando el agregado en estado seco (0 % humedad) y prehumedecido (17 % humedad). Los resultados mostraron que con el agregado seco el LWA absorbió rápidamente entre 60–95 % del agua disponible, reduciendo el a/c efectivo hasta en 35 % y aumentando la resistencia a compresión en un rango de 20–35 %, aunque con asentamientos bajos (30–60 mm) que disminuyeron a casi cero en 30 minutos, requiriendo vibrado. En contraste, con el agregado prehumedecido la reducción del a/c fue mínima (2–14 %), la resistencia se mantuvo cercana al diseño nominal, y los asentamientos fueron mayores y estables (80–120 mm), lo que mejoró la trabajabilidad. Finalmente, las densidades frescas y endurecidas estuvieron entre 1780 y 1900 kg/m^3 , dentro del rango de concreto ligero estructural, concluyéndose que la condición de humedad inicial del agregado ligero es un factor crítico que determina el equilibrio entre resistencia y trabajabilidad en este tipo de concretos.

Resumen de los antecedentes nacionales:

Tabla 1

Antecedentes nacionales - 1 (Resumen).

TÍTULO:	Variación del Peso Volumétrico y la Resistencia a la Compresión de un Concreto $f_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ al reemplazar parte del Agregado Grueso por Arcilla Expandida en diferentes porcentajes						
AUTOR (ES):	Castro (2023)						
ARCILLA EXPANDIDA:	Marca Argex, Peso Específico 0.29 g/cm^3 , Absorción 22.7%						
Dosificación	PUC (kg/m ³)	Δ (PUC)	ρ 28 días (kg/m ³)	Δ (ρ)	f_c 28 días (kg/cm ²)	f_c 28 días (MPa)	Δ (f_c)
CP ($f_c: 210 \text{ kg/cm}^2$)	2326.42	-	2347.13	-	251.89	24.7	-
7.5 % A.E.	2277.97	- 2.08%	2279.29	- 2.89%	229.70	22.5	- 8.81%
12.5 % A.E.	2237.56	- 3.82%	2255.42	- 3.91%	220.08	21.6	- 12.63%
22.5 % A.E.	2200.43	- 5.42%	2231.98	- 4.91%	211.51	20.7	- 16.03%

Conclusiones:

- *Se empleo la arcilla expandida en estado seco y se realizó el reajuste del agua libre.*
- *La densidad (ρ) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.*
- *La resistencia a la compresión (f_c) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.*
- *En ningún caso se considera como concreto ligero estructural ($\rho < 1850 \text{ kg/m}^3$ y $f_c > 17 \text{ MPa}$).*

Tabla 2

Antecedentes nacionales – 2 (Resumen).

TÍTULO:	Evaluación del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano						
AUTOR (ES):	Quispe y Vera (2018)						
ARCILLA EXPANDIDA:	Peso Específico 0.45 g/cm^3 , Peso Específico SSS 0.96 g/cm^3 , Absorción 25.96%						
Dosificación	PUC (kg/m ³)	Δ (PUC)	ρ 28 días (kg/m ³)	Δ (ρ)	f_c 28 días (kg/cm ²)	f_c 28 días (MPa)	Δ (f_c)
100% A.E. (a/c 0.41)	1620.98	-	-	-	214.85	21.07	-

Conclusiones:

- *Se empleo la arcilla expandida en estado saturado superficialmente seco.*
- *El reemplazo del agregado ligero fue por el 100% del agregado grueso.*
- *Si se puede considerar como un concreto ligero estructural ($\rho < 1850 \text{ kg/m}^3$ y $f_c > 17 \text{ MPa}$)*
- *De acuerdo con la relación a/c se esperaba un mayor f_c en condiciones normales.*

Tabla 3**Antecedentes nacionales – 3 (Resumen).**

TÍTULO:	Determinación de la resistencia a compresión y peso volumétrico del concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ al reemplazar el agregado grueso por arcilla expandida en 5%, 10% y 20%						
AUTOR (ES):	Castrejón y Romero (2023)						
ARCILLA EXPANDIDA:	Marca Argex						
Dosificación	Peso Unitario (kg/m ³)	Δ (PUC)	ρ 28 días (kg/m ³)	Δ (ρ)	f_c 28 días (kg/cm ²)	f_c 28 días (MPa)	Δ (f_c)
CP (f_c : 210 kg/cm ²)	-	-	2322.01	-	289.01	28.3	-
5 % A.E.	-	-	2306.67	- 0.66%	237.20	23.3	- 17.93%
10 % A.E.	-	-	2237.80	- 3.63%	202.73	19.9	- 29.85%
20 % A.E.	-	-	2145.87	- 7.59%	187.52	18.4	- 35.12%

Conclusiones:

- Se empleo la arcilla expandida en estado seco, pero no se realizó el reajuste del agua libre.
- La densidad (ρ) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.
- La resistencia a la compresión (f_c) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.
- En ningún caso se considera como concreto ligero estructural ($\rho < 1850 \text{ kg/m}^3$ y $f_c > 17 \text{ MPa}$).

Tabla 4**Antecedentes nacionales – 4 (Resumen).**

TÍTULO:	Influencia de la arcilla expandida en el diseño de mezcla de concreto liviano de alto rendimiento en el distrito de Lircay-Angares-Huancavelica						
AUTOR (ES):	Obregón y Osorio (2021)						
ARCILLA EXPANDIDA:	Cantera Ocopilla (Junín), Peso Específico 1.52 g/cm ³ , Absorción 28.02%						
Dosificación	PUC (kg/m ³)	Δ (PUC)	ρ 28 días (kg/m ³)	Δ (ρ)	f_c 28 días (kg/cm ²)	f_c 28 días (MPa)	Δ (f_c)
CP (f_c : 210 kg/cm ²)	2336.00	-	-	-	330.60	32.4	-
5 % A.E.	2364.00	+ 1.20%	-	-	317.20	31.1	- 4.05%
10 % A.E.	2395.00	+ 2.53%	-	-	295.00	28.9	- 10.77%
15 % A.E.	2343.00	+ 0.30%	-	-	285.10	28.0	- 13.76%
20 % A.E.	2328.00	- 0.34%	-	-	260.00	25.5	- 21.36%

Conclusiones:

- Se empleo la arcilla expandida en estado seco, pero no se realizó el reajuste del agua libre.
- El peso unitario del concreto en estado fresco (PUC) no presenta cambios significativos debido al mal reemplazo, fue hecho por peso y no por volumen.
- La resistencia a la compresión (f_c) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.
- En ningún caso se considera como concreto ligero estructural ($\rho < 1850 \text{ kg/m}^3$ y $f_c > 17 \text{ MPa}$).

Resumen de los antecedentes internacionales:

Tabla 5

Antecedentes internacionales - 1 (Resumen).

TÍTULO:	Determinación de la resistencia a compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida (arilita) en sustitución parcial del agregado grueso						
AUTOR (ES):	Díaz (2017)						
ARCILLA EXPANDIDA:	PUC 0.48 g/cm ³ , PUC 0.54 g/cm ³ , Absorción 9.31%						
Dosificación	PUC (kg/m ³)	Δ (PUC)	ρ 28 días (kg/m ³)	Δ (ρ)	f'c 28 días (kg/cm ²)	f'c 28 días (MPa)	Δ (f'c)
CP (f'c: 210 kg/cm ²)	2372.02	-	2378.03	-	234.95	23.0	-
5 % A.E.	2271.96	- 4.22%	2281.83	- 4.05%	235.31	23.1	+ 0.15%
10 % A.E.	2244.42	- 5.38%	2253.22	- 5.25%	224.02	22.0	- 4.65%
20 % A.E.	2166.43	- 8.67%	2161.46	- 9.11%	217.19	21.3	- 7.56%
30 % A.E.	2071.96	- 12.65%	2076.39	- 12.68%	195.16	19.1	- 16.94%

Conclusiones:

- *Se empleo la arcilla expandida en estado seco, pero no se realizó el reajuste del agua libre.*
- *El reemplazo se hizo correctamente, pero se hizo tomando en cuenta el volumen aparente.*
- *La densidad (ρ) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.*
- *La resistencia a la compresión (f'c) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.*
- *En ningún caso se considera como concreto ligero estructural (ρ < 1850 kg/m³ y f'c > 17 MPa)*

Tabla 6

Antecedentes internacionales – 2 (Resumen).

TÍTULO:	To Study the Effect of Addition of Lightweight Expanded Clay Aggregate on fresh and hardened properties of Concrete						
AUTOR (ES):	Patel, Shah y Desair (2019)						
ARCILLA EXPANDIDA:	Peso Especifico 0.92 g/cm ³ , Absorción 18%						
Dosificación	PUC (kg/m ³)	Δ (PUC)	ρ 28 días (kg/m ³)	Δ (ρ)	f'c 28 días (kg/cm ²)	f'c 28 días (MPa)	Δ (f'c)
CP (f'c: 25 MPa)	-	-	2568.89	-	342.62	33.6	-
25 % A.E.	-	-	2355.56	- 8.30%	328.86	32.3	- 4.02%
50 % A.E.	-	-	2154.07	- 16.15%	312.95	30.7	- 8.66%
75 % A.E.	-	-	2053.33	- 20.07%	296.43	29.1	- 13.48%
100 % A.E.	-	-	1845.93	- 28.14%	284.89	27.9	- 16.85%

Conclusiones:

- *Se hizo uso de cenizas volantes y aditivo plastificante para todas las mezclas de concreto.*
- *La densidad (ρ) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.*
- *La resistencia a la compresión (f'c) a los 28 días se redujo a mayor % de reemplazo.*
- *Se considera como concreto ligero estructural (ρ < 1850 kg/m³, f'c > 17 MPa) con 100% A. E.*

Tabla 7*Antecedentes internacionales – 3 (Resumen).*

TÍTULO:	Influence of Aggregate Gradation on the Engineering Properties of Lightweight Aggregate Concrete						
AUTOR (ES):	Chen, H.-J. y Wu, C.-H. (2018)						
ARCILLA EXPANDIDA:	Peso Específico 1.47 g/cm ³ , Absorción 7.96%						
Dosificación	Slump (mm)	Δ (S)	ρ 28 días (kg/m ³)	Δ (ρ)	f'c 28 días (kg/cm ²)	f'c 28 días (MPa)	Δ (f'c)
(ASTM C33)	160	-	2351	-	244.70	24.0	-
U. 16 mm	200	-	2361	-	218.20	21.4	-
U. 11 mm	130	-	2349	-	235.60	23.1	-
U. 7 mm	70	-	2344	-	243.80	23.9	-
(ASTM C330)	180	+ 12.50%	1857	-21.01%	242.70	23.8	- 0.83%
U. 16 mm	220	+ 10.00%	1874	-20.63%	223.30	21.9	+ 2.34%
U. 11 mm	180	+ 38.46%	1852	-21.16%	249.80	24.5	+ 6.06%
U. 7 mm	130	+ 85.71%	1901	-18.90%	268.20	26.3	+ 10.04%

Conclusiones:

- La relación a/c fue 0.7 y el reemplazo del agregado ligero fue por el 100% del agregado grueso.
- La densidad (ρ) se redujo debido al uso de la arcilla expandida.
- Existe un incremento de los asentamientos debido a la forma y tamaño del agregado ligero.
- En ningún caso se considera como concreto ligero estructural ($\rho < 1850$ kg/m³, f'c > 17 MPa).

Tabla 8*Antecedentes internacionales – 4 (Resumen).*

TÍTULO:	The effect of lightweight aggregate water absorption on the reduction of water-cement ratio in fresh concrete						
AUTOR (ES):	Domagała (2015)						
ARCILLA EXPANDIDA:	Tamaño 6/12 mm, Absorción 25.3%						
Condición del LWA	a/c nominal	Slump inicial (mm)	Slump - 30 min (mm)	Δ (S)	f'c (kg/cm ²)	f'c (MPa)	Δ (f'c)
Seco (0 % saturado)	0.54	60	30	- 50.00%	459.00	45.0	-
	0.46	50	20	- 60.00%	530.00	52.0	-
	0.37	30	0	- 100.00%	612.00	60.0	-
Prehumedecido (17 % saturado)	0.54	120	110	- 8.33%	367.00	36.0	- 20.00%
	0.46	100	95	- 5.00%	480.00	47.0	- 9.62%
	0.37	80	75	- 6.25%	581.00	57.0	- 5.00%

Conclusiones:

- Se hizo uso de aditivo plastificante para todas las mezclas de concreto.
- El uso del agregado ligero es del 100% en todas las mezclas de concreto.
- Con el agregado ligero prehumedecido se obtienen mezclas con mayores asentamientos (trabajables) que al usarlo totalmente seco donde incluso para la relación a/c de 0.37 al paso del tiempo (30 min) no presenta trabajabilidad.

Capítulo II. Marco teórico y conceptual

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Ley de Terzaghi

La Ley de Terzaghi establece una relación entre el incremento del esfuerzo efectivo y el asentamiento del suelo durante la consolidación, proporcionando una base teórica para comprender el comportamiento de suelos con baja capacidad portante. Según esta ley, dicho incremento es proporcional al coeficiente de compresibilidad volumétrica del suelo y al aumento de la carga vertical aplicada. En suelos poco resistentes, como los altamente compresibles, se esperan asentamientos significativos bajo el peso de la estructura (Alva, 2010).

Ahora bien, cuando se utiliza concreto ligero estructural en suelos de baja capacidad portante, hay varios aspectos importantes a considerar en relación con la ley de Terzaghi:

El uso de concreto ligero estructural puede considerarse una estrategia de mitigación frente a los asentamientos en suelos blandos. Según la Ley de Terzaghi, la magnitud del asentamiento está relacionada con el incremento del esfuerzo efectivo inducido por las cargas. Al emplear concreto de menor peso específico, se reduce la carga transmitida al suelo, lo que conlleva una menor consolidación y, por tanto, menores asentamientos. Al reducir la carga sobre cimentaciones y otros elementos estructurales, puede traducirse en ahorros significativos en el diseño y construcción.

2.1.2. La arcilla expandida para la producción del concreto

La arcilla expandida es un agregado ligero que se caracteriza por tener una baja densidad en comparación con otros agregados convencionales. Esta propiedad inherente de la arcilla expandida contribuye a la reducción del peso del concreto y, por lo tanto, a la obtención de un concreto ligero (Smith & Jones, 2018).

Además de ser ligera, la arcilla expandida también puede proporcionar una resistencia mecánica suficiente para ser utilizada en aplicaciones estructurales (García et al., 2019).

Por otro lado, la arcilla expandida tiene una alta estabilidad dimensional, lo que significa que su volumen no se ve afectado significativamente por los cambios

de humedad o temperatura. Esto es importante en la producción de concreto estructural, ya que garantiza la estabilidad y durabilidad a largo plazo de los elementos constructivos (Johnson & Smith, 2020).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. El Concreto

El concreto es una mezcla de agregados (arena y grava) y pasta (cemento y agua), que al endurecerse forma una masa similar a la roca. La pasta representa entre el 25 % y 40 % del volumen total, mientras que los agregados entre el 60 % y 75 %, por lo que su adecuada selección es clave. La mezcla debe ser compacta y uniforme, con la pasta recubriendo completamente los agregados para garantizar resistencia y durabilidad (Kosmatka et al., 2004).

La definición anterior del concreto no incluye un cuarto componente: los aditivos, que casi siempre se utilizan en la práctica moderna. El uso de aditivos en el concreto es muy extenso en la actualidad debido a los muchos beneficios que se obtienen en su aplicación (Metha & Monteiro, 1998).

2.2.2. Concreto Ligero Estructural

De acuerdo con la Norma E.060 Concreto Armado, el concreto estructural con agregado ligero tiene una densidad de equilibrio, determinada por "Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete" (ASTM C 567), entre 1450 y 1850 kg/m³. Cabe mencionar que la resistencia mínima del concreto estructural, f'_c , diseñado y construido de acuerdo con esta norma no deber ser inferior a 17 MPa \leftrightarrow 173.35 kg/cm² (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020).

2.2.3. Cemento Portland

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados, la pasta actúa como adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y usado el mundo (Kosmatka et al., 2004). El cemento portland normal deberá cumplir con los requisitos indicados

en la Norma ASTM C150 para los Tipos I, II y V, los cuales se fabrican en el Perú (Rivva, 2000).

2.2.4. Agregados

Llamados también áridos, son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros. La importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto. Por lo anterior es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que pueden debilitar el enlace con la pasta de cemento (Abanto, 2018).

Las clasificaciones de los agregados de acuerdo con la dimensión de las partículas, densidad de la masa, o fuente, ha dado lugar a una nomenclatura especial que deberá ser entendida claramente:

El agregado fino es el proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8") y queda retenido en el tamiz normalizado 74 μm (N° 200); deberá cumplir con los límites establecidos en la presente Norma (NTP 400.037, 2021).

El agregado grueso es el retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la presente Norma (NTP 400.037, 2021).

2.2.5. Agregados Ligeros

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana se encuentra la siguiente definición:

Agregado ligero: Agregado de baja densidad usado para producir concreto ligero. Puede ser arcilla expandida o sinterizada, pizarra, esquisto, perlita, vermiculita o escoria, piedra pómez (pumita) natural, tufos, diatomita, ceniza volante sinterizada o escoria industrial (NTP 400.011, 2020).

Los agregados ligeros deben su baja densidad a su estructura celular interna, generada por expansión térmica a temperaturas cercanas a 1100 °C. Este proceso puede involucrar gases atrapados, agua o vapor, o combustibles que dejan poros al arder. La red de poros formada influye en la densidad y otras propiedades del material. Estos agregados suelen tener tamaños máximos de 9.5

a 25 mm, lo que afecta la trabajabilidad, contenido de cemento, resistencia y contracción del concreto. Debido a su alta porosidad, absorben más agua que los agregados normales, por lo que requieren un mayor tiempo de inmersión para medir su absorción (Mantallana, 2019).

No todos los materiales livianos son aptos para concreto estructural; deben cumplir con la norma ASTM C330. No se permite el uso de poliestireno expandido, caucho, plásticos, entre otros. Los agregados ligeros estructurales pueden ser naturales (como piedra pómez o escoria volcánica) o procesados industrialmente mediante expansión térmica, como la arcilla expandida, esquistos, pizarras y cenizas volantes tratadas (Mantallana, 2019).

Por ello en la Norma Técnica Peruana figura la siguiente definición:

Agregado ligero para uso estructural: Agregado estructural que cumple los requisitos de ASTM C330 y con una densidad de masa menor de 1120 kg/m³ para agregado fino y menor de 880 kg/m³ para agregado grueso (NTP 400.011, 2020).

2.2.6. Arcilla Expandida (LECA)

La arcilla expandida tiene de origen de las arcillas se forman por la descomposición de rocas que contienen minerales aluminosilicatos, especialmente feldespatos, que es muy común en granitos (roca ígnea), gneis (roca metamórfica), pizarras o lutitas (rocas sedimentarias).

Durante millones de años, el viento, el agua y los procesos químicos degradan estas rocas, generando partículas finas de minerales hidratados de aluminio y silicio, que se acumulan como depósitos de arcilla.

Esta arcilla se somete a un tratamiento térmico en hornos rotatorios a temperaturas de aproximadamente 1,100 – 1,200 °C. En este proceso sucede lo siguiente: La materia orgánica y gases contenidos en la arcilla se queman y liberan. Esto causa una expansión interna de la partícula, generando una estructura porosa. En la superficie, la arcilla se vitrea (se derrite parcialmente), formando una cáscara dura y resistente. Una vez que se completa este proceso de cocción y expansión, la arcilla expandida adquiere su forma y tamaño final, que es estable y no sufre cambios significativos con el tiempo.

Se obtienen partículas redondeadas, porosas, livianas pero resistentes, conocidas como arcilla expandida, utilizadas como agregado ligero en construcción (concreto estructural ligero, aislamiento térmico, drenaje, jardinería, etc.).

2.2.7. Aditivos

Los aditivos son materiales distintos al agua, cemento, agregados o fibras, que se añaden al concreto o mortero durante el mezclado para modificar sus propiedades. Según el ACI y la norma ASTM C125, se utilizan para mejorar la trabajabilidad, ajustar el tiempo de fraguado, reducir el contenido de agua, evitar la segregación, o facilitar la colocación y operación del concreto. (Rivva, 2000).

2.2.8. Resistencia a la Compresión del Concreto

La resistencia de un material se puede definir como la habilidad para resistir esfuerzos sin que falle. En el caso del concreto, la resistencia está relacionada al esfuerzo requerido para causar fractura, es decir, cuando el esfuerzo aplicado alcanza su máximo valor. El concreto es muy resistente a los esfuerzos de compresión y por lo general esta es la propiedad con la que se diseña y se hace el control de calidad (Mantallana, 2019).

La resistencia del concreto está directamente relacionada con la relación agua/cemento (a/c): mientras mayor sea el contenido de agua, más porosa y menos resistente será la pasta, lo que también disminuye su durabilidad y densidad. (Mantallana, 2019).

La resistencia del concreto depende básicamente de: la porosidad, la resistencia de la pasta endurecida, la resistencia propia de las partículas del agregado y la adherencia entre la pasta y los agregados. La porosidad se encuentra relacionada con la suma del volumen de todos los vacíos dentro del concreto, como son: el aire atrapado, los poros capilares, los poros de gel y el aire incluido (en caso de haberlo). La resistencia de la pasta tiene su origen en el complejo proceso de hidratación del cemento. Los agregados tienen una resistencia que le es transmitida al concreto. Así, al formar una masa endurecida con la pasta, aportan parte de la resistencia mecánica. La adherencia entre la pasta de cemento y los agregados se desarrolla durante los procesos de fraguado y endurecimiento, mediante una trabazón física y mecánica que depende en gran medida de la forma y textura superficial de las partículas de agregado. Esta unión

ocurre principalmente en la zona de transición de fases (ZTF), que constituye la interfaz entre la pasta endurecida y el agregado. Dicha zona es considerada uno de los factores más determinantes en la resistencia del concreto, ya que suele representar el punto más débil dentro de la masa endurecida (Mantallana, 2019).

La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días (Kosmatka et al., 2004).

2.2.9. Densidad / Peso Unitario / Peso específico del Concreto

La densidad del concreto se define como la masa por unidad de volumen. Esta propiedad depende de la masa y de la proporción en que participa cada uno de los diferentes elementos constitutivos del concreto. Para concretos de densidad normal su valor puede variar entre 2.000 kg/m³ y 2.600 kg/m³. La densidad es importante en el cálculo estructural, es con ella que se calcula el peso muerto de la estructura (Mantallana, 2019).

La densidad del concreto depende también de si está en estado fresco o endurecido, siendo mayor la primera pues en el concreto endurecido parte del agua de mezclado se evapora. La diferencia entre los dos estados es de aproximadamente 7% (Mantallana, 2019).

La gravedad específica y la cantidad de cada agregado también afectan el peso unitario resultante de la mezcla fresca. Con agregados de alta porosidad el peso unitario del concreto puede variar dependiendo de si la absorción ha sido satisfecha por un previo humedecimiento del agregado antes de la dosificación (Rivva, 2000).

Capítulo III. Caracterización de los agregados

3.1. Agregado fino y grueso

Tanto el agregado fino como grueso fueron obtenidos de un centro de abastecimiento de materiales de construcción (DIFAMAS S.A.C.). El agregado fino consiste en arena gruesa y el agregado grueso en piedra chancada.

Los ensayos correspondientes al control de calidad que son tomados en cuenta en la investigación fueron realizados en el Laboratorio No.1 Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzales de la Cotera” de la Universidad Nacional de Ingeniería.

A continuación, se expone los ensayos realizados a los agregados:

3.1.1. Granulometría

La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices (cedazos, cribas). La granulometría y los límites granulométricos se expresan generalmente en porcentajes de material que pasa por cada tamiz (Kosmatka et al., 2004).

Los requisitos de granulometría del ASTM C33 “Standard Specification for Concrete Aggregates” para agregados finos y gruesos, se muestran en las tablas 9 y 10 respectivamente.

Tabla 9

Requerimientos granulométricos para agregados finos.

MALLA		% QUE PASA (ASTM C33)
Denominación	Abertura	
3/8"	9.5 mm.	100
N° 4	4.75 mm.	95 – 100
N° 8	2.36 mm.	80 – 100
N° 16	1.18 mm.	50 – 85
N° 30	600 µm.	25 – 60
N° 50	300 µm.	5 – 30
N° 100	150 µm.	0 – 10

Nota: Adaptado de ASTM C33, 2024.

Tabla 10

Requerimientos granulométricos para agregados gruesos.

TAMIZ (in.)	HUSOS GRANULOMÉTRICOS (ASTM C33)														
	1	2	3	357	4	467	5	56	57	6	67	7	8	89	9
4"	100														
3 ½"	90 a 100														
3"		100													
2 ½"	25 a 60	90 a 100	100	100											
2"		35 a 70	90 a 100	95 a 100	100	100									
1 ½"	0 a 15	0 a 15	35 a 70		90 a 100	95 a 100	100	100	100						
1"			0 a 15	35 a 70	20 a 55		90 a 100	90 a 100	95 a 100	100	100				
¾"	0 a 5	0 a 5			0 a 5	35 a 70	20 a 55	40 a 85		90 a 100	90 a 100	100			
½"			0 a 5	10 a 30			0 a 10	10 a 40	25 a 60	20 a 55		90 a 100	100	100	
3/8"					0 a 5	10 a 30	0 a 5	0 a 15		0 a 15	20 a 55	40 a 70	85 a 100	90 a 100	100
N° 4				0 a 5		0 a 5		0 a 5	0 a 10	0 a 5	0 a 10	0 a 15	10 a 30	20 a 55	85 a 100
N° 8									0 a 5		0 a 5	0 a 5	0 a 10	5 a 30	10 a 40
N° 16													0 a 5	0 a 10	0 a 10
N° 50														0 a 5	0 a 5
TMN	87.5	62.5	50	50	37.5	37.5	25	25	25	19	19	12.5	9.5	9.5	4.75

Nota: Adaptado de ASTM C33, 2024.

Los resultados del análisis granulométrico de los agregados empleados, según la normativa NTP 400.012 “AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso”, se presentan en las Tablas 11 y 12; y en las Figuras 2 y 3 se presentan las curvas granulométricas obtenidas.

Tabla 11

Análisis Granulométrico del agregado fino - Cantera Trapiche.

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
3/8"	0	0	0.0	100.0
N° 4	22.6	3.7	3.7	96.3
N° 8	77.1	12.7	16.5	83.5
N° 16	136.6	22.6	39.1	60.9
N° 30	145.9	24.1	63.2	36.8
N° 50	121.9	20.2	83.3	16.7
N° 100	66.2	10.9	94.3	5.7
FONDO	34.5	5.7	100	0.0
TOTAL	604.8			

Tabla 12

Análisis Granulométrico del agregado grueso - Cantera UNICON.

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100
1"	501.9	4.8	4.8	95.2
3/4"	4465.8	43.1	47.9	52.1
1/2"	4357.4	42.1	90	10
3/8"	446.5	4.3	94.3	5.7
N° 4	469.7	4.5	98.8	1.2
FONDO	119.4	1.2	100	0.0
TOTAL	10360.7			

Figura 1

Distribución granulométrica del agregado fino.

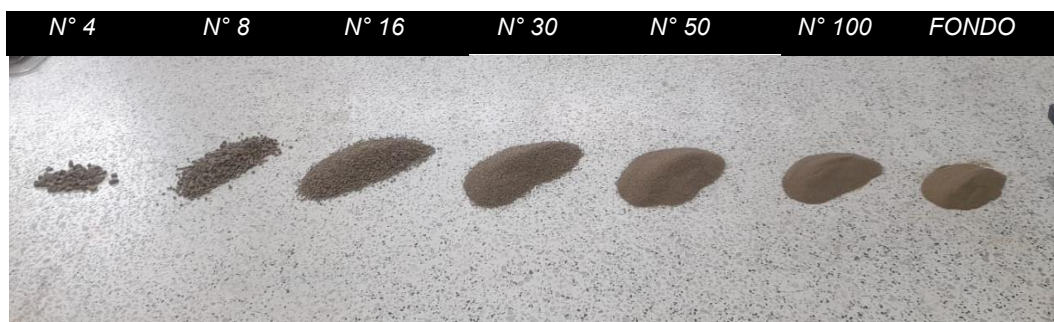


Figura 2

Curva Granulométrica del agregado fino - Cantera Trapiche.

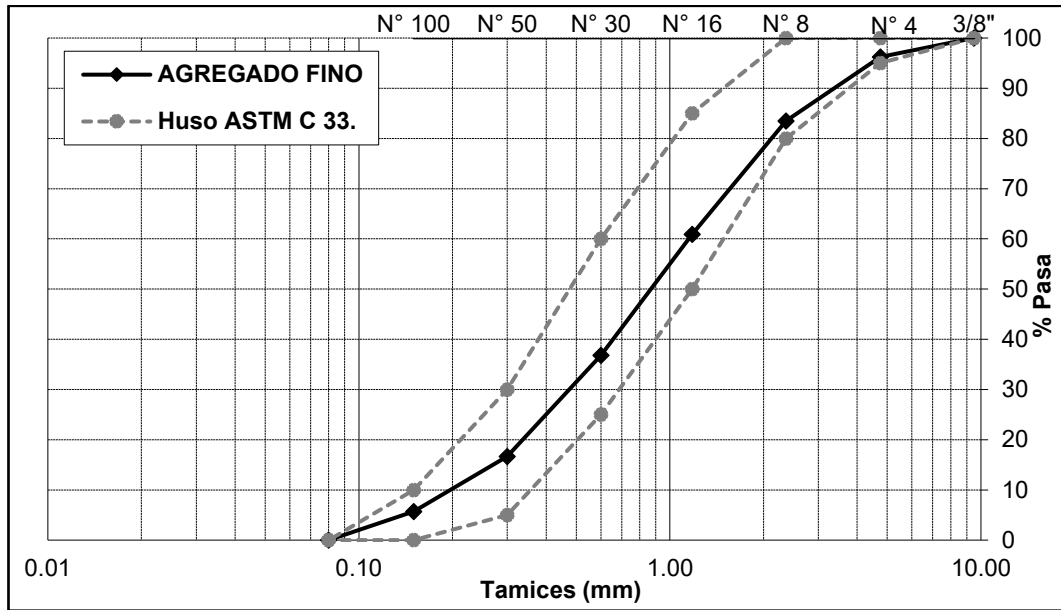
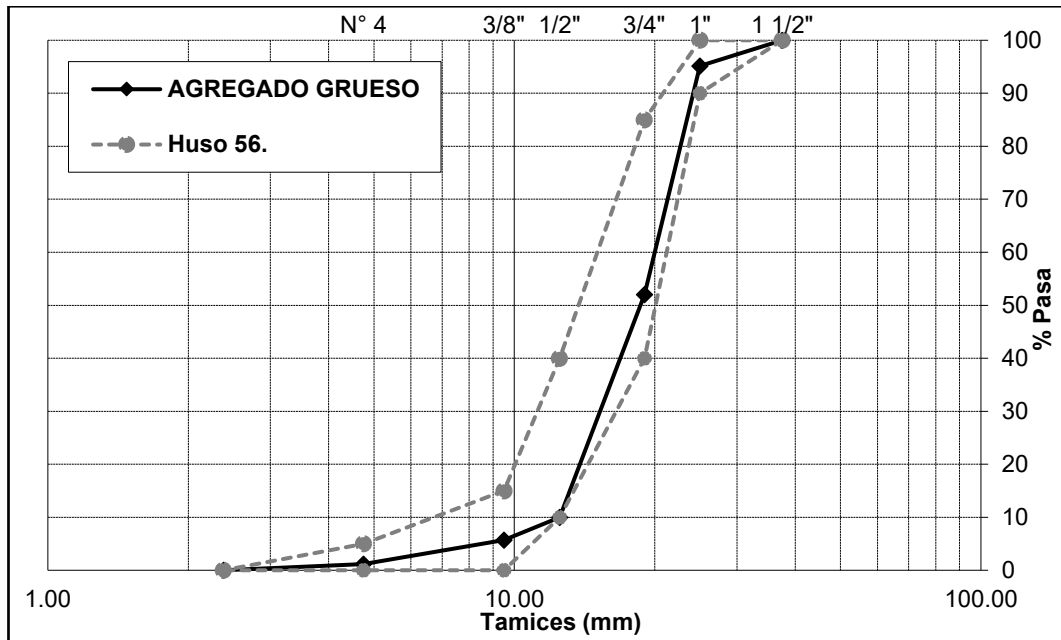


Figura 3

Curva Granulométrica del agregado grueso - Cantera UNICON.



Módulo de Finura. El módulo de finura (MF) es un índice de finura del agregado, cuanto mayor el MF, más grueso es el agregado (Kosmatka et al., 2004).

Cuando se requiera, calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentajes acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150 μm (N° 100), 300 μm (N° 50), 600 μm (N° 30), 1.18 mm (N° 16), 2.36 mm (N° 8), 4.75 mm (N° 4), 9.5 mm (3/8"), 19.0 mm (3/4"), 37.5 mm (1 1/2") y mayores; incrementando en la relación 2 a 1 (NTP 400.012, 2021).

Tamaño Máximo Nominal. Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5% y 10% (NTP 400.037, 2021).

Tabla 13

TMN y MF de los agregados.

AGREGADO	CANTERA	TMN (T. Máx. Nominal)	MF (Módulo de Finura)
Agregado Fino	Trapiche	N° 8	3.00
Agregado Grueso	UNICON	3/4"	7.35

Figura 4

Distribución granulométrica del agregado grueso.



3.1.2. **Peso Específico y Porcentaje de Absorción.**

Peso específico. Es la masa de las partículas de agregado secado al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre las partículas (NTP 400.021, 2020).

Absorción. Es el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante el periodo de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca (NTP 400.022, 2021).

Los resultados de los ensayos de peso específico y porcentaje de absorción para los agregados, según las normativas NTP 400.021 “AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso” y NTP 400.022 “AGREGADOS. AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino” se muestran en las tablas 14 y 15.

Tabla 14

PE y % de absorción del agregado fino.

PESO ESPECÍFICO Y % ABSORCIÓN – AGREGADO FINO		
Peso arena superficialmente seca	g	500
Peso arena superficialmente seca + peso balón + peso agua	g	1009.5
Peso del balón	g	193.1
Peso del agua	g	316.4
Peso de la arena seca al horno	g	495.9
Volumen del balón	ml	500.0
Peso específico de masa	g/cm ³	2.70
Peso específico de masa superficialmente seco	g/cm ³	2.72
Peso específico aparente	g/cm ³	2.76
Porcentaje de absorción	%	0.83

Tabla 15

PE y % de absorción del agregado grueso.

PESO ESPECÍFICO Y % ABSORCIÓN – AGREGADO GRUESO		
Peso muestra secada al horno	g	3975.20
Peso muestra saturada superficialmente seca	g	4001.30
Peso muestra saturada en agua	g	2555.90
Peso específico de masa	g/cm ³	2.75
Peso específico de masa superficialmente seco	g/cm ³	2.77
Peso específico aparente	g/cm ³	2.80
Porcentaje de absorción	%	0.66

Figura 5

Ensayo de PE y absorción de los agregados fino y grueso.



Nota: Izquierda: Fiola con la arena gruesa. Derecha: Peso sumergido de la piedra chancada.

3.1.3. Peso Unitario.

Masa de una unidad de volumen de la masa material del agregado, en que el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre partículas, expresando en kg/m^3 (NTP 400.017, 2020).

Los resultados del ensayo de peso unitario suelto y compactado realizados para los agregados utilizados en la investigación, según la normativa NTP 400.017 "AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados" se muestran en las tablas 16 y 17.

Tabla 16

PUS y PUC del agregado fino – Cantera Trapiche.

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO – AGREGADO FINO			
		PUS	PUC
Peso muestra + recipiente	g	6137.90	6565.40
Peso del recipiente	g	1572.30	1572.30
Peso de la muestra	g	4565.60	4993.10
Volumen del recipiente (1/10 ft ³)	m ³	0.0028	0.0028
Peso Unitario	kg/m ³	1612.33	1763.30

Tabla 17

PUS y PUC del agregado grueso – Cantera UNICON.

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO – AGREGADO GRUESO			
		PUS	PUC
Peso muestra + recipiente	g	17220.00	19220.00
Peso del recipiente	g	4330.00	4330.00
Peso de la muestra	g	12890.00	14890.00
Volumen del recipiente (1/3 ft ³)	m ³	0.0094	0.0094
Peso Unitario	kg/m ³	1365.62	1577.51

Figura 6

Pesaje de la arena en el recipiente de 1/10 ft³.



3.1.4. Contenido de humedad.

Mediante este ensayo se determina el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado.

La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación, por lo que no está incluida en el porcentaje determinado por este método (NTP 339.185, 2021).

Los resultados del ensayo del contenido de humedad realizados para los agregados utilizados en la investigación, según la normativa NTP 339.185 “AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado” se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18

Contenido de Humedad de los agregados fino y grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
		AF	AG
Peso muestra en ambiente	g	3384.00	4651.10
Peso de la muestra seca al horno	g	3283.80	4625.90
Peso del agua perdida	g	100.20	25.20
Contenido de Humedad	%	3.05	0.54

Figura 7

Agregados en el horno para su secado.



3.1.5. Malla No. 200 (75 μ m).

Los resultados de este ensayo realizado para los agregados fino y grueso utilizados en la investigación, según la normativa NTP 400.018 "AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ m (No. 200) por lavado en agregados." se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Materiales más finos que pasan por la malla No. 200.

% PASANTE MALLA No. 200			
		AF	AG
Peso Inicial	g	500.00	5000.00
Peso Final	g	469.20	4986.20
Pasante Malla No. 200	%	6.16	0.28

Figura 8

Ensayo de la Malla No. 200 del agregado fino.



Nota: Izquierda: Muestra (arena gruesa) lavada por la malla No. 200. Derecha: Pesaje de la muestra (agregado fino) secada en el horno.

3.1.6. Partículas desmenuzables y terrones de arcilla.

Esta Norma Técnica Peruana establece el procedimiento para determinar de manera aproximada el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en agregados que se emplearan en la elaboración de concreto y morteros (NTP 400.015, 2020).

Los resultados del ensayo de partículas desmenuzables y terrones de arcilla realizados para los agregados fino y grueso utilizados en la investigación, según la normativa NTP 400.015 “AGREGADOS. Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados.” se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20

Partículas desmenuzables y terrones de arcilla en los agregados.

% PARTÍCULAS DESMENUZABLES Y TERRONES DE ARCILLA				
		A. GRUESO		A. FINO
Tamiz	in	1 1/2" – 3/4"	3/4" – 3/8"	N° 4 – N° 16
Retenido Referido	%	47.90	49.16	100
Peso inicial	g	3000.0	2000.0	200.0
Peso Final	g	2949.6	1930.4	199.7
TA y PF	%	0.85	1.71	0.15
TA y PF (total)	%	2.56		0.15

Figura 9

Ensayo de terrones de arcilla en el agregado fino.



Nota: Izquierda: Muestra (Agregado fino) lavada. Derecha: Pesaje de la muestra (agregado fino) secada en el horno.

3.1.7. Impurezas orgánicas.

En los agregados finos naturales a veces se presentan impurezas orgánicas, las cuales menoscaban la hidratación del cemento y el desarrollo consecuente de la resistencia del concreto. Normalmente esas impurezas se evitan por medio del despejado adecuado del depósito, para eliminar por completo la tierra vegetal, y un enérgico lavado en la arena (Waddell & Dobrowolski, 1997).

La detección del alto contenido orgánico en la arena se lleva a cabo por medio de la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio, que detalla la norma NTP 400.024 "AGREGADOS. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto".

El principal valor de este ensayo es proporcionar una advertencia sobre la cantidad de impurezas orgánicas no deseadas que pueden estar presentes (NTP 400.024, 2020).

Tabla 21

Impurezas orgánicas del agregado fino - Cantera Trapiche.

MUESTRA	PATRÓN	OBSERVACIONES
Arena Fina – Cantera Trapiche	Incoloro	No presenta Impurezas Orgánicas

Figura 10

Arena en hidróxido de sodio y la placa de colores Gardner.



3.1.8. Abrasión.

La resistencia a la abrasión (desgaste) de un agregado frecuentemente se usa como un índice general de su calidad. La resistencia a la abrasión es esencial cuando el agregado se usará en un concreto sujeto al desgaste, como en los pisos para servicio pesado (industrial) o pavimentos (Kosmatka et al., 2004).

Este método de ensayo es una medida del desgaste de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo (NTP 400.019, 2020).

Figura 11

Ensayo de abrasión del agregado grueso.



Nota: Izquierda: Máquina de los Ángeles. Derecha: Tamiz No. 12.

Los resultados del ensayo de abrasión para el agregado grueso utilizado, de acuerdo con la norma NTP 400.019 “AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.” Se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22*Abrasión del agregado grueso – Cantera UNICON.*

ABRASIÓN		
Método de Ensayo	Tipo de Gradación	B
Cantidad de Esferas	Und.	11
Peso al comienzo del ensayo	g	5000.0
Peso posterior a 100 revoluciones	g	4866.4
Peso posterior a 500 revoluciones	g	4125.7
Pérdida por abrasión e impacto	%	17.49
Relación de uniformidad	-	0.15

3.1.9. Durabilidad.

Esta Norma Técnica Peruana establece un método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Suministra información útil para juzgar la alterabilidad de los agregados sometidos a la acción de la intemperie, particularmente del material expuesto a condiciones atmosféricas reales (NTP 400.016, 2020).

Los resultados del ensayo de durabilidad del agregado fino utilizado, de acuerdo con la norma NTP 400.016 “AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.” Se muestra en la tabla 23.

Tabla 23*Inalterabilidad del agregado fino – Cantera Trapiche.*

INALTERABILIDAD EN AGREGADOS					
TAMIZ	Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (g)	Peso retenido después del ensayo (g)	Pérdida Total (%)	Pérdida corregida (%)
N°4	3.74	0.00	0.00	15.00	0.56
N° 8	12.75	100.00	85.00	15.00	1.91
N° 16	22.59	100.00	86.10	13.90	3.14
N° 30	24.12	100.00	82.70	17.30	4.17
N° 50	20.16	100.00	87.30	12.70	2.56
TOTAL					12.35

Figura 12

Agregado fino en sulfato de magnesio (Ensayo de Durabilidad).



3.2. Agregado Ligero

Los áridos ligeros Argex® (LWA) son áridos ligeros de arcilla expandida, naturales y sostenibles. Ideales para concreto estructural ligero, bloques ligeros, relleno geotécnico ligero y soluciones ecológicas.

Desde su sede en Amberes, Bélgica, Argex® distribuye sus áridos de arcilla expandida en el mercado nacional e internacional. Como fabricante y distribuidor de áridos ligeros en el Reino Unido, Argex® se distingue por colaborar con sus clientes para ofrecer soluciones a medida para proyectos de construcción e infraestructura en el Reino Unido e Irlanda.

A continuación, se expone los ensayos realizados a este agregado para determinar sus propiedades físicas y químicas:

3.2.1. Granulometría.

Los requisitos de granulometría descritos en la norma ASTM C330 “Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete” para agregados ligeros, se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24*Requerimientos granulométricos para agregados ligeros*

TAMAÑO NOMINAL	% QUE PASA TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS									
	25.0 mm 1"	19.0 mm ¾"	12.5 mm ½"	9.5 mm 3/8"	4.75 mm N°4	2.36 mm N°8	1.18 mm N°16	300 µm N°50	150 µm N°100	75 µm N°200
AF:										
4.75 mm a 0	-	-	-	100	85-100	-	40-80	10-35	5.25	-
AG:										
25.0 mm a 4.75 mm	95-100	-	25-60	-	0-10	-	-	-	-	0-10
19.0 mm a 4.75 mm	100	90-100	-	10-50	0-15					0-10
12.5 mm a 2.36 mm	-	100	90-100	40-80	0-20	0-10				0-10
9.5 mm a 2.36 mm	-	-	100	80-100	5-40	0-20	0-10	-	-	0-10
AC:										
12.5 mm a 0	-	100	95-100	-	50-80	-	-	5-20	2-15	0-10
9.5 mm a 0	-	-	100	90-100	65-90	35-65	0	10-25	5-15	0-10

Nota: Adaptado de ASTM C330, 2023.

La muestra de ensayo de agregado grueso debe consistir en 2830 cm³ (0.1 ft³) o más de material utilizado para la determinación de la densidad aparente. El tamizado mecánico debe durar 5 minutos (ASTM C330, 2023).

Los resultados del análisis granulométrico del agregado ligero empleado, según la normativa ASTM C136 "Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates" se presenta en las Tabla 25 y en la Figura 13 se presenta la curva granulométrica obtenida.

Tabla 25*Análisis granulométrico del agregado ligero – Marca Argex.*

MALLA	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
¾"	0.0	0.0	0.0	100.0
½"	32.5	4.2	4.2	95.8
3/8"	333.9	42.8	47.0	53.0
N° 4	395.1	50.7	97.6	2.4
FONDO	18.5	1.2	100	0.0
TOTAL	780.0			

Figura 13

Curva granulométrica del agregado ligero – Marca Argex.

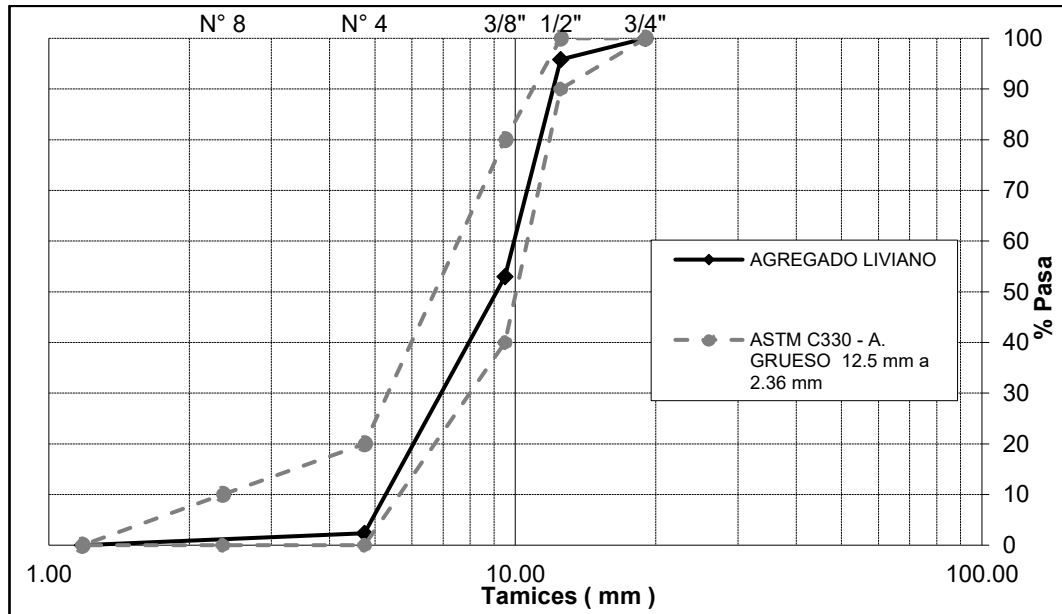


Figura 14

Distribución granulométrica del agregado ligero – Marca Argex.

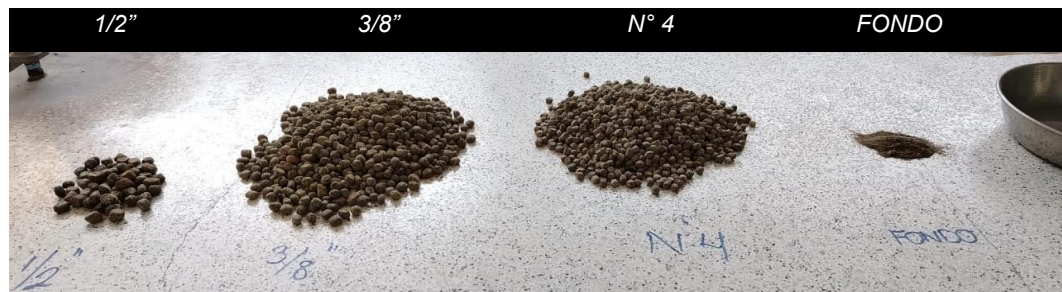
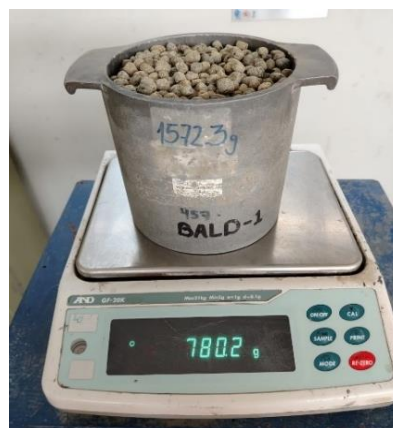


Figura 15

Muestra para el ensayo de granulometría del agregado ligero.



3.2.2. Densidad Aparente Suelta

La densidad aparente suelta en seco de los agregados ligeros deberá ajustarse a los requisitos mostrados en la Tabla 26 utilizando un recipiente de 14 L (1/2 ft³) (ASTM C330, 2023).

Tabla 26

Máxima densidad aparente seca suelta de los A. Ligeros.

DESIGNACIÓN DE TAMAÑO	MÁXIMA DENSIDAD APARENTE SECA SUELTA kg/m ³ (lb/ft ³)
Agregado fino	1120 (70)
Agregado grueso	880 (55)
Agregado combinado de fino y grueso	1040 (65)

Nota: Adaptado de ASTM C330, 2023.

Figura 16

Muestra para el ensayo de densidad aparente suelta.



Los resultados del ensayo de densidad aparente seca suelta del agregado ligero empleado, según la normativa ASTM C29 “Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate” se presenta en las Tabla 27.

Tabla 27

Densidad aparente seca suelta del agregado ligero – Marca Argex.

DENSIDAD APARENTE SECA SUELTA – AGREGADO LIGERO		
Peso muestra + recipiente	kg	10.22
Peso del recipiente	kg	6.32
Peso de la muestra	kg	3.90
Volumen del recipiente (1/2 ft ³)	m ³	0.0142
Densidad aparente seca suelta	kg/m ³	275.45

3.2.3. Impurezas orgánicas

Los agregados ligeros que, sujetos a ensayo de materia orgánica, produzcan un color más oscuro que el estándar deben ser rechazados, a menos que se demuestre que la coloración es debido a pequeñas cantidades de otros materiales no dañinos para el concreto (ASTM C330, 2023).

La detección del alto contenido orgánico en la arcilla expandida se lleva a cabo por medio de la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio, que detalla la norma ASTM C40 “Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete”.

Tabla 28

Impurezas orgánicas del agregado ligero – Marca Argex.

MUESTRA	PATRÓN	OBSERVACIONES
Arena Ligero – Marca Argex	Incoloro	No presenta Impurezas Orgánicas

3.2.4. Otros ensayos realizados

Contenido de Humedad. La determinación del contenido de humedad de la arcilla expandida se hizo tomando de referencia la NTP 339.185 “AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado”.

Peso Específico y Absorción. La determinación del peso específico y porcentaje de absorción de la arcilla expandida se hizo tomando de referencia la NTP 400.021 “AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso”, a diferencia del procedimiento habitual la saturación se realizó durante un tiempo de 2 días debido a la probable alta absorción esperada.

Tabla 29

Otros ensayos del agregado ligero – Marca Argex.

ENSAYOS – AGREGADO LIGERO			
ENSAYO	Unidad	Norma de Referencia	Resultado
Contenido de humedad	%	NTP 339.185	0.23
Absorción	%	NTP 400.021	35.24
Peso específico de masa	kg/m ³	NTP 400.021	461.95

Figura 17

PE del agregado ligero.



Nota: Izquierda: Agregado ligero saturado superficialmente seco. Derecha: Determinación del peso sumergido del agregado ligero.

3.2.5. Ensayos complementarios

Otros ensayos que se realizan a los agregados ligeros pero que no fueron desarrollados en la investigación se detallan a continuación:

Partículas desmenuzables y terrones de arcilla. El ensayo se realiza de acuerdo con la norma ASTM C142 “Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates” y la cantidad total de terrones de arcilla y partículas friables no debe exceder de 2 % de masa seca (ASTM C330, 2023).

Manchas. El ensayo se realiza de acuerdo con la norma ASTM C641 “Standard Test Method for Iron Staining Materials in Lightweight Concrete Aggregates”, un agregado que produce un índice de manchas de 60 o más alto debe ser rechazado cuando se encuentra por análisis químico que la mancha depositada contiene un contenido de hierro, expresado como Fe_2O_3 igual o mayor a 1.5 mg/200 g de muestra (ASTM C330, 2023).

Pérdida por ignición. El ensayo se realiza de acuerdo con la norma ASTM C114 “Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement”, la pérdida por ignición de los agregados ligeros no debe exceder el 5% (ASTM C330, 2023).

3.3. Otros Materiales Empleados

Otros materiales utilizados para la elaboración del concreto fueron: cemento, agua y aditivos, los cuales fueron analizados en cierta medida de forma individual para la producción del concreto requerida en la investigación. Se muestran las características de estos materiales:

3.3.1. Cemento Portland

El cemento utilizado es el Cemento SOL Tipo I, el cual cumple con los requerimientos de acuerdo con las normativas ASTM C150 “Standard Specification for Portland Cement” y NTP 334.009 “CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos”.

Tabla 30

Propiedades físicas y químicas del Cemento SOL Tipo I.

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO SOL	ASTM C150 / NTP 334.009
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	323	Mínimo 260
Densidad	g/cm ³	3.13	No específica
Resistencia a la compresión:			
3 días	kg/cm ²	303	Mínimo 122
7 días	kg/cm ²	382	Mínimo 194
28 días	kg/cm ²	449	Mínimo 285 (opcional)
Tiempo de fraguado:			
Fraguado Vicat inicial	min	129	45 a 375
Composición Química:			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.5
Perdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5
Fases mineralógicas:			
C ₂ S	%	12	No específica
C ₃ S	%	55	No específica
C ₃ A	%	10	No específica
C ₄ AF	%	10	No específica

Nota: Adaptado de Ficha Técnica Cemento Sol – UNACEM.

3.3.2. Agua

El agua utilizada para los ensayos proviene de la red de agua potable del Laboratorio No.1 Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzales de la Cotera”, cuyas propiedades químicas son presentadas en la Tabla 31.

Tabla 31

Propiedades químicas del agua utilizada.

PARÁMETRO	NORMA	UNIDAD	AGUA
Cloruros	NTP 339.177	Ppm (Mg/L)	238
Sulfatos	NTP 339.178	Ppm (Mg/L)	2245
pH	NTP 339.073	-	7.73
Residuos Solidos	NTP 339.071	Ppm (Mg/L)	2591
Solidos Suspendidos Totales	ASTM D5907	Ppm (Mg/L)	6
Alcalinidad Total	ASTM D1067	Ppm (Mg/L)	396

De acuerdo con la norma NTP 339.088: Se permitirá el uso de agua potable como agua de mezcla en el concreto sin la realización de ensayos para evaluar su conformidad con los requisitos de esta Norma (NTP 339.088, 2024).

De igual manera se presenta los limites opcionales establecidos en la norma NTP 339.088 “Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico” en la Tabla 32 para agua de mezcla compuesta total o parcialmente de fuente de agua no potables o provenientes de las operaciones de concreto.

Tabla 32

Limites químicos opcionales para el agua de mezcla combinada.

PARÁMETRO	UNIDAD	LÍMITE
Cloruros	ppm	500
Sulfatos	ppm	3000
Álcalis	ppm	600
Sólidos totales por masa	ppm	50 000

Nota: Adaptado de NTP 339.088, 2024

Realizando la comparación entre ambas tablas el agua utilizada en la investigación presenta propiedades químicas dentro de los límites establecidos.

3.3.3. Aditivos

En un punto de la investigación se experimentó con la utilización de aditivos en el concreto, estos fueron:

MasterGlenium SCC 3800. Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto.

MasterEase 3900. Aditivo superplastificante/reductor de agua de alto rango para producción de concretos de baja viscosidad y reología mejorada con un buen mantenimiento de consistencia.

Tabla 33

Aditivos empleados en la investigación presente

PARÁMETRO	DENSIDAD (g/cm ³)	DOSIS RECOMENDADA
MasterGlenium SCC 3800	1.05	800 – 1500 ml / 100 kg cemento
MasterEase 3900	1.10	650 – 1500 ml / 100 kg cemento

Capítulo IV. Diseños de mezclas

El proceso de determinación de las características requeridas del concreto y que se pueden especificar se llama diseño de mezcla. Las características pueden incluir: propiedades del concreto fresco, propiedades mecánicas del concreto endurecido y la inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos. El diseño de la mezcla lleva al desarrollo de la especificación del concreto (Kosmatka et al., 2004).

La dosificación de la mezcla se refiere al proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales, para que se logren las características especificadas. Un concreto adecuadamente proporcionado debe presentar las siguientes cualidades: Trabajabilidad, durabilidad, resistencia y apariencia uniforme del concreto endurecido. Es importante el entendimiento de los principios básicos del diseño de mezclas, tales como los cálculos usados para establecer las proporciones de la mezcla (Kosmatka et al., 2004).

4.1. Diseño de mezcla del concreto patrón

4.1.1. Método del ACI

En lo posible, las selecciones de proporciones de concreto se deben basar en datos de las experiencias con los materiales a utilizar en mezclas, pero cuando la información sea muy poca o no exista, la ACI 211.1 es una guía que puede ser utilizada. La información necesaria de los materiales disponibles puede ser:

- Análisis granulométricos de los agregados.
- Peso unitario del agregado grueso.
- Densidad aparente y absorción de los agregados.
- Requerimientos agua-mezcla en base a los agregados.
- Relaciones a/c .
- Densidad de materiales cementantes.
- Combinaciones óptimas de agregados para satisfacer la densidad del concreto.

A través de la guía ACI 211.1, el Instituto Americano del Concreto establece una serie de pasos lógicos y directos para diseñar mezclas de concreto, con especificaciones que abarcan variables como la relación a/c , mínimo

contenido de cemento, contenido de aire, asentamiento, máximo tamaño del agregado, resistencia y otras propiedades relacionadas con el material cementante, aditivos y agregados.

4.1.2. Aplicación del método del ACI

Se optará por determinar la dosificación del concreto patrón por el método del ACI como punto de partida:

Selección de la resistencia a la compresión ($f'c$) y asentamiento (*slump*) del concreto patrón. La resistencia a la compresión del concreto patrón usada para esta investigación será de 210 kg/cm², estando dentro de los límites definidos por E.060 Concreto Armado como concreto estructural, además de ser más versátil que un concreto de 175 kg/cm², este último también considerado estructural.

Por otro lado, el ACI también nos brinda valores para los asentamientos del concreto, ya que la investigación no trata específicamente de enfocarse en el asentamiento del concreto se tomó un valor de diseño de 3 a 4" con la finalidad de abarcar todos los tipos de construcción que se mencionan en la Tabla 34.

Tabla 34

Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAMIENTO (in)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimientos reforzados	3	1
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	3	1
Muros y vigas reforzadas	4	1
Columnas	4	1
Pavimentos y losas	3	1

Nota: Adaptado de ACI.211.1, 2022.

Estimación del contenido de agua y aire. La cantidad de agua por unidad de volumen requerida, para un asentamiento dado, depende del tamaño máximo nominal, forma y graduación de los agregados principalmente. Esto se determina de acuerdo con la siguiente tabla considerando que el TMN del agregado grueso es de ¾":

Tabla 35*Volumen Unitario de Agua - Método ACI*

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
Asentamiento	Agua en l/m ³ para los tamaños Max. Nominales de agregado grueso y consistencias indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1 a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Aire Atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Nota: Adaptado de ACI.211.1, 2022.

Para la investigación la cantidad de agua según el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 205 litros (0.205 m³).

También, para la investigación la cantidad de aire atrapado según el tamaño máximo nominal del agregado grueso es del 2% del volumen total (0.020 m³).

Resistencia requerida a la compresión (f'_{cr}). La resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra se opta por una de las ecuaciones de la siguiente tabla:

Tabla 36*Requisitos de Sobrerresistencias – Método ACI*

f'_c (kg/cm²)	f'_{cr} (kg/cm²)	f'_c (MPa)	f'_{cr} (MPa)
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$	$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 84$	$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.5$
$f'_c > 350$	$f'_{cr} = f'_c + 98$	$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.1 \cdot f'_c + 5$

f'_c : Resistencia a la compresión del concreto

f'_{cr} : Resistencia requerida a la compresión del concreto

Nota: Adaptado de ACI.211.1, 2022.

Para la investigación la resistencia requerida del concreto (f'_{cr}) es de 294 kg/cm² aplicando una de fórmulas presentadas.

Selección de la relación a/c.

Tabla 37

Relación Agua Cemento por resistencia - Método ACI

RELACIÓN AGUA CEMENTO POR RESISTENCIA	
f'cr - 28 días (kg/cm ²)	a/c
	Sin incorporación de aire
150	0.80
200	0.70
250	0.62
300	0.55
350	0.48
400	0.43
450	0.38

Nota: Adaptado de ACI.211.1, 2022.

Para la investigación la relación a/c es de 0.56 realizando una interpolación con los valores mostrados.

Cálculo del contenido de cemento. La cantidad de cemento se calcula dividiendo el contenido de agua estimado por la relación a/c mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{A}{\left(\frac{a}{c}\right)} \quad (1)$$

Donde:

- A: Cantidad de agua por unidad de volumen estimada (kg/m³).
- C: cantidad de cemento por unidad de volumen (kg/m³).
- a/c: Relación agua-cemento seleccionada.

Para la investigación la cantidad de cemento por unidad de volumen es de 367.12 kg/m³, es decir 8.64 bolsas/m³. Expresándolo en volumen el cemento ocupa 0.117 m³.

Estimación del contenido de agregado grueso. El peso seco del agregado grueso se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$AG = \left(\frac{b}{b_0}\right) * PUC_{AG} \quad (2)$$

Donde:

- AG: Cantidad del agregado grueso por unidad de volumen estimada (kg/m^3).
- b/b_0 : Volumen del AG seco y compactado por unidad de volumen del concreto.
- PUC_{AG} : Peso Unitario Compactado del agregado grueso por unidad de volumen (kg/m^3).

Tabla 38

Volumen del AG compactado por unidad de volumen de concreto.

TMN: Tamaño Máximo Nominal del AG		b/b0: Volumen del AG seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza del AF			
in	mm	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	19	0.66	0.64	0.62	0.60
1	25	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	37.5	0.76	0.74	0.72	0.70
2	50	0.78	0.76	0.74	0.72
3	75	0.81	0.79	0.77	0.75
6	150	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Adaptado de ACI.211.1, 2022.

Para la investigación el valor de la relación b/b_0 es de 0.60 realizando una interpolación con los valores mostrados. Por tanto, la cantidad del agregado grueso por unidad de volumen determinado por la fórmula presentada es de 953.36 kg/m^3 . Expresándolo en volumen el agregado grueso ocupa 0.347 m^3 .

Determinación de los volúmenes absolutos. Se realiza en base a la siguiente ecuación:

$$V_{AF} = 1 - V_C - V_V - V_A - V_{AG} \quad (3)$$

Donde:

- V_{AF} : Volumen ocupado por el agregado fino (m^3).
- V_C : Volumen ocupado por el cemento (m^3).
- V_V : Volumen ocupado por el aire (m^3).
- V_A : Volumen ocupado por el agua (m^3).
- V_{AG} : Volumen ocupado por el agregado grueso (m^3).

El volumen ocupado por el agregado fino mediante la formula presentada es de 0.311 m³.

Estimación del contenido de agregado fino. El peso seco del agregado fino se determina de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$AF = V_{AF} * PE_{AG} \quad (4)$$

Donde:

- AF: Cantidad del agregado fino por unidad de volumen estimada (kg/m³).
- PE_{AF}: Peso Especifico del agregado fino por unidad de volumen (kg/m³).

Para la investigación la cantidad del agregado fino por unidad de volumen es de 840.17 kg/m³.

Ajustes por humedad de los agregados. Para obtener la dosificación de los materiales que componen el concreto en su estado natural (obra) se debe realizar por ajustes por humedad para los agregados. Y como consecuencia ocurre la variación de la cantidad de agua calculada inicialmente.

$$AF_{húmedo} = AF * \left(\frac{w\%_{AF}}{100} + 1 \right) \quad (5)$$

Donde:

- AF_{húmedo}: Cantidad del agregado fino en estado húmedo por unidad de volumen estimada (kg/m³).
- w%_{AF}: Contenido de humedad del agregado fino (%).

$$AG_{húmedo} = AG * \left(\frac{w\%_{AG}}{100} + 1 \right) \quad (6)$$

Donde:

- AG_{húmedo}: Cantidad del agregado grueso en estado húmedo por unidad de volumen estimada (kg/m³).
- w%_{AG}: Contenido de humedad del agregado grueso (%).

$$A_{Efectiva} = A - \left(AF * \left(\frac{w\%_{AF} - Abs\%_{AF}}{100} \right) + AG * \left(\frac{w\%_{AG} - Abs\%_{AG}}{100} \right) \right) \quad (7)$$

Donde:

- Abs%_{AF}: Porcentaje de absorción del agregado fino (%).

- Abs%_{AG}: Porcentaje de absorción del agregado grueso (%).

Para la investigación la cantidad del agregado fino por unidad de volumen en estado húmedo es 865.81 kg/m³. La cantidad del agregado grueso por unidad de volumen en estado húmedo es 958.56 kg/m³. Y cantidad de agua efectiva es de 187.38 l/m³.

Dosificación del concreto por el Método ACI. Los cálculos realizados a detalle del diseño de mezcla aplicando el método descrito se encuentra en el Anexo 01, y es así como se obtiene el cuadro resumen siguiente:

Tabla 39

Dosificación del Concreto Patrón - Método ACI.

Materiales	Estado Seco		Estado Húmedo	
Cemento	367.12	kg/m ³	367.12	kg/m ³
Agua	205.00	l/m ³	187.38	l/m ³
Agregado Grueso	953.36	kg/m ³	958.56	kg/m ³
Agregado Fino	840.17	kg/m ³	865.81	kg/m ³
a/c	0.56		0.51	

Se realizó la mezcla (1^{ra} tanda de prueba) según las cantidades mostradas en la Tabla 39 y se observó que la cantidad de agua usada no fue suficiente para conseguir el asentamiento planteado de 3" a 4" sino uno menor; 1 ½".

Dosificación final del concreto patrón. Se realizó un reajuste incrementando la cantidad de agua para conseguir el asentamiento propuesto, y se determinó incrementar la cantidad de agua de 205 litros a 230 litros por unidad de volumen.

Puntos para tener en cuenta es mantener la misma relación a/c de 0.56 y la misma proporción en volumen de agregados de 53% para la piedra y 47% para la arena.

El procedimiento para la obtención de la dosificación de esta mezcla (2^{da} tanda de prueba) se encuentra en el Anexo 02, obteniéndose el siguiente cuadro resumen:

Tabla 40*Dosificación del Concreto Patrón – 2° Tanda de Prueba.*

Materiales	Estado Seco		Estado Húmedo	
Cemento	411.89	kg/m ³	411.89	kg/m ³
Agua	230.00	l/m ³	213.43	l/m ³
Agregado Grueso	896.39	kg/m ³	901.28	kg/m ³
Agregado Fino	789.96	kg/m ³	814.07	kg/m ³
a/c	0.56		0.52	

Se obtuvo con esta nueva dosificación un asentamiento que estuvo en el rango de 3" – 4" y se prosiguió a elaborar probetas cilíndricas de concreto, se realizó el cálculo de la resistencia a la compresión a los 7 días de esta segunda tanda y se obtuvo los siguientes resultados observando ahora que estos valores son demasiados altos para ser un diseño de $f'c$ de 210 kg/cm².

Tabla 41*Resistencia a la Compresión a los 7 días - 2° Tanda de Prueba.*

N°	ID	EDAD (días)	A (cm²)	H (cm)	M (kg)	ρ (kg/m³)	P (kg)	$f'c$ (kg/cm²)	TIPO DE FALLA
1	M1	7	81.7	20.3	3.98	2402.41	24680	302	Tipo 3
2	M2	7	80.7	20.2	3.94	2413.69	26409	327	Tipo 3
3	M3	7	80.8	20.3	3.97	2417.10	26848	332	Tipo 2
4	M4	7	82.0	20.7	4.10	2413.41	22774	278	Tipo 3
2411.65								310	

El último reajuste fue la relación a/c para reducir la resistencia a la compresión obtenida. El valor de a/c obtenido para este nuevo reajuste es de 0.68 en estado seco, el cual implica tanto la reducción de agua (a 222 L) y cemento (a 328 kg) por unidad de volumen. El procedimiento para la obtención de la dosificación final (3^{ra} tanda de prueba) se encuentra en el Anexo 03, obteniéndose el siguiente cuadro resumen:

Tabla 42*Diseño de mezcla del Concreto Patrón $f'c$ 210 kg/cm².*

MATERIAL	P.S. (1 m ³)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA			P.O. (1 m ³)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00				328	kg	1.00
Agua	222	L	1000	kg/m ³	0.2223	m ³	0.68				205	L	0.63
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L		849	kg	2.59
Piedra	964	kg	2750.24	kg/m ³	0.3505	m ³	2.94	-1.08	L		969	kg	2.96
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³							
	2340				1.00						2351		

Con esta dosificación final, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 273 kg/cm² a los 28 días y un asentamiento de 3 ½". Estos resultados servirán de referencia para las comparaciones con los concretos con AE.

4.2. Dosificación del concreto con arcilla expandida

Para las obtenciones de las dosificaciones del concreto con arcilla expandida se realiza los reajustes en el volumen del agregado grueso dependiendo del porcentaje de reemplazo.

Luego de ello se realiza el reajuste de la cantidad de agua, respecto a ello se debe tener en cuenta que la arcilla expandida en su forma natural registró un contenido de humedad de 0.23% y un porcentaje de absorción de 35.25%, es decir este agregado está en un estado casi seco en su totalidad, pero al tener una alta capacidad de retener agua, se requiere una cantidad excesiva de agua para realizar el reajuste.

Esto puede ser visualizado en la Tabla 43 donde el agua libre en la mezcla de concreto pasa de 205 L a 222 L por metro cúbico para un reemplazo parcial del 30% del agregado grueso por la arcilla expandida. El procedimiento para la obtención de la siguiente tabla resumen puede ser revisado en el Anexo 04.

Tabla 43*Diseño de mezcla del Concreto (30 % de AE No Saturada).*

MATERIAL	P. S. (1 m ³)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m ³)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00
Agua	222	L	1000	kg/m ³	0.2223	m ³	0.68			222	L	0.68
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	674.80	kg	2750.24	kg/m ³	0.2454	m ³	2.06	-0.75	L	678	kg	2.07
Arcilla Exp.	48.58	kg	461.95	kg/m ³	0.1052	m ³	0.15	-17.01	L	48.69	kg	0.15
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³						
2100			1.00			2126						
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>			<i>0.23%</i>									
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>			<i>35.25%</i>									

Este aumento de cantidad de agua libre provocó un aumento del asentamiento (6 ¼") y una particularidad es que al momento de elaborar las probetas de concreto parte de la arcilla expandida se reposaba en la parte superior del molde cilíndrico. Por tanto, es comprensible pensar que, para las siguientes dosificaciones con un porcentaje de reemplazo de la arcilla expandida mayor, el agua libre aumente más y por consiguiente el asentamiento aumente excesivamente. Y ante esto, pueden ocurrir efectos perjudiciales como el ascenso del agua libre a la superficie (exudación) o la separación de agregados, cemento y agua (segregación).

Es así como se opta por el siguiente método; se realiza una previa saturación de la arcilla expandida por un par de días antes de realizar el mezclado, una vez retirado del proceso de saturación se deja escurrir. No necesariamente se llegará a un estado de saturación total superficialmente seco (igualdad del contenido de humedad y el porcentaje de absorción), por lo que se debe realizar el cálculo del contenido de humedad de la arcilla expandida para cada diseño de mezcla que contenga este agregado ligero. Con este nuevo valor calculado del contenido de humedad se procede a realizar la corrección del agua libre, dando diseños de mezcla con cantidades de aguas similares o incluso menores a 205 L de agua libre correspondiente al concreto patrón (Tabla 42).

La dosificación del concreto con arcilla expandida (30%) saturada se observa en la Tabla 44, este además incluye el contenido de humedad de la arcilla expandida, presentado un porcentaje mayor al de absorción dando a entender que

Tabla 46*Diseño de mezcla del Concreto (50% de AE Saturada).*

MATERIAL	P. S. (1 m3)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m3)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00
Agua	222	L	1000	kg/m ³	0.2223	m ³	0.68			195	L	0.60
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	482.00	kg	2750.24	kg/m ³	0.1753	m ³	1.47	-0.54	L	485	kg	1.48
Arcilla Exp.	80.96	kg	461.95	kg/m ³	0.1753	m ³	0.25	9.14	L	118.64	kg	0.36
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³						
1939					1.00			1976				
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>			46.54%									
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>			35.25%									

Tabla 47*Diseño de mezcla del Concreto (60% de AE Saturada).*

MATERIAL	P. S. (1 m3)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m3)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00
Agua	222	L	1000	kg/m ³	0.2223	m ³	0.68			196	L	0.60
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	385.60	kg	2750.24	kg/m ³	0.1402	m ³	1.18	-0.43	L	388	kg	1.18
Arcilla Exp.	97.15	kg	461.95	kg/m ³	0.2103	m ³	0.30	8.15	L	139.55	kg	0.43
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³						
1859					1.00			1901				
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>			43.64%									
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>			35.25%									

Tabla 48*Diseño de mezcla del Concreto (70% de AE Saturada).*

MATERIAL	P. S. (1 m3)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m3)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00
Agua	222	L	1000	kg/m ³	0.2223	m ³	0.68			194	L	0.59
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	289.20	kg	2750.24	kg/m ³	0.1052	m ³	0.88	-0.32	L	291	kg	0.89
Arcilla Exp.	113.34	kg	461.95	kg/m ³	0.2454	m ³	0.35	10.34	L	163.64	kg	0.50
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³						
1779					1.00			1825				
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>			44.37%									
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>			35.25%									

4.3. Diseño de mezclas del concreto con modificaciones en sus dosificaciones

Lo que se busca con estos diseños de mezcla es la maximización de la resistencia a la compresión, partiendo de la premisa que para los diseños anteriores se obtuvieron asentamientos mayores en comparación del concreto patrón (puede ser mejor observado en los dos capítulos siguientes, los resultados y los motivos). Por tanto, cabe la posibilidad de realizar una disminución de la cantidad de agua libre en cada mezcla.

Para ello se opta por dos métodos, la primera es una reducción de agua libre hasta alcanzar el asentamiento establecido inicialmente (3" - 4") y por otro lado es buscar el mismo objetivo haciendo uso del aditivo plastificante.

4.3.1. Reducción de Agua – Diseño de Mezcla

Se trató de reducir la cantidad de agua libre hasta que los concretos con la cantidad del agregado grueso con 50, 60 y 70% de arcilla expandida alcance un asentamiento entre 3" a 4".

Algunas observaciones; estas mezclas tienen una menor cantidad de agua, pero se sigue utilizando las mismas cantidades del resto de materiales (cemento, arena, piedra y arcilla expandida). Se puede observar que el agua libre utilizada en las mezclas se redujo significando una disminución de la relación a/c y por consiguiente un probable aumento de la resistencia a la compresión.

Tabla 49

Diseño de mezcla del Concreto (50% de AE Saturada) + R.A.

MATERIAL	P.S. (1 m3)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m3)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m3	0.1048	m3	1.00			328	kg	1.00
Agua	211	L	1000	kg/m3	0.2105	m3	0.64			180	L	0.55
Arena	824	kg	2700.98	kg/m3	0.3051	m3	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	482.00	kg	2750.24	kg/m3	0.1753	m3	1.47	-0.54	L	485	kg	1.48
Arcilla Exp.	80.96	kg	461.95	kg/m3	0.1753	m3	0.25	12.65	L	122.14	kg	0.37
Aire	2	%	100	-	0.0200	m3						
	1927				0.99					1964		
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>	<i>50.87%</i>											
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>	<i>35.25%</i>											

Tabla 50*Diseño de mezcla del Concreto (60% de AE Saturada) + R.A.*

MATERIAL	P.S. (1 m3)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m3)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m3	0.1048	m3	1.00			328	kg	1.00
Agua	210	L	1000	kg/m3	0.2101	m3	0.64			177	L	0.54
Arena	824	kg	2700.98	kg/m3	0.3051	m3	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	385.60	kg	2750.24	kg/m3	0.1402	m3	1.18	-0.43	L	388	kg	1.18
Arcilla Exp.	97.15	kg	461.95	kg/m3	0.2103	m3	0.30	15.06	L	146.46	kg	0.45
Aire	2	%	100	-	0.0200	m3						
	1847				0.99					1888		
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>	<i>50.75%</i>											
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>	<i>35.25%</i>											

Tabla 51*Diseño de mezcla del Concreto (70% de AE Saturada) + R.A.*

MATERIAL	P.S. (1 m3)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m3)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m3	0.1048	m3	1.00			328	kg	1.00
Agua	206	L	1000	kg/m3	0.2060	m3	0.63			171	L	0.52
Arena	824	kg	2700.98	kg/m3	0.3051	m3	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	289.20	kg	2750.24	kg/m3	0.1052	m3	0.88	-0.32	L	291	kg	0.89
Arcilla Exp.	113.34	kg	461.95	kg/m3	0.2454	m3	0.35	17.47	L	170.76	kg	0.52
Aire	2	%	100	-	0.0200	m3						
	1763				0.99					1809		
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>	<i>50.66%</i>											
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>	<i>35.25%</i>											

4.3.2. Aditivo Superplastificante – Diseño de Mezcla

En el caso de los diseños de mezcla haciendo uso de aditivos se comparte el mismo procedimiento, con las dosificaciones bases de los concretos con 60 y 70% de arcilla expandida se realizan las mezclas, pero controlando la cantidad de agua adicionada en combinación de aditivos plastificantes.

Se presentan los dos diseños de restante haciendo uso del aditivo superplastificante:

Tabla 52*Diseño de mezcla del Concreto (60% de AE Saturada) + S.P.*

MATERIAL	P. S. (1 m ³)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m ³)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00
Agua	194	L	1000	kg/m ³	0.1937	m ³	0.59			159	L	0.48
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	836	kg	2.55
Piedra	385.60	kg	2750.24	kg/m ³	0.1402	m ³	1.18	-0.43	L	387	kg	1.18
Arcilla Exp.	97.15	kg	461.95	kg/m ³	0.2103	m ³	0.30	16.79	L	148.18	kg	0.45
Aditivo SP1	5.17	kg	1050.00	kg/m ³	0.0049	m ³	0.02			5.17	kg	0.02
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³						
1836					0.98		1863					
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>			52.53%									
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>			35.25%									

Tabla 53*Diseño de mezcla del Concreto (70% de AE Saturada) + S.P.*

MATERIAL	P. S. (1 m ³)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m ³)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00
Agua	152	L	1000	kg/m ³	0.1521	m ³	0.46			114	L	0.35
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	838	kg	2.55
Piedra	289.20	kg	2750.24	kg/m ³	0.1052	m ³	0.88	-0.32	L	290	kg	0.88
Arcilla Exp.	113.34	kg	461.95	kg/m ³	0.2454	m ³	0.35	19.70	L	172.99	kg	0.53
Adito SP2	5.41	kg	1100.00	kg/m ³	0.0049	m ³	0.02			5.41	kg	0.02
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³						
1714					0.94		1748					
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>			52.63%									
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>			35.25%									

4.4. Proceso de curado de las muestras de concreto

El curado es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento). Si el concreto se seca muy rápidamente se producen rajaduras superficiales y además se le impide alcanzar la resistencia especificada. Los agentes más perjudiciales son el sol y el viento, debe evitarse que estos lleguen al concreto fresco (Abanto, 2009).

Figura 18

Curado de probetas cilíndricas de concreto.



Nota: Izquierda: Probetas de concreto en pozas de curado. Derecha: Probetas de concreto sumergidas en agua con hidróxido de calcio.

El agua en un tanque de almacenamiento debe ser agua potable saturada con hidróxido de calcio para evitar la lixiviación de hidróxido de calcio de las muestras. El agua del tanque de almacenamiento se agitará minuciosamente a intervalos que no excedan un mes para ayudar a reemplazar los iones de calcio que se han agotado. Los tanques se limpiarán y rellenarán con agua potable que contenga 3 g/L de hidróxido de calcio a intervalos que no excedan los 24 meses (ASTM C511, 2021).

Capítulo V. Ensayos del concreto

5.1. Ensayos de concreto fresco

5.1.1. Muestreo de mezclas de Concreto Fresco

El tiempo transcurrido entre la obtención de la porción inicial y final de una muestra compuesta deberá ser el más corto posible, pero en ningún caso excederá de 15 minutos (NTP 339.036, 2017).

Se inicia el ensayo de asentamiento, temperatura y del contenido de aire, dentro de los 5 minutos después de haber obtenido la porción final de la muestra compuesta. Completar estos ensayos tan pronto sea posible. Se inicia el moldeo de los especímenes para el ensayo de resistencia dentro de los 15 minutos después de elaborar la muestra compuesta. Procurar que el tiempo transcurrido entre la obtención y utilización de la muestra sea lo más corto posible y protegerla contra el sol, el viento y otras fuentes de rápida evaporación y de contaminación (NTP 339.036, 2017).

Figura 19

Muestreo de la Mezcla de Concreto.



Nota: Izquierda: Mezcladora de Concreto. Derecha: Vaciado del concreto en carretilla.

Tamaño de la muestra. Las muestras para el ensayo de resistencia deberán tener como mínimo 28 L (1 pie³). Pueden permitirse muestras más pequeñas para ensayos de rutina de contenido de aire; la temperatura y asentamiento. El tamaño de la muestra será definido por el tamaño máximo del agregado (NTP 339.036, 2017).

Tabla 54

Muestreo de mezclas de concreto fresco.

TIPO DE ENSAYO	VOLUMEN DE MUESTRA
Ensayos de Concreto Fresco (Slump, Temperatura, P.U.)	0.022 m ³ (22 L)
Ensayo de Concreto Endurecido (f'c, ft, absorción, densidad y vacíos)	0.044 m ³ (44 L)

Figura 20

Elaboración de Probetas Cilíndricas (4x8") de Concreto.



Nota: Izquierda: Varillado de concreto en moldes cilíndricos. Derecha: Muestras cilíndricas elaboradas y almacenadas.

5.1.2. Asentamiento.

Este método de ensayo originalmente fue desarrollado para proporcionar al usuario una técnica para monitorear la consistencia del concreto no endurecido. Bajo condiciones de laboratorio, con estricto control de todos los materiales del concreto, se ha encontrado que el asentamiento del concreto se incrementa proporcionalmente con el contenido de agua para una mezcla dada y, por lo tanto, está relacionado inversamente con la resistencia del concreto. Sin embargo, bajo condiciones de campo, tal relación con la resistencia no se demuestra clara y consistentemente. Se debe tener cuidado en relacionar los resultados del asentamiento obtenido en campo con la resistencia del concreto (NTP 339.035, 2022).

Una muestra de concreto fresco mezclado se coloca en un molde con forma de cono trunco, y se compacta por varillado. El molde se retira hacia arriba permitiendo que el concreto se asiente. La distancia vertical entre la posición inicial y la desplazada, medida en el centro de la superficie superior del concreto, se informa como el asentamiento del concreto (NTP 339.035, 2022).

Los resultados de este ensayo para los distintos diseños de mezcla realizados en la investigación, según la normativa NTP 339.035 "CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico." se muestran en las Tablas 55 y 56.

Figura 21

Ensayo de Asentamiento del Concreto Patrón.



Nota: Izquierda: Levantamiento del cono de Abrams. Centro: Medición del asentamiento. Derecha: 3 ½" de asentamiento del concreto patrón.

Tabla 55

Medición de Asentamientos - 1

DISEÑO	ASENTAMIENTO (SLUMP)	
	in	mm
CP	3 ½	87.50
30% AE	5 ½	137.50
40% AE	5 ½	137.50
50% AE	6	150.00
60% AE	7	175.00
70% AE	7 ¼	181.25

Tabla 56

Medición de Asentamientos - 2

DISEÑO	ASENTAMIENTO (SLUMP)	
	in	mm
CP	3 ½	87.50
50% AE (RA)	3"	75.00
60% AE (RA)	3 ½	87.50
70% AE (RA)	3 ½	87.50
60% AE (SP1)	4	100.00
70% AE (SP2)	4	100.00

Figura 22

Ensayo de Asentamiento del Concreto 70% AE.



Nota: Izquierda: Levantamiento del Cono de Abrams. Derecha: Medición del asentamiento con Wincha.

5.1.3. Temperatura

Se coloca el dispositivo de medición de temperatura en la mezcla de concreto fresco, de tal modo que el sensor esté sumergido un mínimo de 75 mm (3"). Se presiona levemente el concreto en la superficie alrededor del dispositivo de medición para que la temperatura ambiental no afecte la lectura. Se deja introducido el dispositivo medidor de temperatura en el concreto fresco por un mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice, y a continuación se lee y registra la temperatura (NTP 339.184, 2021).

Los resultados de este ensayo para los distintos diseños de mezcla realizados en la investigación, según la normativa NTP 339.184 "CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado." se muestran en las Tablas 57 y 58.

Tabla 57

Medición de Temperaturas - 1

DISEÑO	MEDICIÓN DE TEMPERATURA	
	Ambiente (°C)	Concreto (°C)
CP	23.50	24.10
30% AE	24.30	25.30
40% AE	26.20	26.30
50% AE	26.10	25.90
60% AE	27.20	28.10
70% AE	28.50	29.30

Tabla 58

Medición de Temperaturas - 2

DISEÑO	MEDICIÓN DE TEMPERATURA	
	Ambiente (°C)	Concreto (°C)
CP	23.50	24.10
50% AE (RA)	28.50	28.80
60% AE (RA)	27.30	27.60
70% AE (RA)	28.10	28.30
60% AE (SP1)	26.90	26.80
70% AE (SP2)	26.70	26.80

Figura 23

Medición de la Temperatura del Concreto.



Nota: Izquierda: Termómetro introducido en mezcla de concreto. Derecha: Medición de la temperatura del concreto.

5.1.4. Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire

Tabla 59

Características del ensayo - NTP 339.046

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO	
Barra Compactadora	16 mm de diámetro 600 mm de longitud
Tamaño máximo nominal del agregado grueso	¾" (19 mm)
Recipiente de medida	¼ pie ³ (7.1 L)
Mazo	600 ± 200 g
Método de Consolidación del Concreto	Apisonado

Los resultados de este ensayo para los distintos diseños de mezcla realizados en la investigación, según la normativa NTP 339.046 "CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto" se muestran en las Tablas 60 y 61.

Las fórmulas utilizadas para estos resultados son las siguientes:

Densidad (peso unitario): D. Calcular la masa neta del concreto en kilogramos substrayendo la masa del recipiente de medida, M_m , de la masa del recipiente de medida lleno de concreto, M_c . Calcular la densidad, D , dividiendo la masa neta de concreto por el volumen de la medida, V_m como sigue:

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \quad (8)$$

Rendimiento: Y. Calcular el rendimiento como sigue, donde M es la masa total de todos los materiales en la tanda, en kg:

$$Y(m^3) = \frac{M}{D} \quad (9)$$

Contenido de aire: A. Calcular el contenido de aire como sigue, donde T es la densidad teórica del concreto calculada sobre una base libre de aire, en kg/m^3 :

$$A = \frac{T - D}{T} * 100 \quad (10)$$

Figura 24

Ensayo del peso unitario del concreto fresco.



Nota: Izquierda: Golpe con el mazo de goma a los lados del recipiente. Centro: Varillado del concreto. Derecha: Pesaje del recipiente que contiene concreto.

Tabla 60*Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire - 1*

DISEÑO	Densidad - PU (kg/m ³)	Rendimiento (m ³)	Cont. de aire (%)
CP	2342	1.00	0.38
30% AE	2136	1.00	-
40% AE	2062	0.99	-
50% AE	1975	1.00	-
60% AE	1947	0.98	-
70% AE	1852	0.99	-

Tabla 61*Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire - 2*

DISEÑO	Densidad PU (kg/m ³)	Rendimiento (m ³)	Cont. de aire (%)
CP	2342	1.00	0.38
50% AE (RA)	2047	0.96	-
60% AE (RA)	1962	0.96	-
70% AE (RA)	1838	0.98	-
60% AE (SP1)	1954	0.96	-
70% AE (SP2)	1828	0.96	-

5.2. Ensayos de concreto endurecido

5.2.1. Resistencia a la Compresión

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad que se encuentra en un rango prescrito hasta la falla. La resistencia a la compresión del espécimen es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección transversal (NTP 339.034, 2021).

La carga será aplicada a una velocidad de movimiento medida desde la platina a la cruceta correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de 0.25 ± 0.05 MPa/s. La velocidad de movimiento diseñada debe ser mantenida al menos durante la mitad final de la fase de carga anticipada (NTP 339.034, 2021).

La resistencia a la compresión del concreto se encuentra definida con la siguiente ecuación:

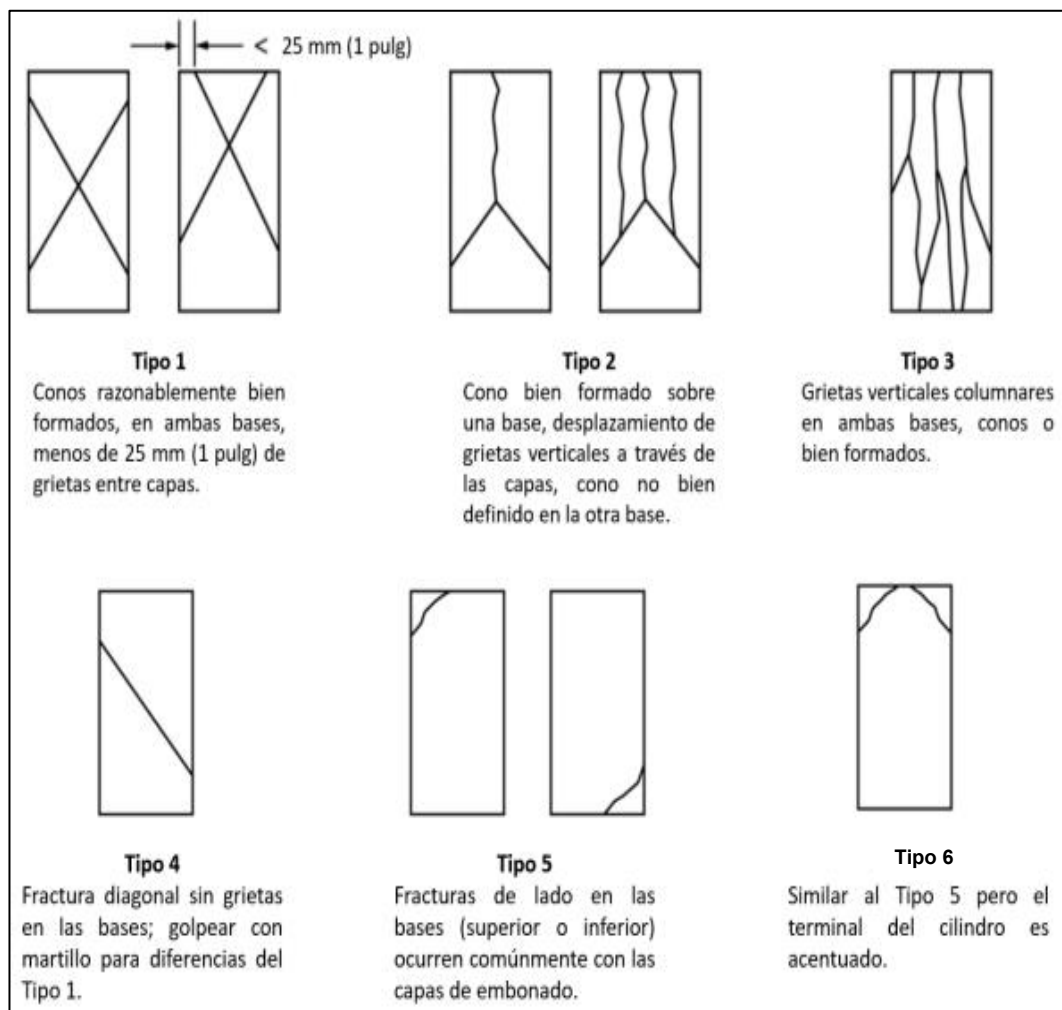
$$f'c = \frac{4 * P_{\text{máx}}}{\pi * D_{\text{prom}}^2} \quad (11)$$

Donde:

- $f'c$ = Resistencia a la compresión, kg/cm^2 .
- $P_{\text{máx}}$ = Carga axial máxima soportada, kgf .
- D_{prom} = Diámetro promedio de la muestra cilíndrica, cm .

Figura 25

Esquema de los patrones de tipos de fracturas



Nota: Fuente NTP 339.034., 2024.

Un detalle adicional es que al realizar pruebas con tapas no adheridas (almohadillas), si se obtiene una fractura en las esquinas similar a un patrón tipo 5 o 6 de la muestra, se continuará comprimiendo la muestra hasta que el usuario esté seguro de que se ha alcanzado la capacidad máxima (ASTM C39, 2021).

Figura 26

Ensayo de la Resistencia a la Compresión.



Nota: Izquierda: Equipo de compresión. Derecha: Probetas ensayadas a compresión.

Los resultados de este ensayo para los distintos diseños de mezcla realizados en la investigación, según la normativa NTP.339.034 “CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.” se muestran en las Tablas 62 y 63.

Tabla 62

Resistencia a la Compresión (f'_c) - 1

ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO								
DISEÑO	f'_c : Resistencia a la compresión							
	07 días		14 días		28 días		56 días	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
CP	226	22.2	243	23.8	273	26.8	345	33.8
30% AE	175	17.2	199	19.5	220	21.6	239	23.5
40% AE	170	16.7	184	18.0	215	21.1	226	22.2
50% AE	162	15.8	179	17.6	193	18.9	209	20.5
60% AE	140	13.7	162	15.9	183	18.0	205	20.1
70% AE	137	13.5	162	15.9	169	16.6	177	17.4

Tabla 63

Resistencia a la Compresión (f'c) - 2

ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO								
DISEÑO	f'c: Resistencia a la compresión							
	07 días		14 días		28 días		56 días	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
CP	226	22.2	243	23.8	273	26.8	345	33.8
50% AE (RA)	191	18.7	203	19.9	210	20.6	229	22.5
60% AE (RA)	151	14.8	174	17.1	197	19.3	220	21.6
70% AE (RA)	145	14.2	170	16.7	182	17.8	189	18.5
60% AE (SP1)	195	19.1	211	20.7	215	21.1	231	22.7
70% AE (SP2)	200	19.6	207	20.3	228	22.4	236	23.1

5.2.2. Densidad

Retirar cualquier humedad superficial con una toalla y medir la masa del cilindro usando una balanza con aproximación de 0,3 % de la masa que se está midiendo. Medir la longitud del espécimen con aproximación a 1 mm en tres espacios separados equidistantemente alrededor de la circunferencia. Evaluar la longitud promedio y registrarlo con aproximación de 1 mm (NTP 339.034, 2021).

Figura 27

Ensayo de Densidad del concreto.



Nota: Izquierda: Medición del diámetro de la probeta. Centro: Medición de la altura de la probeta. Derecha: Pesaje de la probeta.

La densidad del concreto se encuentra definida con la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{w}{V} \quad (12)$$

Donde:

- w = Masa del espécimen, kg.
- V = Volumen del espécimen, m³.

Los resultados de este ensayo para los distintos diseños de mezcla realizados en la investigación se muestran en las Tablas 64 y 65.

Tabla 64

Densidad del concreto (ρ) - 1

ENSAYO: DENSIDAD DEL CONCRETO						
DISEÑO	ρ : Densidad del concreto (kg/cm ³)					
	07 días	14 días	28 días		56 días	
	R.C.	R.C.	R.C.	R.T.	R.C.	R.T.
CP	2419	2422	2433	2415	2382	2390
30% AE	2169	2190	2186	2142	2143	2115
40% AE	2121	2116	2076	2074	2014	2036
50% AE	2038	2045	2034	2005	1992	1995
60% AE	1943	1936	1969	1856	1897	1898
70% AE	1847	1920	1865	1805	1784	1787

R.C.: Muestras para el ensayo de resistencia a la compresión.

R.T.: Muestras para el ensayo de resistencia a la tracción.

Tabla 65

Densidad del concreto (ρ) - 2

ENSAYO: DENSIDAD DEL CONCRETO				
DISEÑO	ρ : Densidad del concreto (kg/cm ³)			
	07 días	14 días	28 días	56 días
CP	2419	2422	2433	2382
50% AE (RA)	2042	2052	2013	1987
60% AE (RA)	1953	1946	1979	1907
70% AE (RA)	1857	1930	1875	1794
60% AE (SP1)	1939	1947	1911	1965
70% AE (SP2)	1846	1860	1842	1867

De acuerdo con la definición planteada en norma E.060 “Concreto Armado” indica que la densidad a analizar es la densidad de equilibrio que se obtiene de

acuerdo con la norma ASTM C567 “Método de prueba estándar para determinar la densidad del hormigón ligero estructural”.

Este método de ensayo provee procedimientos para determinar la densidad seca y de equilibrio de un concreto ligero estructural, por cálculo o medición. La densidad seca calculada se determina a partir de cantidades amasadas y volumen de una amasada de concreto dada. La densidad de equilibrio calculada es estimada sumando una cantidad fija a la densidad seca. Las densidades medidas son obtenidas a partir de determinaciones de la masa de especímenes cilíndricos después de tratamientos específicos (ASTM C567, 2019).

La densidad de equilibrio del concreto se encuentra definida con la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{A*997}{B-C} \quad (13)$$

Donde:

- E_m = Densidad de equilibrio medida, kg/m^3 .
- A = masa del cilindro seco, kg.
- B = masa del cilindro saturado con superficie seca, kg.
- C = masa aparente del cilindro suspendido sumergido, kg.

La densidad seca del concreto se encuentra definida con la siguiente ecuación:

$$O_m = \frac{D*997}{F-G} \quad (14)$$

Donde:

- O_m = Densidad seca medida, kg/m^3 .
- D = masa del cilindro secado en horno, kg.
- F = masa del cilindro saturado con superficie seca, kg.
- G = masa aparente del cilindro suspendido sumergido, kg.

Los resultados de este ensayo para los distintos diseños de mezcla realizados en la investigación se muestran en las Tablas 66 y 67.

Tabla 66*Densidad seca y de equilibrio - 1*

DISEÑO	DENSIDAD (ASTM C567)	
	(kg/cm ³)	
	Seca	Equilibrio
CP	2268	2318
30% AE	2058	2108
40% AE	1969	2027
50% AE	1920	1981
60% AE	1791	1849
70% AE	1708	1769

Tabla 67*Densidad seca y de equilibrio - 2*

DISEÑO	DENSIDAD (ASTM C567)	
	(kg/cm ³)	
	Seca	Equilibrio
CP	2268	2318
50% AE (RA)	1934	1984
60% AE (RA)	1850	1907
70% AE (RA)	1734	1794
60% AE (SP1)	1874	1932
70% AE (SP2)	1781	1842

5.2.3. Resistencia a la Tracción

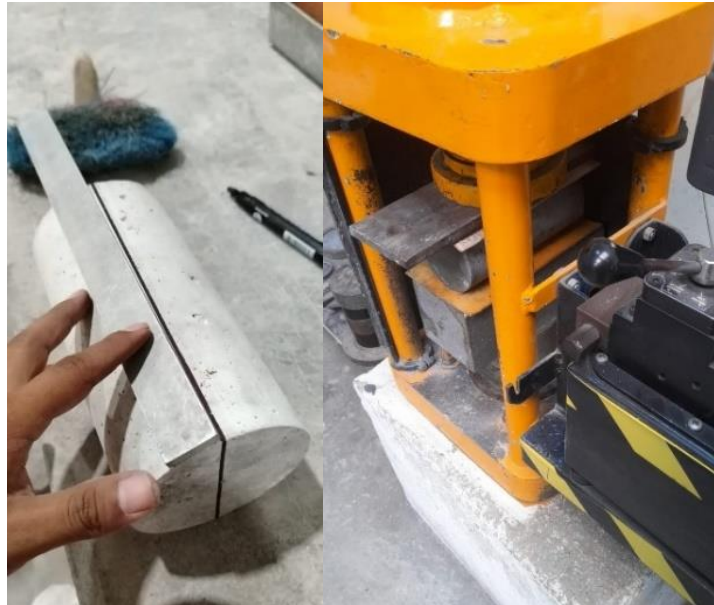
Este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a toda la longitud de un espécimen cilíndrico de concreto, a una velocidad prescrita, hasta que ocurra la falla. Esta carga induce un esfuerzo de tracción en el plano bajo la carga y un relativamente elevado esfuerzo de compresión en el área inmediata alrededor de la carga aplicada. La falla por tracción ocurre antes que la compresión porque las áreas de aplicación de la carga están en un estado de compresión triaxial, lo que permite soportar esfuerzo de compresión mucho mayor que el resultado conseguido con un ensayo de compresión uniaxial (NTP 339.084, 2022).

La carga se aplicará en forma continua y evitando impactos, a una velocidad constante dentro del rango de 0.7 MPa/min y 1.4 MPa/min hasta que

falle el espécimen por el esfuerzo de tracción por compresión diametral. Se registrará la máxima carga aplicada (NTP 339.084, 2022).

Figura 28

Ensayo de Tracción Indirecta del concreto.



Nota: Izquierda: Medición de la altura de la probeta de concreto. Derecha: Probeta ensayada a tracción indirecta.

La resistencia a la tracción se encuentra definida con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad (15)$$

Donde:

- T = Resistencia a la tracción indirecta, kg/cm².
- P = Máxima carga aplicada indicada por la máquina de ensayo, kgf.
- l = Longitud, cm.
- d = Diámetro, cm.

Los resultados de este ensayo para los distintos diseños de mezcla realizados en la investigación, según la normativa NTP.339.084 “CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica.” se muestran en la Tabla 68.

Tabla 68

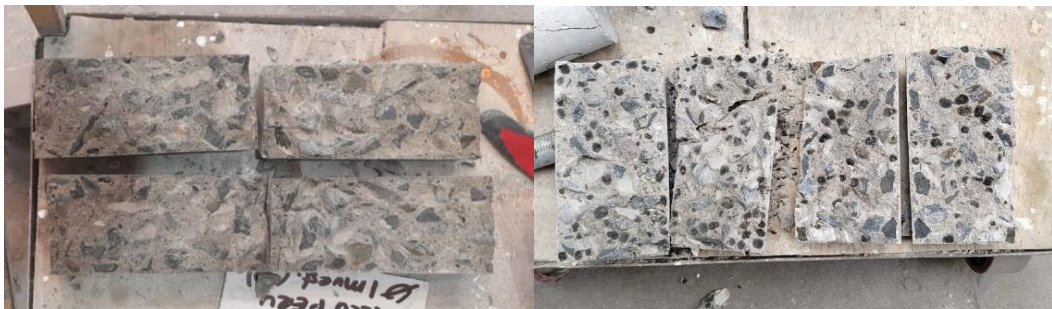
Resistencia a la Tracción Indirecta (f_t)

ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO				
DISEÑO	f_t : Tracción indirecta del concreto (kg/cm ²)			
	28 días		56 días	
	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	MPa
CP	29	2.8	27	2.6
30% AE	33	3.2	28	2.7
40% AE	29	2.8	30	2.9
50% AE	28	2.7	31	3.0
60% AE	26	2.5	28	2.7
70% AE	21	2.1	28	2.7

Imágenes de las secciones transversales de las probetas cilíndricas de concreto de las distintas mezclas con arcilla expandida:

Figura 29

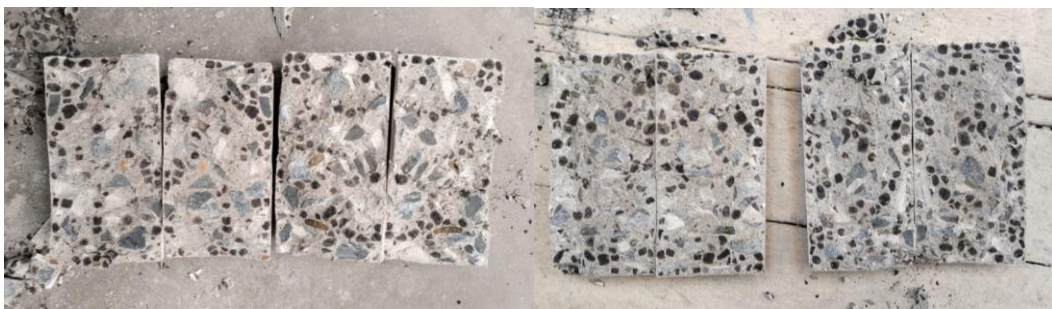
Probetas ensayadas a tracción - 1



Nota: Izquierda: Sección transversal del concreto patrón. Derecha: Sección transversal del concreto con 30% AE.

Figura 30

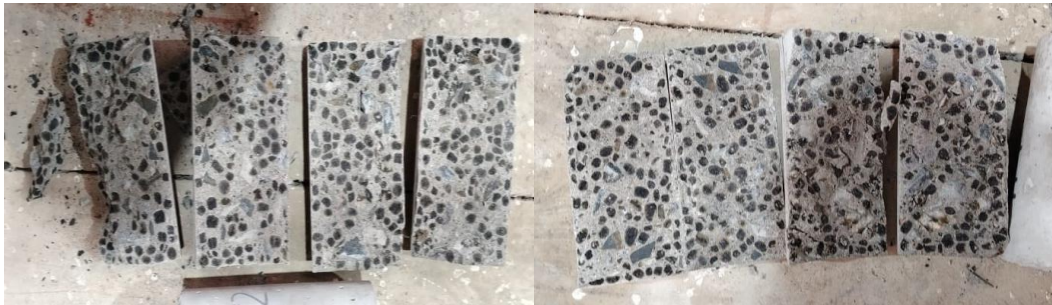
Probetas ensayadas a tracción - 2



Nota: Izquierda: Sección transversal del concreto con 40% AE. Derecha: Sección transversal del concreto con 50% AE.

Figura 31

Probetas ensayadas a tracción - 3



Nota: Izquierda: Sección transversal del concreto con 60% AE. Derecha: Sección transversal del concreto con 70% AE.

5.2.4. Densidad, absorción y vacíos

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad, el porcentaje de absorción y el porcentaje de vacíos en concreto endurecido (ASTM C642, 2021).

Siempre que sea posible, la muestra consistirá en varias porciones individuales de concreto, cada una de las cuales se ensayará por separado. Las porciones individuales pueden ser piezas de cilindros, núcleos o vigas de cualquier forma o tamaño deseado, excepto que el volumen de cada porción no será inferior a 350 cm^3 (o para concreto de peso normal, aproximadamente 800 g); y cada porción deberá estar libre de grietas, fisuras o bordes rotos observables (ASTM C642, 2021).

Durante el ensayo se determinan los siguientes pesos:

- A: Masa de la muestra seca, g.
- B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca, después de la inmersión, g.
- C: Masa de la muestra en agua, después de la inmersión y ebullición, g.
- D: Masa aparente de la muestra en agua, después de la inmersión y ebullición, g.

Con estos datos se pueden hacer los siguientes cálculos:

Absorción:

$$\text{Absorción después de la inmersión (\%)} = \frac{B-A}{A} * 100 \quad (16)$$

$$\text{Absorción después de la inmersión ebullición (\%)} = \frac{C-A}{A} * 100 \quad (17)$$

Densidad:

$$\text{Densidad seca} = \frac{A}{C-D} * \rho_w = g1 \quad (18)$$

$$\text{Densidad después de la inmersión} = \frac{B}{C-D} * \rho_w \quad (19)$$

$$\text{Densidad después de la inmersión y ebullición} = \frac{C}{C-D} * \rho_w \quad (20)$$

$$\text{Densidad aparente} = \frac{A}{A-D} * \rho_w = g2 \quad (21)$$

Vacíos:

$$\text{Volumen de poros permeables (vacíos, \%)} = \frac{g2-g1}{g2} * 100 = \frac{C-A}{C-D} * 100 \quad (22)$$

Donde:

- $g1$ = Densidad seca, g/cm^3 .
- $g2$ = Densidad aparente, g/cm^3 .
- ρ_w = Densidad de agua, g/cm^3 .

Tabla 69

Densidad, absorción y vacíos

ENSAYO: DENSIDAD, ABSORCIÓN DE AGUA Y VACÍOS DEL CONCRETO ENDURECIDO							
DISEÑO	ABSORCIÓN (%)		DENSIDAD (kg/m ³)				VOLUMEN DE VACÍOS (%)
	D. I.	D. I. E.	Seca	D. I.		Aparente	
				D. I.	D. I. E.		
CP	6.04	6.25	2250.22	2386.00	2390.69	2617.81	14.05
30% AE	6.21	7.69	2045.00	2171.73	2201.93	2425.37	15.69
40% AE	7.30	9.16	1955.24	2097.99	2134.23	2381.49	17.90
50% AE	7.67	9.56	1907.76	2053.89	2089.83	2332.24	18.21
60% AE	7.95	10.16	1778.80	1919.95	1959.15	2169.94	18.04
70% AE	8.92	11.53	1693.58	1844.27	1888.36	2102.92	19.48

D. I.: Después de la inmersión

D. I. E.: Después de la inmersión y ebullición

Figura 32

Ensayo de Densidad, absorción y vacíos.



Nota: Izquierda Superior: Muestras en el horno. Derecha Superior: Muestras sumergidas en agua. Izquierda Inferior: Muestras en ebullición. Derecha Inferior: Peso sumergido.

Capítulo VI. Análisis y discusión de resultados

6.1. Agregados fino y grueso

Se muestran en las Tablas 70 y 71 un resumen de los ensayos realizados en ambos agregados para determinar sus propiedades, además de ello los requisitos/límites establecidos en la norma NTP 400.037 “Agregados para concreto. Especificaciones”.

6.1.1. Agregado Fino

Tabla 70

Propiedades del agregado fino – Cantera Trapiche (Resumen).

ENSAYO	UNIDAD	AGREGADO FINO	NTP 400.037 (2021)
Granulometría - MF	-	3.00	2.3 – 3.1
Contenido de Humedad	%	3.05	-
Absorción	%	0.83	-
Durabilidad	%	12.35	15% máx.
PUS	kg/m ³	1612.33	-
PUC	kg/m ³	1763.30	-
Terrones de arcilla y partículas friables	%	0.15	3% máx.
Malla No. 200	%	6.16	3% máx.
Peso Especifico	g/cm ³	2.70	-
Impurezas Orgánicas	-	No presenta	No debe presentar

La curva granulométrica del agregado fino se encuentra dentro de los requerimientos de granulometría (porcentajes de material que pasa a través de cada tamiz) establecidos en la norma NTP 400.037, gráficamente puede ser observado en el Capítulo III – Figura 2. Por otro lado, el módulo de finura obtenido fue de 3.0 estando dentro del rango establecido por la normativa mencionada de 2.3 y 3.1.

El contenido de humedad (3.05%) es mayor que el porcentaje de absorción (0.83%), significando que el agregado está en una condición de humedad superficial. Esto quiere decir que no solo ha absorbido toda el agua que puede internamente (hasta su capacidad de absorción), sino que también tiene agua adicional adherida a su superficie.

El agregado fino no presenta impurezas orgánicas por tanto al ser inexistentes no interferirán en la reacción química de hidratación y por

consiguiente no afectarán la resistencia del concreto. Caso contrario, las moléculas orgánicas pueden adherirse sobre las superficies de las partículas de cemento, formando una capa que bloquea el acceso del agua a estas partículas. Esto retarda o inhibe la hidratación del cemento.

En el caso del ensayo de durabilidad presentó una pérdida de masa de 12.35% siendo menor a 15% establecido limite como máximo en la norma NTP 400.037, entonces es resistente a la acción de los sulfatos, evitando que se provoque la desintegración del concreto.

6.1.2. Agregado Grueso

Tabla 71

Propiedades del agregado grueso – Cantera UNICON (Resumen).

ENSAYO	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	NTP 400.037 (2021)
Granulometría - MF	-	7.35	-
Contenido de Humedad	%	0.54	-
Absorción	%	0.66	-
Durabilidad	%	-	18% máx.
PUS	kg/m ³	1365.62	-
PUC	kg/m ³	1577.51	-
Terrones de arcilla y partículas friables	%	2.56	5% máx.
Malla No. 200	%	0.28	1% máx.
Peso Especifico	g/cm ³	2.75	-
Abrasión	-	17.49	50% máx.

La curva granulométrica del agregado grueso se encuentra dentro de los requerimientos de granulometría establecidos en la norma NTP 400.037, específicamente en el Huso 56, gráficamente puede ser observado en el Capítulo III – Figura 3.

El contenido de humedad (0.54%) es menor al porcentaje de absorción en el agregado grueso (0.66%), por lo que el agregado grueso puede absorber agua adicional hasta alcanzar su capacidad de absorción total.

El agregado grueso presentó un 0.28% de materiales más finos que 75 µm (tamiz No. 200) estando debajo del límite máximo establecido en la norma NTP 400.037, por tanto, si existiera revestimientos finos de limo o arcilla sobre las partículas del agregado grueso no se debilitaría la adherencia que existe entre la pasta de cemento y el agregado.

6.2. Agregado ligero

Se muestra en la Tabla 62 un resumen de los ensayos realizados en el agregado ligero para determinar sus propiedades, además de ello los requisitos/límites establecidos en la norma ASTM C330 “Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete”.

Tabla 72

Propiedades del agregado ligero – Marca ARGEX (Resumen).

ENSAYO	UNIDAD	AGREGADO LIGERO	ASTM C330 (2023)
Granulometría- MF	-	6.33	Agregado Grueso
Contenido de Humedad	%	0.23	-
Absorción	%	35.24	-
Densidad Aparente Suelta	kg/m ³	275.45	880 máx.
Terrones de arcilla y partículas friables	%	-	2% máx.
Peso Específico	kg/m ³	461.95	-
Impurezas Orgánicas	-	No presenta	No debe presentar

La curva granulométrica del agregado ligero se encuentra dentro de los requerimientos de granulometría (porcentajes de material que pasa a través de cada tamiz) establecidos en la norma ASTM C330, gráficamente puede ser observado en el Capítulo III - Figura 13.

De acuerdo con su designación de tamaño nominal corresponde a un “Agregado Grueso” de tamaño 12.5 a 4.75 mm.

El contenido de humedad (0.23%) es menor en gran medida al porcentaje de absorción en el agregado grueso (35.24%), por lo que el agregado ligero puede absorber agua adicional hasta alcanzar su capacidad de absorción total. La alta absorción del agregado ligero se debe a su estructura interna altamente porosa, lo que le permite retener más agua en comparación con los agregados convencionales.

El agregado ligero - grueso tiene especificado una densidad aparente suelta máxima de 880 kg/m³, se determinó un valor de 275.45 kg/m³ siendo menor al límite establecido.

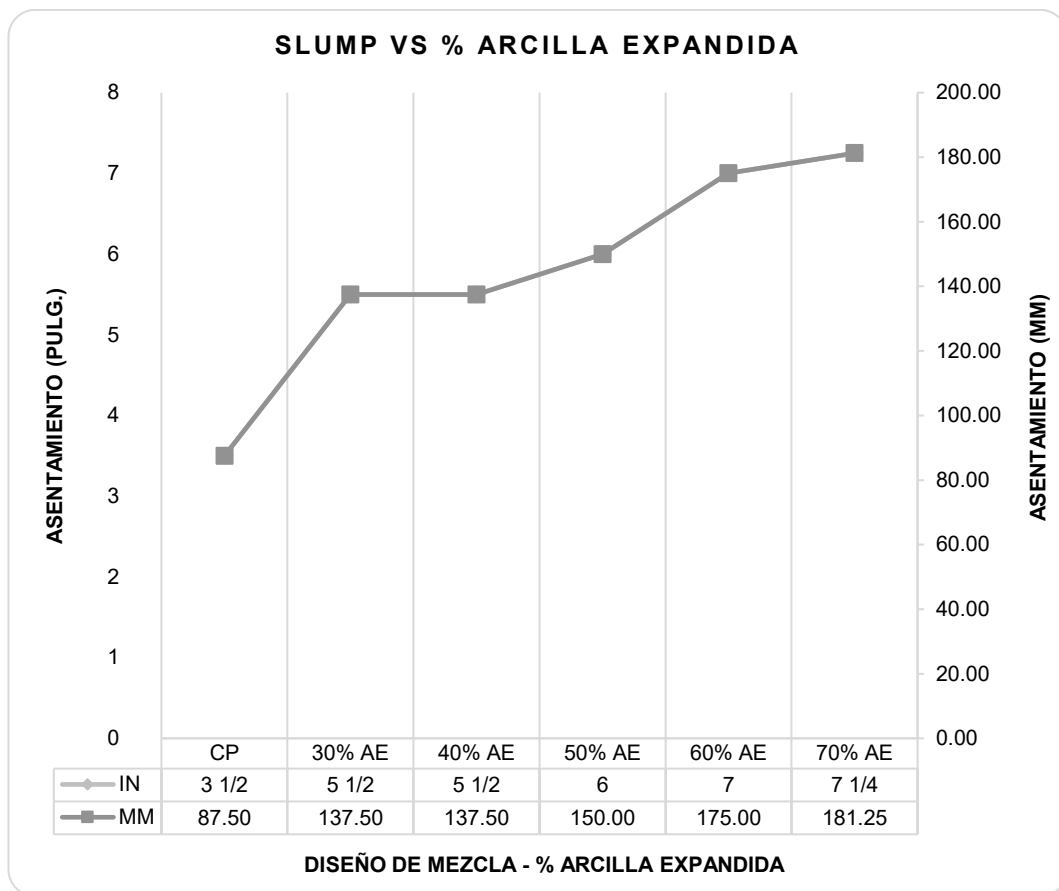
6.3. Concreto en estado fresco

6.3.1. Asentamiento

En el siguiente grafico se puede observar los distintos valores alcanzados al momento de realizar el ensayo de asentamiento (slump) para cada diseño; tanto para el concreto patrón como los concretos con distintos porcentajes de arcilla expandida.

Figura 33

Asentamiento vs. % de reemplazo de AE.



La curva obtenida describe una relación directa (incremento) entre el valor del asentamiento (slump) y el porcentaje de reemplazo de arcilla expandida por el agregado grueso convencional (piedra).

Este aumento cuantificado puede ser observado en la Tabla 73 en porcentajes tomando como el valor del 100% el asentamiento del concreto patrón que fue de 3 1/2" (87.5 mm).

Tabla 73

Variación del asentamiento.

DISEÑO	ASENTAMIENTO (SLUMP)
	VARIACIÓN %
CP	100.00%
30% AE	157.14%
40% AE	157.14%
50% AE	171.43%
60% AE	200.00%
70% AE	207.14%

Algunos puntos para tener en cuenta:

La forma de los agregados. La morfología irregular y angular del agregado grueso (piedra) crean más puntos de contacto y fricción entre las partículas. Esta mayor fricción interna ayuda a que los agregados se entrelacen y se mantengan en su lugar. En contraste, los agregados redondeados, como la arcilla expandida, tienen superficies curvas que reducen la fricción interna y el número de puntos de contacto. Esto hace que las partículas se deslicen más fácilmente entre sí, disminuyendo su capacidad de entrelazarse, mejorando la trabajabilidad y el asentamiento del concreto.

Figura 34

Morfología de los agregados.



Nota: Izquierda: Piedra chancada; forma angular. Derecha: Arcilla Expandida; forma esférica.

La segregación del agregado ligero. Ante el aumento de asentamiento sobre todo en el concreto de 70% de reemplazo (7 1/4") se observó la flotación de la arcilla expandida al momento de elaborar las probetas cilíndricas como se ven reflejadas en la Figura 35, esto puede dar indicios de una mezcla no uniforme, donde los agregados ligeros se concentran en la parte superior y, la pasta de cemento y los agregados más pesados se asientan en la parte inferior. La arcilla expandida tiene una densidad significativamente menor que los agregados tradicionales y, en algunos casos, menor que el agua, lo que hace que tenga una tendencia natural a flotar en una mezcla muy fluida. Pero como se puede observar en la Figura 36 la distribución del agregado ligero es por toda la probeta de concreto y no solo agrupándose en la parte superior, se descarta la segregación, pero no la posibilidad de ocurrencia.

Figura 35

Segregación del agregado ligero.



Figura 36

Sección transversal de una probeta de concreto de 70% AE.



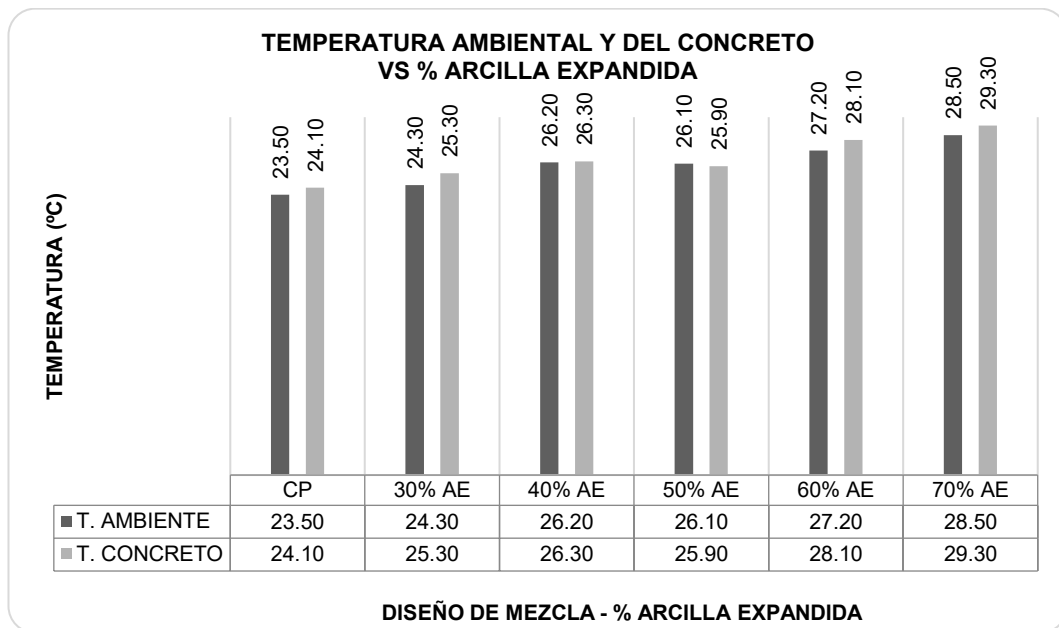
6.3.2. Temperatura.

En la siguiente figura se puede observar los distintos valores alcanzados al momento de realizar el ensayo de medición de temperatura al concreto para cada diseño; tanto para el concreto patrón como los concretos con distintos porcentajes de arcilla expandida.

La máxima temperatura del concreto producido con agregados calentados, agua caliente, o ambos, no debe exceder de 32 °C en ningún instante durante su producción o transporte. En caso no se considere agregados calentados, agua caliente o ambos, la temperatura máxima del concreto en estado fresco no debe exceder de 35 °C durante su producción o transporte (NTP 339.114, 2022).

Figura 37

Temperatura Ambiental y Temperatura del Concreto – 1.



De acuerdo con la norma NTP 339.114 “CONCRETO. Concreto Premezclado. Requisitos” todos los concretos realizados cumplen con la condición descrita de no exceder la temperatura de 35°C.

Por otro lado, en la Tabla 74 se puede observar que los porcentajes de variación de la temperatura del concreto respecto a la temperatura ambiental es mínima (no se aprecia un cambio brusco), además que en general la temperatura del concreto es mayor que la ambiental.

Esto último se explica debido a que el calor generado por la hidratación del cemento comienza casi inmediatamente después de que se realiza la mezcla del concreto. Esta reacción es exotérmica, lo que significa que libera calor como un subproducto.

Tabla 74

Variación de la temperatura - 1

DISEÑO	MEDICIÓN DE TEMPERATURA	
	$\Delta = (T.C. - T.A.)$	VARIACIÓN %
CP	0.60	2.55
30% AE	1.00	4.12
40% AE	0.10	0.38
50% AE	-0.20	-0.77
60% AE	0.90	3.31
70% AE	0.80	2.81

Por tanto, la influencia de la arcilla expandida en la temperatura del concreto fresco no es apreciable, de igual manera para las mezclas de concreto modificadas mediante la reducción de agua y con aditivos superplastificantes. Se puede observar la variación en la Figura 38 y de manera porcentual en la Tabla 75.

Figura 38

Temperatura Ambiental y Temperatura del Concreto – 1.

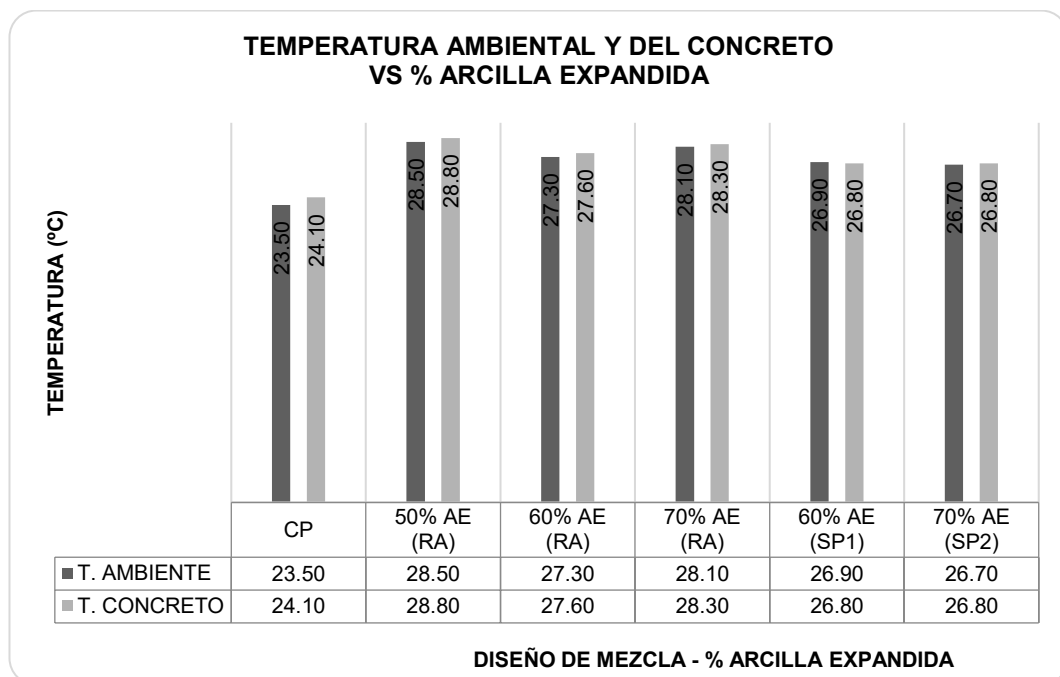


Tabla 75

Variación de la temperatura - 2

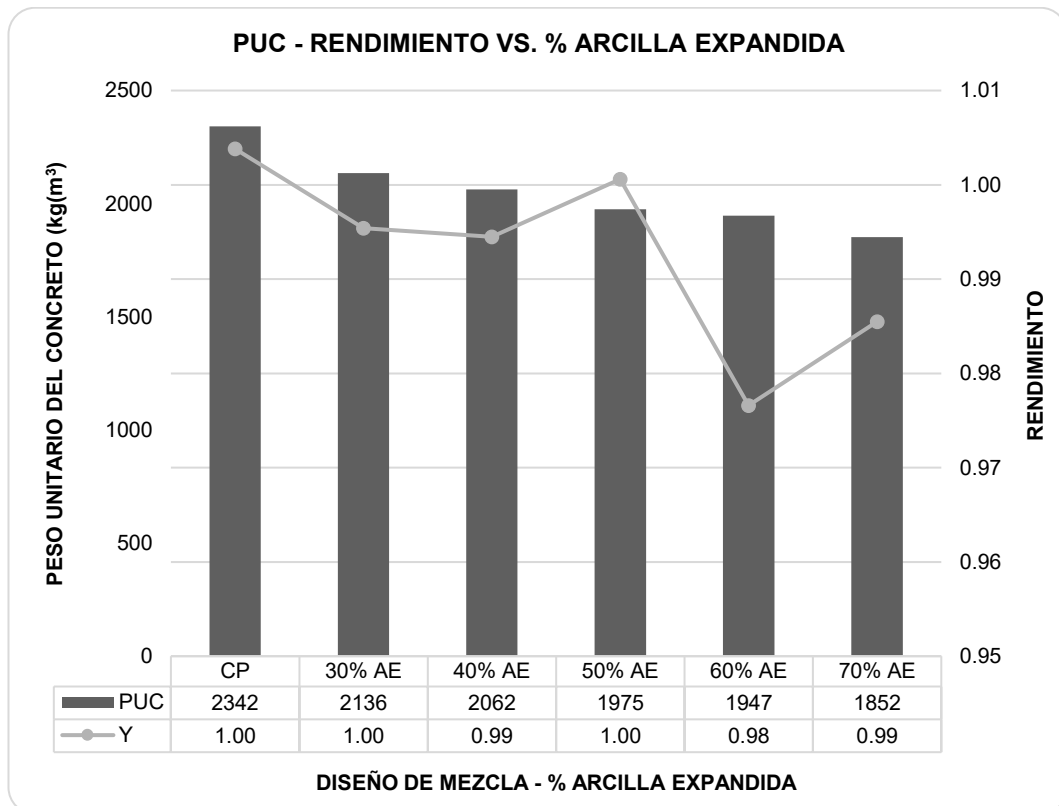
DISEÑO	MEDICIÓN DE TEMPERATURA	
	$\Delta = (T.C. - T.A.)$	VARIACIÓN %
CP	0.60	2.55
50% AE (RA)	0.30	1.05
60% AE (RA)	0.30	1.10
70% AE (RA)	0.20	0.71
60% AE (SP1)	-0.10	-0.37
70% AE (SP2)	0.10	0.37

6.3.3. Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire.

En el siguiente grafico se puede observar los distintos valores alcanzados al momento de realizar el ensayo de densidad (peso unitario) y el cálculo del rendimiento para cada diseño; tanto para el concreto patrón como los concretos con distintos porcentajes de arcilla expandida.

Figura 39

Peso Unitario y Rendimiento del Concreto – 1.



Existe una relación directa (disminución) entre el valor de la densidad (peso unitario) y el porcentaje de reemplazo de arcilla expandida por el agregado grueso convencional (piedra).

Esta disminución cuantificada puede ser observado en la Tabla 76 en porcentajes tomando como el valor del 100% la densidad (peso unitario) del concreto patrón que fue de 2342 kg/m³. Se alcanzó una reducción del 20.93% respecto al concreto patrón significando una disminución de 490 kg/m³.

Tabla 76

Variación del peso unitario del concreto fresco – 1

DISEÑO	DENSIDAD (PUC)
	Variación (%)
CP	100.00%
30% AE	91.19%
40% AE	88.06%
50% AE	84.32%
60% AE	83.11%
70% AE	79.07%

De acuerdo con la Figura 39 la curva del rendimiento de los distintos diseños de concreto fluctúa alrededor de la unidad (1.00), esto asegura que la cantidad de material producido se ajuste a las necesidades del proyecto, evitando el desperdicio de materiales y garantizando que se tenga suficiente concreto.

Con los valores menores a la unidad (1.00) del rendimiento en algunos diseños de mezcla, es imposible aplicar el método gravimétrico para determinar el contenido de aire ya que el peso del concreto fresco es mayor al peso teórico del concreto. Dando valores negativos al aplicar la formula correspondiente.

Por otro lado, determinar el contenido de aire del concreto bajo la norma NTP 339.083: "Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de concreto fresco, por el método de presión" cuando se hace uso de agregados ligeros como lo es la arcilla expandida no es recomendable ya que los agregados ligeros son porosos y pueden contener aire dentro de sus poros. Cuando se aplica presión por el método descrito, el aire contenido en los poros de los agregados puede comprimirse y dar una lectura falsa del contenido de aire. Para este caso de concretos con agregados ligero existe un método alternativo para determinar

el contenido de aire; ASTM C173: “Método de prueba estándar para el contenido de aire del hormigón recién mezclado por el método volumétrico”.

En la presente investigación debido a la indisponibilidad de equipos no se pudo desarrollar este ensayo bajo la norma mencionada.

De igual manera para las mezclas de concreto modificadas mediante la reducción de agua y con aditivos superplastificantes se puede observar la variación en la Figura 40 y de manera porcentual en la Tabla 77.

Figura 40

Peso Unitario y Rendimiento del concreto – 2.

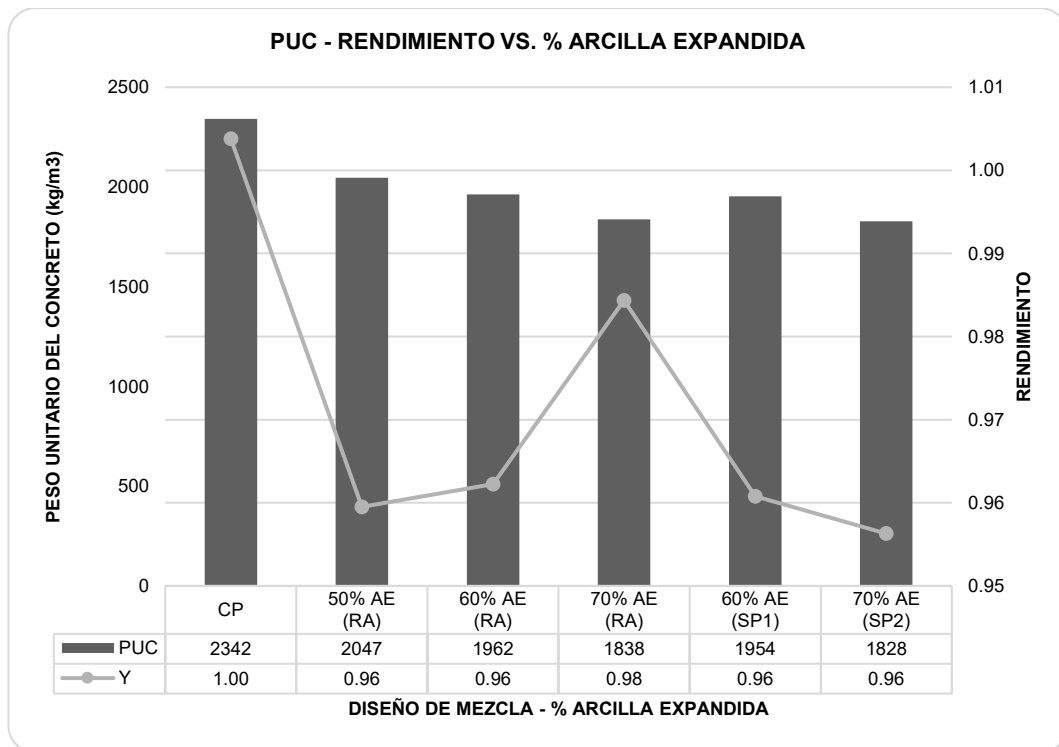


Tabla 77

Variación del peso unitario del concreto fresco – 2

DISEÑO	DENSIDAD (PUC)
	Variación (%)
CP	100.00%
50% AE (RA)	87.39%
60% AE (RA)	83.78%
70% AE (RA)	78.47%
60% AE (SP1)	83.41%
70% AE (SP2)	78.05%

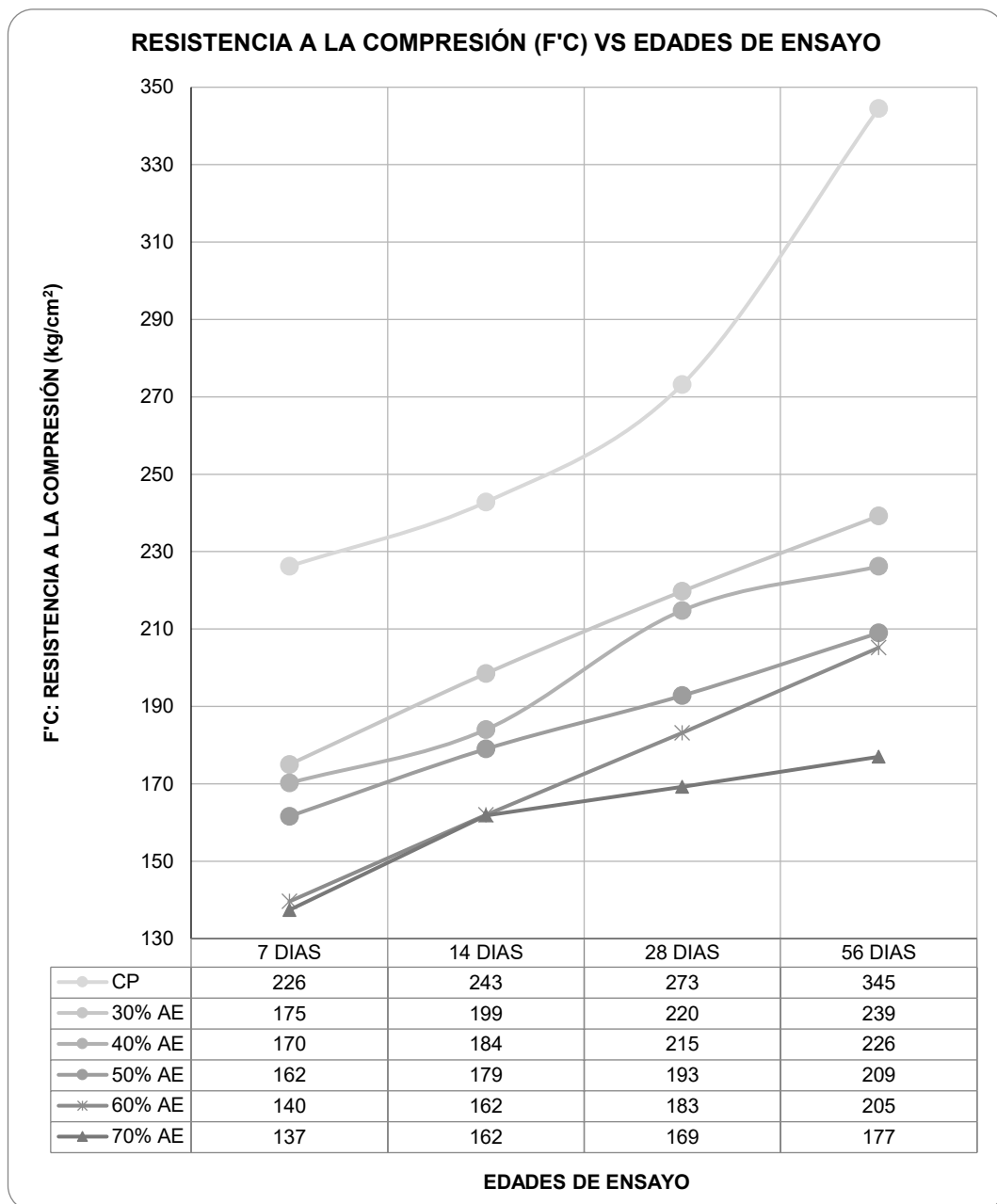
6.4. Concreto en estado endurecido

6.4.1. Resistencia a la Compresión del Concreto

En el gráfico presente a continuación se puede apreciar la variación de la resistencia a la compresión a lo largo del tiempo de estudio (edades de ensayo) para los distintos casos de reemplazo de la arcilla expandida por el agregado grueso.

Figura 41

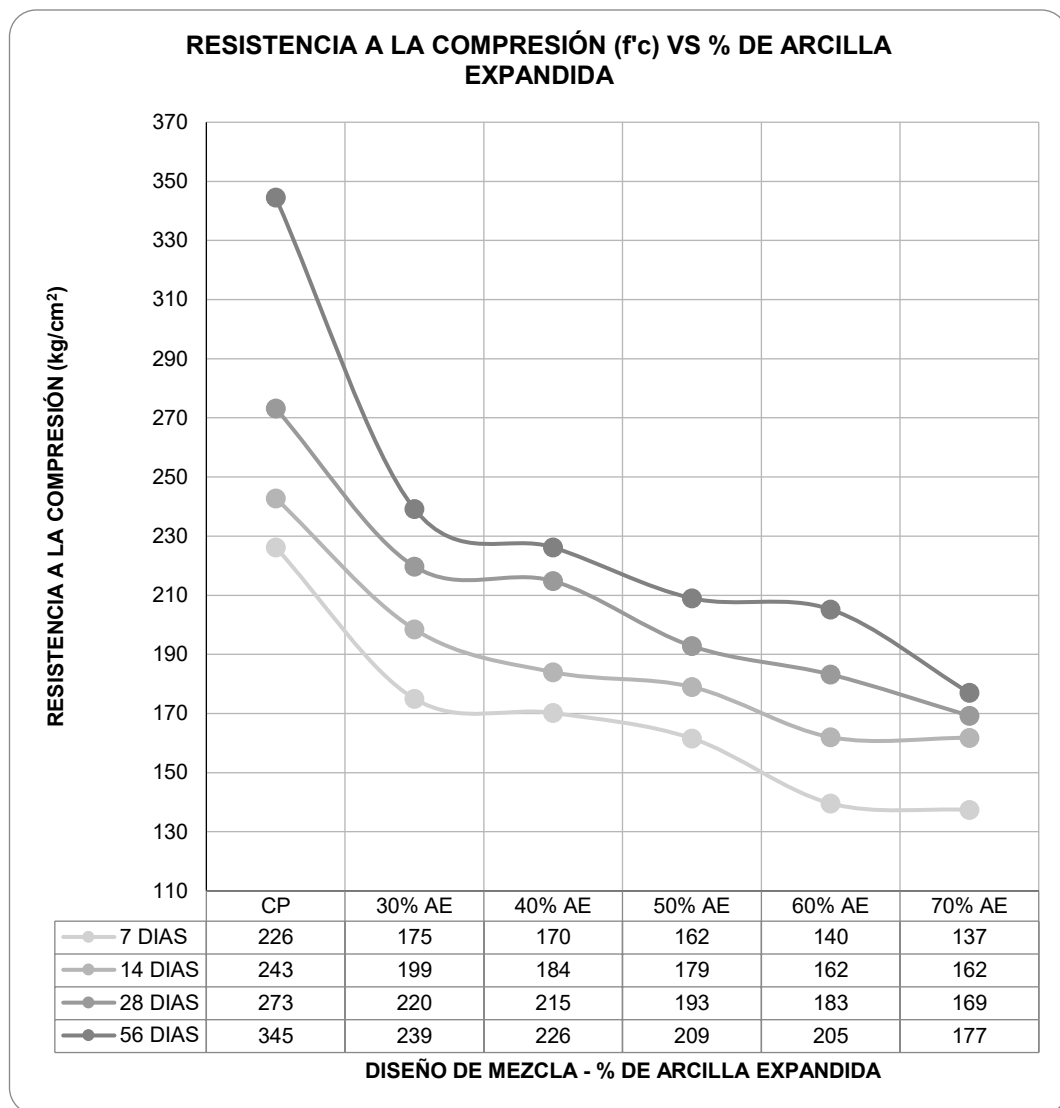
Resistencia a la Compresión (f_c) vs. Edad de Ensayo – 1.



De acuerdo con la Figura 41 existe una relación directa (incremento) entre el valor de la resistencia a la compresión del concreto y las distintas edades de ensayo.

Figura 42

Resistencia a la Compresión (f'_c) vs. % de reemplazo de AE.



En contraste en la Figura 42 se puede apreciar la disminución de la resistencia a la compresión conforme el porcentaje de reemplazo de arcilla expandida por el agregado grueso convencional (piedra) aumenta. Esta disminución de manera porcentual se observar en la Tabla 78, las resistencias a la compresión del concreto de los distintos diseños expresados en porcentajes tomando como 100% el f'_c del concreto patrón a distintas edades.

Tabla 78*Variación de la resistencia a la compresión (f'c)*

ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO				
DISEÑO	f'c (%AE) / f'c (CP)			
	07 días	14 días	28 días	56 días
CP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
30% AE	77.37%	81.75%	80.44%	69.43%
40% AE	75.24%	75.78%	78.62%	65.66%
50% AE	71.44%	73.72%	70.57%	60.67%
60% AE	61.72%	66.72%	67.06%	59.56%
70% AE	60.74%	66.64%	61.95%	51.38%

Todas estas variaciones de la resistencia a la compresión se pueden explicar con los siguientes puntos:

La porosidad. La resistencia del concreto depende tanto de la matriz como de los agregados y de la calidad del contacto entre ambos. La arcilla expandida se caracteriza por tener una estructura interna con numerosas cavidades y poros llenos de aire. Estas cavidades internas son inherentemente débiles y no contribuyen significativamente a la capacidad de carga del agregado. Bajo compresión, estas cavidades pueden colapsar o deformarse porque son menos rígidas y tienen una menor resistencia mecánica, lo que contribuye a una disminución en la resistencia global del concreto debido a que la matriz (pasta endurecida) tiene que absorber más carga de lo normal. A diferencia de los agregados densos tienen una estructura interna sólida sin muchas cavidades, esto les permite resistir y transferir cargas de manera efectiva.

En un concreto convencional, el agregado grueso tiene una superficie lisa y densa. La zona más débil suele ser la interfaz Pasta-Agregado (ITZ), que es la delgada capa de pasta de cemento que rodea al agregado. Bajo cargas de compresión, las micro fisuras suelen iniciarse y propagarse en esta zona, provocando que la falla se concentre allí. En cambio, en un concreto con arcilla expandida ocurre algo diferente; la alta porosidad y rugosidad superficial genera adherencia mecánica más efectiva entre pasta y agregado. Como consecuencia, la ITZ tiende a ser más resistente que en los concretos convencionales. Por ello cuando el concreto con AE se somete a compresión, la falla no ocurre preferentemente en la interfaz, sino en el propio agregado ligero, que es más frágil

y de menor resistencia intrínseca que la piedra convencional. En otras palabras, el punto débil ya no es la unión pasta-agregado, sino el agregado mismo.

La superficie específica. Cuando el agregado tiene partículas más pequeñas (por ejemplo, arcilla expandida en lugar de piedra gruesa), la superficie específica total de las partículas es mayor debido a la mayor área superficial interna. Sin embargo, si se usa la misma cantidad de pasta para cubrir el volumen total, la pasta tiene que cubrir una mayor cantidad de superficie por unidad de masa del agregado. Una mayor superficie específica de las partículas finas puede mejorar la adherencia porque proporciona más área de contacto entre la pasta de cemento y el agregado. Pero, si la pasta no es suficiente para cubrir adecuadamente toda la superficie, la adherencia puede verse comprometida.

Para los concretos modificados mediante la reducción de agua y con aditivo superplastificante se puede observar las variaciones en las tablas 79, 80 y 81; las resistencias a la compresión del concreto de los distintos diseños expresados en porcentajes tomando como 100% el $f'c$ del concreto patrón.

Análisis de las mezclas con 50% de reemplazo:

Tabla 79

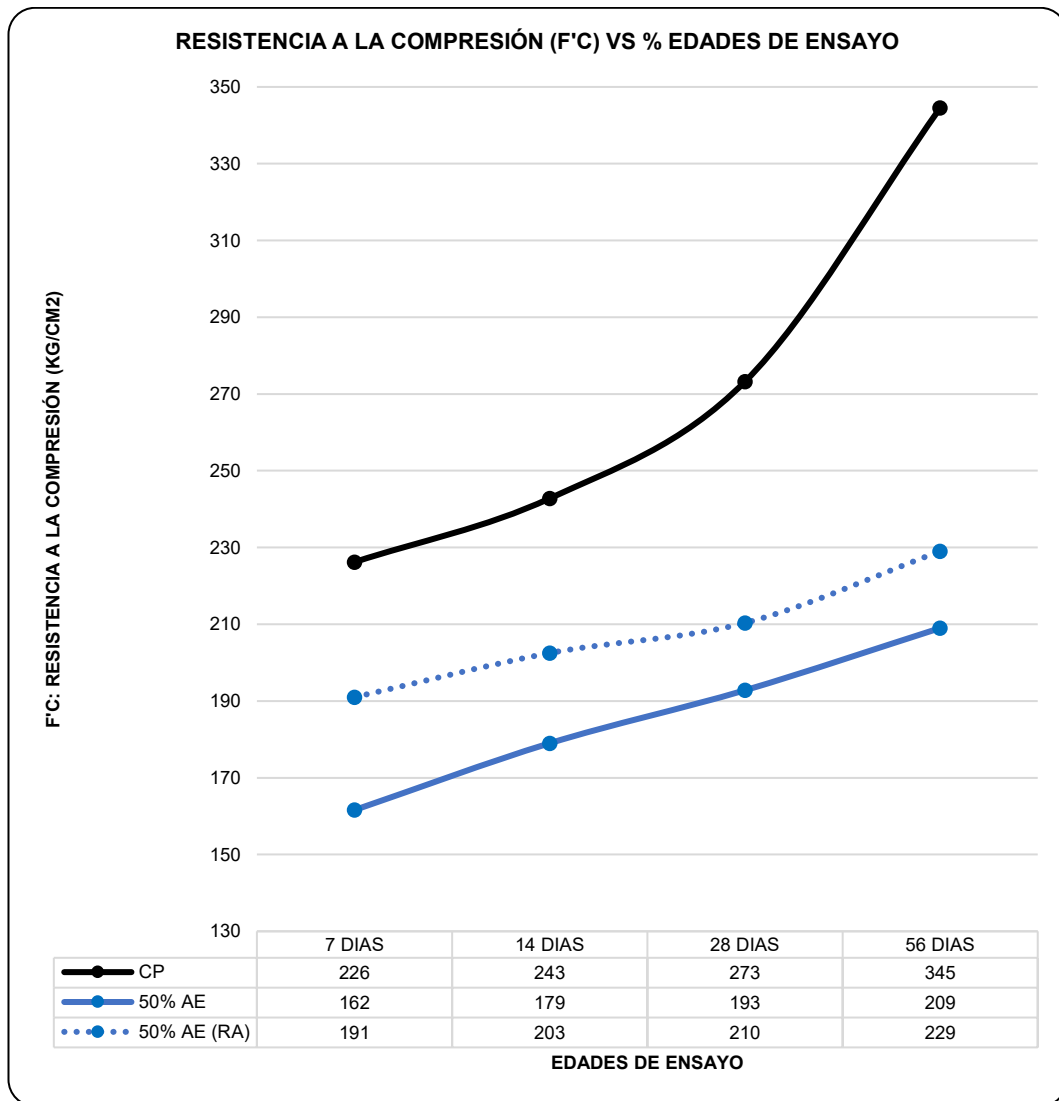
Variación de la resistencia a la compresión ($f'c$) – 50% AE

ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO				
DISEÑO	$f'c$ (%AE) / $f'c$ (CP)			
	07 días	14 días	28 días	56 días
CP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
50% AE	71.44%	73.72%	70.57%	60.67%
50% AE (RA)	84.44%	83.40%	76.99%	66.47%

De acuerdo con la Figura 43 mostrada se puede observar que con la reducción de agua para mantener el asentamiento de 3 a 4" establecido inicialmente se pudo maximizar la resistencia a la compresión a los 28 días, pasando de 193 a 210 kg/cm², e incluso se puede apreciar el aumento de resistencia al paso de los días llegando a 229 kg/cm² a los 56 días.

Figura 43

Resistencia a la Compresión (f'c) vs. Edad de Ensayo – 2.



Análisis de las mezclas con 60% de reemplazo:

Tabla 80

Variación de la resistencia a la compresión (f'c) – 60% AE

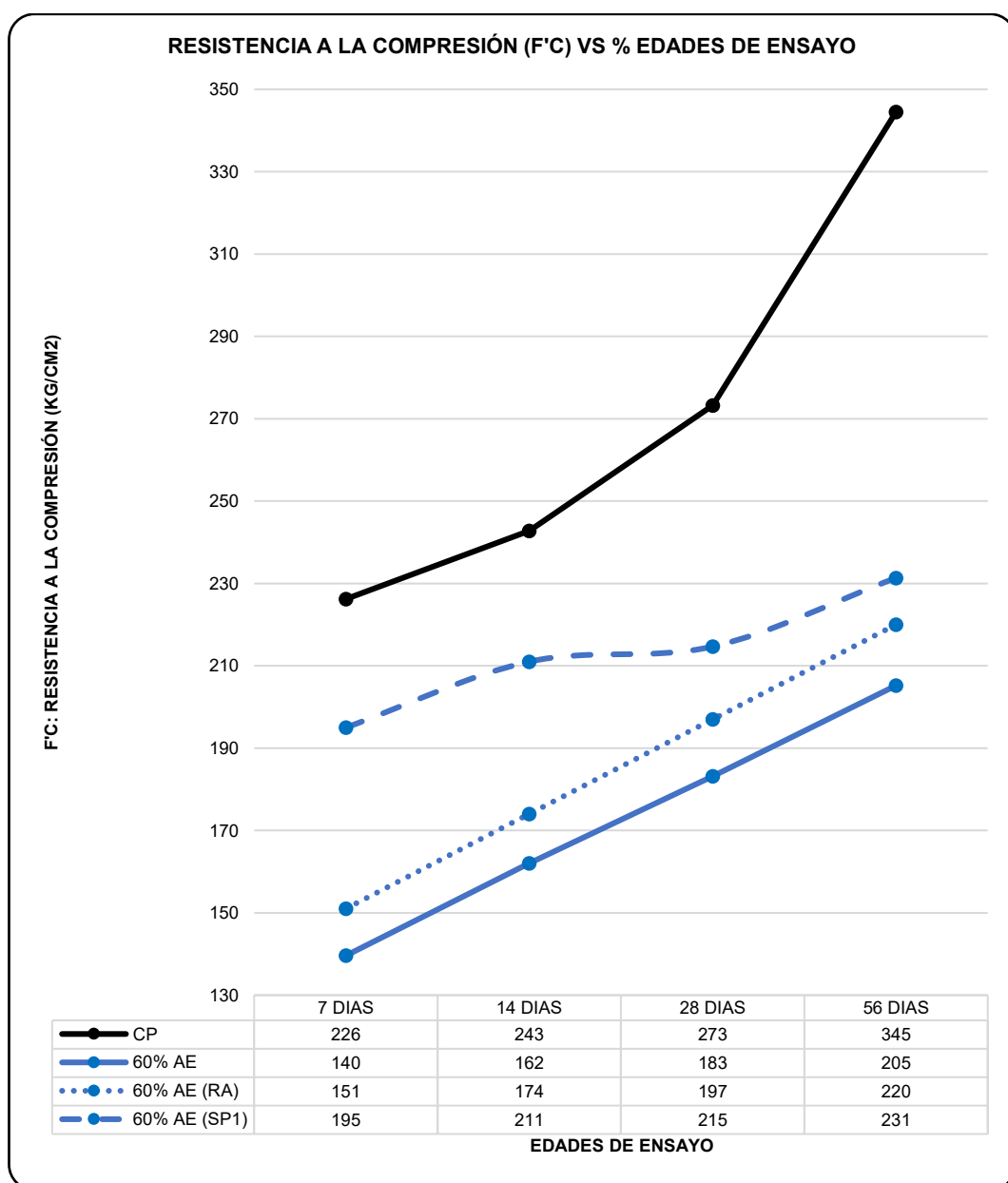
ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO				
DISEÑO	f'c (%AE) / f'c (CP)			
	07 días	14 días	28 días	56 días
CP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
60% AE	61.72%	66.72%	67.06%	59.56%
60% AE (RA)	66.76%	71.66%	72.11%	63.86%
60% AE (SP1)	86.21%	86.90%	78.57%	67.15%

De acuerdo con la Figura 44 mostrada se puede observar que con la reducción de agua para mantener el asentamiento de 3 a 4" se pudo maximizar la resistencia a la compresión a los 28 días, pasando de 183 a 197 kg/cm².

Con el fin de mejorar estos resultados se hace uso de un aditivo plastificante preservando el asentamiento inicial (3 - 4") consiguiendo una resistencia de 215 kg/cm² a los 28 días de edad. Igualmente, a edades superiores (56 días) se sigue mejorando la resistencia en todos los casos.

Figura 44

Resistencia a la Compresión (f'c) vs. Edad de Ensayo – 3.



Análisis de las mezclas con 70% de reemplazo:

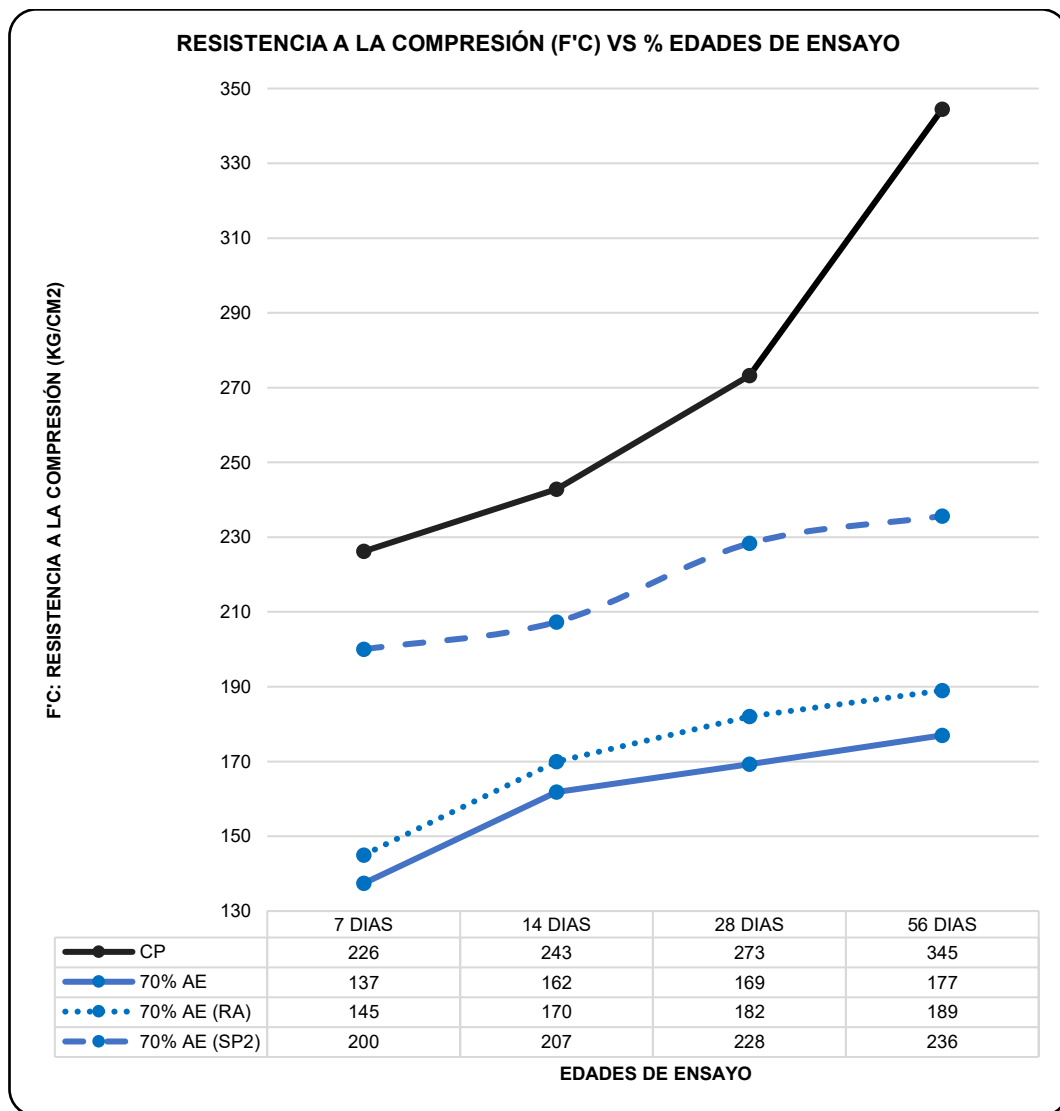
Tabla 81

Variación de la resistencia a la compresión (f'c) – 70% AE

ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO				
DISEÑO	f'c (%AE) / f'c (CP)			
	07 días	14 días	28 días	56 días
CP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
70% AE	60.74%	66.64%	61.95%	51.38%
70% AE (RA)	64.10%	70.02%	66.62%	54.86%
70% AE (SP2)	88.42%	85.39%	83.58%	68.41%

Figura 45

Resistencia a la Compresión (f'c) vs. Edad de Ensayo – 4.



De acuerdo con la Figura 45 mostrada a continuación se puede observar que con la reducción de agua para mantener el asentamiento de 3 a 4" se pudo maximizar la resistencia a la compresión a los 28 días, pasando de 169 a 182 kg/cm².

Con el fin de mejorar estos resultados se hace uso de un aditivo plastificante preservando el asentamiento inicial (3 - 4") consiguiendo una resistencia de 228 kg/cm² a los 28 días de edad. Igualmente, a edades superiores (56 días) se sigue mejorando la resistencia en todos los casos.

Todas estas variaciones de la resistencia a la compresión se pueden explicar con los siguientes puntos:

La relación agua – cemento (a/c). Al reducir la cantidad de agua en la mezcla se trabaja con una relación a/c menor y al ser inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto se obtienen valores mayores en comparación al diseño inicial. Esto se debe a que una menor cantidad de agua en la mezcla resulta en una menor porosidad y, por lo tanto, en una matriz de cemento más densa y resistente. El agua es esencial para el proceso de hidratación del cemento, sin embargo, solo se necesita una cantidad limitada de agua para completarla. El exceso de agua, que no participa en la hidratación, crea poros en la estructura del concreto, lo que debilita su resistencia a la compresión.

El aditivo superplastificante. Los superplastificantes son polímeros que se adsorben en la superficie de las partículas de cemento, impartiendo cargas eléctricas (generalmente negativas) a estas partículas. Esto causa una repulsión electrostática entre las partículas de cemento, separándolas y dispersándolas uniformemente en la mezcla. Esta dispersión reduce la cantidad de agua necesaria para humedecer y lubricar las partículas, mejorando la trabajabilidad sin aumentar la cantidad de agua. Al mejorar la dispersión y humectación de las partículas de cemento, los superplastificantes permiten una hidratación más completa y eficiente del cemento. Esto se traduce en una matriz de cemento más densa y resistente, mejorando tanto la resistencia inicial como la final del concreto.

En resumen, en el ensayo de resistencia a la compresión a los 28 días se observó que, al incrementar el porcentaje de reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida, la resistencia del concreto disminuyó progresivamente en relación con el concreto patrón (273 kg/cm² <> 26.8 MPa). Las reducciones

alcanzaron valores cercanos al 20% para un 30% de reemplazo y hasta alrededor del 38% para un 70% de reemplazo ($169 \text{ kg/cm}^2 \leftrightarrow 16.6 \text{ MPa}$).

Mediante el humedecimiento previo y la reducción de agua ante el alto asentamiento obtenido con el 70% de reemplazo ($7 \frac{1}{4}$ " en comparación al concreto patrón ($3 \frac{1}{2}$ " se logró maximizar la resistencia mencionada ($182 \text{ kg/cm}^2 \leftrightarrow 17.8 \text{ MPa}$). Si bien en este punto se puede considerar un concreto ligero estructural al superar el valor mínimo de 17 MPa de acuerdo con la definición presentada en la norma E.060, sigue siendo distante de la resistencia de la compresión patrón que es nuestro punto de comparación.

Por tanto, se hace uso de un aditivo superplastificante, permitiendo atenuar esta reducción respecto a las mezclas sin aditivo, logrando una resistencia más cercana al valor con el reemplazo del 70% de arcilla expandida; 228 kg/cm^2 (22.4 MPa). Este último también considero concreto ligero estructural.

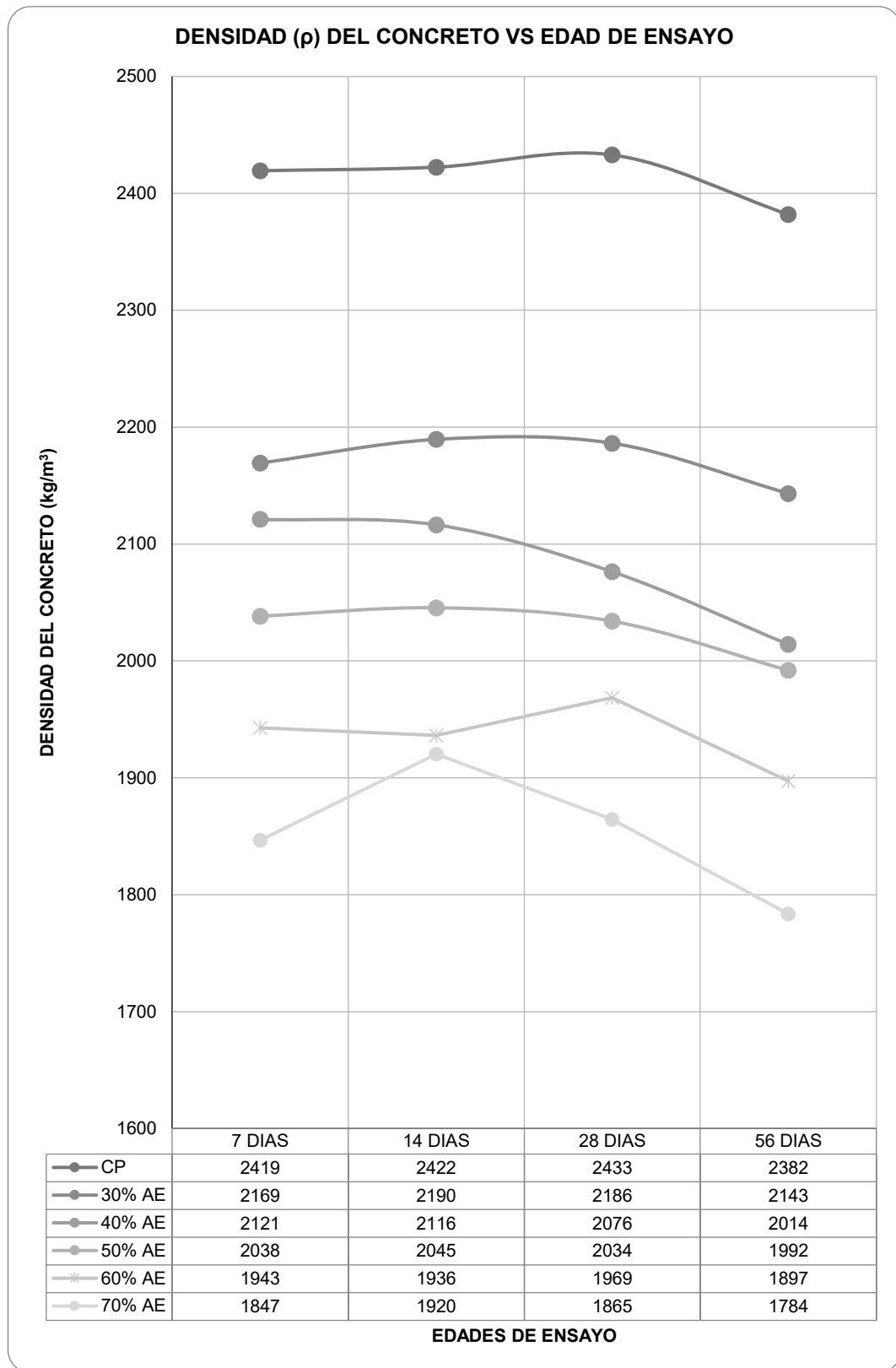
6.4.2. Densidad

En la Figura 46 se puede observar los distintos valores alcanzados al momento de realizar el cálculo de densidad para las distintas probetas de concreto designadas para el ensayo de compresión clasificadas según su diseño; tanto para el concreto patrón como los concretos con distintos porcentajes de arcilla expandida. Cálculo mencionado en la NTP 339.034, 2021.

Otro detalle de la Figura 46 es que la transición de los 28 a 56 días se expresa en como una línea de pendiente negativa en todos los casos, significando una disminución de valores. Esto se explica debido a que el curado (inmersión en agua) solo se desarrolló hasta los 28 días, luego de esto se dejó al aire libre y por consiguiente ocurrió una pérdida de humedad reduciendo su peso como se refleja en la gráfica.

Figura 46

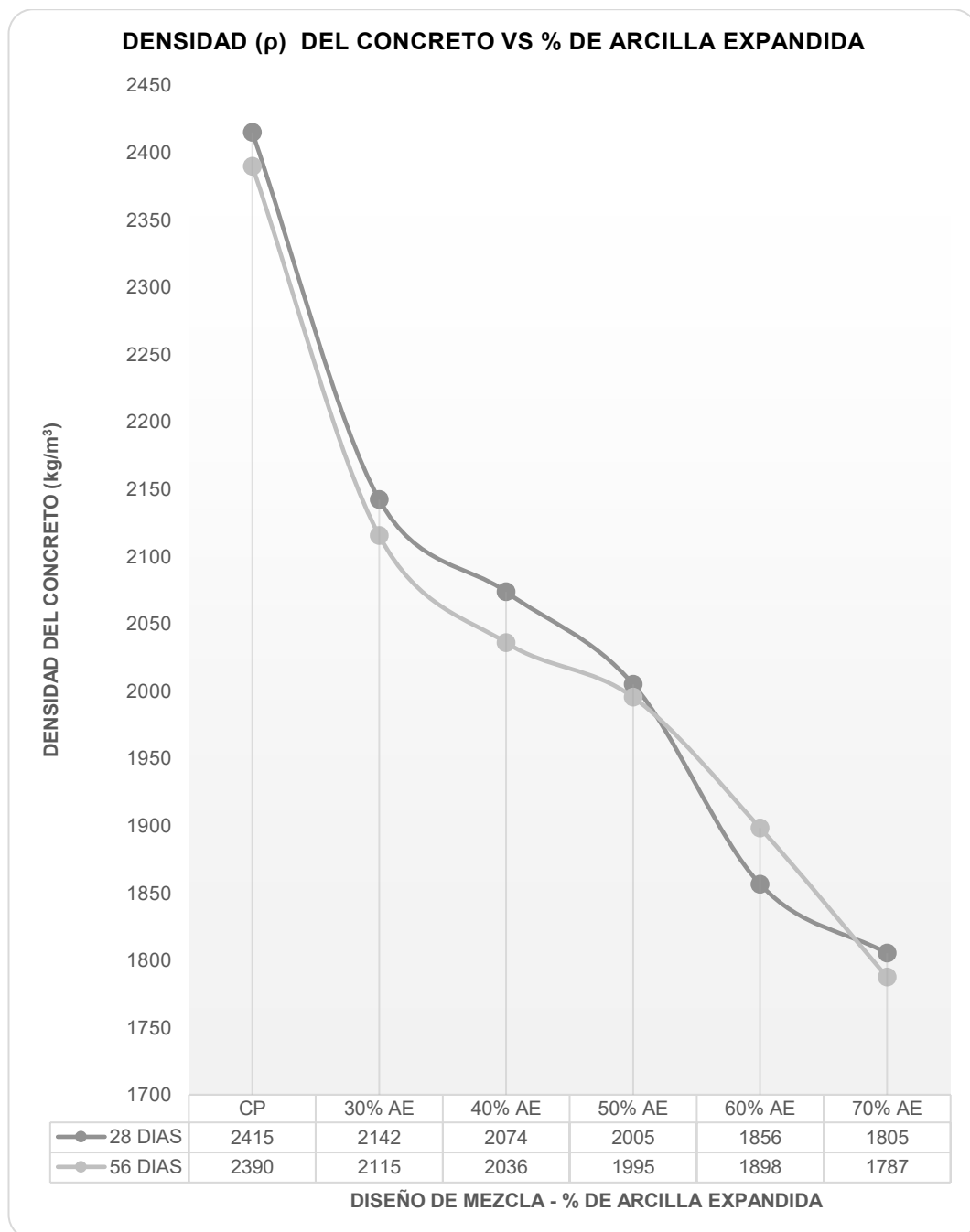
Densidad (ρ) vs. Edad de Ensayo – 1.



De igual manera, en la Figura 47 se puede observar los distintos valores alcanzados al momento de realizar el cálculo de densidad para las distintas probetas de concreto designadas para el ensayo de tracción indirecta clasificadas según su diseño; tanto para el concreto patrón como los concretos con distintos porcentajes de arcilla expandida.

Figura 47

Densidad (ρ) vs. % de reemplazo de AE.



Además, que estos valores en ambos casos fueron medidos a distintas edades para analizar su evolución. Evolución que puede ser apreciada porcentualmente en las Tablas 82 (probetas designadas al ensayo de compresión) y 83 (probetas designadas al ensayo de tracción indirecta).

Los porcentajes reflejan la disminución del peso del concreto para los distintos porcentajes de reemplazo respecto al concreto patrón, casos puntuales en el reemplazo del 70% de arcilla expandida se llega a un 76.78% en promedio respecto al concreto sin arcilla expandida; representa un descenso de 560 kg/m³.

Tabla 82

Variación de la densidad (ρ) – 1.

ENSAYO: DENSIDAD DEL CONCRETO					
DISEÑO	ρ : Densidad del concreto (kg/cm ³)				
	07 días	14 días	28 días	56 días	Promedio
CP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
30% AE	89.66%	90.39%	89.86%	89.98%	89.97%
40% AE	87.67%	87.37%	85.34%	84.56%	86.24%
50% AE	84.25%	84.44%	83.60%	83.63%	83.98%
60% AE	80.30%	79.94%	80.91%	79.65%	80.20%
70% AE	76.33%	79.27%	76.64%	74.88%	76.78%

Igualmente, para las probetas destinadas al ensayo de tracción se alcanzó un 74.77% respecto al peso del concreto patrón que significó una disminución de 606 kg/m³.

Tabla 83

Variación de la densidad (ρ) – 2.

ENSAYO: DENSIDAD DEL CONCRETO			
DISEÑO	ρ : Densidad del concreto (kg/cm ³)		
	28 días	56 días	Promedio
CP	100.00%	100.00%	100.00%
30% AE	88.70%	88.52%	88.61%
40% AE	85.87%	85.19%	85.53%
50% AE	83.02%	83.50%	83.26%
60% AE	76.87%	79.43%	78.15%
70% AE	74.75%	74.80%	74.77%

En las figuras 48 y 49 se pueden observar la comparación de las densidades de concreto para las distintas proporciones de reemplazo (50, 60 y

70%) como también las densidades de concreto cuando se realizó la reducción de agua para los porcentajes de 50, 60 y 70% de reemplazo, y cuando se hizo uso de aditivos superplastificantes para los porcentajes de reemplazo de 60 y 70% de arcilla expandida. Estos cálculos de densidad al concreto endurecido se desarrollaron a distintas edades.

Figura 48

Densidad (ρ) vs. Edad de Ensayo – 2.

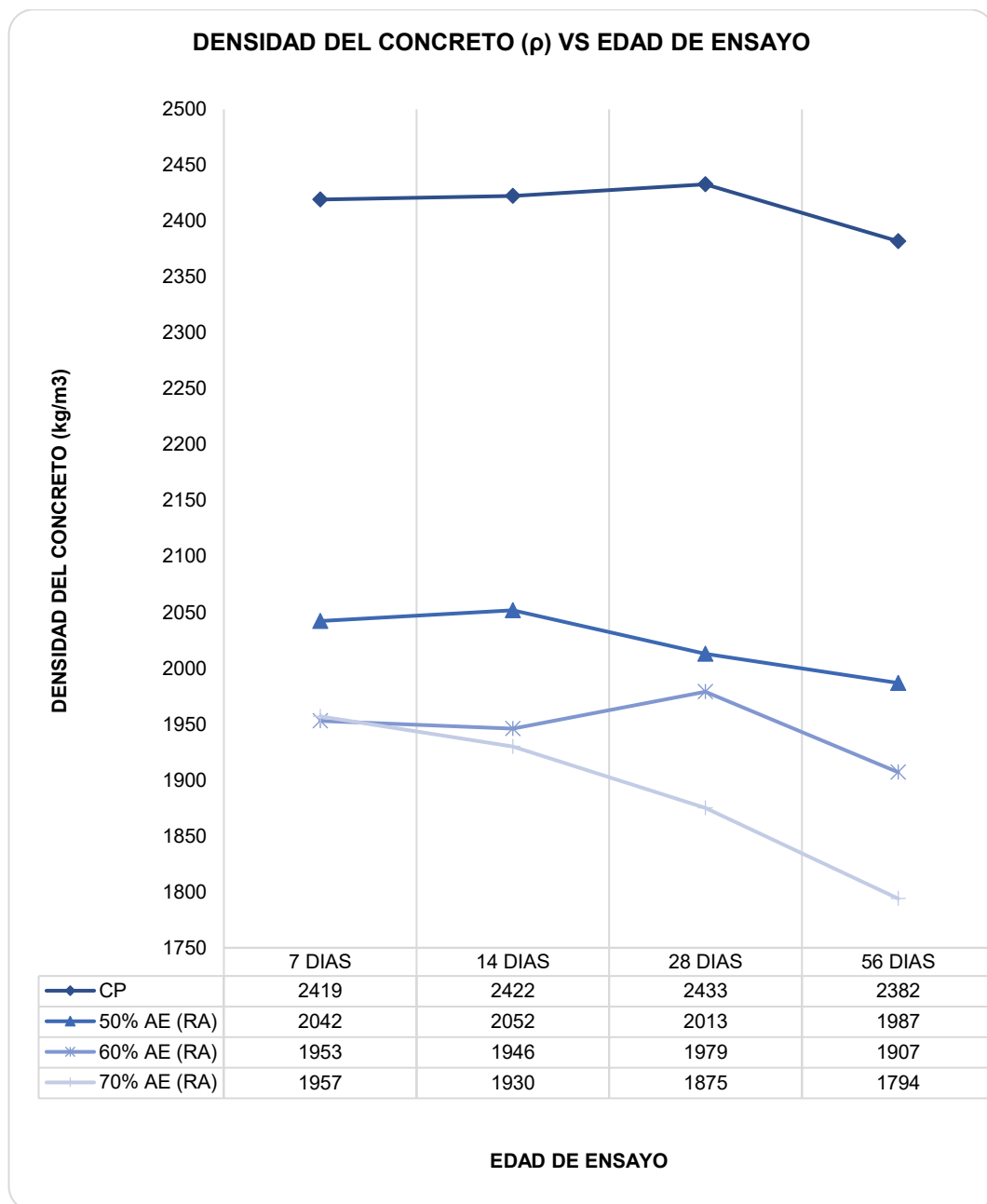
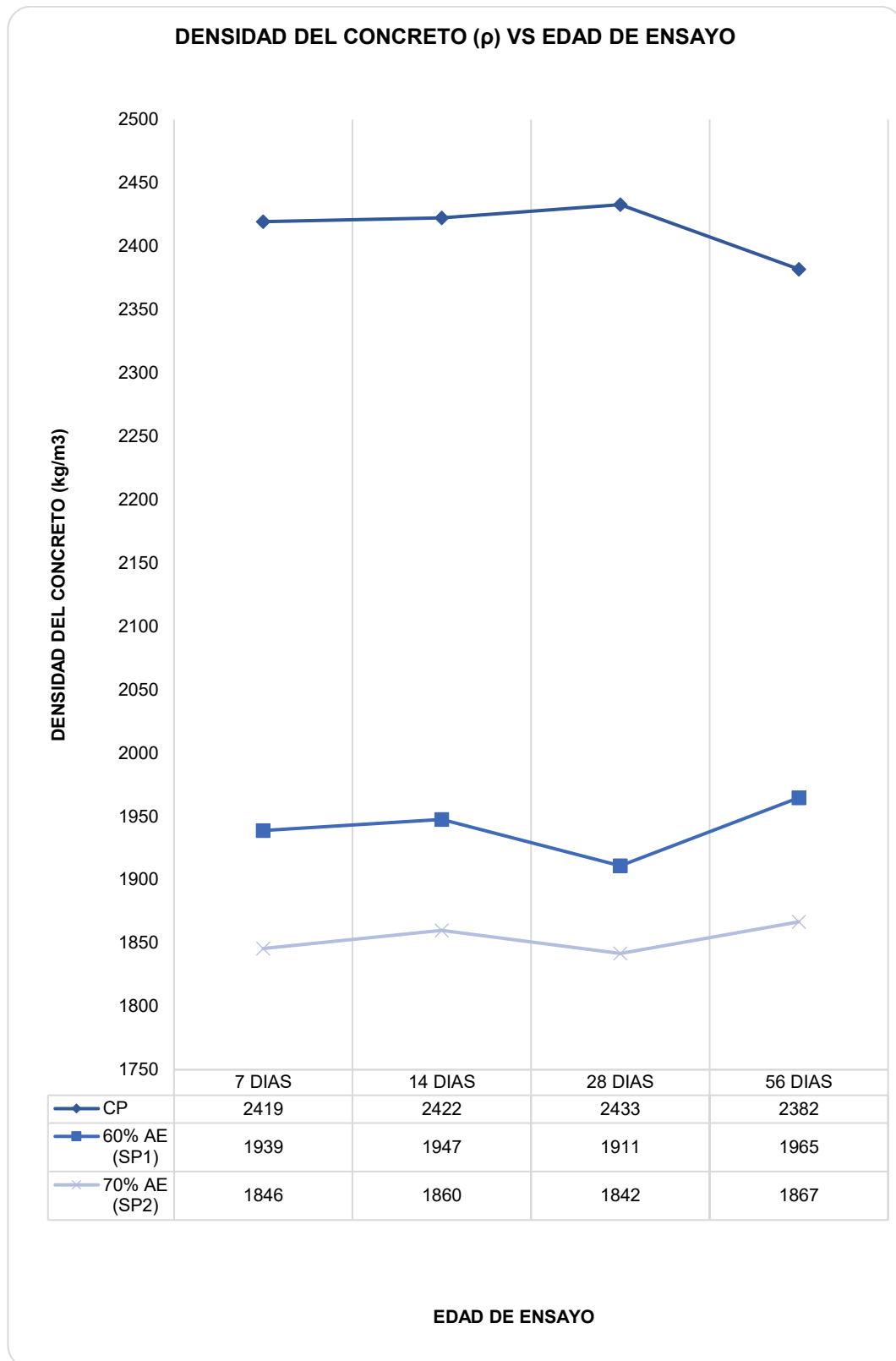


Figura 49

Densidad (ρ) vs. Edad de Ensayo – 3.



También para un mejor análisis en las tablas 84, 85 y 86 se expresan estas densidades porcentualmente y además de ello el cálculo del promedio.

Tabla 84

Variación de la densidad (ρ) – 50% AE

ENSAYO: DENSIDAD DEL CONCRETO					
DISEÑO	ρ : Densidad del concreto (kg/cm ³)				
	07 días	14 días	28 días	56 días	Promedio
CP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
50% AE	84.25%	84.44%	83.60%	83.63%	83.98%
50% AE (RA)	84.41%	84.71%	82.74%	83.41%	83.82%

Tabla 85

Variación de la densidad (ρ) – 60% AE

ENSAYO: DENSIDAD DEL CONCRETO					
DISEÑO	ρ : Densidad del concreto (kg/cm ³)				
	07 días	14 días	28 días	56 días	Promedio
CP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
60% AE	80.30%	79.94%	80.91%	79.65%	80.20%
60% (RA)	80.72%	80.33%	81.34%	80.06%	80.62%
60% AE (SP1)	80.14%	80.39%	78.55%	82.48%	80.39%

Tabla 86

Variación de la densidad (ρ) – 70% AE

ENSAYO: DENSIDAD DEL CONCRETO					
DISEÑO	ρ : Densidad del concreto (kg/cm ³)				
	07 días	14 días	28 días	56 días	Promedio
CP	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
70% AE	76.33%	79.27%	76.64%	74.88%	76.78%
70% (RA)	80.89%	79.67%	77.07%	75.32%	78.24%
70% AE (SP2)	76.29%	76.78%	75.70%	78.37%	76.78%

Aparte de este análisis también se cuenta con las variaciones de la densidad seca y densidad de equilibrio plasmadas en las tablas 87 y 88. Y como se mencionó estos son los parámetros, específicamente la densidad de equilibrio que sirve para determinar si el concreto a analizar se puede considerar ligero de acuerdo con la definición hecha en la norma E.060. Donde nos indican que la densidad de equilibrio debe ser menor a 1850 kg/m³.

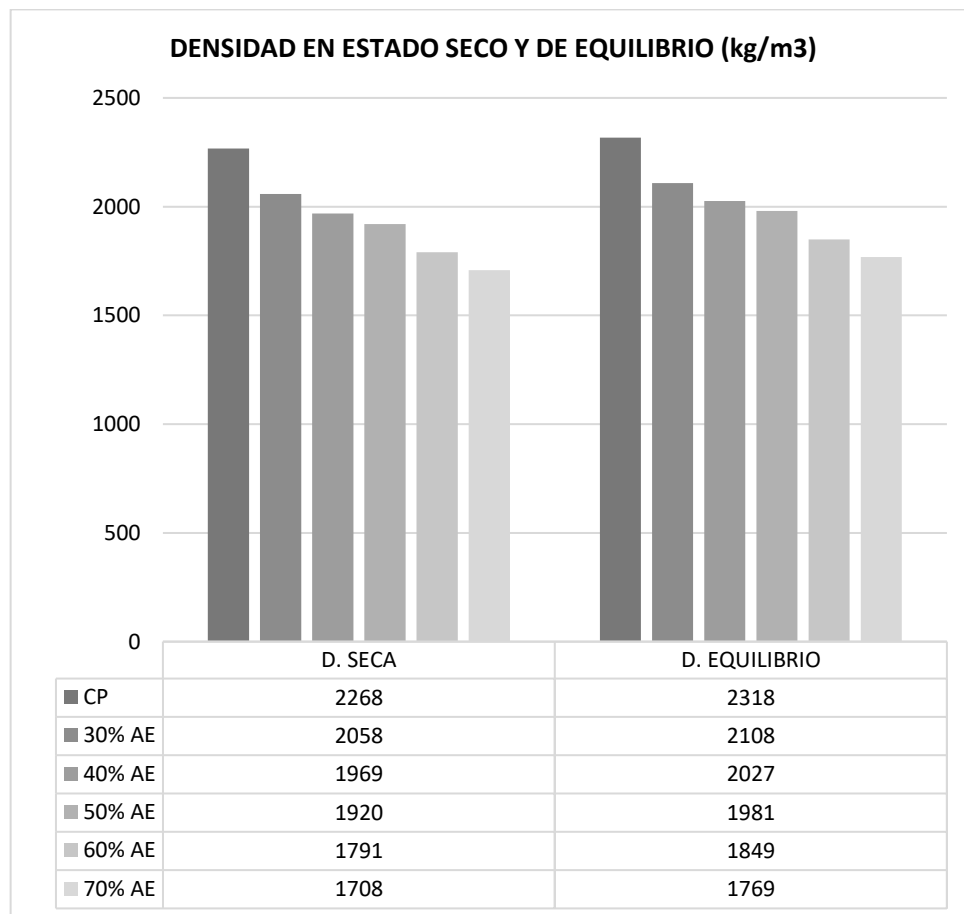
Tabla 87

Variación de la densidad seca y de equilibrio – 1.

DISEÑO	DENSIDAD (g/cm ³)	
	SECA	EQUILIBRIO
CP	100.00%	100.00%
30% AE	90.77%	90.95%
40% AE	86.84%	87.43%
50% AE	84.69%	85.45%
60% AE	78.98%	79.78%
70% AE	75.34%	76.31%

Figura 50

Densidad Seca y de Equilibrio del Concreto – 1.



Como se podrá observar en la Figura 50 cumple esta condición el concreto con 70% de reemplazo de la arcilla expandida por el agregado grueso, se obtuvo un valor de 1769 kg/m³.

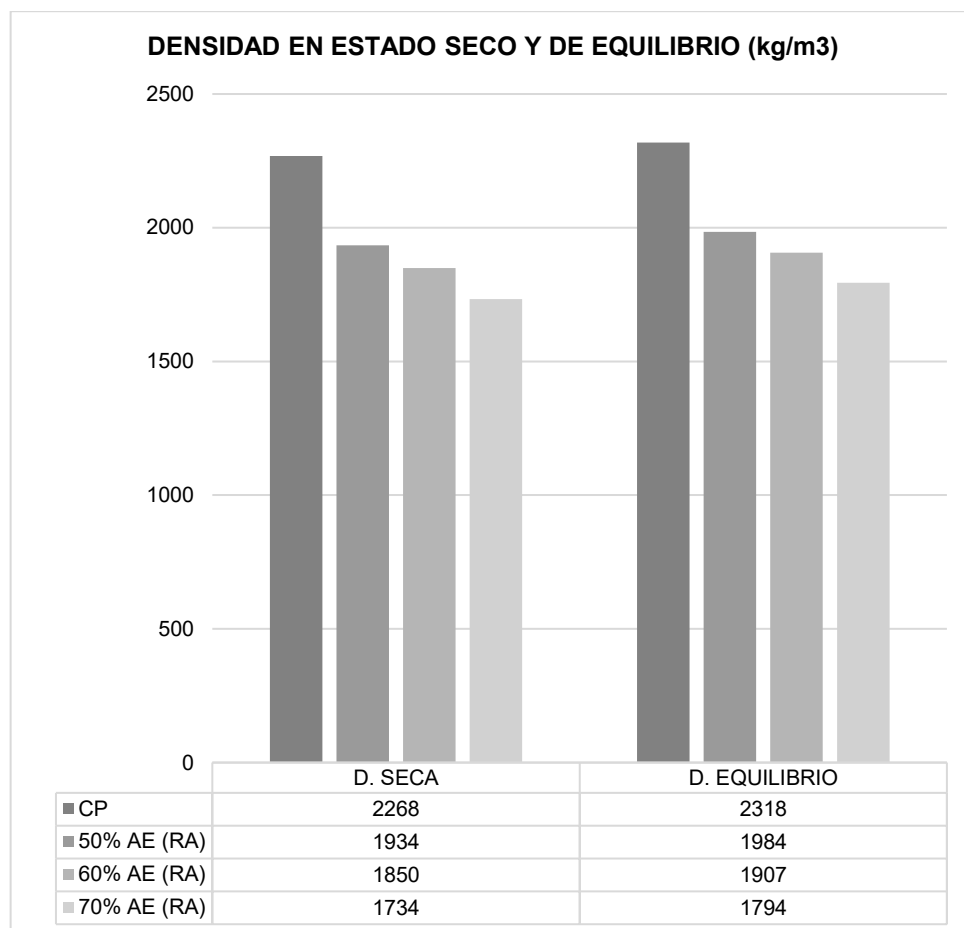
Tabla 88

Variación de la densidad seca y de equilibrio – 2.

DISEÑO	DENSIDAD (g/cm ³)	
	SECA	EQUILIBRIO
CP	100.00%	100.00%
50% AE (RA)	85.30%	85.60%
60% AE (RA)	81.56%	82.27%
70% AE (RA)	76.45%	77.39%
60% AE (SP1)	82.63%	83.35%
70% AE (SP2)	78.55%	79.45%

Figura 51

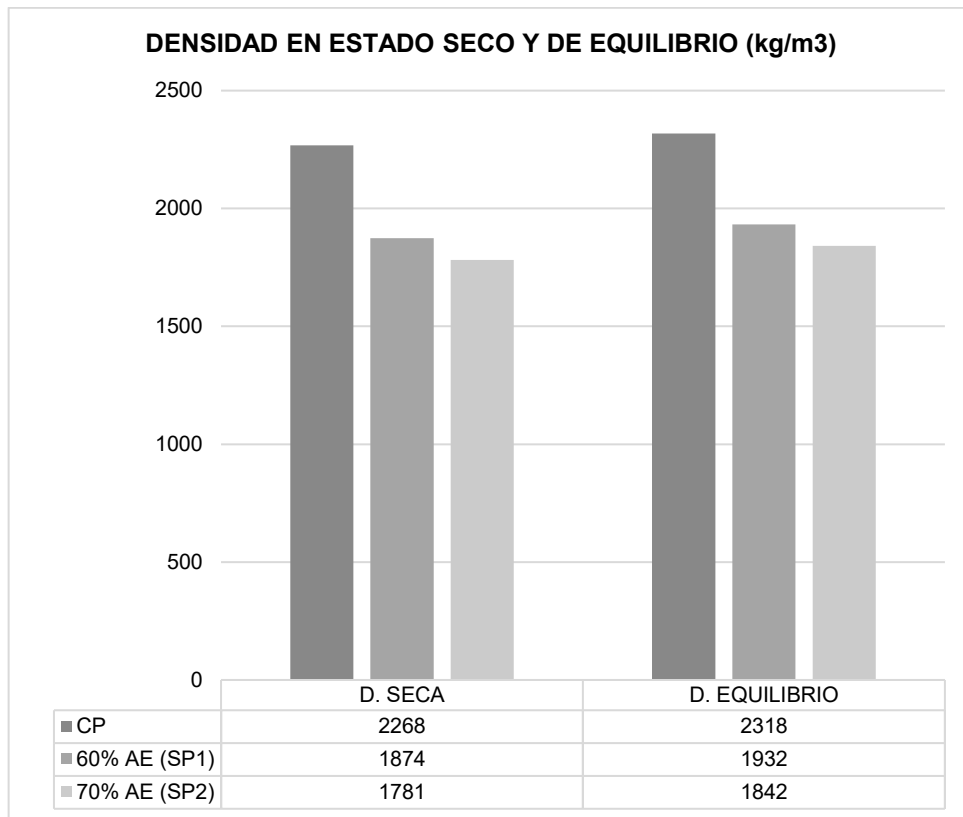
Densidad Seca y de Equilibrio del Concreto – 2.



Como se podrá observar en la Figura 51 cumple esta condición el concreto con 70% de reemplazo de la arcilla expandida por el agregado grueso, se obtuvo un valor de 1794 kg/m³.

Figura 52

Densidad Seca y de Equilibrio del Concreto – 3.



Como se podrá observar en la Figura 52 cumple esta condición el concreto con 70% de reemplazo de la arcilla expandida por el agregado grueso, se obtuvo un valor de 1842 kg/m³.

6.4.3. Resistencia a la Tracción Indirecta del Concreto.

En la Figura 53 presente a continuación se puede apreciar la variación de la resistencia a la tracción indirecta a lo largo del tiempo de estudio (edades de ensayo) para los distintos casos de reemplazo de la arcilla expandida por el agregado grueso.

La resistencia a la tracción del concreto ligero puede ser entre el 70% y el 100% de la resistencia a la tracción del concreto de densidad normal, cuando ambos tienen la misma resistencia a la compresión. En otras palabras, si el concreto ligero tiene una resistencia a la compresión igual a la del concreto normal, su resistencia a la tracción, basada en estimaciones teóricas, podría ser tan baja como el 70% o tan alta como el 100% de la resistencia a la tracción del concreto de densidad normal (Mantallana, 2019).

Figura 53

Resistencia a la Tracción Indirecta (f't) vs. Edad de Ensayo.

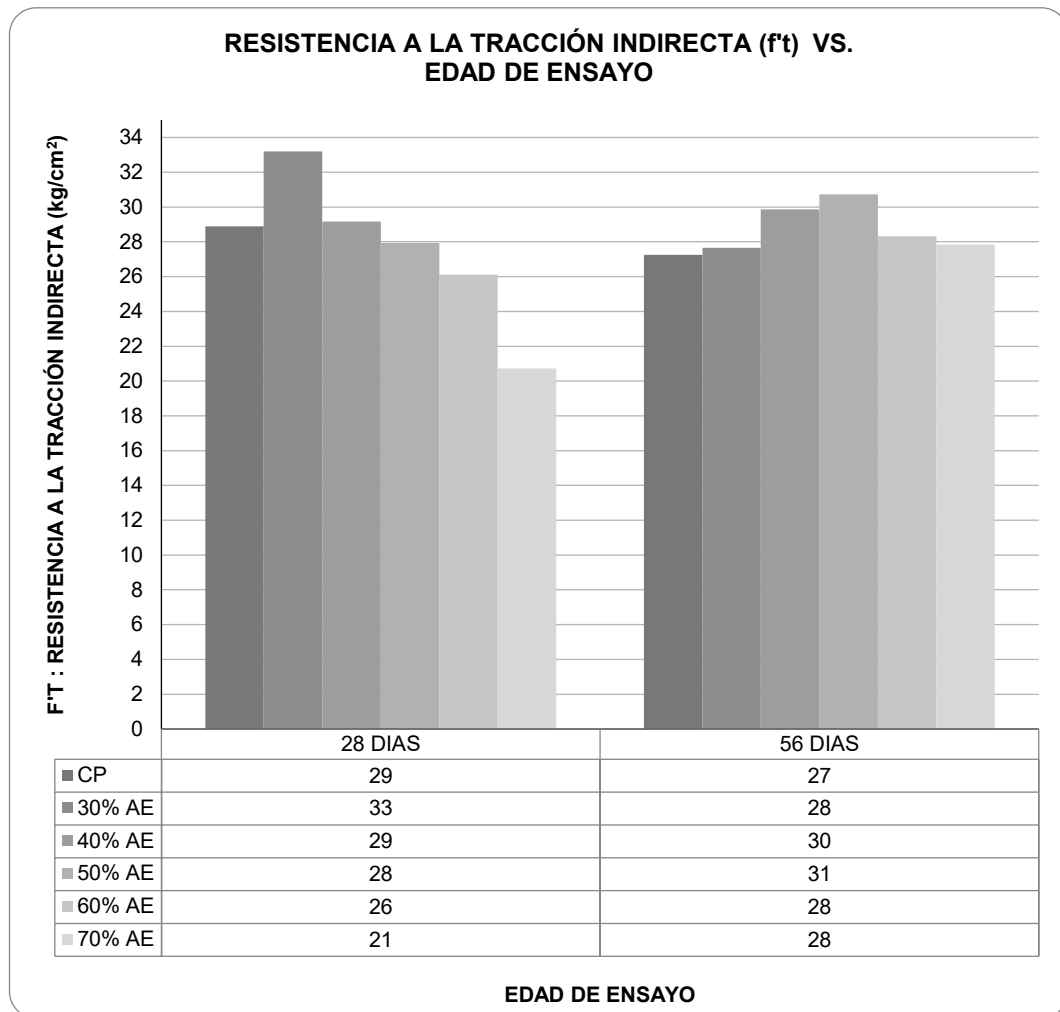


Tabla 89

Variación de la resistencia a la tracción indirecta (f't) – 1.

ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO		
DISEÑO	T: Tracción indirecta del concreto (kg/cm ²)	
	28 días	56 días
CP	100.00%	100.00%
30% AE	114.91%	101.47%
40% AE	100.96%	109.57%
50% AE	96.70%	112.71%
60% AE	90.37%	103.87%
70% AE	71.69%	102.15%

Como se puede apreciar los resultados de la Tabla 89 las resistencias a tracción indirecta cumplen con el rango de porcentajes descrito a pesar de que las

resistencias a la compresión de los concretos con arcilla expandida sean menores en comparación del concreto patrón. Donde más influyó la incorporación de la arcilla expandida en el concreto fue en el reemplazo del 70% cuando se evaluó a los 28 días, también para los porcentajes de reemplazo de 50 y 60% pero en menor medida. A diferencia de las muestras ensayadas a los 56 días que incluso superaron el 100% dando entender que la influencia de la arcilla no es tan notable como en la resistencia a la compresión.

También, la resistencia a la tracción del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de la resistencia a compresión y se estima normalmente como 1.3 a 2.2 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetro cúbico (Kosmatka et al., 2004).

Lo mencionado lo podemos corroborar en la Tabla 90, aquí se muestra que las resistencias a tracción del concreto analizadas individualmente (28 y 56 días) y de manera grupal (promedio) se encuentran dentro del rango estimado mediante la fórmula planteada. Esto se aprecia también en la Figura 54. De igual manera la relación f_t/f_c están dentro y superan el rango porcentual descrito de 8-12%.

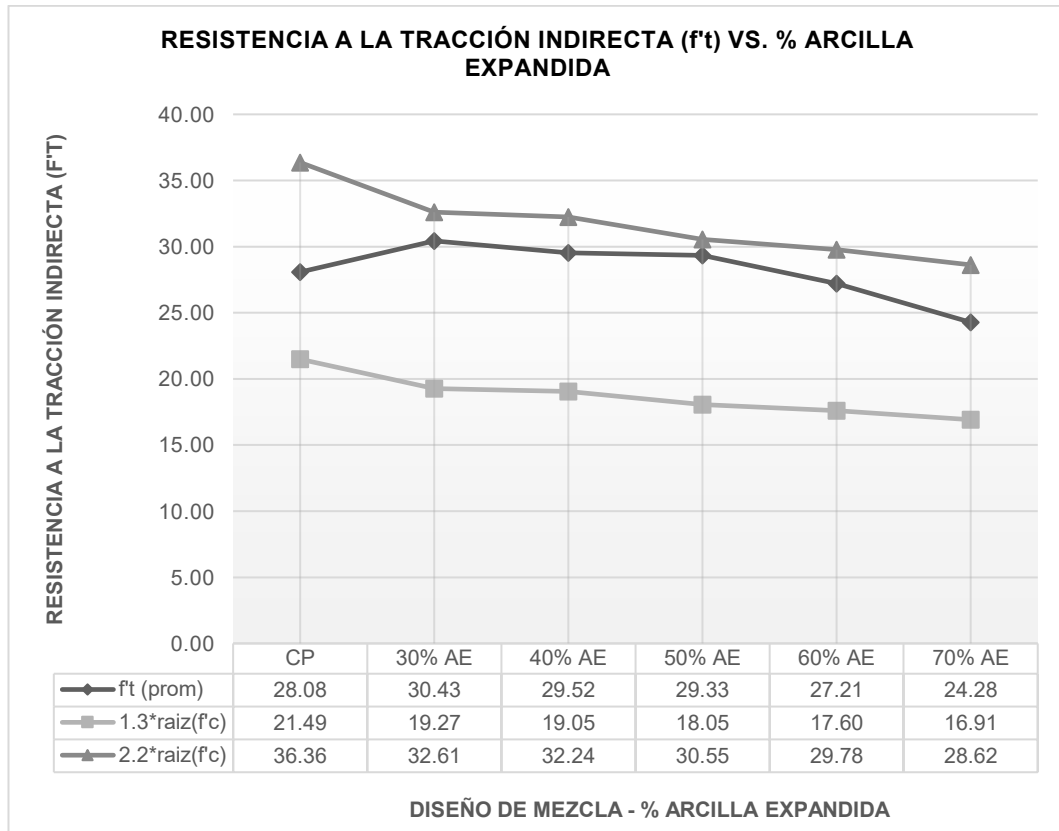
Tabla 90

Variación de la resistencia a la tracción indirecta (f_t) – 2.

ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO								
DISEÑO	T: Tracción indirecta (kg/cm ²)						[1.3 - 2.2 ($\sqrt{f_c}$)]	
	28 días		56 días		Promedio			
	f_t	f_t/f_c	f_t	f_t/f_c	f_t	f_t/f_c		
CP	29	10.58%	27	7.91%	28.08	9.24%	21.49	36.36
30% AE	33	15.11%	28	11.56%	30.43	13.34%	19.27	32.61
40% AE	29	13.58%	30	13.20%	29.52	13.39%	19.05	32.24
50% AE	28	14.49%	31	14.70%	29.33	14.60%	18.05	30.55
60% AE	26	14.25%	28	13.80%	27.21	14.03%	17.60	29.78
70% AE	21	12.24%	28	15.73%	24.28	13.99%	16.91	28.62

Figura 54

Resistencia a la T. Indirecta (f't) vs. % de reemplazo de AE.



La resistencia a tracción depende más del mortero (pasta) que del agregado:

- En el concreto, la resistencia a tracción está más relacionada con la calidad de la matriz cementante y la zona de transición interfacial (ITZ) que con la resistencia del agregado.
- En compresión, el agregado participa activamente en resistir la carga, por lo que sí es débil (como la arcilla expandida), la resistencia total baja considerablemente.
- Los agregados están inmersos en la pasta, no forman una red continua que pueda "tirar" del concreto. Por eso, no pueden resistir directamente la tracción, como sí lo hacen en compresión, donde se apoyan unos contra otros.
- Como la interfaz puede mantenerse razonablemente fuerte (especialmente si la arcilla expandida tiene buena adherencia), la pérdida de resistencia es menos pronunciada.

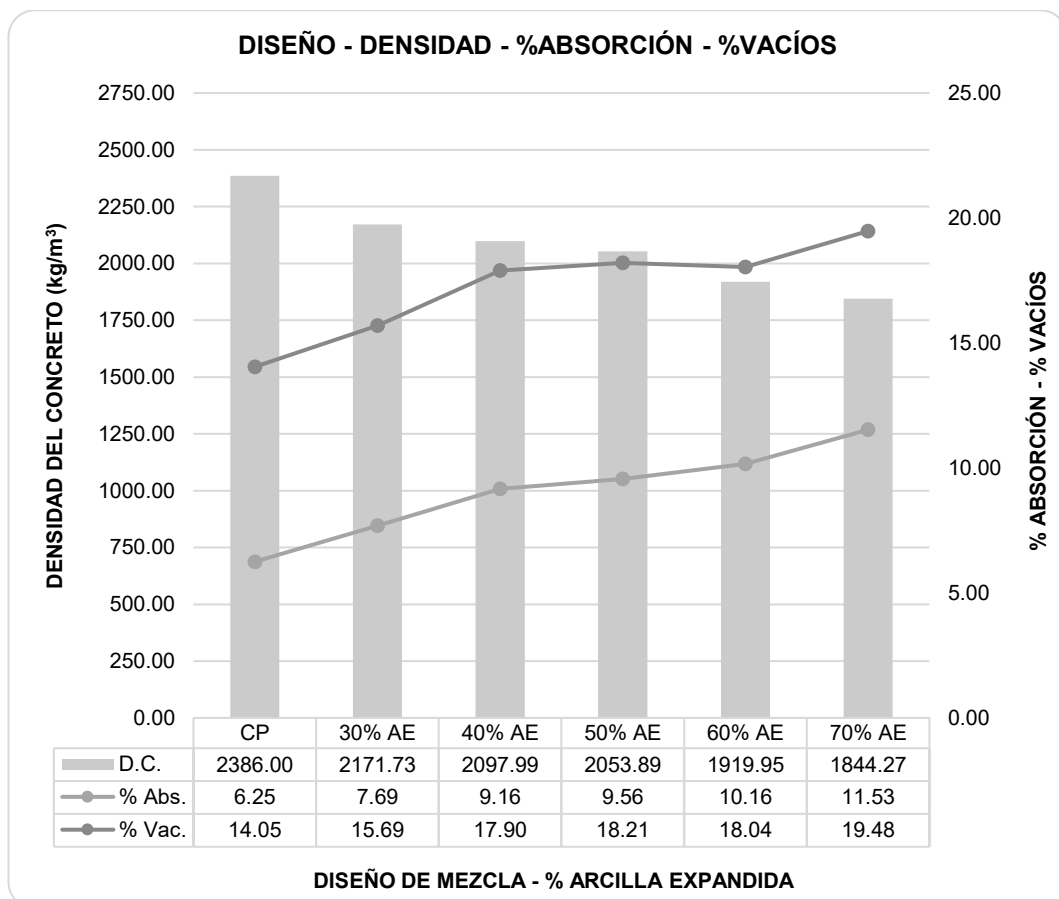
6.4.4. Densidad, absorción y % de vacíos del Concreto.

En la Figura 55 se puede observar los distintos valores alcanzados al momento de realizar el cálculo de la densidad, absorción y porcentaje de vacíos para las distintas muestras de concreto clasificadas según su diseño; tanto para el concreto patrón como los concretos con distintos porcentajes de arcilla expandida.

De la figura presentada podemos observar que la densidad sigue una progresión decreciente a medida se incrementa el porcentaje de reemplazo de arcilla expandida desde 2386.00 kg/m³ (100%) hasta un valor de 1844.27 kg/m³ (77.30%). Esto significa una reducción del 22.70% del peso del concreto (541.62 kg/m³).

Figura 55

Densidad, Absorción y vacíos vs. % de reemplazo de AE.



Las curvas obtenidas describen una relación directa (incremento) entre los valores de porcentajes de absorción – vacíos y el porcentaje de reemplazo de

arcilla expandida por el agregado grueso convencional (piedra). Este aumento cuantificado puede ser observado en la Tabla 91 en porcentajes tomando como el valor del 100% del porcentaje de absorción y de vacíos del concreto patrón que fueron de 6.25% y 14.05% respectivamente.

Tabla 91

Variación de la densidad, absorción y vacíos.

ENSAYO: DENSIDAD, ABSORCIÓN Y VACÍOS DEL CONCRETO ENDURECIDO			
DISEÑO	Densidad	Absorción	Vacíos
CP	100.00%	100.00%	100.00%
30% AE	91.02%	123.12%	111.72%
40% AE	87.93%	146.54%	127.42%
50% AE	86.08%	152.92%	129.62%
60% AE	80.47%	162.55%	128.39%
70% AE	77.30%	184.49%	138.66%

El aumento de la absorción del concreto se explica debido a la estructura porosa de la arcilla expandida, esta facilita la absorción de agua a través de la capilaridad (capacidad de un líquido para moverse a través de espacios estrechos o porosos sin la ayuda de fuerzas externas). Los poros y celdas internas actúan como reservorios de agua, permitiendo que el concreto con arcilla expandida tenga una mayor capacidad de absorción en comparación con el concreto convencional, que utiliza agregados densos y menos porosos.

En el caso de aumento del porcentaje de vacíos también se pueden explicar debido al uso de la arcilla expandida; al incorporarla en el concreto, cada partícula ya contiene vacíos internos que se suman a los vacíos entre las partículas en la mezcla de concreto.

Resumen de los resultados alcanzados:

Tabla 92

Resumen de Resultados – 1.

DISEÑO	Slump		E _m		f _c (28 días)		E _m < 1850 kg/m ³	f _c > 17 MPa	CLE (E.060)
	in	kg/m ³	%	kg/cm ²	MPa	%			
CP	3.50	2318	100%	273	26.8	100%	NO	SI	NO
30% AE	5.50	2108	91%	220	21.6	80%	NO	SI	NO
40% AE	5.50	2027	87%	215	21.1	79%	NO	SI	NO
50% AE	6.00	1981	85%	193	18.9	71%	NO	SI	NO
60% AE	7.00	1849	80%	183	18.0	67%	SI	SI	SI
70% AE	7.25	1769	76%	169	16.6	62%	SI	NO	NO

*Em: Densidad de equilibrio
f_c: Resistencia a la compresión
CLE: Concreto Ligero Estructural*

Tabla 93

Resumen de Resultados – 2.

DISEÑO	Slump		E _m		f _c (28 días)		E _m < 1850 kg/m ³	f _c > 17 MPa	CLE (E.060)
	in	kg/m ³	%	kg/cm ²	MPa	%			
CP	3.50	2318	100%	273	26.8	100%	NO	SI	NO
50% AE (RA)	3.00	1984	86%	210	20.6	77%	NO	SI	NO
60% AE (RA)	3.50	1907	82%	197	19.3	72%	NO	SI	NO
70% AE (RA)	3.50	1794	77%	182	17.8	67%	SI	SI	SI
60% AE (SP1)	4.00	1932	83%	215	21.1	79%	NO	SI	NO
70% AE (SP2)	4.00	1842	79%	228	22.4	84%	SI	SI	SI

*Em: Densidad de equilibrio
f_c: Resistencia a la compresión
CLE: Concreto Ligero Estructural*

Capítulo VII. Contrastación de hipótesis

La hipótesis general fue la siguiente:

“La influencia de la arcilla expandida como agregado grueso resultará óptima en las propiedades físicas y mecánicas para obtener de un concreto ligero estructural.”

Se comprueba la hipótesis general, ya que con un 70% de reemplazo de agregado grueso por arcilla expandida se obtuvieron concretos con densidades menores a 1850 kg/m³ y resistencias superiores a 17 MPa, cumpliendo con la clasificación de concreto ligero estructural según la Norma E.060. Se valida que la arcilla expandida puede emplearse como agregado grueso en este tipo de concretos siempre que se realicen los ajustes de dosificación pertinentes.

La hipótesis específica 01 fue la siguiente:

“La influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en reemplazos porcentuales de 30, 40, 50, 60 y 70% resultará óptima para minimizar la densidad del concreto.”

Se confirma la hipótesis, ya que la incorporación progresiva de arcilla expandida redujo la densidad de equilibrio en todos los porcentajes evaluados, El efecto fue escalonado, estos resultados concuerdan con la teoría que señala que los agregados ligeros, debido a su menor peso unitario y elevada porosidad, inciden directamente en la reducción de la densidad global del concreto.

La hipótesis específica 02 fue la siguiente:

“La influencia de la arcilla expandida como agregado grueso en reemplazos porcentuales de 30, 40, 50, 60, y 70% resultará óptima para maximizar la resistencia a la compresión del concreto.”

Esta hipótesis no se cumple de manera literal, pues la resistencia a compresión disminuyó conforme se incrementó el porcentaje de reemplazo. Sin embargo, mediante el prehumedecimiento de la arcilla expandida, el ajuste de la relación agua/cemento y el uso de aditivos superplastificantes, fue posible optimizar los valores alcanzados, logrando que el concreto con 70% de reemplazo desarrollara una resistencia para clasificarse como concreto ligero estructural.

Conclusiones

Los resultados de los ensayos evidencian que el uso de arcilla expandida como agregado grueso reduce de manera consistente la densidad del concreto en todas las condiciones evaluadas. Hasta un 25% en promedio con reemplazos del 70% (una densidad de equilibrio menor a 1850 kg/m^3).

La resistencia a la compresión disminuye al incrementar el porcentaje de reemplazo; sin embargo, con un 70% de arcilla expandida, el prehumedecimiento del agregado ligero, el ajuste de la relación agua/cemento y el uso del aditivo plastificante, se logró incrementar la resistencia a la compresión de la mezcla a 228 kg/cm^2 (22.4 MPa).

La incorporación de arcilla expandida en el agregado grueso incrementó significativamente la trabajabilidad del concreto, con aumentos del asentamiento entre 57% y 107% respecto al patrón.

La incorporación de arcilla expandida no evidenció influencia significativa sobre la temperatura del concreto fresco. Las variaciones registradas en relación con la temperatura ambiental fueron mínimas.

Los resultados de los ensayos evidencian que el uso de arcilla expandida como agregado grueso reduce de manera consistente el peso unitario del concreto en estado fresco en todas sus condiciones evaluadas. Hasta un 21% en promedio con reemplazos del 70%.

La incorporación de la arcilla expandida no evidenció influencia significativa sobre la resistencia a la tracción indirecta a edades mayores de los 28 días; solo 2% por encima para reemplazos del 70%

Finalmente, la incorporación de arcilla expandida incrementó de manera consistente la absorción y el porcentaje de vacíos del concreto en todas las condiciones evaluadas, alcanzando hasta un 85% en absorción y un 39% en vacíos con un 70% de reemplazo.

Recomendaciones

- Evaluar distintos diseños de mezcla de concreto con arcilla expandida variando tanto su procedencia (cantera) como el tamaño y forma de este agregado ligero, de aquí se desprenden más variables; el peso específico y el contenido de humedad (%).
- Extrapolando esta idea, se pueden establecer ramas de investigación enfocado a los agregados ligeros en reemplazo tanto del agregado grueso, así como el agregado ligero.
- Al desarrollarse un concreto partiendo de una resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 210 kg/cm² y asentamientos (slump) de 3 – 4", la recomendación incide en desarrollar diseños de mezcla de concreto con arcilla expandida variando tanto su resistencia a la compresión ($f'c = 245, 280, 315$ kg/cm²) o la relación a/c, así como los asentamientos (slump).
- Relacionado a lo anterior otras relaciones con el concreto con agregados ligeros (arcilla expandida) son el uso de aditivos, en la actual investigación solo se estudió mínimamente.
- Otro detalle es el estudio de otras propiedades del concreto tanto fresco como endurecido y determinar la influencia del agregado ligero (arcilla expandida) en estas. Entre estas tenemos el tiempo de fraguado, exudación, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, permeabilidad del concreto etc.
- Otra propiedad importante para analizar es conductividad térmica del concreto específicamente haciendo uso de la arcilla expandida. Se parte de la idea que la arcilla expandida al fabricarse mediante la expansión térmica de la arcilla natural, lo que crea una estructura porosa y ligera con pequeñas celdas de aire atrapado en su interior. El aire es un buen aislante térmico, y la presencia de estas celdas de aire en el agregado de arcilla expandida reduce la conductividad térmica del concreto. Esto significa que el concreto con arcilla expandida puede tener la capacidad limitada para transferir calor, lo que lo podría convertir en un excelente material para el aislamiento térmico.
- Otra característica del concreto a evaluar sería la durabilidad; evaluarlo ante agentes corrosivos como cloruros o sulfatos, su resistencia a ciclos de congelación y deshielo.

Referencias bibliográficas

- Abanto, F. (2018). Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas). Editorial San Marcos E I R LTDA
- ACI 211.1. (2002). Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete-Guide. American Concrete Institute.
- ACI 213R. (2003). Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete. American Concrete Institute.
- Alva, J. (2010). Diseño de Cimentaciones. Fondo Editorial ICG. <http://www.jorgealvahurtado.com/files/DisenoCimentacionesAlva.pdf>
- ASTM C33. (2023). Standard Specification for Concrete Aggregates. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C330. (2023). Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C39. (2021). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C511. (2021). Standard Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C567. (2019). Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete. American Society for Testing and Materials.
- ASTM C642. (2021). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. American Society for Testing and Materials.
- Ayasca, C. y Quispe, J. (2022). Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud [Tesis de titulación, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/5931>
- Castrejón, A. y Romero, A. (2023). Determinación de la resistencia a compresión y peso volumétrico del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ al remplazar el agregado grueso por arcilla expandida en 5%, 10% y 20% [Tesis de titulación,

Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/37062>

Castro, M. (2023). Variación del Peso Volumétrico y la Resistencia a la Compresión de un Concreto $f'c=210$ Kg/cm² al reemplazar parte del Agregado Grueso por Arcilla Expandida en diferentes porcentajes [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/6042>

CENEPRED. (2017). Escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao. CENEPRED. <https://dimse.cenepred.gob.pe/er/sismos/ESCENARIO-SISMO-TSUNAMI-LIMA-CALLAO.pdf>

Chen, H.-J. y Wu, C.-H. (2018). Influence of aggregate gradation on the engineering properties of lightweight aggregate concrete. *Applied Sciences*, 8(8), 1324. <https://doi.org/10.3390/app8081324>

CISMID. (2013). Resultados del proyecto Japón - Perú - SATREPS "Fortalecimiento de Tecnología para Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú. CISMID. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/768>

Díaz, S. (2017). Determinación de la resistencia a compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida (arlita) en sustitución parcial del agregado grueso [Tesis de titulación, Universidad Técnico de Ambato]. Repositorio Institucional UTA <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25262>

Domagała, L. (2015). The effect of lightweight aggregate water absorption on the reduction of water-cement ratio in fresh concrete. *Procedia Engineering*, 108, 206–213. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.129>

Garala, T. (2017). The Millennium Tower, Leaning Tower of San Francisco. *Indian Geotechnical Society (IGS) News*, 48(4), 1 - 3. [10.13140/RG.2.2.10342.63043](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10342.63043)

García, C., López, D., y Rodríguez, M. (2019). Mechanical properties of lightweight concrete with expanded clay aggregates. *Construction and Building Materials*, 210, 87-95.

- Johnson, R., & Smith, L. (2020). Dimensional stability of lightweight concrete with expanded clay aggregates. *Construction Science Journal*, 15(2), 45-57.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association.
- López, C. (2016). *Estructuras para edificios en altura: clasificación, características y fichas* [Tesis de titulación, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio Institucional UPV <https://riunet.upv.es/handle/10251/73833>
- Mantallana, R. (2019). *EL CONCRETO. Fundamentos y nuevas tecnologías*. Corona Industrial / Constructora ConConcreto.
- Metha, K. y Monteiro, P. (1998). *CONCRETO. Estructura, Propiedades y Materiales*. o. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (IMCYC)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma Técnica E.060 Concreto Armado*. Lima, Perú. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales>
- NTP 339.034. (2021). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo*. 5ª Edición. INACAL
- NTP 339.035. (2022). *CONCRETO. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo*. 5ª Edición. INACAL
- NTP 339.036. (2017). *CONCRETO. Práctica para muestreo de mezclas de concreto fresco*. 4ª Edición. INACAL
- NTP 339.084. (2022). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción indirecta del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. 4ª Edición. INACAL
- NTP 339.088. (2024). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico. Requisitos*. 5ª Edición. INACAL
- NTP 339.114. (2022). *CONCRETO. Concreto premezclado. Requisitos*. 5ª Edición. INACAL

- NTP 339.184. (2021). AGREGADOS. CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo. 3ª Edición
- NTP 339.185. (2021). AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo. 3ª Edición. INACAL
- NTP 400.011. (2020). AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos. 3ª Edición. INACAL
- NTP 400.012. (2021). AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo. 4ª Edición. INACAL
- NTP 400.015. (2020). AGREGADOS. Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados. 4ª Edición. INACAL
- NTP 400.016. (2020). AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. 4ª Edición. INACAL
- NTP 400.017. (2020). AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados. 4ª Edición. INACAL
- NTP 400.018. (2020). AGREGADOS. Determinación de materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 µm (No. 200) por lavado en agregados. Método de ensayo. 4ª Edición. INACAL
- NTP 400.019. (2020). AGREGADOS. Determinación de la resistencia al desgaste en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles. Método de ensayo. 4ª Edición. INACAL
- NTP 400.021. (2020). AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo. 4ª Edición. INACAL
- NTP 400.022. (2021). AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo. 4ª Edición. INACAL

- NTP 400.024. (2020). AGREGADOS. Método de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto. 4ª Edición. INACAL
- NTP 400.037. (2021). AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones. 5ª Edición. INACAL
- Obregón, C., De la Torre, R., Malaver, A., Martínez, M., Matías, J., Rodas, F., Silvera, F. y Vega, M. (2022). SISTEMA INTEGRADO Y ORDEN CONSTRUCTIVO I “Análisis de edificio en la urbanización Limatambo, Surquillo. [Trabajo de grado, Universidad Ricardo Palma]. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-ricardo-palma/edificacion-i/analisis-limatambo-surquillo/26638820>
- Obregón, M. y Osorio, A. (2021). Influencia de la arcilla expandida en el diseño de mezcla de concreto liviano de alto rendimiento en el distrito de Lircay – Angaraes – Huancavelica [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional UNH <https://repositorio.unh.edu.pe/items/f6f207a0-a1ee-422a-9ae9-0f3142888f8e>
- Parsons, T., Wu, P., Wei, M. y D’Hondt, S. (2023). The Weight of New York City: Possible Contributions to Subsidence from Anthropogenic Sources. *Earth's Future*, 11(5). 1 – 13. 10.1029/2022EF003465
- Patel, K., Shah, S. y Desai, K. (2019). To Study the Effect of Addition of Lightweight Expanded Clay Aggregate on fresh and hardened properties of Concrete. *International Journal of Technical Innovation in Modern Engineering & Science (IJTIMES)*, 5 (4), 126-131. <https://www.ijtimes.com/index.php/ijtimes/article/view/2795>
- Quispe, G. y Vera, J. (2018). Evaluación del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano [Tesis de grado, Universidad San Martín de Porres]. Repositorio Institucional USMP repositorio.usmp.edu.pe:20.500.12727/4197
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Capítulo Peruano ACI.
- Rodríguez, R. (2016). Causas de fallos en las cimentaciones: el desconocimiento de las características intrínsecas del terreno. *Ingeoexpert*.

<https://ingeoexpert.com/articulo/causas-fallos-las-cimentaciones-desconocimiento-las-caracteristicas-intrinsecas-del-terreno/>

Smith, A., y Jones, B. (2018). Lightweight aggregates for concrete production. *Journal of Construction Materials*, 42(3), 123-135.

Vijayalakshmi, R. y Ramanagopal, S. (2018). Structural Concrete using Expanded Clay Aggregate: A Review. *Indian Journal of Science and Technology*, 11 (16), 1 – 12. 10.17485/ijst/2018/v11i16/121888

Waddell, J. y Dobrowolski, J. (1996). *Manual de la construcción con concreto I*. McGraw Hill México y Latinoamérica.

Anexos

Anexo 1: Diseño de mezcla – método ACI (procedimiento)	1
Anexo 2: Dosificación - Corrección del asentamiento	6
Anexo 3: Dosificación final del concreto patrón.....	8
Anexo 4: Dosificación del concreto con arcilla expandida (sin saturación).....	10
Anexo 5: Dosificación del concreto con arcilla expandida (con saturación).....	12
Anexo 6: Formato de ensayo - Ensayos al concreto en estado fresco	13
Anexo 7: Ensayos al concreto en estado endurecido.....	14

Anexo 1

Diseño de mezcla – método ACI (procedimiento)

- Selección de la resistencia a la compresión (f_c) y asentamiento (slump) del concreto patrón.

Datos iniciales:

f_c	210 kg/cm ²
Slump	3" – 4"
Aire Incorporado	NO

- Estimación del contenido de agua y aire en la mezcla de concreto

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
Asentamiento	Agua en l/m ³ para los tamaños Max. Nominales de agregado grueso y consistencias indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin aire incorporado								
1 a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
Aire Atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Teniendo como dato el Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso se recurre a la tabla mostrada y se determina los valores de la cantidad de agua y el % de aire atrapado.

TMN A. Grueso	3/4	in
A: Contenido de Agua	205	l/m ³
Aire Atrapado	2	%

- Resistencia requerida a la compresión (f_{cr})

f_c	f_{cr}	f_c	f_{cr}
(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(MPa)	(MPa)
$f_c < 210$	$f_{cr} = f_c + 70$	$f_c < 21$	$f_{cr} = f_c + 7.0$
$210 \leq f_c \leq 350$	$f_{cr} = f_c + 84$	$21 \leq f_c \leq 35$	$f_{cr} = f_c + 8.5$
$f_c > 350$	$f_{cr} = f_c + 98$	$f_c > 35$	$f_{cr} = 1.1 \cdot f_c + 5$
<i>f_c: Resistencia a la compresión del concreto</i>			
<i>f_{cr}: Resistencia requerida a la compresión del concreto</i>			

Al ser nuestro $f'c$ de 210 kg/cm^2 se procede a sumarle 84 kg/cm^2 para determinar la resistencia requerida a la compresión ($f'cr$).

$f'cr$	294	kg/cm^2
--------	-----	------------------

- Selección de la relación a/c

RELACIÓN AGUA CEMENTO POR RESISTENCIA	
$f'cr - 28 \text{ días}$	a/c
(kg/cm^2)	Sin incorporación de aire
150	0.8
200	0.7
250	0.62
300	0.55
350	0.48
400	0.43
450	0.38

Con la tabla anterior se realiza la interpolación:

Límites	$f'cr$	a/c
Límite Inferior	250	0.62
Límite Superior	300	0.55
a/c (diseño)		0.56

- Contenido de Cemento

$$C = \frac{A}{\left(\frac{a}{c}\right)}$$

La cantidad de agua de 205 l/m^3 se divide entre la relación a/c de 0.56. Y luego se divide entre 42.5 kg para determinar la cantidad de bolsas de cemento por m^3 .

C: Contenido de Cemento	367.12	kg/m^3
	8.64	bolsas/ m^3

- Estimación del contenido de agregado grueso

$$AG = \left(\frac{b}{b0}\right) * PUC_{AG}$$

Módulo de Finura del A.F.	3.00	-
b/b0	0.60	-
P.U. Compactado A. Grueso	1589.29	kg/m ³
AG: Cantidad del A. Grueso	953.36	kg/m ³

La relación b/b0 se determina con la siguiente tabla teniendo como dato el módulo de finura de agregado fino determinado al realizar el ensayo de granulometría.

TMN: Tamaño Máximo Nominal del AG		b/b0: Volumen del AG seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos MF del AF			
in	mm	2.4	2.6	2.8	3
3/8	9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2	12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	19	0.66	0.64	0.62	0.6
1	25	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	37.5	0.76	0.74	0.72	0.7
2	50	0.78	0.76	0.74	0.72
3	75	0.81	0.79	0.77	0.75
6	150	0.87	0.85	0.83	0.81

- Determinación de los volúmenes absolutos y estimación del contenido de agregado fino

$$V_{AF} = 1 - V_C - V_V - V_A - V_{AG}$$

$$AF = V_{AF} * PE_{AG}$$

Material	P.E. (kg/m ³)	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Cemento	3130.00	367.12	0.117
Agua	1000.00	205.00	0.205
Aire	-	-	0.020
Agregado Grueso (Seco)	2750.24	953.36	0.347
∑: Sumatoria			0.689
Agregado Fino (Seco)	2700.98	840.17	0.311

- Diseño en estado seco

Material	Pesos secos por m ³	
	Cemento	367.12
Agua	205.00	l/m ³
Agregado Fino (Seco)	840.17	kg/m ³
Agregado Grueso (Seco)	953.36	kg/m ³

- Ajuste por humedad de los agregados

Simple aplicación teniendo como datos el contenido de humedad de los agregados determinado en sus respectivos ensayos.

$$AF_{húmedo} = AF * \left(\frac{W\%_{AF}}{100} + 1 \right)$$

Contenido de Humedad AF	3.05	%
Agregado Fino (Húmedo)	865.81	kg/m ³

$$AG_{húmedo} = AG * \left(\frac{W\%_{AG}}{100} + 1 \right)$$

Contenido de Humedad AG	0.54	%
Agregado Grueso (Húmedo)	958.56	kg/m ³

$$A_{Efectiva} = A - \left(AF * \left(\frac{W\%_{AF} - Abs\%_{AF}}{100} \right) + AG * \left(\frac{W\%_{AG} - Abs\%_{AG}}{100} \right) \right)$$

Absorción del AF	0.83	%
Absorción del AG	0.66	%
Agregado Fino (agua)	18.69	l/m ³
Agregado Grueso (agua)	-1.07	l/m ³
A. Efectiva	187.38	l/m ³

- Diseño final por el método ACI

Material	Pesos secos por m ³		Pesos húmedos por m ³	
Cemento	367.12	kg/m ³	367.12	kg/m ³
Agua Efectiva	205.00	l/m ³	187.38	l/m ³
Agregado Fino	840.17	kg/m ³	865.81	kg/m ³
Agregado Grueso	953.36	kg/m ³	958.56	kg/m ³
a/c	0.56		0.51	

Resultado: El asentamiento alcanzado con el diseño mostrado es de 1 ½”.

Anexo 2

Dosificación - Corrección del asentamiento

- Proporción en volumen de los agregados

De acuerdo con la dosificación obtenido por el método ACI los pesos secos son los siguientes y con sus pesos específicos respectivos se determinan sus volúmenes, con esto se determina el volumen total de agregados y se puede saber los porcentajes correspondiente tanto del agregado fino y grueso.

Material	P.E. (kg/m ³)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Volumen (%)
Agregado Fino (Seco)	2700.98	840.17	0.311	47%
Agregado Grueso (Seco)	2750.24	953.36	0.347	53%
			0.658	100%

- Aumento de la cantidad de agua a 230 L y nuevo cálculo de la cantidad de cemento

Al mantener la relación a/c de 0.56 se determina la nueva cantidad del cemento por unidad de volumen.

Relación a/c: 0.56			
Material	P.E. (kg/m ³)	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Agua	1000.00	230.00	0.230
Cemento	3130.00	411.89	0.132
Aire	-	-	0.020
			0.382

- Cálculo del nuevo volumen de agregados y la determinación de sus pesos secos

Con la nueva cantidad de volúmenes de agua y cemento el volumen total de agregados cambiará por tanto ya que se mantiene las mismas proporciones (47% AF y 53%AG) se vuelven a calcular los volúmenes de los agregados.

Material	P.E. (kg/m ³)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Volumen (%)
Agregado Fino (Seco)	2700.98	789.96	0.292	47%
Agregado Grueso (Seco)	2750.24	896.39	0.326	53%
			0.618	100%

- Ajuste por humedad de agregados y dosificación de la tanda 02

Contenido de Humedad AF	3.05	%
Agregado Fino (Húmedo)	814.07	kg/m ³

Contenido de Humedad AG	0.54	%
Agregado Grueso (Húmedo)	901.28	kg/m ³

Absorción del AF	0.83	%
Absorción del AG	0.66	%
Agregado Fino (agua)	17.57	l/m ³
Agregado Grueso (agua)	-1.00	l/m ³
A. Efectiva	213.43	l/m ³

Material	Pesos secos por m ³		Pesos húmedos por m ³	
Cemento	411.89	kg/m ³	411.89	kg/m ³
Agua Efectiva	230.00	l/m ³	213.43	l/m ³
Agregado Fino	789.96	kg/m ³	814.07	kg/m ³
Agregado Grueso	896.39	kg/m ³	901.28	kg/m ³
a/c	0.56		0.52	

Resultado: Con esta dosificación se consigue el asentamiento dentro de rango planteado (3 – 4") pero se obtiene una resistencia promedio a los 7 días de 310 kg/cm².

Anexo 3

Dosificación final del concreto patrón

- Reducción del agua y aumento de la relación a/c

Al elevar la relación a/c se comprendería que la resistencia a la compresión (f'c) disminuya, pero al mantener la cantidad de agua de 230 L el asentamiento se incrementaría superando el rango propuesto de 3" – 4" es por ello por lo que se realiza un reajuste previo donde se disminuye la cantidad de agua a 222.27 L y es así como se llegan a las siguientes cantidades:

Relación a/c: 0.68			
Material	P.E. (kg/m ³)	Peso (kg)	Volumen (m ³)
Agua	1000.00	222.27	0.2223
Cemento	3130.00	328.00	0.1048
Aire	-	-	0.0200
			0.347

- Mantenemos la misma proporción en volumen de los agregados

Se vuelve a calcular el volumen total de agregados y con las proporciones establecidas se determinan las cantidades de los agregados fino y grueso.

Material	P.E. (kg/m ³)	Peso (kg)	Volumen (m ³)	Volumen (%)
Agregado Fino (Seco)	2700.98	824.07	0.305	47%
Agregado Grueso (Seco)	2750.24	963.96	0.351	53%
			0.656	100%

- Ajuste por humedad de agregados y dosificación final del concreto patrón

Contenido de Humedad AF	3.05	%
Agregado Fino (Húmedo)	849	kg/m ³

Contenido de Humedad AG	0.54	%
Agregado Grueso (Húmedo)	969.21	kg/m ³

Absorción del AF	0.83	%
Absorción del AG	0.66	%
Agregado Fino (agua)	18.33	l/m ³
Agregado Grueso (agua)	-1.08	l/m ³
A. Efectiva	205.02	l/m ³

Material	Pesos secos por m ³		Pesos húmedos por m ³	
Cemento	328	kg/m ³	328	kg/m ³
Agua Efectiva	222	l/m ³	205	l/m ³
Agregado Fino	824	kg/m ³	849	kg/m ³
Agregado Grueso	964	kg/m ³	969	kg/m ³
a/c	0.68		0.63	

Resultado: Con esta dosificación se consigue el asentamiento dentro de rango planteado (3 – 4”) y se obtiene una resistencia promedio a los 7 días de 226 kg/cm².

Anexo 4

Dosificación del concreto con arcilla expandida (sin saturación)

- Determinación del peso y volumen del agregado ligero

De la dosificación del concreto patrón el agregado grueso comprende 0.3505 m³ del volumen total del concreto (1 m³) como puede ser observada en la tabla siguiente.

MATERIAL	P.S. (1 m3)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P.O. (1 m3)		D.U.O.	
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00	
Agua	222	L	1000	kg/m ³	0.2223	m ³	0.68			205	L	0.63	
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	849	kg	2.59	
Piedra	964	kg	2750.24	kg/m ³	0.3505	m ³	2.94	-1.08	L	969	kg	2.96	
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³							
2340					1.00								2351

En el caso del reemplazo del 30% de la arcilla expandida es en base al volumen mencionado, por tanto, se realizan los siguientes cálculos:

AGREGADOS	P.E.	VOLUMEN		PESO
	kg/m ³	%	m ³	kg
AGREGADO LIGERO (ARCILLA EXPANDIDA)	461.95	30%	0.1052	48.58
AGREGADO GRUESO (PIEDRA)	2750.24	70%	0.2454	674.80
		100%	0.3505	

Se mantiene el mismo volumen de 0.3505 m³, pero en esta ocasión repartido en 30% para el agregado ligero (30%) y 70% para el agregado grueso (piedra chancada).

- Ajuste por humedad en agregados y dosificación final del concreto con 30% de arcilla expandida

Primero se consigue los pesos en estado húmedo afectados por su contenido de humedad de cada agregado:

Contenido de Humedad AF	3.05	%
Agregado Fino (Húmedo)	849	kg/m ³

Contenido de Humedad AG	0.54	%
Agregado Grueso (Húmedo)	678	kg/m ³

Contenido de Humedad AL	0.23	%
Agregado Ligero (Húmedo)	48.69	kg/m ³

Luego se realiza el cálculo del agua libre:

Absorción del AF	0.83	%
Absorción del AG	0.66	%
Absorción del AL	35.24	%
Agregado Fino (agua)	18.33	l/m ³
Agregado Grueso (agua)	-0.75	l/m ³
Agregado Ligero (agua)	-17.01	l/m ³
Agua Efectiva	222	l/m³

Y con estos nuevos datos se obtiene la siguiente dosificación:

MATERIAL	P. S. (1 m ³)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m ³)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00
Agua	222	L	1000	kg/m ³	0.2223	m ³	0.68			222	L	0.68
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	674.80	kg	2750.24	kg/m ³	0.2454	m ³	2.06	-0.75	L	678	kg	2.07
Arcilla Exp.	48.58	kg	461.95	kg/m ³	0.1052	m ³	0.15	-17.01	L	48.69	kg	0.15
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³						
	2100				1.00					2126		
	C. H. Arcilla Exp.		0.23%									
	%Abs. Arcilla Exp.		35.25%									

Resultado: Con esta dosificación se consigue se obtiene un aumento del agua libre de 205 L (concreto patrón) a 222 L para un reemplazo del agregado grueso por la arcilla expandida del 30%. Se consigue un asentamiento de 6 1/4"

Anexo 5

Dosificación del concreto con arcilla expandida (con saturación)

- Ajuste por humedad en agregados y dosificación final del concreto con 30% de arcilla expandida saturada

Primero se determina el contenido de humedad del agregado ligero (arcilla expandida) y a partir de este se consigue los pesos en estado húmedo afectados por su contenido de humedad de cada agregado:

Contenido de Humedad AF	3,05	%
Agregado Fino (Húmedo)	849	kg/m ³

Contenido de Humedad AG	0,54	%
Agregado Grueso (Húmedo)	678	kg/m ³

Contenido de Humedad AE	52,52	%
Agregado Ligero (Húmedo)	74,09	kg/m ³

Luego se realiza el cálculo del agua libre:

Absorción del AF	0,83	%
Absorción del AG	0,66	%
Absorción del AL	35,24	%
Agregado Fino (agua)	18,33	l/m ³
Agregado Grueso (agua)	-0,75	l/m ³
Agregado Ligero (agua)	8,39	l/m ³
Agua Efectiva	196	l/m³

Y con estos nuevos datos se obtiene la siguiente dosificación:

MATERIAL	P. S. (1 m ³)		PESO ESPECÍFICO		VOLUMEN ABSOLUTO		D.U.S.	CORRECCIÓN DE AGUA		P. O. (1 m ³)		D.U.O.
Cemento	328	kg	3130	kg/m ³	0.1048	m ³	1.00			328	kg	1.00
Agua	222	L	1000	kg/m ³	0.2223	m ³	0.68			196	L	0.60
Arena	824	kg	2700.98	kg/m ³	0.3051	m ³	2.51	18.33	L	849	kg	2.59
Piedra	674.80	kg	2750.24	kg/m ³	0.2454	m ³	2.06	-0.75	L	678	kg	2.07
Arcilla Exp.	48.58	kg	461.95	kg/m ³	0.1052	m ³	0.15	8.39	L	74.09	kg	0.23
Aire	2	%	100	-	0.0200	m ³						
	2100				1.00					2126		
<i>C. H. Arcilla Exp.</i>												52.53%
<i>%Abs. Arcilla Exp.</i>												35.25%

Anexo 6

Formato de ensayo - Ensayos al concreto en estado fresco

ENSAYOS	PARÁMETROS	CONCRETO PATRÓN	30 % ARCILLA EXPANDIDA	40 % ARCILLA EXPANDIDA	50 % ARCILLA EXPANDIDA	60 % ARCILLA EXPANDIDA	70 % ARCILLA EXPANDIDA
NTP 339.035 - Asentamiento en Mezclas de Concreto con el Cono de Abrams	SLUMP (in)	3 1/2	5 1/2	5 1/2	6	7	7 1/4
	SLUMP (mm)	87.50	137.50	137.50	150.00	175.00	181.25
NTP 339.184 - Temperatura en Mezclas de Concreto	T. AMBIENTE (°c)	23.5	24.3	26.2	26.1	27.2	28.5
	T. CONCRETO (°c)	24.1	25.3	26.3	25.9	28.1	29.3
NTP 339.046 - Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire en Mezclas de Concreto	B + C (kg)	19.00	17.53	17.02	16.38	16.19	15.52
	B (kg)	2.42	2.41	2.42	2.40	2.41	2.41
	C (kg)	16.58	15.12	14.60	13.98	13.78	13.11
	V. B (pie ³)	¼	¼	1/4	1/4	1/4	1/4
	V. B (m ³)	0.00707921	0.00707921	0.00707921	0.00707921	0.00707921	0.00707921
	PUC (kg/m ³)	2342	2136	2062	1975	1947	1852
	M (kg)	2351	2126	2051	1976	1901	1825
	Y (m ³)	1.00	1.00	0.99	1.00	0.98	0.99
	Contenido de Aire %	0.38	-	-	-	-	-

Anexo 7

Ensayos al concreto en estado endurecido

Formato de Ensayo - Resistencia a la compresión del concreto.

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)
1	CP - M1 (7d)	9.99	20.29	17040	5	78.5	217	226
		10.01	20.29					
2	CP - M2 (7d)	9.98	20.31	18318	2	78.5	233	
		10.01	20.42					
3	CP - M3 (7d)	9.97	20.36	17150	5	78.2	219	
		9.99	20.31					
4	CP - M4 (7d)	10.00	20.49	18120	2	78.5	231	
		10.00	20.50					
5	CP - M5 (7d)	10.04	20.39	18301	5	79.2	231	
		10.04	20.44					
6	CP - M1 (14d)	10.05	20.50	18593	2	79.3	234	243
		10.05	20.64					
7	CP - M2 (14d)	10.07	20.37	19842	5	79.4	250	
		10.04	20.16					
8	CP - M3 (14d)	10.17	20.43	20054	2	81.1	247	
		10.15	20.24					
9	CP - M4 (14d)	10.05	20.20	19097	5	79.4	240	
		10.06	20.35					
10	CP - M5 (14d)	10.03	20.49	19076	5	78.6	243	
		9.98	20.31					
11	CP - M1 (28d)	10.05	20.22	21808	2	79.3	275	273
		10.04	20.30					
12	CP - M2 (28d)	10.01	20.50	21086	2	78.5	268	
		9.99	20.57					
13	CP - M3 (28d)	10.07	20.21	21957	2	79.2	277	
		10.01	20.37					
14	CP - M4 (28d)	10.00	20.36	20863	2	78.6	265	
		10.01	20.41					
15	CP - M5 (28d)	10.05	20.25	22223	3	79.2	281	
		10.03	20.24					
16	CP - M1 (56d)	10.01	20.35	26816	3	79.0	339	345
		10.05	20.48					
17	CP - M2 (56d)	10.03	20.50	26823	3	79.2	339	
		10.05	20.43					
18	CP - M3 (56d)	10.03	20.16	27518	2	79.0	348	
		10.03	20.37					
19	CP - M4 (56d)	10.03	20.50	27870	3	79.2	352	
		10.05	20.37					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)	
1	C30%AE - M1 (7d)	10.20	20.52	14882	2	80.8	184	175	
		10.08	20.30						
2	C30%AE - M2 (7d)	9.97	20.50	12887	2	78.4	164		
		10.01	20.57						
3	C30%AE - M3 (7d)	10.01	20.41	13880	3	78.7	176		
		10.01	20.48						
4	C30%AE - M4 (7d)	10.00	20.63	13755	3	78.2	176		
		9.95	20.59						
6	C30%AE - M1 (14d)	10.01	20.55	16575	2	78.6	211		199
		10.00	20.52						
7	C30%AE - M2 (14d)	10.13	20.49	15213	2	80.8	188		
		10.15	20.35						
8	C30%AE - M3 (14d)	10.24	20.25	15411	3	81.2	190		
		10.10	20.37						
9	C30%AE - M4 (14d)	9.93	20.83	15793	3	77.1	205		
		9.88	20.57						
10	C30%AE - M1 (28d)	10.15	20.50	16534	2	81.0	204	220	
		10.16	20.58						
11	C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	17054	2	79.0	216		
		10.01	20.51						
12	C30%AE - M3 (28d)	10.26	20.37	19456	3	83.2	234		
		10.32	20.40						
13	C30%AE - M4 (28d)	10.03	20.55	17825	3	79.2	225		
		10.05	20.71						
14	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	18157	2	77.2	235		239
		9.92	20.72						
15	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	18621	3	78.2	238		
		9.97	20.73						
16	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	18695	3	78.2	239		
		9.95	20.52						
17	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	19248	2	79.1	243		
		9.99	20.76						
18	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	18840	2	78.1	241		
		9.96	20.47						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)																																																																																																																																																																																																																																								
1	C40%AE - M1 (7d)	10.19	20.90	15191	4	81.9	186	170																																																																																																																																																																																																																																								
		10.23	20.80						2	C40%AE - M2 (7d)	9.99	20.62	12971	3	78.5	165	170	10.00	20.61	3	C40%AE - M3 (7d)	10.19	20.37	12705	3	81.6	156	170	10.19	20.35	4	C40%AE - M4 (7d)	9.96	20.80	13561	3	77.8	174	170	9.95	20.75	5	C40%AE - M5 (7d)	10.24	20.36	14015	2	82.6	170	170	10.27	20.56	6	C40%AE - M1 (14d)	9.92	20.79	13808	2	77.0	179	184	9.88	20.66	7	C40%AE - M2 (14d)	10.17	20.40	14612	3	80.9	181	184	10.13	20.48	8	C40%AE - M3 (14d)	9.96	20.70	14283	2	77.3	185	184	9.88	20.75	9	C40%AE - M4 (14d)	10.02	20.54	14997	3	78.4	191	184	9.96	20.54	10	C40%AE - M5 (14d)	10.13	20.50	14772	3	80.3	184	184	10.09	20.55	11	C40%AE - M1 (28d)	10.19	20.47	16129	2	81.1	199	215	10.13	20.50	12	C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6	229	215	10.12	20.45	13	C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9	218	215	9.95	20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300	3	82.3	198	215	10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)	10.03	20.62	18133	5	78.9	230	215	10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83	18652	3	77.9	239	226	9.98	20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817	3	79.2	225	226	10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238	226	10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206	226	10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223	226	9.95	20.76																							
2	C40%AE - M2 (7d)	9.99	20.62	12971	3	78.5	165				170																																																																																																																																																																																																																																					
		10.00	20.61						3	C40%AE - M3 (7d)		10.19	20.37	12705	3	81.6		156	170	10.19	20.35	4	C40%AE - M4 (7d)	9.96	20.80	13561	3		77.8	174	170	9.95	20.75	5	C40%AE - M5 (7d)	10.24	20.36	14015		2	82.6	170	170	10.27	20.56	6	C40%AE - M1 (14d)	9.92	20.79		13808	2	77.0	179	184	9.88	20.66	7	C40%AE - M2 (14d)	10.17		20.40	14612	3	80.9	181	184	10.13	20.48	8	C40%AE - M3 (14d)		9.96	20.70	14283	2	77.3	185	184	9.88	20.75	9		C40%AE - M4 (14d)	10.02	20.54	14997	3	78.4	191	184	9.96	20.54		10	C40%AE - M5 (14d)	10.13	20.50	14772	3	80.3	184	184	10.09		20.55	11	C40%AE - M1 (28d)	10.19	20.47	16129	2	81.1	199	215		10.13	20.50	12	C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6	229		215	10.12	20.45	13	C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9		218	215	9.95	20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300	3		82.3	198	215	10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)	10.03	20.62	18133		5	78.9	230	215	10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83		18652	3	77.9	239	226	9.98	20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04		20.72	17817	3	79.2	225	226	10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)		10.13	20.44	19154	3	80.4	238	226	10.11	20.46	19		C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206	226	10.04	20.66		20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223	226	9.95	20.76														
3	C40%AE - M3 (7d)	10.19	20.37	12705	3	81.6	156					170																																																																																																																																																																																																																																				
		10.19	20.35						4	C40%AE - M4 (7d)			9.96	20.80	13561	3		77.8		174	170	9.95	20.75	5	C40%AE - M5 (7d)	10.24	20.36		14015	2		82.6	170	170	10.27	20.56	6	C40%AE - M1 (14d)		9.92	20.79	13808		2	77.0	179	184	9.88	20.66		7	C40%AE - M2 (14d)	10.17	20.40		14612	3	80.9	181	184		10.13	20.48	8	C40%AE - M3 (14d)	9.96		20.70	14283	2	77.3		185	184	9.88	20.75	9	C40%AE - M4 (14d)		10.02	20.54	14997		3	78.4	191	184	9.96	20.54	10		C40%AE - M5 (14d)	10.13		20.50	14772	3	80.3	184	184	10.09	20.55		11		C40%AE - M1 (28d)	10.19	20.47	16129	2	81.1	199	215	10.13			20.50	12	C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6	229	215			10.12	20.45	13	C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9		218		215	9.95	20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300		3	82.3		198	215	10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)	10.03		20.62	18133	5		78.9	230	215	10.01	20.69	16		C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83	18652		3	77.9	239	226	9.98		20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72		17817	3	79.2	225		226	10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)	10.13		20.44	19154	3		80.4	238	226	10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)		10.04	20.57		16289	2	79.2	206	226	10.04	20.66	20		C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223	226	9.95	20.76						
4	C40%AE - M4 (7d)	9.96	20.80	13561	3	77.8	174						170																																																																																																																																																																																																																																			
		9.95	20.75						5	C40%AE - M5 (7d)				10.24	20.36	14015		2		82.6		170	170	10.27	20.56	6	C40%AE - M1 (14d)		9.92	20.79		13808	2		77.0	179	184	9.88		20.66	7	C40%AE - M2 (14d)		10.17	20.40	14612		3	80.9		181	184	10.13	20.48		8	C40%AE - M3 (14d)	9.96	20.70			14283	2	77.3	185	184		9.88	20.75	9	C40%AE - M4 (14d)		10.02		20.54	14997	3	78.4		191	184	9.96		20.54	10	C40%AE - M5 (14d)		10.13	20.50	14772		3	80.3		184	184	10.09	20.55	11		C40%AE - M1 (28d)	10.19		20.47		16129	2	81.1	199	215	10.13	20.50		12			C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6	229	215	10.12				20.45	13	C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9	218		215			9.95	20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300		3	82.3		198		215	10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)		10.03	20.62	18133		5	78.9		230	215	10.01		20.69	16	C40%AE - M1 (56d)	9.94		20.83	18652	3		77.9		239	226	9.98	20.54	17		C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817			3	79.2	225	226	10.04		20.73	18	C40%AE - M3 (56d)		10.13	20.44		19154	3	80.4	238		226	10.11		20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04		20.57	16289	2		79.2	206	226	10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)		9.91	20.70	17299	2	77.4	223	226	9.95
5	C40%AE - M5 (7d)	10.24	20.36	14015	2	82.6	170							170																																																																																																																																																																																																																																		
		10.27	20.56						6	C40%AE - M1 (14d)					9.92	20.79		13808		2		77.0		179	184	9.88	20.66		7	C40%AE - M2 (14d)		10.17	20.40		14612	3		80.9		181	184	10.13		20.48	8	C40%AE - M3 (14d)		9.96	20.70		14283		2	77.3		185	184	9.88	20.75			9	C40%AE - M4 (14d)	10.02	20.54			14997	3	78.4	191		184		9.96	20.54	10	C40%AE - M5 (14d)		10.13		20.50		14772	3	80.3		184	184	10.09		20.55	11		C40%AE - M1 (28d)		10.19	20.47	16129		2	81.1		199		215	10.13	20.50	12		C40%AE - M2 (28d)	10.14		20.67			18485	3	80.6	229	215	10.12	20.45		13				C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9	218	215	9.95					20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300	3		82.3	198		215			10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)		10.03	20.62	18133		5	78.9		230		215		10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)		9.94	20.83	18652		3		77.9		239	226	9.98		20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04			20.72	17817	3		79.2		225	226	10.04		20.73	18		C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154			3		80.4	238	226	10.11		20.46	19	C40%AE - M4 (56d)		10.04	20.57		16289	2	79.2	206		226	10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91		20.70
6	C40%AE - M1 (14d)	9.92	20.79	13808	2	77.0	179	184																																																																																																																																																																																																																																								
		9.88	20.66						7	C40%AE - M2 (14d)					10.17	20.40	14612	3		80.9		181		184		10.13	20.48	8	C40%AE - M3 (14d)	9.96		20.70	14283		2	77.3		185	184	9.88		20.75		9	C40%AE - M4 (14d)	10.02		20.54	14997	3	78.4		191	184		9.96		20.54	10		C40%AE - M5 (14d)	10.13	20.50	14772	3			80.3	184	184	10.09	20.55			11	C40%AE - M1 (28d)	10.19	20.47		16129		2	81.1	199	215	10.13		20.50		12		C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485		3	80.6	229		215	10.12		20.45	13		C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72		16967	3		77.9		218	215	9.95	20.79	14		C40%AE - M4 (28d)	10.22		20.43		16300		3	82.3	198	215	10.25	20.30	15		C40%AE - M5 (28d)	10.03				20.62	18133	5	78.9	230	215	10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)					9.94	20.83	18652	3	77.9	239	226	9.98		20.54	17		C40%AE - M2 (56d)			10.04	20.72	17817	3	79.2		225	226	10.04		20.73	18	C40%AE - M3 (56d)		10.13		20.44		19154	3	80.4	238	226		10.11	20.46	19		C40%AE - M4 (56d)		10.04		20.57	16289	2	79.2		206	226	10.04	20.66			20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70		17299		2	77.4	223		226	9.95		20.76												
7	C40%AE - M2 (14d)	10.17	20.40	14612	3	80.9	181				184																																																																																																																																																																																																																																					
		10.13	20.48						8	C40%AE - M3 (14d)					9.96	20.70	14283	2	77.3	185		184				9.88	20.75	9	C40%AE - M4 (14d)	10.02	20.54	14997	3		78.4	191		184		9.96		20.54	10	C40%AE - M5 (14d)	10.13	20.50		14772	3	80.3	184		184		10.09	20.55		11	C40%AE - M1 (28d)		10.19	20.47	16129	2	81.1		199	215	10.13		20.50	12			C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6		229	215	10.12		20.45		13		C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9		218	215	9.95			20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22		20.43	16300	3		82.3	198		215	10.25	20.30		15	C40%AE - M5 (28d)	10.03		20.62	18133		5		78.9	230	215	10.01	20.69		16	C40%AE - M1 (56d)	9.94		20.83	18652		3		77.9	239	226	9.98	20.54		17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817				3	79.2	225	226	10.04	20.73		18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44		19154			3	80.4	238	226	10.11	20.46	19		C40%AE - M4 (56d)		10.04	20.57	16289		2		79.2	206	226	10.04	20.66	20			C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70		17299	2	77.4		223	226	9.95	20.76																																		
8	C40%AE - M3 (14d)	9.96	20.70	14283	2	77.3	185					184																																																																																																																																																																																																																																				
		9.88	20.75						9	C40%AE - M4 (14d)					10.02	20.54	14997	3	78.4	191	184					9.96	20.54	10	C40%AE - M5 (14d)	10.13	20.50	14772	3	80.3	184	184				10.09		20.55	11	C40%AE - M1 (28d)	10.19	20.47	16129	2	81.1	199	215				10.13	20.50		12	C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6	229		215		10.12		20.45	13		C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9	218		215		9.95		20.79	14	C40%AE - M4 (28d)		10.22	20.43	16300	3	82.3	198		215		10.25	20.30		15	C40%AE - M5 (28d)	10.03	20.62		18133	5	78.9		230	215	10.01		20.69	16		C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83		18652	3		77.9	239	226	9.98		20.54	17		C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72		17817	3		79.2	225	226	10.04		20.73	18		C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3		80.4		238	226	10.11		20.46	19		C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2			206	226	10.04		20.66	20	C40%AE - M5 (56d)		9.91	20.70	17299	2	77.4		223		226	9.95		20.76																																																		
9	C40%AE - M4 (14d)	10.02	20.54	14997	3	78.4	191						184																																																																																																																																																																																																																																			
		9.96	20.54						10	C40%AE - M5 (14d)					10.13	20.50	14772	3	80.3	184			184			10.09	20.55	11	C40%AE - M1 (28d)	10.19	20.47	16129	2	81.1	199		215			10.13		20.50	12	C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6	229		215			10.12	20.45		13	C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9	218	215			9.95		20.79	14		C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300	3	82.3	198	215			10.25		20.30	15	C40%AE - M5 (28d)		10.03	20.62	18133	5	78.9	230	215			10.01	20.69		16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83		18652	3	77.9	239	226		9.98		20.54	17		C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72		17817	3	79.2	225	226		10.04		20.73	18		C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44		19154	3	80.4	238	226		10.11		20.46	19		C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2		79.2	206	226		10.04		20.66	20		C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223		226		9.95		20.76																																																																	
10	C40%AE - M5 (14d)	10.13	20.50	14772	3	80.3	184							184																																																																																																																																																																																																																																		
		10.09	20.55						11	C40%AE - M1 (28d)					10.19	20.47	16129	2	81.1	199					215	10.13	20.50	12	C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6	229					215	10.12	20.45	13	C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9	218					215	9.95	20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300	3	82.3	198				215		10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)	10.03	20.62	18133	5	78.9	230				215		10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83	18652	3	77.9	239				226	9.98		20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817	3	79.2	225			226		10.04	20.73		18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238			226		10.11	20.46		19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206			226		10.04	20.66		20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223			226		9.95	20.76																																																																															
11	C40%AE - M1 (28d)	10.19	20.47	16129	2	81.1	199	215																																																																																																																																																																																																																																								
		10.13	20.50						12	C40%AE - M2 (28d)					10.14	20.67	18485	3	80.6	229				215		10.12	20.45	13	C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9	218				215		9.95	20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300	3	82.3	198				215		10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)	10.03	20.62	18133	5	78.9	230					215	10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83	18652	3	77.9	239					226	9.98	20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817	3	79.2	225					226	10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238					226	10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206					226	10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223					226	9.95	20.76																																																																																													
12	C40%AE - M2 (28d)	10.14	20.67	18485	3	80.6	229				215																																																																																																																																																																																																																																					
		10.12	20.45						13	C40%AE - M3 (28d)					9.97	20.72	16967	3	77.9	218		215				9.95	20.79	14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300	3	82.3	198			215			10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)	10.03	20.62	18133	5	78.9	230			215			10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83	18652	3	77.9	239			226			9.98	20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817	3	79.2	225			226			10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238			226			10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206				226		10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223				226		9.95	20.76																																																																																																												
13	C40%AE - M3 (28d)	9.97	20.72	16967	3	77.9	218					215																																																																																																																																																																																																																																				
		9.95	20.79						14	C40%AE - M4 (28d)					10.22	20.43	16300	3	82.3	198	215					10.25	20.30	15	C40%AE - M5 (28d)	10.03	20.62	18133	5	78.9	230	215					10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83	18652	3	77.9	239	226					9.98	20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817	3	79.2	225		226				10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238		226				10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206		226				10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223		226				9.95	20.76																																																																																																																											
14	C40%AE - M4 (28d)	10.22	20.43	16300	3	82.3	198						215																																																																																																																																																																																																																																			
		10.25	20.30						15	C40%AE - M5 (28d)					10.03	20.62	18133	5	78.9	230			215			10.01	20.69	16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83	18652	3	77.9	239		226				9.98	20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817	3	79.2	225		226				10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238	226					10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206	226					10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223	226					9.95	20.76																																																																																																																																										
15	C40%AE - M5 (28d)	10.03	20.62	18133	5	78.9	230							215																																																																																																																																																																																																																																		
		10.01	20.69						16	C40%AE - M1 (56d)					9.94	20.83	18652	3	77.9	239					226	9.98	20.54	17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817	3	79.2	225					226	10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238					226	10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206				226		10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223				226		9.95	20.76																																																																																																																																																									
16	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.83	18652	3	77.9	239	226																																																																																																																																																																																																																																								
		9.98	20.54						17	C40%AE - M2 (56d)					10.04	20.72	17817	3	79.2	225				226		10.04	20.73	18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238				226		10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206				226		10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223					226	9.95	20.76																																																																																																																																																																								
17	C40%AE - M2 (56d)	10.04	20.72	17817	3	79.2	225				226																																																																																																																																																																																																																																					
		10.04	20.73						18	C40%AE - M3 (56d)					10.13	20.44	19154	3	80.4	238		226				10.11	20.46	19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206			226			10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223			226			9.95	20.76																																																																																																																																																																																							
18	C40%AE - M3 (56d)	10.13	20.44	19154	3	80.4	238					226																																																																																																																																																																																																																																				
		10.11	20.46						19	C40%AE - M4 (56d)					10.04	20.57	16289	2	79.2	206	226					10.04	20.66	20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223	226					9.95	20.76																																																																																																																																																																																																						
19	C40%AE - M4 (56d)	10.04	20.57	16289	2	79.2	206						226																																																																																																																																																																																																																																			
		10.04	20.66						20	C40%AE - M5 (56d)					9.91	20.70	17299	2	77.4	223			226			9.95	20.76																																																																																																																																																																																																																					
20	C40%AE - M5 (56d)	9.91	20.70	17299	2	77.4	223							226																																																																																																																																																																																																																																		
		9.95	20.76																																																																																																																																																																																																																																													

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm²)	f _c (kgf/cm²)	f _c Promedio (kgf/cm²)
1	C50%AE - M1 (7d)	9.96	20.51	12381	2	77.8	159	162
		9.94	20.65					
2	C50%AE - M2 (7d)	10.01	20.72	12191	3	78.1	156	
		9.93	20.58					
3	C50%AE - M3 (7d)	10.13	20.44	13183	2	80.5	164	
		10.12	20.22					
4	C50%AE - M4 (7d)	10.07	20.54	13787	2	79.3	174	
		10.02	20.52					
5	C50%AE - M5 (7d)	9.92	20.72	11989	3	77.3	155	
		9.92	20.66					
6	C50%AE - M1 (14d)	9.93	20.70	12881	2	77.3	167	179
		9.91	20.70					
7	C50%AE - M2 (14d)	9.99	20.61	14397	3	78.3	184	
		9.98	20.57					
8	C50%AE - M3 (14d)	9.99	20.50	13674	2	78.7	174	
		10.03	20.50					
9	C50%AE - M4 (14d)	10.14	20.53	16366	3	80.5	203	
		10.11	20.47					
10	C50%AE - M5 (14d)	10.15	20.46	13421	2	80.5	167	
		10.10	20.37					
11	C50%AE - M1 (28d)	10.02	20.55	14931	3	78.6	190	193
		9.99	20.61					
12	C50%AE - M2 (28d)	10.00	20.62	16542	2	78.3	211	
		9.97	20.50					
13	C50%AE - M3 (28d)	10.11	20.41	16794	2	80.4	209	
		10.13	20.44					
14	C50%AE - M4 (28d)	10.01	20.54	14656	2	78.2	187	
		9.95	20.51					
15	C50%AE - M5 (28d)	10.15	20.75	13488	2	81.0	167	
		10.16	20.44					
16	C50%AE - M1 (56d)	10.01	20.39	15399	3	78.3	197	209
		9.96	20.70					
17	C50%AE - M2 (56d)	9.95	20.59	15796	3	78.0	203	
		9.98	20.54					
18	C50%AE - M3 (56d)	10.18	20.36	16131	2	81.2	199	
		10.16	20.50					
19	C50%AE - M4 (56d)	10.16	20.30	18510	3	81.2	228	
		10.18	20.52					
20	C50%AE - M5 (56d)	10.08	20.65	16140	2	79.9	202	
		10.09	20.64					
21	C50%AE - M6 (56d)	10.04	20.79	17783	3	78.9	225	
		10.01	20.66					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)																																																																																																																																																																																																																																								
1	C60%AE - M1 (7d)	10.27	20.47	10793	4	83.1	130	140																																																																																																																																																																																																																																								
		10.30	20.37						2	C60%AE - M2 (7d)	10.12	20.41	10187	3	80.4	127	140	10.11	20.42	3	C60%AE - M3 (7d)	10.02	20.57	13031	3	79.0	165	140	10.04	20.65	4	C60%AE - M4 (7d)	10.16	20.60	9663	2	80.7	120	140	10.11	20.48	5	C60%AE - M5 (7d)	10.23	20.26	12690	2	81.4	156	140	10.13	20.13	6	C60%AE - M1 (14d)	9.99	20.33	13003	3	78.3	166	162	9.98	20.61	7	C60%AE - M2 (14d)	10.15	20.51	13997	2	81.2	172	162	10.19	20.40	8	C60%AE - M3 (14d)	9.96	20.38	10939	2	78.2	140	162	10.00	20.38	9	C60%AE - M4 (14d)	10.23	20.49	13687	3	80.5	170	162	10.02	20.43	10	C60%AE - M5 (14d)	10.20	20.37	13202	2	81.4	162	162	10.16	20.32	11	C60%AE - M1 (28d)	9.99	20.62	12997	2	78.1	166	183	9.95	20.71	12	C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3	210	183	10.12	20.22	13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9	189	183	10.13	20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858	3	77.8	178	183	9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56	13686	2	79.3	173	183	10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	16571	1	79.9	207	205	10.09	20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028	3	81.2	197	205	10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213	205	9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201	205	10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208	205	9.95	20.71																							
2	C60%AE - M2 (7d)	10.12	20.41	10187	3	80.4	127				140																																																																																																																																																																																																																																					
		10.11	20.42						3	C60%AE - M3 (7d)		10.02	20.57	13031	3	79.0		165	140	10.04	20.65	4	C60%AE - M4 (7d)	10.16	20.60	9663	2		80.7	120	140	10.11	20.48	5	C60%AE - M5 (7d)	10.23	20.26	12690		2	81.4	156	140	10.13	20.13	6	C60%AE - M1 (14d)	9.99	20.33		13003	3	78.3	166	162	9.98	20.61	7	C60%AE - M2 (14d)	10.15		20.51	13997	2	81.2	172	162	10.19	20.40	8	C60%AE - M3 (14d)		9.96	20.38	10939	2	78.2	140	162	10.00	20.38	9		C60%AE - M4 (14d)	10.23	20.49	13687	3	80.5	170	162	10.02	20.43		10	C60%AE - M5 (14d)	10.20	20.37	13202	2	81.4	162	162	10.16		20.32	11	C60%AE - M1 (28d)	9.99	20.62	12997	2	78.1	166	183		9.95	20.71	12	C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3	210		183	10.12	20.22	13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9		189	183	10.13	20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858	3		77.8	178	183	9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56	13686		2	79.3	173	183	10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65		16571	1	79.9	207	205	10.09	20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18		20.36	16028	3	81.2	197	205	10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)		9.96	20.71	16561	3	77.8	213	205	9.94	20.44	19		C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201	205	10.09	20.64		20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208	205	9.95	20.71														
3	C60%AE - M3 (7d)	10.02	20.57	13031	3	79.0	165					140																																																																																																																																																																																																																																				
		10.04	20.65						4	C60%AE - M4 (7d)			10.16	20.60	9663	2		80.7		120	140	10.11	20.48	5	C60%AE - M5 (7d)	10.23	20.26		12690	2		81.4	156	140	10.13	20.13	6	C60%AE - M1 (14d)		9.99	20.33	13003		3	78.3	166	162	9.98	20.61		7	C60%AE - M2 (14d)	10.15	20.51		13997	2	81.2	172	162		10.19	20.40	8	C60%AE - M3 (14d)	9.96		20.38	10939	2	78.2		140	162	10.00	20.38	9	C60%AE - M4 (14d)		10.23	20.49	13687		3	80.5	170	162	10.02	20.43	10		C60%AE - M5 (14d)	10.20		20.37	13202	2	81.4	162	162	10.16	20.32		11		C60%AE - M1 (28d)	9.99	20.62	12997	2	78.1	166	183	9.95			20.71	12	C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3	210	183			10.12	20.22	13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9		189		183	10.13	20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858		3	77.8		178	183	9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)	10.05		20.56	13686	2		79.3	173	183	10.04	20.57	16		C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	16571		1	79.9	207	205	10.09		20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36		16028	3	81.2	197		205	10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)	9.96		20.71	16561	3		77.8	213	205	9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)		10.08	20.65		16066	3	79.9	201	205	10.09	20.64	20		C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208	205	9.95	20.71						
4	C60%AE - M4 (7d)	10.16	20.60	9663	2	80.7	120						140																																																																																																																																																																																																																																			
		10.11	20.48						5	C60%AE - M5 (7d)				10.23	20.26	12690		2		81.4		156	140	10.13	20.13	6	C60%AE - M1 (14d)		9.99	20.33		13003	3		78.3	166	162	9.98		20.61	7	C60%AE - M2 (14d)		10.15	20.51	13997		2	81.2		172	162	10.19	20.40		8	C60%AE - M3 (14d)	9.96	20.38			10939	2	78.2	140	162		10.00	20.38	9	C60%AE - M4 (14d)		10.23		20.49	13687	3	80.5		170	162	10.02		20.43	10	C60%AE - M5 (14d)		10.20	20.37	13202		2	81.4		162	162	10.16	20.32	11		C60%AE - M1 (28d)	9.99		20.62		12997	2	78.1	166	183	9.95	20.71		12			C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3	210	183	10.12				20.22	13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9	189		183			10.13	20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858		3	77.8		178		183	9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)		10.05	20.56	13686		2	79.3		173	183	10.04		20.57	16	C60%AE - M1 (56d)	10.08		20.65	16571	1		79.9		207	205	10.09	20.64	17		C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028			3	81.2	197	205	10.16		20.50	18	C60%AE - M3 (56d)		9.96	20.71		16561	3	77.8	213		205	9.94		20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08		20.65	16066	3		79.9	201	205	10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)		9.99	20.62	16233	3	78.1	208	205	9.95
5	C60%AE - M5 (7d)	10.23	20.26	12690	2	81.4	156							140																																																																																																																																																																																																																																		
		10.13	20.13						6	C60%AE - M1 (14d)					9.99	20.33		13003		3		78.3		166	162	9.98	20.61		7	C60%AE - M2 (14d)		10.15	20.51		13997	2		81.2		172	162	10.19		20.40	8	C60%AE - M3 (14d)		9.96	20.38		10939		2	78.2		140	162	10.00	20.38			9	C60%AE - M4 (14d)	10.23	20.49			13687	3	80.5	170		162		10.02	20.43	10	C60%AE - M5 (14d)		10.20		20.37		13202	2	81.4		162	162	10.16		20.32	11		C60%AE - M1 (28d)		9.99	20.62	12997		2	78.1		166		183	9.95	20.71	12		C60%AE - M2 (28d)	10.10		20.16			16884	3	80.3	210	183	10.12	20.22		13				C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9	189	183	10.13					20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858	3		77.8	178		183			9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)		10.05	20.56	13686		2	79.3		173		183		10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)		10.08	20.65	16571		1		79.9		207	205	10.09		20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18			20.36	16028	3		81.2		197	205	10.16		20.50	18		C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561			3		77.8	213	205	9.94		20.44	19	C60%AE - M4 (56d)		10.08	20.65		16066	3	79.9	201		205	10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99		20.62
6	C60%AE - M1 (14d)	9.99	20.33	13003	3	78.3	166	162																																																																																																																																																																																																																																								
		9.98	20.61						7	C60%AE - M2 (14d)					10.15	20.51	13997	2		81.2		172		162		10.19	20.40	8	C60%AE - M3 (14d)	9.96		20.38	10939		2	78.2		140	162	10.00		20.38		9	C60%AE - M4 (14d)	10.23		20.49	13687	3	80.5		170	162		10.02		20.43	10		C60%AE - M5 (14d)	10.20	20.37	13202	2			81.4	162	162	10.16	20.32			11	C60%AE - M1 (28d)	9.99	20.62		12997		2	78.1	166	183	9.95		20.71		12		C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884		3	80.3	210		183	10.12		20.22	13		C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48		15254	2		80.9		189	183	10.13	20.30	14		C60%AE - M4 (28d)	9.96		20.71		13858		3	77.8	178	183	9.94	20.44	15		C60%AE - M5 (28d)	10.05				20.56	13686	2	79.3	173	183	10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)					10.08	20.65	16571	1	79.9	207	205	10.09		20.64	17		C60%AE - M2 (56d)			10.18	20.36	16028	3	81.2		197	205	10.16		20.50	18	C60%AE - M3 (56d)		9.96		20.71		16561	3	77.8	213	205		9.94	20.44	19		C60%AE - M4 (56d)		10.08		20.65	16066	3	79.9		201	205	10.09	20.64			20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62		16233		3	78.1	208		205	9.95		20.71												
7	C60%AE - M2 (14d)	10.15	20.51	13997	2	81.2	172				162																																																																																																																																																																																																																																					
		10.19	20.40						8	C60%AE - M3 (14d)					9.96	20.38	10939	2	78.2	140		162				10.00	20.38	9	C60%AE - M4 (14d)	10.23	20.49	13687	3		80.5	170		162		10.02		20.43	10	C60%AE - M5 (14d)	10.20	20.37		13202	2	81.4	162		162		10.16	20.32		11	C60%AE - M1 (28d)		9.99	20.62	12997	2	78.1		166	183	9.95		20.71	12			C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3		210	183	10.12		20.22		13		C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9		189	183	10.13			20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96		20.71	13858	3		77.8	178		183	9.94	20.44		15	C60%AE - M5 (28d)	10.05		20.56	13686		2		79.3	173	183	10.04	20.57		16	C60%AE - M1 (56d)	10.08		20.65	16571		1		79.9	207	205	10.09	20.64		17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028				3	81.2	197	205	10.16	20.50		18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71		16561			3	77.8	213	205	9.94	20.44	19		C60%AE - M4 (56d)		10.08	20.65	16066		3		79.9	201	205	10.09	20.64	20			C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62		16233	3	78.1		208	205	9.95	20.71																																		
8	C60%AE - M3 (14d)	9.96	20.38	10939	2	78.2	140					162																																																																																																																																																																																																																																				
		10.00	20.38						9	C60%AE - M4 (14d)					10.23	20.49	13687	3	80.5	170	162					10.02	20.43	10	C60%AE - M5 (14d)	10.20	20.37	13202	2	81.4	162	162				10.16		20.32	11	C60%AE - M1 (28d)	9.99	20.62	12997	2	78.1	166	183				9.95	20.71		12	C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3	210		183		10.12		20.22	13		C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9	189		183		10.13		20.30	14	C60%AE - M4 (28d)		9.96	20.71	13858	3	77.8	178		183		9.94	20.44		15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56		13686	2	79.3		173	183	10.04		20.57	16		C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65		16571	1		79.9	207	205	10.09		20.64	17		C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36		16028	3		81.2	197	205	10.16		20.50	18		C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3		77.8		213	205	9.94		20.44	19		C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9			201	205	10.09		20.64	20	C60%AE - M5 (56d)		9.99	20.62	16233	3	78.1		208		205	9.95		20.71																																																		
9	C60%AE - M4 (14d)	10.23	20.49	13687	3	80.5	170						162																																																																																																																																																																																																																																			
		10.02	20.43						10	C60%AE - M5 (14d)					10.20	20.37	13202	2	81.4	162			162			10.16	20.32	11	C60%AE - M1 (28d)	9.99	20.62	12997	2	78.1	166		183			9.95		20.71	12	C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3	210		183			10.12	20.22		13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9	189	183			10.13		20.30	14		C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858	3	77.8	178	183			9.94		20.44	15	C60%AE - M5 (28d)		10.05	20.56	13686	2	79.3	173	183			10.04	20.57		16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65		16571	1	79.9	207	205		10.09		20.64	17		C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36		16028	3	81.2	197	205		10.16		20.50	18		C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71		16561	3	77.8	213	205		9.94		20.44	19		C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3		79.9	201	205		10.09		20.64	20		C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208		205		9.95		20.71																																																																	
10	C60%AE - M5 (14d)	10.20	20.37	13202	2	81.4	162							162																																																																																																																																																																																																																																		
		10.16	20.32						11	C60%AE - M1 (28d)					9.99	20.62	12997	2	78.1	166					183	9.95	20.71	12	C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3	210					183	10.12	20.22	13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9	189					183	10.13	20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858	3	77.8	178				183		9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56	13686	2	79.3	173				183		10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	16571	1	79.9	207				205	10.09		20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028	3	81.2	197			205		10.16	20.50		18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213			205		9.94	20.44		19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201			205		10.09	20.64		20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208			205		9.95	20.71																																																																															
11	C60%AE - M1 (28d)	9.99	20.62	12997	2	78.1	166	183																																																																																																																																																																																																																																								
		9.95	20.71						12	C60%AE - M2 (28d)					10.10	20.16	16884	3	80.3	210				183		10.12	20.22	13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9	189				183		10.13	20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858	3	77.8	178				183		9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56	13686	2	79.3	173					183	10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	16571	1	79.9	207					205	10.09	20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028	3	81.2	197					205	10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213					205	9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201					205	10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208					205	9.95	20.71																																																																																													
12	C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	16884	3	80.3	210				183																																																																																																																																																																																																																																					
		10.12	20.22						13	C60%AE - M3 (28d)					10.17	20.48	15254	2	80.9	189		183				10.13	20.30	14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858	3	77.8	178			183			9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56	13686	2	79.3	173			183			10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	16571	1	79.9	207			205			10.09	20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028	3	81.2	197			205			10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213			205			9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201				205		10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208				205		9.95	20.71																																																																																																												
13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	15254	2	80.9	189					183																																																																																																																																																																																																																																				
		10.13	20.30						14	C60%AE - M4 (28d)					9.96	20.71	13858	3	77.8	178	183					9.94	20.44	15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56	13686	2	79.3	173	183					10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	16571	1	79.9	207	205					10.09	20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028	3	81.2	197		205				10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213		205				9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201		205				10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208		205				9.95	20.71																																																																																																																											
14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	13858	3	77.8	178						183																																																																																																																																																																																																																																			
		9.94	20.44						15	C60%AE - M5 (28d)					10.05	20.56	13686	2	79.3	173			183			10.04	20.57	16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	16571	1	79.9	207		205				10.09	20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028	3	81.2	197		205				10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213	205					9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201	205					10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208	205					9.95	20.71																																																																																																																																										
15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56	13686	2	79.3	173							183																																																																																																																																																																																																																																		
		10.04	20.57						16	C60%AE - M1 (56d)					10.08	20.65	16571	1	79.9	207					205	10.09	20.64	17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028	3	81.2	197					205	10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213					205	9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201				205		10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208				205		9.95	20.71																																																																																																																																																									
16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	16571	1	79.9	207	205																																																																																																																																																																																																																																								
		10.09	20.64						17	C60%AE - M2 (56d)					10.18	20.36	16028	3	81.2	197				205		10.16	20.50	18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213				205		9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201				205		10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208					205	9.95	20.71																																																																																																																																																																								
17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	16028	3	81.2	197				205																																																																																																																																																																																																																																					
		10.16	20.50						18	C60%AE - M3 (56d)					9.96	20.71	16561	3	77.8	213		205				9.94	20.44	19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201			205			10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208			205			9.95	20.71																																																																																																																																																																																							
18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	16561	3	77.8	213					205																																																																																																																																																																																																																																				
		9.94	20.44						19	C60%AE - M4 (56d)					10.08	20.65	16066	3	79.9	201	205					10.09	20.64	20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208	205					9.95	20.71																																																																																																																																																																																																						
19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	16066	3	79.9	201						205																																																																																																																																																																																																																																			
		10.09	20.64						20	C60%AE - M5 (56d)					9.99	20.62	16233	3	78.1	208			205			9.95	20.71																																																																																																																																																																																																																					
20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	16233	3	78.1	208							205																																																																																																																																																																																																																																		
		9.95	20.71																																																																																																																																																																																																																																													

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)	
1	C70%AE - M1 (7d)	9.92	20.70	10631	3	77.4	137	137	
		9.93	20.61						
2	C70%AE - M2 (7d)	10.03	20.71	10134	2	78.9	128		
		10.02	20.66						
3	C70%AE - M3 (7d)	9.94	20.61	10176	3	77.9	131		
		9.98	20.58						
4	C70%AE - M4 (7d)	10.14	20.36	10782	3	81.2	133		
		10.19	20.40						
5	C70%AE - M5 (7d)	9.92	20.62	12270	3	77.6	158		
		9.96	20.56						
6	C70%AE - M1 (14d)	9.96	20.48	11507	2	77.9	148		162
		9.96	20.37						
7	C70%AE - M2 (14d)	10.13	20.75	13505	3	80.6	168		
		10.13	20.55						
8	C70%AE - M3 (14d)	10.17	20.36	15231	3	81.0	188		
		10.14	20.52						
9	C70%AE - M4 (14d)	10.18	20.73	12522	2	81.5	154		
		10.19	20.88						
10	C70%AE - M5 (14d)	9.92	20.54	11752	2	77.6	151		
		9.96	20.50						
11	C70%AE - M1 (28d)	10.13	20.30	12174	2	80.7	151	169	
		10.14	20.51						
12	C70%AE - M2 (28d)	10.04	20.61	14637	2	78.9	186		
		10.00	20.63						
13	C70%AE - M3 (28d)	9.96	20.71	13406	4	77.8	172		
		9.94	20.72						
14	C70%AE - M4 (28d)	9.91	20.61	13028	3	77.6	168		
		9.97	20.63						
15	C70%AE - M1 (56d)	10.04	20.49	12853	3	79.3	162	177	
		10.06	20.66						
16	C70%AE - M2 (56d)	10.23	20.82	15817	2	82.0	193		
		10.20	20.65						
17	C70%AE - M3 (56d)	9.99	20.48	13449	2	78.3	172		
		9.98	20.52						
18	C70%AE - M4 (56d)	9.95	20.67	14129	3	78.2	181		
		10.00	20.63						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)	
1	C50%AE-RA - M1 (7d)	10.26	20.35	16933	3	82.6	205	191	
		10.25	20.33						
2	C50%AE-RA - M2 (7d)	10.22	20.68	15137	2	82.0	185		
		10.21	20.90						
3	C50%AE-RA - M3 (7d)	10.00	20.70	14775	3	78.2	189		
		9.95	20.75						
4	C50%AE-RA - M4 (7d)	10.02	20.73	14676	3	79.3	185		
		10.07	20.74						
5	C50%AE-RA - M1 (14d)	10.10	20.78	16913	3	80.4	210		203
		10.14	20.60						
6	C50%AE-RA - M2 (14d)	10.14	20.74	16389	2	81.2	202		
		10.19	20.60						
7	C50%AE-RA - M3 (14d)	10.12	20.47	14558	2	80.6	181		
		10.14	20.48						
8	C50%AE-RA - M4 (14d)	10.13	20.62	17473	3	80.5	217		
		10.12	20.60						
9	C50%AE-RA - M1 (28d)	10.01	20.77	16306	2	78.7	207	210	
		10.01	20.73						
10	C50%AE-RA - M2 (28d)	10.15	20.45	16980	2	81.0	210		
		10.16	20.49						
11	C50%AE-RA - M4 (28d)	9.92	20.70	16654	5	77.8	214		
		9.99	20.71						
12	C50%AE-RA - M1 (56d)	10.06	20.69	17716	3	79.2	224	229	
		10.02	20.60						
13	C50%AE-RA - M2 (56d)	10.25	20.36	18860	2	81.6	231		
		10.13	20.52						
14	C50%AE-RA - M4 (56d)	10.17	20.66	18813	2	81.2	232		
		10.17	20.40						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f'c (kgf/cm ²)	f'c Promedio (kgf/cm ²)	
1	C60%AE(RA) - M1 (7d)	9.99	20.35	11736	3	78.6	149	151	
		10.02	20.33						
2	C60%AE(RA) - M2 (7d)	10.14	20.68	11906	2	80.8	147		
		10.15	20.90						
3	C60%AE(RA) - M3 (7d)	9.94	20.70	11974	2	77.8	154		
		9.96	20.75						
4	C60%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.73	12117	2	79.1	153		
		10.05	20.74						
5	C60%AE(RA) - M1 (14d)	9.95	20.78	13560	3	77.7	175		174
		9.94	20.60						
6	C60%AE(RA) - M2 (14d)	9.98	20.74	13651	1	78.9	173		
		10.06	20.60						
7	C60%AE(RA) - M3 (14d)	10.02	20.47	13745	3	79.5	173		
		10.10	20.48						
8	C60%AE(RA) - M4 (14d)	10.10	20.62	13894	3	79.3	175		
		10.00	20.60						
9	C60%AE(RA) - M1 (28d)	10.02	20.77	15233	4	78.7	194	197	
		10.00	20.73						
10	C60%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.45	15388	5	79.4	194		
		10.06	20.49						
11	C60%AE(RA) - M3 (28d)	9.96	20.70	15708	2	77.8	202		
		9.94	20.71						
12	C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	17036	3	78.1	218	220	
		9.99	20.60						
13	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	17187	4	77.4	222		
		9.92	20.52						
14	C60%AE(RA) - M3 (56d)	10.10	20.66	17487	1	79.6	220		
		10.04	20.40						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)	
1	C70%AE(RA) - M1 (7d)	10.06	20.35	11155	3	79.2	141	145	
		10.02	20.33						
2	C70%AE(RA) - M2 (7d)	9.99	20.68	11328	3	77.8	146		
		9.92	20.72						
3	C70%AE(RA) - M3 (7d)	10.00	20.70	11460	3	78.2	146		
		9.96	20.73						
4	C70%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.70	11653	3	79.4	147		
		10.09	20.74						
5	C70%AE(RA) - M1 (14d)	9.99	20.78	13105	3	78.0	168		170
		9.94	20.60						
6	C70%AE(RA) - M2 (14d)	9.98	20.74	13275	2	78.9	168		
		10.06	20.60						
7	C70%AE(RA) - M3 (14d)	10.02	20.42	13433	2	78.8	171		
		10.01	20.48						
8	C70%AE(RA) - M4 (14d)	10.05	20.62	13592	1	78.9	172		
		10.00	20.60						
9	C70%AE(RA) - M1 (28d)	10.00	20.69	14059	2	79.0	178	182	
		10.06	20.73						
10	C70%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.44	14246	2	78.9	181		
		9.99	20.49						
11	C70%AE(RA) - M3 (28d)	9.96	20.66	14568	2	77.8	187		
		9.94	20.71						
12	C70%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	14599	4	78.3	186	189	
		10.02	20.63						
13	C70%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.48	14754	2	77.4	191		
		9.91	20.52						
14	C70%AE(RA) - M3 (56d)	10.09	20.66	15092	3	79.4	190		
		10.02	20.61						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)	
1	C60%AE- SP – M1 (7d)	10.00	20.59	15457	2	78.5	197	195	
		10.00	20.49						
2	C60%AE- SP – M2 (7d)	9.99	20.50	15418	2	78.5	197		
		10.00	20.50						
3	C60%AE- SP – M3 (7d)	10.00	20.50	14982	3	78.5	191		
		9.99	20.46						
4	C60%AE- SP - M1 (14d)	10.27	20.60	17767	3	82.7	215		211
		10.25	20.51						
5	C60%AE- SP - M2 (14d)	9.99	20.60	15517	2	78.7	197		
		10.03	20.70						
6	C60%AE- SP - M3 (14d)	10.22	20.80	17096	2	82.0	208		
		10.22	20.82						
7	C60%AE- SP - M4 (14d)	10.05	20.60	17751	1	79.3	224		
		10.05	20.66						
8	C60%AE- SP – M1 (28d)	10.06	20.60	16468	3	79.1	208	215	
		10.01	20.67						
9	C60%AE- SP – M2 (28d)	10.07	20.66	16299	3	79.3	205		
		10.03	20.63						
10	C60%AE- SP – M3 (28d)	10.28	20.63	19114	3	82.7	231		
		10.24	20.57						
11	C60%AE- SP - M1 (56d)	9.96	20.52	18420	3	78.2	236		231
		9.99	20.65						
12	C60%AE- SP - M2 (56d)	10.26	20.15	19035	2	82.7	230		
		10.26	20.20						
13	C60%AE- SP – M3 (56d)	10.18	20.43	18544	2	81.4	228		
		10.18	20.48						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P (kgf)	Tipo de falla	A (cm ²)	f _c (kgf/cm ²)	f _c Promedio (kgf/cm ²)	
1	C70%AE -SP - M1 (7d)	10.21	20.72	16458	2	81.8	201	200	
		10.20	20.70						
2	C70%AE -SP - M2 (7d)	10.24	20.75	16919	3	82.2	206		
		10.22	20.80						
3	C70%AE -SP - M3 (7d)	9.98	20.64	15066	2	77.9	193		
		9.94	20.70						
4	C70%AE -SP - M1 (14d)	10.19	20.75	17027	3	81.6	209		
		10.20	20.80						
5	C70%AE -SP - M1 (14d)	10.12	20.39	16605	2	80.8	206		207
		10.16	20.45						
6	C70%AE -SP - M2 (14d)	9.94	20.85	16131	5	77.9	207		
		9.98	20.90						
7	C70%AE -SP - M1 (28d)	10.32	20.49	17932	3	82.6	217		
		10.19	20.45						
8	C70%AE -SP - M2 (28d)	10.11	20.48	19476	3	80.9	241	228	
		10.19	20.59						
9	C70%AE -SP - M3 (28d)	10.17	20.45	18424	3	81.1	227		
		10.15	20.35						
10	C70%AE -SP - M1 (56d)	10.00	20.80	19579	3	78.5	249		
		10.00	20.85						
11	C70%AE -SP - M1 (56d)	10.17	20.33	19223	2	81.6	236	236	
		10.21	20.40						
12	C70%AE -SP - M2 (56d)	10.22	20.80	18153	2	81.8	222		
		10.19	20.85						

Formato de Ensayo - Densidad.

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ Promedio (kg/m ³)					
1	CP - M1 (7d)	9.99	20.29	3.87	78.5	1593.6	2431	2419					
		10.01	20.29										
2	CP - M2 (7d)	9.98	20.31	3.85	78.5	1597.8	2409		2419				
		10.01	20.42										
3	CP - M3 (7d)	9.97	20.36	3.85	78.2	1590.8	2421			2419			
		9.99	20.31										
4	CP - M4 (7d)	10.00	20.49	3.89	78.5	1609.7	2417				2419		
		10.00	20.50										
5	CP - M5 (7d)	10.04	20.39	3.91	79.2	1616.3	2420					2419	
		10.04	20.44										
6	CP - M6 (7d)	9.99	20.49	3.87	78.6	1600.7	2420						2419
		10.02	20.23										
7	CP - M1 (14d)	10.05	20.50	3.99	79.3	1631.8	2445	2422					
		10.05	20.64										
8	CP - M2 (14d)	10.07	20.37	3.86	79.4	1609.2	2399		2422				
		10.04	20.16										
9	CP - M3 (14d)	10.17	20.43	3.97	81.1	1648.6	2411			2422			
		10.15	20.24										
10	CP - M4 (14d)	10.05	20.20	3.93	79.4	1610.0	2442				2422		
		10.06	20.35										
11	CP - M5 (14d)	10.03	20.49	3.86	78.6	1603.8	2408					2422	
		9.98	20.31										
12	CP - M6 (14d)	9.99	20.26	3.89	78.8	1600.4	2428						2422
		10.04	20.37										
13	CP - M1 (28d)	10.05	20.22	3.89	79.3	1605.6	2426	2433					
		10.04	20.30										
14	CP - M2 (28d)	10.01	20.50	3.95	78.5	1612.8	2449		2433				
		9.99	20.57										
15	CP - M3 (28d)	10.07	20.21	3.89	79.2	1606.4	2421			2433			
		10.01	20.37										
16	CP - M4 (28d)	10.00	20.36	3.87	78.6	1602.7	2413				2433		
		10.01	20.41										
17	CP - M5 (28d)	10.05	20.25	3.90	79.2	1602.8	2432					2433	
		10.03	20.24										
18	CP - M6 (28d)	10.03	20.25	3.92	78.9	1593.2	2457						2433
		10.01	20.16										
19	CP - M1 (56d)	10.01	20.35	3.81	79.0	1613.0	2362	2382					
		10.05	20.48										
20	CP - M2 (56d)	10.03	20.50	3.88	79.2	1620.2	2393		2382				
		10.05	20.43										
21	CP - M3 (56d)	10.03	20.16	3.83	79.0	1601.1	2392			2382			
		10.03	20.37										
22	CP - M4 (56d)	10.03	20.50	3.85	79.2	1617.8	2380				2382		
		10.05	20.37										

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)																																																																																																																																																																																																																																								
1	C30%AE - M1 (7d)	10.20	20.52	3.54	80.8	1639.2	2145	2169																																																																																																																																																																																																																																								
		10.08	20.30						2	C30%AE - M2 (7d)	9.97	20.50	3.52	78.4	1612.3	2188	2169	10.01	20.57	3	C30%AE - M3 (7d)	9.97	20.51	3.39	78.2	1603.7	2113	2169	9.99	20.50	4	C30%AE - M4 (7d)	10.01	20.41	3.56	78.7	1611.8	2212	2169	10.01	20.48	5	C30%AE - M5 (7d)	10.00	20.63	3.52	78.2	1609.1	2188	2169	9.95	20.59	6	C30%AE - M1 (14d)	10.01	20.55	3.58	78.6	1613.3	2220	2190	10.00	20.52	7	C30%AE - M2 (14d)	10.12	20.53	3.58	80.4	1645.0	2171	2190	10.12	20.45	8	C30%AE - M3 (14d)	10.13	20.49	3.62	80.8	1643.3	2194	2190	10.15	20.35	9	C30%AE - M4 (14d)	10.24	20.25	3.52	81.2	1654.7	2134	2190	10.10	20.37	10	C30%AE - M5 (14d)	9.93	20.83	3.56	77.1	1584.9	2229	2190	9.88	20.57	11	C30%AE - M1 (28d)	10.15	20.50	3.66	81.0	1666.8	2200	2186	10.16	20.58	12	C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194	2186	10.01	20.51	13	C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228	2186	9.97	20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68	83.2	1696.5	2171	2186	10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)	10.03	20.55	3.49	79.2	1639.6	2139	2186	10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141	2143	9.92	20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134	2143	9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127	2143	9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157	2143	9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157	2143	9.96	20.47																							
2	C30%AE - M2 (7d)	9.97	20.50	3.52	78.4	1612.3	2188				2169																																																																																																																																																																																																																																					
		10.01	20.57						3	C30%AE - M3 (7d)		9.97	20.51	3.39	78.2	1603.7		2113	2169	9.99	20.50	4	C30%AE - M4 (7d)	10.01	20.41	3.56	78.7		1611.8	2212	2169	10.01	20.48	5	C30%AE - M5 (7d)	10.00	20.63	3.52		78.2	1609.1	2188	2169	9.95	20.59	6	C30%AE - M1 (14d)	10.01	20.55		3.58	78.6	1613.3	2220	2190	10.00	20.52	7	C30%AE - M2 (14d)	10.12		20.53	3.58	80.4	1645.0	2171	2190	10.12	20.45	8	C30%AE - M3 (14d)		10.13	20.49	3.62	80.8	1643.3	2194	2190	10.15	20.35	9		C30%AE - M4 (14d)	10.24	20.25	3.52	81.2	1654.7	2134	2190	10.10	20.37		10	C30%AE - M5 (14d)	9.93	20.83	3.56	77.1	1584.9	2229	2190	9.88		20.57	11	C30%AE - M1 (28d)	10.15	20.50	3.66	81.0	1666.8	2200	2186		10.16	20.58	12	C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194		2186	10.01	20.51	13	C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7		2228	2186	9.97	20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68	83.2		1696.5	2171	2186	10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)	10.03	20.55	3.49		79.2	1639.6	2139	2186	10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59		3.41	77.2	1599.8	2141	2143	9.92	20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99		20.65	3.45	78.2	1621.7	2134	2143	9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)		10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127	2143	9.95	20.52	19		C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157	2143	9.99	20.76		20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157	2143	9.96	20.47														
3	C30%AE - M3 (7d)	9.97	20.51	3.39	78.2	1603.7	2113					2169																																																																																																																																																																																																																																				
		9.99	20.50						4	C30%AE - M4 (7d)			10.01	20.41	3.56	78.7		1611.8		2212	2169	10.01	20.48	5	C30%AE - M5 (7d)	10.00	20.63		3.52	78.2		1609.1	2188	2169	9.95	20.59	6	C30%AE - M1 (14d)		10.01	20.55	3.58		78.6	1613.3	2220	2190	10.00	20.52		7	C30%AE - M2 (14d)	10.12	20.53		3.58	80.4	1645.0	2171	2190		10.12	20.45	8	C30%AE - M3 (14d)	10.13		20.49	3.62	80.8	1643.3		2194	2190	10.15	20.35	9	C30%AE - M4 (14d)		10.24	20.25	3.52		81.2	1654.7	2134	2190	10.10	20.37	10		C30%AE - M5 (14d)	9.93		20.83	3.56	77.1	1584.9	2229	2190	9.88	20.57		11		C30%AE - M1 (28d)	10.15	20.50	3.66	81.0	1666.8	2200	2186	10.16			20.58	12	C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194	2186			10.01	20.51	13	C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7		2228		2186	9.97	20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68		83.2	1696.5		2171	2186	10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)	10.03		20.55	3.49	79.2		1639.6	2139	2186	10.05	20.71	16		C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	3.41		77.2	1599.8	2141	2143	9.92		20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65		3.45	78.2	1621.7	2134		2143	9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)	10.00		20.58	3.42	78.2		1603.6	2127	2143	9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)		10.08	20.88		3.55	79.1	1641.9	2157	2143	9.99	20.76	20		C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157	2143	9.96	20.47						
4	C30%AE - M4 (7d)	10.01	20.41	3.56	78.7	1611.8	2212						2169																																																																																																																																																																																																																																			
		10.01	20.48						5	C30%AE - M5 (7d)				10.00	20.63	3.52		78.2		1609.1		2188	2169	9.95	20.59	6	C30%AE - M1 (14d)		10.01	20.55		3.58	78.6		1613.3	2220	2190	10.00		20.52	7	C30%AE - M2 (14d)		10.12	20.53	3.58		80.4	1645.0		2171	2190	10.12	20.45		8	C30%AE - M3 (14d)	10.13	20.49			3.62	80.8	1643.3	2194	2190		10.15	20.35	9	C30%AE - M4 (14d)		10.24		20.25	3.52	81.2	1654.7		2134	2190	10.10		20.37	10	C30%AE - M5 (14d)		9.93	20.83	3.56		77.1	1584.9		2229	2190	9.88	20.57	11		C30%AE - M1 (28d)	10.15		20.50		3.66	81.0	1666.8	2200	2186	10.16	20.58		12			C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194	2186	10.01				20.51	13	C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228		2186			9.97	20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68		83.2	1696.5		2171		2186	10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)		10.03	20.55	3.49		79.2	1639.6		2139	2186	10.05		20.71	16	C30%AE - M1 (56d)	9.91		20.59	3.41	77.2		1599.8		2141	2143	9.92	20.72	17		C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45			78.2	1621.7	2134	2143	9.97		20.73	18	C30%AE - M3 (56d)		10.00	20.58		3.42	78.2	1603.6	2127		2143	9.95		20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08		20.88	3.55	79.1		1641.9	2157	2143	9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)		9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157	2143	9.96
5	C30%AE - M5 (7d)	10.00	20.63	3.52	78.2	1609.1	2188							2169																																																																																																																																																																																																																																		
		9.95	20.59						6	C30%AE - M1 (14d)					10.01	20.55		3.58		78.6		1613.3		2220	2190	10.00	20.52		7	C30%AE - M2 (14d)		10.12	20.53		3.58	80.4		1645.0		2171	2190	10.12		20.45	8	C30%AE - M3 (14d)		10.13	20.49		3.62		80.8	1643.3		2194	2190	10.15	20.35			9	C30%AE - M4 (14d)	10.24	20.25			3.52	81.2	1654.7	2134		2190		10.10	20.37	10	C30%AE - M5 (14d)		9.93		20.83		3.56	77.1	1584.9		2229	2190	9.88		20.57	11		C30%AE - M1 (28d)		10.15	20.50	3.66		81.0	1666.8		2200		2186	10.16	20.58	12		C30%AE - M2 (28d)	10.05		20.55			3.56	79.0	1620.5	2194	2186	10.01	20.51		13				C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228	2186	9.97					20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68	83.2		1696.5	2171		2186			10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)		10.03	20.55	3.49		79.2	1639.6		2139		2186		10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)		9.91	20.59	3.41		77.2		1599.8		2141	2143	9.92		20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99			20.65	3.45	78.2		1621.7		2134	2143	9.97		20.73	18		C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42			78.2		1603.6	2127	2143	9.95		20.52	19	C30%AE - M4 (56d)		10.08	20.88		3.55	79.1	1641.9	2157		2143	9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98		20.58
6	C30%AE - M1 (14d)	10.01	20.55	3.58	78.6	1613.3	2220	2190																																																																																																																																																																																																																																								
		10.00	20.52						7	C30%AE - M2 (14d)					10.12	20.53	3.58	80.4		1645.0		2171		2190		10.12	20.45	8	C30%AE - M3 (14d)	10.13		20.49	3.62		80.8	1643.3		2194	2190	10.15		20.35		9	C30%AE - M4 (14d)	10.24		20.25	3.52	81.2	1654.7		2134	2190		10.10		20.37	10		C30%AE - M5 (14d)	9.93	20.83	3.56	77.1			1584.9	2229	2190	9.88	20.57			11	C30%AE - M1 (28d)	10.15	20.50		3.66		81.0	1666.8	2200	2186	10.16		20.58		12		C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56		79.0	1620.5	2194		2186	10.01		20.51	13		C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46		3.57	78.2		1610.7		2228	2186	9.97	20.61	14		C30%AE - M4 (28d)	10.26		20.37		3.68		83.2	1696.5	2171	2186	10.32	20.40	15		C30%AE - M5 (28d)	10.03				20.55	3.49	79.2	1639.6	2139	2186	10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)					9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141	2143	9.92		20.72	17		C30%AE - M2 (56d)			9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7		2134	2143	9.97		20.73	18	C30%AE - M3 (56d)		10.00		20.58		3.42	78.2	1603.6	2127	2143		9.95	20.52	19		C30%AE - M4 (56d)		10.08		20.88	3.55	79.1	1641.9		2157	2143	9.99	20.76			20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58		3.46		78.1	1598.1	2157		2143	9.96		20.47												
7	C30%AE - M2 (14d)	10.12	20.53	3.58	80.4	1645.0	2171				2190																																																																																																																																																																																																																																					
		10.12	20.45						8	C30%AE - M3 (14d)					10.13	20.49	3.62	80.8	1643.3	2194		2190				10.15	20.35	9	C30%AE - M4 (14d)	10.24	20.25	3.52	81.2		1654.7	2134		2190		10.10		20.37	10	C30%AE - M5 (14d)	9.93	20.83		3.56	77.1	1584.9	2229		2190		9.88	20.57		11	C30%AE - M1 (28d)		10.15	20.50	3.66	81.0	1666.8		2200	2186	10.16		20.58	12			C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5		2194	2186	10.01		20.51		13		C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7		2228	2186	9.97			20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26		20.37	3.68	83.2		1696.5	2171		2186	10.32	20.40		15	C30%AE - M5 (28d)	10.03		20.55	3.49		79.2		1639.6	2139	2186	10.05	20.71		16	C30%AE - M1 (56d)	9.91		20.59	3.41		77.2		1599.8	2141	2143	9.92	20.72		17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45				78.2	1621.7	2134	2143	9.97	20.73		18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58		3.42			78.2	1603.6	2127	2143	9.95	20.52	19		C30%AE - M4 (56d)		10.08	20.88	3.55		79.1		1641.9	2157	2143	9.99	20.76	20			C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58		3.46	78.1	1598.1		2157	2143	9.96	20.47																																		
8	C30%AE - M3 (14d)	10.13	20.49	3.62	80.8	1643.3	2194					2190																																																																																																																																																																																																																																				
		10.15	20.35						9	C30%AE - M4 (14d)					10.24	20.25	3.52	81.2	1654.7	2134	2190					10.10	20.37	10	C30%AE - M5 (14d)	9.93	20.83	3.56	77.1	1584.9	2229	2190				9.88		20.57	11	C30%AE - M1 (28d)	10.15	20.50	3.66	81.0	1666.8	2200	2186				10.16	20.58		12	C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194		2186		10.01		20.51	13		C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228		2186		9.97		20.61	14	C30%AE - M4 (28d)		10.26	20.37	3.68	83.2	1696.5	2171		2186		10.32	20.40		15	C30%AE - M5 (28d)	10.03	20.55		3.49	79.2	1639.6		2139	2186	10.05		20.71	16		C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59		3.41	77.2		1599.8	2141	2143	9.92		20.72	17		C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65		3.45	78.2		1621.7	2134	2143	9.97		20.73	18		C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2		1603.6		2127	2143	9.95		20.52	19		C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9			2157	2143	9.99		20.76	20	C30%AE - M5 (56d)		9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1		2157		2143	9.96		20.47																																																		
9	C30%AE - M4 (14d)	10.24	20.25	3.52	81.2	1654.7	2134						2190																																																																																																																																																																																																																																			
		10.10	20.37						10	C30%AE - M5 (14d)					9.93	20.83	3.56	77.1	1584.9	2229			2190			9.88	20.57	11	C30%AE - M1 (28d)	10.15	20.50	3.66	81.0	1666.8	2200		2186			10.16		20.58	12	C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194		2186			10.01	20.51		13	C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228	2186			9.97		20.61	14		C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68	83.2	1696.5	2171	2186			10.32		20.40	15	C30%AE - M5 (28d)		10.03	20.55	3.49	79.2	1639.6	2139	2186			10.05	20.71		16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59		3.41	77.2	1599.8	2141	2143		9.92		20.72	17		C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65		3.45	78.2	1621.7	2134	2143		9.97		20.73	18		C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58		3.42	78.2	1603.6	2127	2143		9.95		20.52	19		C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1		1641.9	2157	2143		9.99		20.76	20		C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157		2143		9.96		20.47																																																																	
10	C30%AE - M5 (14d)	9.93	20.83	3.56	77.1	1584.9	2229							2190																																																																																																																																																																																																																																		
		9.88	20.57						11	C30%AE - M1 (28d)					10.15	20.50	3.66	81.0	1666.8	2200					2186	10.16	20.58	12	C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194					2186	10.01	20.51	13	C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228					2186	9.97	20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68	83.2	1696.5	2171				2186		10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)	10.03	20.55	3.49	79.2	1639.6	2139				2186		10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141				2143	9.92		20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134			2143		9.97	20.73		18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127			2143		9.95	20.52		19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157			2143		9.99	20.76		20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157			2143		9.96	20.47																																																																															
11	C30%AE - M1 (28d)	10.15	20.50	3.66	81.0	1666.8	2200	2186																																																																																																																																																																																																																																								
		10.16	20.58						12	C30%AE - M2 (28d)					10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194				2186		10.01	20.51	13	C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228				2186		9.97	20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68	83.2	1696.5	2171				2186		10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)	10.03	20.55	3.49	79.2	1639.6	2139					2186	10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141					2143	9.92	20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134					2143	9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127					2143	9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157					2143	9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157					2143	9.96	20.47																																																																																													
12	C30%AE - M2 (28d)	10.05	20.55	3.56	79.0	1620.5	2194				2186																																																																																																																																																																																																																																					
		10.01	20.51						13	C30%AE - M3 (28d)					9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228		2186				9.97	20.61	14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68	83.2	1696.5	2171			2186			10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)	10.03	20.55	3.49	79.2	1639.6	2139			2186			10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141			2143			9.92	20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134			2143			9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127			2143			9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157				2143		9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157				2143		9.96	20.47																																																																																																												
13	C30%AE - M3 (28d)	9.98	20.46	3.57	78.2	1610.7	2228					2186																																																																																																																																																																																																																																				
		9.97	20.61						14	C30%AE - M4 (28d)					10.26	20.37	3.68	83.2	1696.5	2171	2186					10.32	20.40	15	C30%AE - M5 (28d)	10.03	20.55	3.49	79.2	1639.6	2139	2186					10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141	2143					9.92	20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134		2143				9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127		2143				9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157		2143				9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157		2143				9.96	20.47																																																																																																																											
14	C30%AE - M4 (28d)	10.26	20.37	3.68	83.2	1696.5	2171						2186																																																																																																																																																																																																																																			
		10.32	20.40						15	C30%AE - M5 (28d)					10.03	20.55	3.49	79.2	1639.6	2139			2186			10.05	20.71	16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141		2143				9.92	20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134		2143				9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127	2143					9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157	2143					9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157	2143					9.96	20.47																																																																																																																																										
15	C30%AE - M5 (28d)	10.03	20.55	3.49	79.2	1639.6	2139							2186																																																																																																																																																																																																																																		
		10.05	20.71						16	C30%AE - M1 (56d)					9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141					2143	9.92	20.72	17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134					2143	9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127					2143	9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157				2143		9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157				2143		9.96	20.47																																																																																																																																																									
16	C30%AE - M1 (56d)	9.91	20.59	3.41	77.2	1599.8	2141	2143																																																																																																																																																																																																																																								
		9.92	20.72						17	C30%AE - M2 (56d)					9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134				2143		9.97	20.73	18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127				2143		9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157				2143		9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157					2143	9.96	20.47																																																																																																																																																																								
17	C30%AE - M2 (56d)	9.99	20.65	3.45	78.2	1621.7	2134				2143																																																																																																																																																																																																																																					
		9.97	20.73						18	C30%AE - M3 (56d)					10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127		2143				9.95	20.52	19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157			2143			9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157			2143			9.96	20.47																																																																																																																																																																																							
18	C30%AE - M3 (56d)	10.00	20.58	3.42	78.2	1603.6	2127					2143																																																																																																																																																																																																																																				
		9.95	20.52						19	C30%AE - M4 (56d)					10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157	2143					9.99	20.76	20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157	2143					9.96	20.47																																																																																																																																																																																																						
19	C30%AE - M4 (56d)	10.08	20.88	3.55	79.1	1641.9	2157						2143																																																																																																																																																																																																																																			
		9.99	20.76						20	C30%AE - M5 (56d)					9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157			2143			9.96	20.47																																																																																																																																																																																																																					
20	C30%AE - M5 (56d)	9.98	20.58	3.46	78.1	1598.1	2157							2143																																																																																																																																																																																																																																		
		9.96	20.47																																																																																																																																																																																																																																													

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	C40%AE - M1 (7d)	10.19	20.90	3.64	81.9	1702.9	2134	2121
		10.23	20.80					
2	C40%AE - M2 (7d)	9.99	20.62	3.46	78.5	1617.1	2139	
		10.00	20.61					
3	C40%AE - M3 (7d)	10.19	20.37	3.52	81.6	1659.5	2117	
		10.19	20.35					
4	C40%AE - M4 (7d)	9.96	20.80	3.47	77.8	1615.0	2146	
		9.95	20.75					
5	C40%AE - M5 (7d)	10.24	20.36	3.50	82.6	1698.3	2069	
		10.27	20.56					
6	C40%AE - M1 (14d)	9.92	20.79	3.33	77.0	1590.4	2088	2116
		9.88	20.66					
7	C40%AE - M2 (14d)	10.17	20.40	3.46	80.9	1657.0	2090	
		10.13	20.48					
8	C40%AE - M3 (14d)	9.96	20.70	3.43	77.3	1603.8	2142	
		9.88	20.75					
9	C40%AE - M4 (14d)	10.02	20.54	3.41	78.4	1609.9	2120	
		9.96	20.54					
10	C40%AE - M5 (14d)	10.13	20.50	3.53	80.3	1649.8	2142	
		10.09	20.55					
11	C40%AE - M1 (28d)	9.94	20.83	3.38	77.9	1600.3	2099	2076
		9.98	20.54					
12	C40%AE - M2 (28d)	10.04	20.72	3.43	79.2	1641.2	2092	
		10.04	20.73					
13	C40%AE - M3 (28d)	10.13	20.44	3.35	80.4	1645.8	2036	
		10.11	20.46					
14	C40%AE - M4 (28d)	10.04	20.57	3.36	79.2	1635.7	2060	
		10.04	20.66					
15	C40%AE - M5 (28d)	9.91	20.70	3.36	77.4	1607.7	2094	
		9.95	20.76					
16	C40%AE - M1 (56d)	10.19	20.47	3.34	81.1	1661.9	2010	2014
		10.13	20.50					
17	C40%AE - M2 (56d)	10.14	20.67	3.32	80.6	1648.3	2002	
		10.12	20.45					
18	C40%AE - M3 (56d)	9.97	20.72	3.31	77.9	1619.7	2049	
		9.95	20.79					
19	C40%AE - M4 (56d)	10.22	20.43	3.29	82.3	1670.1	1964	
		10.25	20.30					
20	C40%AE - M5 (56d)	10.03	20.62	3.33	78.9	1631.4	2046	
		10.01	20.69					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)				
1	C50%AE - M1 (7d)	9.96	20.51	3.24	77.8	1605.7	2022	2038				
		9.94	20.65									
2	C50%AE - M2 (7d)	10.01	20.72	3.22	78.1	1606.7	1998		2038			
		9.93	20.58									
3	C50%AE - M3 (7d)	10.13	20.44	3.26	80.5	1628.1	1990			2038		
		10.12	20.22									
4	C50%AE - M4 (7d)	10.07	20.54	3.44	79.3	1626.2	2112				2038	
		10.02	20.52									
5	C50%AE - M5 (7d)	9.92	20.72	3.31	77.3	1596.8	2069					2038
		9.92	20.66									
6	C50%AE - M1 (14d)	9.93	20.70	3.27	77.3	1599.9	2046	2045				
		9.91	20.70									
7	C50%AE - M2 (14d)	9.99	20.61	3.29	78.3	1610.6	2043		2045			
		9.98	20.57									
8	C50%AE - M3 (14d)	9.99	20.50	3.31	78.7	1613.4	2053			2045		
		10.03	20.50									
9	C50%AE - M4 (14d)	10.14	20.53	3.38	80.5	1648.2	2048				2045	
		10.11	20.47									
10	C50%AE - M5 (14d)	10.15	20.46	3.35	80.5	1640.2	2038					2045
		10.10	20.37									
11	C50%AE - M1 (28d)	10.02	20.55	3.31	78.6	1620.4	2047	2034				
		9.99	20.61									
12	C50%AE - M2 (28d)	10.00	20.62	3.29	78.3	1605.2	2044		2034			
		9.97	20.50									
13	C50%AE - M3 (28d)	10.11	20.41	3.24	80.4	1644.2	1970			2034		
		10.13	20.44									
14	C50%AE - M4 (28d)	10.01	20.54	3.23	78.2	1604.5	2012				2034	
		9.95	20.51									
15	C50%AE - M5 (28d)	10.15	20.75	3.50	81.0	1655.4	2097					2034
		10.16	20.44									
16	C50%AE - M1 (56d)	10.01	20.39	3.18	78.3	1620.8	1975	1992				
		9.96	20.70									
17	C50%AE - M2 (56d)	9.95	20.59	3.19	78.0	1601.9	1987		1992			
		9.98	20.54									
18	C50%AE - M3 (56d)	10.18	20.36	3.36	81.2	1665.2	2023			1992		
		10.16	20.50									
19	C50%AE - M4 (56d)	10.16	20.30	3.34	81.2	1666.8	2016				1992	
		10.18	20.52									
20	C50%AE - M5 (56d)	10.08	20.65	3.28	79.9	1648.7	1989					1992
		10.09	20.64									
21	C50%AE - M6 (56d)	10.04	20.79	3.21	78.9	1630.7	1961	1992				
		10.01	20.66									

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	C60%AE - M1 (7d)	10.27	20.47	3.25	83.1	1692.3	1915	1943
		10.30	20.37					
2	C60%AE - M2 (7d)	10.12	20.41	3.12	80.4	1641.0	1902	
		10.11	20.42					
3	C60%AE - M3 (7d)	10.02	20.57	3.25	79.0	1631.6	1995	
		10.04	20.65					
4	C60%AE - M4 (7d)	10.16	20.60	3.09	80.7	1652.1	1866	
		10.11	20.48					
5	C60%AE - M5 (7d)	10.23	20.26	3.35	81.4	1638.4	2036	
		10.13	20.13					
6	C60%AE - M1 (14d)	9.99	20.33	3.17	78.3	1613.8	1981	1936
		9.98	20.61					
7	C60%AE - M2 (14d)	10.15	20.51	3.28	81.2	1657.1	1976	
		10.19	20.40					
8	C60%AE - M3 (14d)	9.96	20.38	3.16	78.2	1594.3	1983	
		10.00	20.38					
9	C60%AE - M4 (14d)	10.23	20.49	3.10	80.5	1645.0	1880	
		10.02	20.43					
10	C60%AE - M5 (14d)	10.20	20.37	3.08	81.4	1653.8	1863	
		10.16	20.32					
11	C60%AE - M1 (28d)	9.99	20.62	3.17	78.1	1616.8	1962	1969
		9.95	20.71					
12	C60%AE - M2 (28d)	10.10	20.16	3.32	80.3	1623.3	2050	
		10.12	20.22					
13	C60%AE - M3 (28d)	10.17	20.48	3.16	80.9	1642.5	1916	
		10.13	20.30					
14	C60%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	3.14	77.8	1589.4	1962	
		9.94	20.44					
15	C60%AE - M5 (28d)	10.05	20.56	3.18	79.3	1630.2	1953	
		10.04	20.57					
16	C60%AE - M1 (56d)	10.08	20.65	3.09	79.9	1648.7	1875	1897
		10.09	20.64					
17	C60%AE - M2 (56d)	10.18	20.36	3.22	81.2	1665.2	1943	
		10.16	20.50					
18	C60%AE - M3 (56d)	9.96	20.71	3.07	77.8	1589.4	1917	
		9.94	20.44					
19	C60%AE - M4 (56d)	10.08	20.65	3.15	79.9	1648.7	1909	
		10.09	20.64					
20	C60%AE - M5 (56d)	9.99	20.62	2.97	78.1	1616.8	1841	
		9.95	20.71					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	C70%AE - M1 (7d)	9.92	20.70	2.99	77.4	1594.6	1874	1847
		9.93	20.61					
2	C70%AE - M2 (7d)	10.03	20.71	2.96	78.9	1630.7	1813	
		10.02	20.66					
3	C70%AE - M3 (7d)	9.94	20.61	2.91	77.9	1603.4	1814	
		9.98	20.58					
4	C70%AE - M4 (7d)	10.14	20.36	3.04	81.2	1655.5	1839	
		10.19	20.40					
5	C70%AE - M5 (7d)	9.92	20.62	3.03	77.6	1595.5	1894	
		9.96	20.56					
6	C70%AE - M1 (14d)	9.96	20.48	3.02	77.9	1587.0	1896	1920
		9.96	20.37					
7	C70%AE - M2 (14d)	10.13	20.75	3.15	80.6	1656.3	1892	
		10.13	20.55					
8	C70%AE - M3 (14d)	10.17	20.36	3.29	81.0	1661.9	1986	
		10.14	20.52					
9	C70%AE - M4 (14d)	10.18	20.73	3.27	81.5	1701.1	1926	
		10.19	20.88					
10	C70%AE - M5 (14d)	9.92	20.54	3.03	77.6	1590.8	1902	
		9.96	20.50					
11	C70%AE - M1 (28d)	9.96	20.76	3.00	77.8	1627.4	1850	1865
		9.95	20.91					
12	C70%AE - M2 (28d)	10.13	20.30	2.90	80.7	1654.5	1763	
		10.14	20.51					
13	C70%AE - M3 (28d)	10.04	20.61	3.21	78.9	1626.7	1974	
		10.00	20.63					
14	C70%AE - M4 (28d)	9.96	20.71	2.94	77.8	1611.2	1825	
		9.94	20.72					
15	C70%AE - M5 (28d)	9.91	20.61	3.06	77.6	1600.9	1910	
		9.97	20.63					
16	C70%AE - M1 (56d)	10.04	20.49	2.93	79.3	1639.0	1792	1784
		10.06	20.66					
17	C70%AE - M2 (56d)	10.23	20.82	3.23	82.0	1692.3	1903	
		10.20	20.65					
18	C70%AE - M3 (56d)	9.98	20.61	2.81	78.5	1615.5	1740	
		10.01	20.59					
19	C70%AE - M4 (56d)	9.99	20.48	2.77	78.3	1606.7	1724	
		9.98	20.52					
20	C70%AE - M5 (56d)	9.95	20.67	2.84	78.2	1612.2	1758	
		10.00	20.63					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)																																																																																																																																																			
1	C50%AE(RA) - M1 (7d)	10.26	20.35	3.42	82.6	1679.3	2033	2042																																																																																																																																																			
		10.25	20.33						2	C50%AE(RA) - M2 (7d)	10.22	20.68	3.48	82.0	1712.8	2040	10.21	20.90	3	C50%AE(RA) - M3 (7d)	10.00	20.70	3.36	78.2	1621.6	2072	9.95	20.75	4	C50%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.73	3.33	79.3	1643.6	2024	10.07	20.74	5	C50%AE(RA) - M1 (14d)	10.10	20.78	3.45	80.4	1657.1	2070	10.14	20.60	6	C50%AE(RA) - M2 (14d)	10.14	20.74	3.43	81.2	1671.7	2044	2052	10.19	20.60	7	C50%AE(RA) - M3 (14d)	10.12	20.47	3.38	80.6	1650.7	2047	10.14	20.48	8	C50%AE(RA) - M4 (14d)	10.13	20.62	3.40	80.5	1658.7	2047	10.12	20.60	9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013	10.01	20.73	10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5	2007	10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6	1685.9	2017	10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4	2024	10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6	1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66
2	C50%AE(RA) - M2 (7d)	10.22	20.68	3.48	82.0	1712.8	2040																																																																																																																																																				
		10.21	20.90						3	C50%AE(RA) - M3 (7d)	10.00	20.70	3.36	78.2	1621.6	2072	9.95	20.75	4	C50%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.73	3.33	79.3	1643.6	2024	10.07	20.74	5	C50%AE(RA) - M1 (14d)	10.10	20.78	3.45	80.4	1657.1	2070	10.14	20.60	6	C50%AE(RA) - M2 (14d)	10.14	20.74	3.43	81.2	1671.7	2044	2052	10.19	20.60	7	C50%AE(RA) - M3 (14d)	10.12	20.47	3.38	80.6	1650.7		2047	10.14	20.48	8	C50%AE(RA) - M4 (14d)	10.13	20.62	3.40	80.5	1658.7	2047	10.12	20.60	9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013	10.01	20.73	10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0		1659.5	2007	10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6	1685.9	2017	10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37		81.6	1673.4	2024	10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6	1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1	1977	10.17	20.40	
3	C50%AE(RA) - M3 (7d)	10.00	20.70	3.36	78.2	1621.6	2072																																																																																																																																																				
		9.95	20.75						4	C50%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.73	3.33	79.3	1643.6	2024	10.07	20.74	5	C50%AE(RA) - M1 (14d)	10.10	20.78	3.45	80.4	1657.1	2070	10.14	20.60	6	C50%AE(RA) - M2 (14d)	10.14	20.74	3.43	81.2	1671.7	2044	2052	10.19	20.60	7	C50%AE(RA) - M3 (14d)	10.12	20.47	3.38	80.6	1650.7		2047	10.14	20.48	8	C50%AE(RA) - M4 (14d)	10.13	20.62	3.40	80.5	1658.7	2047	10.12	20.60	9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013	10.01	20.73	10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5		2007	10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41		82.6	1685.9	2017	10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6		1673.4	2024	10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99		20.60	3.15	78.3	1610.6	1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1	1977	10.17	20.40									
4	C50%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.73	3.33	79.3	1643.6	2024																																																																																																																																																				
		10.07	20.74						5	C50%AE(RA) - M1 (14d)	10.10	20.78	3.45	80.4	1657.1	2070	10.14	20.60	6	C50%AE(RA) - M2 (14d)	10.14	20.74	3.43	81.2	1671.7	2044	2052	10.19	20.60	7	C50%AE(RA) - M3 (14d)	10.12	20.47	3.38	80.6	1650.7		2047	10.14	20.48	8	C50%AE(RA) - M4 (14d)	10.13	20.62	3.40	80.5	1658.7	2047	10.12	20.60	9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013	10.01	20.73	10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5		2007	10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6		1685.9	2017	10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4		2024	10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15		78.3	1610.6	1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)		10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1	1977	10.17	20.40																		
5	C50%AE(RA) - M1 (14d)	10.10	20.78	3.45	80.4	1657.1	2070																																																																																																																																																				
		10.14	20.60						6	C50%AE(RA) - M2 (14d)	10.14	20.74	3.43	81.2	1671.7	2044	2052	10.19	20.60	7	C50%AE(RA) - M3 (14d)	10.12	20.47	3.38	80.6	1650.7		2047	10.14	20.48	8	C50%AE(RA) - M4 (14d)	10.13	20.62	3.40	80.5	1658.7	2047	10.12	20.60	9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013	10.01	20.73	10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5		2007	10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6		1685.9	2017	10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4		2024	10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3		1610.6	1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66		3.30	81.2	1657.1	1977	10.17	20.40																												
6	C50%AE(RA) - M2 (14d)	10.14	20.74	3.43	81.2	1671.7	2044				2052																																																																																																																																																
		10.19	20.60						7	C50%AE(RA) - M3 (14d)		10.12	20.47	3.38	80.6	1650.7		2047	10.14	20.48	8	C50%AE(RA) - M4 (14d)	10.13	20.62	3.40	80.5	1658.7	2047	10.12	20.60	9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013	10.01	20.73	10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5		2007	10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6		1685.9	2017	10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4		2024	10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3		1610.6	1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30		81.2	1657.1	1977	10.17	20.40																																						
7	C50%AE(RA) - M3 (14d)	10.12	20.47	3.38	80.6	1650.7	2047																																																																																																																																																				
		10.14	20.48						8	C50%AE(RA) - M4 (14d)		10.13	20.62	3.40	80.5	1658.7	2047	10.12	20.60	9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013	10.01	20.73	10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5	2007		10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6	1685.9		2017	10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4	2024		10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6		1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2		1657.1	1977	10.17	20.40																																																	
8	C50%AE(RA) - M4 (14d)	10.13	20.62	3.40	80.5	1658.7	2047																																																																																																																																																				
		10.12	20.60						9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013	10.01	20.73	10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5	2007		10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6	1685.9	2017		10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4	2024		10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6	1957		9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1		1977	10.17	20.40																																																												
9	C50%AE(RA) - M1 (28d)	10.01	20.77	3.29	78.7	1631.5	2015	2013																																																																																																																																																			
		10.01	20.73						10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5	2007		10.16	20.49	11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6	1685.9	2017		10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4	2024		10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6	1957		9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1	1977		10.17	20.40																																																																							
10	C50%AE(RA) - M2 (28d)	10.15	20.45	3.33	81.0	1659.5	2007																																																																																																																																																				
		10.16	20.49						11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6	1685.9	2017		10.25	20.41	12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4	2024		10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6	1957		9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1	1977		10.17	20.40																																																																																		
11	C50%AE(RA) - M3 (28d)	10.26	20.50	3.41	82.6	1685.9	2017																																																																																																																																																				
		10.25	20.41						12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013	9.99	20.71	13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4	2024		10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6	1957		9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1	1977		10.17	20.40																																																																																													
12	C50%AE(RA) - M4 (28d)	9.92	20.70	3.24	77.8	1611.9	2013																																																																																																																																																				
		9.99	20.71					13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990	1987	10.02	20.60	14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4	2024		10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6	1957		9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1	1977		10.17	20.40																																																																																																								
13	C50%AE(RA) - M1 (56d)	10.06	20.69	3.25	79.2	1630.9	1990			1987																																																																																																																																																	
		10.02	20.60					14	C50%AE(RA) - M2 (56d)		10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4		2024	10.13	20.52	15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6		1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1		1977	10.17	20.40																																																																																																																		
14	C50%AE(RA) - M2 (56d)	10.25	20.36	3.37	81.6	1673.4	2024																																																																																																																																																				
		10.13	20.52					15	C50%AE(RA) - M3 (56d)		9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6		1957	9.98	20.57	16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1		1977	10.17	20.40																																																																																																																													
15	C50%AE(RA) - M3 (56d)	9.99	20.60	3.15	78.3	1610.6	1957																																																																																																																																																				
		9.98	20.57					16	C50%AE(RA) - M4 (56d)		10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1		1977	10.17	20.40																																																																																																																																								
16	C50%AE(RA) - M4 (56d)	10.17	20.66	3.30	81.2	1657.1	1977																																																																																																																																																				
		10.17	20.40																																																																																																																																																								

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	P PROMEDIO (kg/m ³)																																																																																																																																																																													
1	C60%AE(RA) - M1 (7d)	9.99	20.35	3.19	78.6	1598.3	1995	1953																																																																																																																																																																													
		10.02	20.33						2	C60%AE(RA) - M2 (7d)	10.14	20.68	3.18	80.8	1689.3	1892	1953	10.15	20.90	3	C60%AE(RA) - M3 (7d)	9.94	20.70	3.18	77.8	1613.5	1974	1953	9.96	20.75	4	C60%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.73	3.20	79.1	1640.3	1951	1953	10.05	20.74	5	C60%AE(RA) - M1 (14d)	9.95	20.78	3.16	77.7	1600.2	1966	1946	9.94	20.60	6	C60%AE(RA) - M2 (14d)	9.98	20.74	3.17	78.9	1624.3	1945	1946	10.06	20.60	7	C60%AE(RA) - M3 (14d)	10.02	20.47	3.15	79.5	1628.0	1935	1946	10.10	20.48	8	C60%AE(RA) - M4 (14d)	10.10	20.62	3.17	79.3	1634.2	1939	1946	10.00	20.60	9	C60%AE(RA) - M1 (28d)	10.02	20.77	3.22	78.7	1631.5	1972	1979	10.00	20.73	10	C60%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.45	3.20	79.4	1627.1	1969	1979	10.06	20.49	11	C60%AE(RA) - M3 (28d)	10.11	20.50	3.21	80.2	1636.9	1957	1979	10.10	20.41	12	C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.70	3.25	77.8	1610.4	2019	1979	9.94	20.71	13	C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2	1886	1907	9.99	20.60	14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08	77.4	1589.1	1946	1907	9.92	20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95	20.60	3.10	78.0	1604.3	1931	1907	9.98	20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05	79.6	1624.7	1865	1907	10.04	20.40								
2	C60%AE(RA) - M2 (7d)	10.14	20.68	3.18	80.8	1689.3	1892				1953																																																																																																																																																																										
		10.15	20.90						3	C60%AE(RA) - M3 (7d)		9.94	20.70	3.18	77.8	1613.5		1974	1953	9.96	20.75	4	C60%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.73	3.20	79.1		1640.3	1951	1953	10.05	20.74	5	C60%AE(RA) - M1 (14d)	9.95	20.78	3.16		77.7	1600.2	1966	1946	9.94	20.60	6	C60%AE(RA) - M2 (14d)	9.98	20.74		3.17	78.9	1624.3	1945	1946	10.06	20.60	7	C60%AE(RA) - M3 (14d)	10.02		20.47	3.15	79.5	1628.0	1935	1946	10.10	20.48	8	C60%AE(RA) - M4 (14d)		10.10	20.62	3.17	79.3	1634.2	1939	1946	10.00	20.60	9		C60%AE(RA) - M1 (28d)	10.02	20.77	3.22	78.7	1631.5	1972	1979	10.00	20.73		10	C60%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.45	3.20	79.4	1627.1	1969	1979	10.06		20.49	11	C60%AE(RA) - M3 (28d)	10.11	20.50	3.21	80.2	1636.9	1957	1979		10.10	20.41	12	C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.70	3.25	77.8	1610.4	2019		1979	9.94	20.71	13	C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2		1886	1907	9.99	20.60	14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08	77.4		1589.1	1946	1907	9.92	20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95	20.60	3.10		78.0	1604.3	1931	1907	9.98	20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66		3.05	79.6	1624.7	1865	1907	10.04	20.40			
3	C60%AE(RA) - M3 (7d)	9.94	20.70	3.18	77.8	1613.5	1974					1953																																																																																																																																																																									
		9.96	20.75						4	C60%AE(RA) - M4 (7d)			10.02	20.73	3.20	79.1		1640.3		1951	1953	10.05	20.74	5	C60%AE(RA) - M1 (14d)	9.95	20.78		3.16	77.7		1600.2	1966	1946	9.94	20.60	6	C60%AE(RA) - M2 (14d)		9.98	20.74	3.17		78.9	1624.3	1945	1946	10.06	20.60		7	C60%AE(RA) - M3 (14d)	10.02	20.47		3.15	79.5	1628.0	1935	1946		10.10	20.48	8	C60%AE(RA) - M4 (14d)	10.10		20.62	3.17	79.3	1634.2		1939	1946	10.00	20.60	9	C60%AE(RA) - M1 (28d)		10.02	20.77	3.22		78.7	1631.5	1972	1979	10.00	20.73	10		C60%AE(RA) - M2 (28d)	10.05		20.45	3.20	79.4	1627.1	1969	1979	10.06	20.49		11		C60%AE(RA) - M3 (28d)	10.11	20.50	3.21	80.2	1636.9	1957	1979	10.10			20.41	12	C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.70	3.25	77.8	1610.4	2019	1979			9.94	20.71	13	C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2		1886		1907	9.99	20.60	14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08		77.4	1589.1		1946	1907	9.92	20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95		20.60	3.10	78.0		1604.3	1931	1907	9.98	20.57	16		C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05		79.6	1624.7	1865	1907	10.04
4	C60%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.73	3.20	79.1	1640.3	1951						1953																																																																																																																																																																								
		10.05	20.74						5	C60%AE(RA) - M1 (14d)				9.95	20.78	3.16		77.7		1600.2		1966	1946	9.94	20.60	6	C60%AE(RA) - M2 (14d)		9.98	20.74		3.17	78.9		1624.3	1945	1946	10.06		20.60	7	C60%AE(RA) - M3 (14d)		10.02	20.47	3.15		79.5	1628.0		1935	1946	10.10	20.48		8	C60%AE(RA) - M4 (14d)	10.10	20.62			3.17	79.3	1634.2	1939	1946		10.00	20.60	9	C60%AE(RA) - M1 (28d)		10.02		20.77	3.22	78.7	1631.5		1972	1979	10.00		20.73	10	C60%AE(RA) - M2 (28d)		10.05	20.45	3.20		79.4	1627.1		1969	1979	10.06	20.49	11		C60%AE(RA) - M3 (28d)	10.11		20.50		3.21	80.2	1636.9	1957	1979	10.10	20.41		12			C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.70	3.25	77.8	1610.4	2019	1979	9.94				20.71	13	C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2	1886		1907			9.99	20.60	14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08		77.4	1589.1		1946		1907	9.92	20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)		9.95	20.60	3.10		78.0	1604.3		1931	1907	9.98		20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10		20.66	3.05	79.6		1624.7
5	C60%AE(RA) - M1 (14d)	9.95	20.78	3.16	77.7	1600.2	1966							1946																																																																																																																																																																							
		9.94	20.60						6	C60%AE(RA) - M2 (14d)					9.98	20.74		3.17		78.9		1624.3		1945	1946	10.06	20.60		7	C60%AE(RA) - M3 (14d)		10.02	20.47		3.15	79.5		1628.0		1935	1946	10.10		20.48	8	C60%AE(RA) - M4 (14d)		10.10	20.62		3.17		79.3	1634.2		1939	1946	10.00	20.60			9	C60%AE(RA) - M1 (28d)	10.02	20.77			3.22	78.7	1631.5	1972		1979		10.00	20.73	10	C60%AE(RA) - M2 (28d)		10.05		20.45		3.20	79.4	1627.1		1969	1979	10.06		20.49	11		C60%AE(RA) - M3 (28d)		10.11	20.50	3.21		80.2	1636.9		1957		1979	10.10	20.41	12		C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96		20.70			3.25	77.8	1610.4	2019	1979	9.94	20.71		13				C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2	1886	1907	9.99					20.60	14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08	77.4		1589.1	1946		1907			9.92	20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)		9.95	20.60	3.10		78.0	1604.3		1931		1907		9.98	20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)		10.10	20.66	3.05		79.6
6	C60%AE(RA) - M2 (14d)	9.98	20.74	3.17	78.9	1624.3	1945								1946																																																																																																																																																																						
		10.06	20.60						7	C60%AE(RA) - M3 (14d)						10.02		20.47		3.15		79.5		1628.0		1935	1946		10.10	20.48		8	C60%AE(RA) - M4 (14d)		10.10	20.62		3.17		79.3		1634.2		1939	1946	10.00		20.60	9		C60%AE(RA) - M1 (28d)		10.02	20.77		3.22		78.7	1631.5			1972	1979	10.00	20.73			10	C60%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.45				3.20	79.4	1627.1	1969		1979		10.06		20.49	11	C60%AE(RA) - M3 (28d)		10.11		20.50		3.21	80.2		1636.9		1957	1979	10.10		20.41	12		C60%AE(RA) - M4 (28d)			9.96	20.70	3.25		77.8	1610.4		2019			1979	9.94	20.71	13		C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95		20.69				3.04	78.1	1608.2	1886	1907	9.99	20.60		14					C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08	77.4	1589.1	1946		1907	9.92					20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95		20.60	3.10	78.0		1604.3	1931		1907				9.98	20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)		10.10	20.66	3.05		79.6
7	C60%AE(RA) - M3 (14d)	10.02	20.47	3.15	79.5	1628.0	1935	1946																																																																																																																																																																													
		10.10	20.48						8	C60%AE(RA) - M4 (14d)						10.10	20.62	3.17		79.3		1634.2		1939		1946		10.00	20.60	9		C60%AE(RA) - M1 (28d)	10.02		20.77	3.22		78.7	1631.5	1972		1979		10.00		20.73		10	C60%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.45		3.20	79.4		1627.1		1969	1979		10.06	20.49		11	C60%AE(RA) - M3 (28d)			10.11	20.50	3.21	80.2	1636.9			1957	1979	10.10	20.41				12	C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.70	3.25		77.8		1610.4		2019	1979	9.94	20.71		13		C60%AE(RA) - M1 (56d)		9.95	20.69		3.04	78.1		1608.2	1886	1907		9.99	20.60		14		C60%AE(RA) - M2 (56d)		9.94	20.36	3.08		77.4	1589.1		1946		1907		9.92	20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)		9.95	20.60		3.10	78.0				1604.3	1931	1907	9.98	20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10		20.66					3.05	79.6	1624.7	1865	1907	10.04	20.40																			
8	C60%AE(RA) - M4 (14d)	10.10	20.62	3.17	79.3	1634.2	1939				1946																																																																																																																																																																										
		10.00	20.60						9	C60%AE(RA) - M1 (28d)						10.02	20.77	3.22	78.7	1631.5		1972		1979				10.00	20.73	10	C60%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.45		3.20	79.4		1627.1	1969	1979			10.06	20.49		11		C60%AE(RA) - M3 (28d)	10.11	20.50	3.21		80.2	1636.9	1957	1979		10.10			20.41	12		C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96		20.70	3.25	77.8	1610.4	2019	1979			9.94		20.71	13	C60%AE(RA) - M1 (56d)			9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2		1886		1907	9.99	20.60		14	C60%AE(RA) - M2 (56d)		9.94		20.36		3.08	77.4	1589.1	1946	1907		9.92	20.52			15	C60%AE(RA) - M3 (56d)		9.95	20.60	3.10		78.0	1604.3	1931		1907	9.98		20.57			16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05		79.6	1624.7		1865	1907		10.04		20.40																																							
9	C60%AE(RA) - M1 (28d)	10.02	20.77	3.22	78.7	1631.5	1972					1979																																																																																																																																																																									
		10.00	20.73						10	C60%AE(RA) - M2 (28d)						10.05	20.45	3.20	79.4	1627.1	1969	1979						10.06	20.49	11	C60%AE(RA) - M3 (28d)	10.11	20.50	3.21	80.2	1636.9		1957	1979				10.10	20.41		12	C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.70	3.25	77.8		1610.4	2019	1979			9.94		20.71	13	C60%AE(RA) - M1 (56d)		9.95	20.69		3.04	78.1	1608.2	1886	1907			9.99	20.60		14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94			20.36	3.08	77.4	1589.1	1946	1907	9.92			20.52	15		C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95		20.60		3.10	78.0	1604.3	1931	1907	9.98			20.57	16			C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05	79.6	1624.7		1865	1907	10.04			20.40																																																										
10	C60%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.45	3.20	79.4	1627.1	1969						1979																																																																																																																																																																								
		10.06	20.49						11	C60%AE(RA) - M3 (28d)						10.11	20.50	3.21	80.2	1636.9	1957		1979					10.10	20.41	12	C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.70	3.25	77.8	1610.4	2019	1979					9.94	20.71		13	C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2	1886	1907				9.99		20.60	14	C60%AE(RA) - M2 (56d)		9.94	20.36	3.08	77.4	1589.1	1946	1907				9.92	20.52		15	C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95		20.60	3.10	78.0	1604.3	1931	1907		9.98			20.57	16		C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05		79.6	1624.7	1865	1907		10.04			20.40																																																																										
11	C60%AE(RA) - M3 (28d)	10.11	20.50	3.21	80.2	1636.9	1957							1979																																																																																																																																																																							
		10.10	20.41						12	C60%AE(RA) - M4 (28d)						9.96	20.70	3.25	77.8	1610.4	2019				1979			9.94	20.71	13	C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2	1886				1907		9.99	20.60		14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08	77.4	1589.1	1946				1907	9.92		20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)		9.95	20.60	3.10	78.0	1604.3	1931				1907	9.98	20.57		16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10		20.66	3.05	79.6	1624.7	1865			1907	10.04		20.40																																																																																										
12	C60%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.70	3.25	77.8	1610.4	2019								1979																																																																																																																																																																						
		9.94	20.71						13	C60%AE(RA) - M1 (56d)						9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2	1886						1907	9.99	20.60	14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08	77.4	1589.1	1946						1907	9.92	20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95	20.60	3.10	78.0	1604.3	1931					1907		9.98	20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05	79.6	1624.7	1865					1907	10.04		20.40																																																																																																								
13	C60%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	3.04	78.1	1608.2	1886	1907																																																																																																																																																																													
		9.99	20.60						14	C60%AE(RA) - M2 (56d)						9.94	20.36	3.08	77.4	1589.1	1946					1907		9.92	20.52	15	C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95	20.60	3.10	78.0	1604.3	1931					1907		9.98	20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05	79.6	1624.7	1865						1907	10.04	20.40																																																																																																																								
14	C60%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.36	3.08	77.4	1589.1	1946				1907																																																																																																																																																																										
		9.92	20.52						15	C60%AE(RA) - M3 (56d)						9.95	20.60	3.10	78.0	1604.3	1931			1907				9.98	20.57	16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05	79.6	1624.7	1865			1907				10.04	20.40																																																																																																																																								
15	C60%AE(RA) - M3 (56d)	9.95	20.60	3.10	78.0	1604.3	1931					1907																																																																																																																																																																									
		9.98	20.57						16	C60%AE(RA) - M4 (56d)						10.10	20.66	3.05	79.6	1624.7	1865	1907						10.04	20.40																																																																																																																																																								
16	C60%AE(RA) - M4 (56d)	10.10	20.66	3.05	79.6	1624.7	1865						1907																																																																																																																																																																								
		10.04	20.40																																																																																																																																																																																		

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	P PROMEDIO (kg/m ³)	
1	C70%AE(RA) - M1 (7d)	10.06	20.35	3.20	79.2	1609.5	1987	1957	
		10.02	20.33						
2	C70%AE(RA) - M2 (7d)	9.99	20.68	3.15	77.8	1612.6	1955		
		9.92	20.72						
3	C70%AE(RA) - M3 (7d)	10.00	20.70	3.18	78.2	1621.7	1964		
		9.96	20.73						
4	C70%AE(RA) - M4 (7d)	10.02	20.70	3.16	79.4	1647.0	1921		
		10.09	20.74						
5	C70%AE(RA) - M1 (14d)	9.99	20.78	3.11	78.0	1606.6	1927		1930
		9.94	20.60						
6	C70%AE(RA) - M2 (14d)	9.98	20.74	3.15	78.9	1624.3	1933		
		10.06	20.60						
7	C70%AE(RA) - M3 (14d)	10.02	20.42	3.12	78.8	1613.4	1937		
		10.01	20.48						
8	C70%AE(RA) - M4 (14d)	10.05	20.62	3.13	78.9	1626.0	1924		
		10.00	20.60						
9	C70%AE(RA) - M1 (28d)	10.00	20.69	3.03	79.0	1637.9	1852	1875	
		10.06	20.73						
10	C70%AE(RA) - M2 (28d)	10.05	20.44	3.01	78.9	1615.6	1865		
		9.99	20.49						
11	C70%AE(RA) - M3 (28d)	10.00	20.50	3.06	78.7	1606.3	1901		
		10.02	20.41						
12	C70%AE(RA) - M4 (28d)	9.96	20.66	3.03	77.8	1610.4	1884		
		9.94	20.71						
13	C70%AE(RA) - M1 (56d)	9.95	20.69	2.90	78.3	1615.3	1790		1794
		10.02	20.63						
14	C70%AE(RA) - M2 (56d)	9.94	20.48	2.92	77.4	1587.6	1841		
		9.91	20.52						
15	C70%AE(RA) - M3 (56d)	9.95	20.51	2.88	77.9	1602.6	1800		
		9.97	20.57						
16	C70%AE(RA) - M4 (56d)	10.09	20.66	2.86	79.4	1636.6	1745		
		10.02	20.61						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)	
1	C60%AE(SP) - M1 (7d)	10.21	20.37	3.16	81.3	1658.7	1906	1939	
		10.14	20.40						
2	C60%AE(SP) - M2 (7d)	10.00	20.59	3.14	78.5	1609.3	1947		
		10.00	20.49						
3	C60%AE(SP) - M3 (7d)	9.99	20.50	3.15	78.5	1608.4	1960		
		10.00	20.50						
4	C60%AE(SP) - M4 (7d)	10.00	20.50	3.12	78.5	1605.3	1941		
		9.99	20.46						
5	C60%AE(SP) - M1 (14d)	10.27	20.60	3.33	82.7	1695.8	1960		
		10.25	20.51						
6	C60%AE(SP) - M2 (14d)	9.99	20.60	3.13	78.7	1629.1	1928		1947
		10.03	20.70						
7	C60%AE(SP) - M3 (14d)	10.22	20.80	3.35	82.0	1707.9	1964		
		10.22	20.82						
8	C60%AE(SP) - M4 (14d)	10.05	20.60	3.17	79.3	1639.0	1938		
		10.05	20.66						
9	C60%AE(SP) - M1 (28d)	10.22	20.49	3.20	81.1	1661.1	1929		
		10.10	20.49						
10	C60%AE(SP) - M2 (28d)	10.06	20.60	3.07	79.1	1634.8	1881	1911	
		10.01	20.67						
11	C60%AE(SP) - M3 (28d)	10.07	20.66	3.14	79.3	1636.6	1915		
		10.03	20.63						
12	C60%AE(SP) - M4 (28d)	10.28	20.63	3.27	82.7	1700.7	1919		
		10.24	20.57						
13	C60%AE(SP) - M1 (56d)	9.96	20.52	3.12	78.2	1613.8	1942	1965	
		9.99	20.65						
14	C60%AE(SP) - M2 (56d)	10.26	20.15	3.29	82.7	1670.1	1974		
		10.26	20.20						
15	C60%AE(SP) - M3 (56d)	10.14	20.37	3.20	80.5	1637.0	1952		
		10.11	20.33						
16	C60%AE(SP) - M4 (56d)	10.18	20.43	3.31	81.4	1666.9	1991		
		10.18	20.48						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)	
1	C70%AE -SP - M1 (7d)	10.21	20.72	3.17	81.8	1693.1	1871	1846	
		10.20	20.70						
2	C70%AE -SP - M1 (7d)	10.13	20.54	3.02	80.7	1653.7	1824		
		10.14	20.50						
3	C70%AE -SP - M2 (7d)	10.24	20.75	3.13	82.2	1709.6	1831		
		10.22	20.80						
4	C70%AE -SP - M3 (7d)	9.98	20.64	2.99	77.9	1612.7	1857		
		9.94	20.70						
5	C70%AE -SP - M1 (7d)	10.21	20.57	3.14	81.7	1683.2	1864		1860
		10.19	20.60						
6	C70%AE -SP - M1 (14d)	10.19	20.75	3.16	81.6	1697.9	1862		
		10.20	20.80						
7	C70%AE -SP - M1 (14d)	10.12	20.39	3.06	80.8	1651.3	1856		
		10.16	20.45						
8	C70%AE -SP - M2 (14d)	9.94	20.85	3.02	77.9	1628.3	1858		
		9.98	20.90						
9	C70%AE -SP - M1 (28d)	10.32	20.49	3.13	82.6	1689.2	1850	1842	
		10.19	20.45						
10	C70%AE -SP - M1 (7d)	10.25	20.74	3.17	83.2	1714.7	1845		
		10.34	20.60						
11	C70%AE -SP - M2 (28d)	10.11	20.48	3.06	80.9	1665.9	1841		
		10.19	20.59						
12	C70%AE -SP - M3 (28d)	10.17	20.45	3.03	81.1	1649.8	1831		
		10.15	20.35						
13	C70%AE -SP - M1 (56d)	10.00	20.80	3.12	78.5	1637.6	1909		1867
		10.00	20.85						
14	C70%AE -SP - M1 (56d)	10.17	20.33	3.04	81.6	1663.6	1830		
		10.21	20.40						
15	C70%AE -SP - M2 (56d)	10.22	20.80	3.16	81.8	1705.3	1855		
		10.19	20.85						
16	C70%AE -SP - M3 (7d)	9.97	20.92	3.06	78.1	1631.7	1873		
		9.97	20.90						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	Masa (kg)	A* (cm ²)	V (cm ³)	Densidad (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	CP - M1 (28d)	9.82	20.27	3.88	78.6	1603.7	2417	2415
		10.01						
		10.18	20.54					
2	CP - M2 (28d)	9.94	20.81	3.93	79.9	1646.2	2388	
		10.10	20.42					
		10.21						
3	CP - M3 (28d)	10.17	20.66	3.96	78.5	1622.6	2439	
		10.03	20.66					
		9.80						
4	CP - M1 (56d)	9.91	20.41	3.87	79.2	1621.7	2386	2390
		10.05	20.53					
		10.17						
5	CP - M2 (56d)	9.81	20.4	3.82	78.1	1592.1	2402	
		9.99	20.36					
		10.12						
6	CP - M3 (56d)	10.14	20.19	3.78	78.5	1589.8	2380	
		10	20.32					
		9.85						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	C30%AE - M1 (28d)	10.09	20.00	3.46	80.5	1617.8	2136	2142
		10.17						
		10.11	20.20					
2	C30%AE - M2 (28d)	10.03	20.25	3.45	80.1	1620.4	2130	
		10.10	20.20					
		10.17						
3	C30%AE - M3 (28d)	10.14	20.15	3.50	80.7	1628.1	2147	
		10.17	20.20					
		10.1						
4	C30%AE - M4 (28d)	10.06	20.25	3.51	80.3	1628.7	2155	
		10.15	20.30					
		10.13						
5	C30%AE - M1 (56d)	10.06	20.20	3.41	80.0	1612.3	2112	2115
		10.13	20.10					
		10.09						
6	C30%AE - M2 (56d)	10.12	20.15	3.45	80.8	1629.2	2120	
		10.17	20.20					
		10.13						
7	C30%AE - M3 (56d)	10.17	20.00	3.51	82.8	1655.7	2120	
		10.34	20.00					
		10.29						
8	C30%AE - M4 (56d)	9.75	20.15	3.32	78.0	1576.8	2108	
		10	20.30					
		10.14						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	C40%AE - M1 (28d)	10.02	20.15	3.39	79.9	1608.1	2107	2074
		10.1	20.1					
		10.14						
2	C40%AE - M2 (28d)	10.07	20	3.31	80.3	1612.6	2050	
		10.15	20.15					
		10.12						
3	C40%AE - M3 (28d)	10.18	20.15	3.45	82.1	1657.2	2083	
		10.24	20.2					
		10.26						
4	C40%AE - M4 (28d)	10.11	20.05	3.34	80.9	1627.3	2054	
		10.17	20.2					
		10.16						
5	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.35	3.28	79.6	1621.7	2020	2036
		10.06	20.4					
		10.2						
6	C40%AE - M2 (56d)	10.08	20.15	3.28	80.2	1613.4	2035	
		10.12	20.1					
		10.11						
7	C40%AE - M3 (56d)	10.07	20.1	3.29	80.1	1612.4	2043	
		10.12	20.15					
		10.11						
8	C40%AE - M4 (56d)	10.13	20.1	3.32	80.6	1625.1	2045	
		10.17	20.2					
		10.10						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	C50%AE - T1 (28d)	9.81	20.35	3.15	78.6	1595.4	1977	2005
		10.02	20.25					
		10.18						
2	C50%AE - T2 (28d)	9.81	20.3	3.16	78.2	1590.8	1987	
		9.98	20.4					
		10.14						
3	C50%AE - T3 (28d)	9.76	20.25	3.22	77.3	1571.9	2050	
		9.93	20.4					
		10.08						
4	C50%AE - T4 (28d)	9.93	20.25	3.21	79.3	1603.3	2005	
		10.05	20.2					
		10.16						
5	C50%AE - T1 (56d)	9.74	20.35	3.17	77.5	1574.2	2016	1995
		9.96	20.25					
		10.11						
6	C50%AE - T2 (56d)	10.07	20.05	3.15	80.3	1611.6	1957	
		10.13	20.1					
		10.13						
7	C50%AE - T3 (56d)	10.17	20.45	3.37	81.7	1669.0	2017	
		10.21	20.4					
		10.22						
8	C50%AE - T4 (56d)	9.74	20.4	3.15	77.7	1580.2	1991	
		9.96	20.3					
		10.13						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	C60%AE - T1 (28d)	10.08	20.1	3.01	80.3	1616.6	1864	1856
		10.14						
		10.12						
2	C60%AE - T2 (28d)	10.12	20.2	2.98	80.9	1633.4	1826	
		10.19	20.2					
		10.13						
3	C60%AE - T3 (28d)	10.16	20.25	3.08	81.2	1637.8	1883	
		10.2	20.1					
		10.14						
4	C60%AE - T4 (28d)	9.75	20.15	2.92	77.9	1575.8	1853	
		9.98	20.3					
		10.15						
5	C60%AE - T1 (56d)	9.96	20.25	3.12	79.4	1609.4	1938	1898
		10.05	20.3					
		10.15						
6	C60%AE - T2 (56d)	10.08	20.2	3.08	80.6	1631.1	1886	
		10.17	20.25					
		10.15						
7	C60%AE - T3 (56d)	10.08	20.2	3.10	80.5	1624.9	1905	
		10.2	20.15					
		10.10						
8	C60%AE - T4 (56d)	10.23	20.1	3.11	82.9	1668.2	1863	
		10.33	20.15					
		10.26						

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	M (kg)	A (cm ²)	V (cm ³)	ρ (kg/m ³)	ρ PROMEDIO (kg/m ³)
1	C70%AE - T1 (28d)	10.22	20.2	2.98	82.8	1673.3	1783	1805
		10.36						
		10.23						
2	C70%AE - T2 (28d)	10.09	20.25	2.93	80.5	1627.0	1798	
		10.15	20.15					
		10.14						
3	C70%AE - T3 (28d)	10.13	20.25	3.01	80.9	1631.4	1846	
		10.18	20.1					
		10.13						
4	C70%AE - T4 (28d)	10.07	20.2	2.90	79.9	1616.1	1793	
		10.1	20.25					
		10.09						
5	C70%AE - T1 (56d)	10.07	20.35	2.89	80.4	1628.8	1771	1787
		10.19	20.15					
		10.1						
6	C70%AE - T2 (56d)	10.18	20.1	2.94	82.2	1654.2	1779	
		10.24	20.15					
		10.27						
7	C70%AE - T3 (56d)	10.16	20.25	3.00	82.0	1667.3	1798	
		10.23	20.4					
		10.27						
8	C70%AE - T4 (56d)	9.76	20.35	2.83	77.4	1571.1	1801	
		9.94	20.25					
		10.08						

Formato de Ensayo – Densidad Seca y de Equilibrio

Diseño	Masa horno D (kg)	Masa SSD F (kg)	Masa aparente sumergida G (kg)	Densidad Om (kg/m ³)	Densidad Om - Promedio (kg/m ³)
CP	3.5701	4.7600	3.1920	2270	2268
CP	3.5615	4.7648	3.1987	2267	
CP	3.5622	4.7622	3.1962	2268	
30% AE	3.2284	4.4284	2.8623	2055	2058
30% AE	3.2367	4.4367	2.8707	2061	
30% AE	3.2336	4.4336	2.8676	2059	
40% AE	3.0890	4.2890	2.7229	1967	1969
40% AE	3.0986	4.2986	2.7325	1973	
40% AE	3.0927	4.2927	2.7267	1969	
50% AE	3.0107	4.4104	2.8446	1917	1920
50% AE	3.0230	4.4230	2.8569	1925	
50% AE	3.0187	4.4187	2.8501	1919	
60% AE	2.8083	4.0743	2.5082	1788	1791
60% AE	2.8206	4.0866	2.5205	1796	
60% AE	2.8168	4.0828	2.5144	1791	
70% AE	2.6888	3.6881	2.1285	1719	1708
70% AE	2.6745	3.6995	2.1340	1703	
70% AE	2.6779	3.7039	2.1360	1703	

Diseño	Masa equilibrio A (kg)	Masa SSD B (kg)	Masa aparente sumergida C (kg)	Densidad Em (kg/m ³)	Densidad Em - Promedio (kg/m ³)
CP	3.6303	4.9803	3.4142	2311	2318
CP	3.6413	4.9960	3.4292	2317	
CP	3.6543	5.0103	3.4442	2326	
30% AE	3.3008	4.6508	3.0847	2101	2108
30% AE	3.3118	4.6667	3.0997	2107	
30% AE	3.3248	4.6813	3.1152	2117	
40% AE	3.1724	4.5224	2.9563	2020	2027
40% AE	3.1834	4.5374	2.9713	2027	
40% AE	3.1964	4.5529	2.9868	2035	
50% AE	3.1058	4.4558	2.8898	1977	1981
50% AE	3.1159	4.4659	2.8998	1984	
50% AE	3.1118	4.4618	2.8957	1981	
60% AE	2.8940	4.2340	2.6679	1842	1849
60% AE	2.9050	4.2400	2.6829	1860	
60% AE	2.8996	4.2446	2.6785	1846	
70% AE	2.7676	4.1100	2.5555	1775	1769
70% AE	2.7786	4.1366	2.5705	1769	
70% AE	2.7715	4.1295	2.5635	1764	

Diseño	Masa horno D (kg)	Masa SSD F (kg)	Masa aparente sumergida G (kg)	Densidad Om (kg/m ³)	Densidad Om - Promedio (kg/m ³)
CP	3.5596	4.1796	2.6135	2266.10	2268
CP	3.5650	4.2168	2.6507	2269.54	
CP	3.5643	4.2443	2.6782	2269.10	
50% AE (RA)	3.0349	3.8149	2.2489	1932.10	1934
50% AE (RA)	3.0422	3.8410	2.2761	1938.14	
50% AE (RA)	3.0397	3.8597	2.2900	1930.70	
60% AE (RA)	2.9030	3.7330	2.1669	1848.09	1850
60% AE (RA)	2.9102	3.7602	2.1941	1852.70	
60% AE (RA)	2.9077	3.7800	2.2116	1848.39	
70% AE (RA)	2.7208	3.6508	2.0847	1732.10	1734
70% AE (RA)	2.7280	3.6780	2.1119	1736.70	
70% AE (RA)	2.7255	3.6955	2.1280	1733.54	
60% AE (SP1)	2.9407	3.7007	2.1346	1872.09	1874
60% AE (SP1)	2.9470	3.7279	2.1618	1876.12	
60% AE (SP1)	2.9454	3.7454	2.1793	1875.10	
70% AE (SP2)	2.7946	3.7246	2.1585	1779.10	1781
70% AE (SP2)	2.8018	3.7518	2.1840	1781.71	
70% AE (SP2)	2.7993	3.7693	2.2032	1782.10	

Diseño	Masa equilibrio A (kg)	Masa SSD B (kg)	Masa aparente sumergida C (kg)	Densidad Em (kg/m ³)	Densidad Em - Promedio (kg/m ³)
CP	3.6381	4.2881	2.7220	2316	2318
CP	3.6440	4.3254	2.7593	2320	
CP	3.6428	4.3528	2.7868	2319	
50% AE (RA)	3.1164	3.8964	2.3303	1984	1984
50% AE (RA)	3.1060	3.9210	2.3575	1981	
50% AE (RA)	3.1211	3.9401	2.3750	1988	
60% AE (RA)	2.9931	3.8731	2.3070	1905	1907
60% AE (RA)	3.0013	3.9003	2.3300	1906	
60% AE (RA)	2.9988	3.9178	2.3517	1909	
70% AE (RA)	2.8162	3.7942	2.2282	1793	1794
70% AE (RA)	2.8150	3.8215	2.2560	1793	
70% AE (RA)	2.8210	3.8390	2.2729	1796	
60% AE (SP1)	3.0312	3.8312	2.2652	1930	1932
60% AE (SP1)	3.0385	3.8585	2.2924	1934	
60% AE (SP1)	3.0359	3.8759	2.3099	1933	
70% AE (SP2)	2.8899	3.9899	2.4238	1840	1842
70% AE (SP2)	2.8971	4.0161	2.4510	1846	
70% AE (SP2)	2.8890	4.0340	2.4700	1842	

Formato de Ensayo - Resistencia a la tracción del concreto.

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P* (kgf)	A* (cm ²)	f _t (kgf/cm ²)	f _t PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	CP - M1 (28d)	9.82	20.27	9663	204.1	30	29
		10.01	20.54				
		10.18					
2	CP - M2 (28d)	9.94	20.81	10050	207.9	31	
		10.10	20.42				
		10.21					
3	CP - M3 (28d)	10.17	20.66	8362	206.6	26	
		10.03	20.66				
		9.80					
4	CP - M1 (56d)	9.91	20.41	8124	205.6	25	
		10.05	20.53				
		10.17					
5	CP - M2 (56d)	9.81	20.4	9053	203.3	28	27
		9.99	20.36				
		10.12					
6	CP - M3 (56d)	10.14	20.19	8989	202.5	28	
		10	20.32				
		9.85					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P* (kgf)	A* (cm ²)	f _t (kgf/cm ²)	f _t PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	C30%AE - M1 (28d)	10.09	20	12226	203.5	38	33
		10.17					
		10.11					
2	C30%AE - M2 (28d)	10.03	20.25	11036	204.3	34	
		10.10	20.2				
		10.17					
3	C30%AE - M3 (28d)	10.14	20.15	8979	204.5	28	
		10.17	20.2				
		10.1					
4	C30%AE - M4 (28d)	10.06	20.25	10376	205.0	32	
		10.15	20.3				
		10.13					
5	C30%AE - M1 (56d)	10.06	20.2	9226	203.4	29	28
		10.13	20.1				
		10.09					
6	C30%AE - M2 (56d)	10.12	20.15	8957	204.6	28	
		10.17	20.2				
		10.13					
7	C30%AE - M3 (56d)	10.17	20	8457	205.3	26	
		10.34	20				
		10.29					
8	C30%AE - M4 (56d)	9.75	20.15	7093	201.5	22	
		10	20.3				
		10.14					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P* (kgf)	A* (cm ²)	f _t (kgf/cm ²)	f _t PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	C40%AE - M1 (28d)	10.02	20.15	9996	203.0	31	29
		10.1					
		10.14	20.1				
2	C40%AE - M2 (28d)	10.07	20	9818	203.0	31	
		10.15	20.15				
		10.12					
3	C40%AE - M3 (28d)	10.18	20.15	8892	206.3	27	
		10.24	20.2				
		10.26					
4	C40%AE - M4 (28d)	10.11	20.05	8697	204.2	27	
		10.17	20.2				
		10.16					
5	C40%AE - M1 (56d)	9.94	20.35	9959	205.1	31	
		10.06	20.4				
		10.2					
6	C40%AE - M2 (56d)	10.08	20.15	9399	203.3	29	
		10.12	20.1				
		10.11					
7	C40%AE - M3 (56d)	10.07	20.1	9050	203.3	28	
		10.12	20.15				
		10.11					
8	C40%AE - M4 (56d)	10.13	20.1	9873	204.2	31	
		10.17	20.2				
		10.10					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P* (kgf)	A* (cm ²)	f _t (kgf/cm ²)	f _t PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	C50%AE - T1 (28d)	9.81	20.35	7446	203.1	23	28
		10.02					
		10.18	20.25				
2	C50%AE - T2 (28d)	9.81	20.3	8794	203.0	28	
		9.98	20.4				
		10.14					
3	C50%AE - T3 (28d)	9.76	20.25	10376	201.7	33	
		9.93	20.4				
		10.08					
4	C50%AE - T4 (28d)	9.93	20.25	8968	203.2	28	
		10.05	20.2				
		10.16					
5	C50%AE - T1 (56d)	9.74	20.35	8491	201.7	27	
		9.96	20.25				
		10.11					
6	C50%AE - T2 (56d)	10.07	20.05	10566	203.0	33	
		10.13	20.1				
		10.13					
7	C50%AE - T3 (56d)	10.17	20.45	11204	208.3	34	
		10.21	20.4				
		10.22					
8	C50%AE - T4 (56d)	9.74	20.4	9126	202.3	29	
		9.96	20.3				
		10.13					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P* (kgf)	A* (cm ²)	f't (kgf/cm ²)	f't PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	C60%AE - T1 (28d)	10.08	20.1	8009	203.5	25	26
		10.14					
		10.12	20.15				
2	C60%AE - T2 (28d)	10.12	20.2	6054	205.0	19	
		10.19	20.2				
		10.13					
3	C60%AE - T3 (28d)	10.16	20.25	8754	205.1	27	
		10.2	20.1				
		10.14					
4	C60%AE - T4 (28d)	9.75	20.15	6069	201.4	19	
		9.98	20.3				
		10.15					
5	C60%AE - T1 (56d)	9.96	20.25	9807	203.8	31	28
		10.05	20.3				
		10.15					
6	C60%AE - T2 (56d)	10.08	20.2	9190	204.9	29	
		10.17	20.25				
		10.15					
7	C60%AE - T3 (56d)	10.08	20.2	8949	204.3	28	
		10.2	20.15				
		10.10					
8	C60%AE - T4 (56d)	10.23	20.1	8505	206.8	26	
		10.33	20.15				
		10.26					

N°	Nombre de la muestra	D (cm)	H (cm)	P* (kgf)	A* (cm ²)	f't (kgf/cm ²)	f't PROMEDIO (kgf/cm ²)
1	C70%AE - T1 (28d)	10.22	20.2	6992	207.5	21	21
		10.36					
		10.23	20.2				
2	C70%AE - T2 (28d)	10.09	20.25	6633	204.6	21	
		10.15	20.15				
		10.14					
3	C70%AE - T3 (28d)	10.13	20.25	6056	204.7	19	
		10.18	20.1				
		10.13					
4	C70%AE - T4 (28d)	10.07	20.2	7025	204.0	22	
		10.1	20.25				
		10.09					
5	C70%AE - T1 (56d)	10.07	20.35	9296	204.9	29	28
		10.19	20.15				
		10.1					
6	C70%AE - T2 (56d)	10.18	20.1	8946	205.9	28	
		10.24	20.15				
		10.27					
7	C70%AE - T3 (56d)	10.16	20.25	8808	207.7	27	
		10.23	20.4				
		10.27					
8	C70%AE - T4 (56d)	9.76	20.35	5757	201.5	18	
		9.94	20.25				
		10.08					

Formato de Ensayo - Densidad, absorción y vacíos

ID	A	B	C	D
	Masa Seca al horno (g)	Masa Saturada Superficialmente Seca después de inmersión (g)	Masa Saturada Superficialmente Seca después de ebullición (g)	Masa sumergida aparente después de inmersión y ebullición (g)
C. Patrón	922.0	976.4	978.4	569.9
C. Patrón	937.8	999.2	1001.2	575.6
C. Patrón	961.9	1023.7	1025.9	590.1
C. Patrón	960.6	1012.6	1014.6	593.1
C. Patrón	936.1	989.2	991.0	589.2
C. Patrón	938.2	997.2	999.0	577.3
30%AE	867.4	914.7	924.5	516.1
30%AE	840.5	900.9	915.2	489.7
30%AE	874.5	928.2	941.3	521.4
30%AE	868.4	921.1	935.0	500.4
40%AE	747.7	802.2	816.7	428.1
40%AE	803.4	863.2	877.6	470.1
40%AE	855.0	917.7	930.1	504.4
40%AE	812.0	869.9	888.2	464.6
50%AE	769.8	832.6	848.9	440.7
50%AE	757.9	811.5	828.0	435.2
50%AE	769.9	833.6	846.9	430.5
50%AE	822.9	882.0	894.5	476.1
60%AE	752.3	811.1	827.3	415.5
60%AE	709.1	768.7	786.5	372.5
60%AE	739.2	801.4	818.3	394.0
60%AE	766.9	821.8	836.3	418.0
70%AE	705.8	762.9	780.4	370.0
70%AE	725.3	786.0	802.5	386.5
70%AE	691.9	754.0	772.1	362.3
70%AE	666.9	735.2	755.7	344.7

ID	ABS D.I.	ABS D.I.E.	D.S.	D.D.I.	D.D.I.E.	D.A.	V.P.P.
	Absorción después de la inmersión (%)	Absorción después de la inmersión y ebullición (%)	Densidad Seca (kg/m ³)	Densidad después de la inmersión (kg/m ³)	Densidad después de la inmersión y ebullición (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Volumen de vacíos (%)
C. Patrón	5.90	6.12	2257.04	2390.21	2395.10	2618.57	13.81
C. Patrón	6.55	6.76	2203.48	2347.74	2352.44	2589.18	14.90
C. Patrón	6.42	6.65	2207.21	2349.01	2354.06	2587.14	14.69
C. Patrón	5.41	5.62	2279.00	2402.37	2407.12	2613.88	12.81
C. Patrón	5.67	5.86	2329.77	2461.92	2466.40	2698.47	13.66
C. Patrón	6.29	6.48	2224.80	2364.71	2368.98	2599.61	14.42
Promedio	6.04	6.25	2250.22	2386.00	2390.69	2617.81	14.05
30%AE	5.45	6.58	2123.90	2239.72	2263.71	2469.11	13.98
30%AE	7.19	8.89	1975.32	2117.27	2150.88	2395.95	17.56
30%AE	6.14	7.64	2082.64	2210.53	2241.72	2476.64	15.91
30%AE	6.07	7.67	1998.16	2119.42	2151.40	2359.78	15.32
Promedio	6.21	7.69	2045.00	2171.73	2201.93	2425.37	15.69
40%AE	7.29	9.23	1924.09	2064.33	2101.65	2339.49	17.76
40%AE	7.44	9.24	1971.53	2118.28	2153.62	2410.44	18.21
40%AE	7.33	8.78	2008.46	2155.74	2184.87	2438.68	17.64
40%AE	7.13	9.38	1916.90	2053.59	2096.79	2337.36	17.99
Promedio	7.30	9.16	1955.24	2097.99	2134.23	2381.49	17.90
50%AE	8.16	10.28	1885.84	2039.69	2079.62	2339.11	19.38
50%AE	7.07	9.25	1929.48	2065.94	2107.94	2348.62	17.85
50%AE	8.27	10.00	1848.94	2001.92	2033.86	2268.41	18.49
50%AE	7.18	8.70	1966.78	2108.03	2137.91	2372.84	17.11
Promedio	7.67	9.56	1907.76	2053.89	2089.83	2332.24	18.21
60%AE	7.82	9.97	1826.86	1969.65	2008.98	2233.67	18.21
60%AE	8.41	10.92	1712.80	1856.76	1899.76	2106.65	18.70
60%AE	8.41	10.70	1742.16	1888.76	1928.59	2141.37	18.64
60%AE	7.16	9.05	1833.37	1964.62	1999.28	2198.05	16.59
Promedio	7.95	10.16	1778.80	1919.95	1959.15	2169.94	18.04
70%AE	8.09	10.57	1719.79	1858.92	1901.56	2101.85	18.18
70%AE	8.37	10.64	1743.51	1889.42	1929.09	2140.79	18.56
70%AE	8.98	11.59	1688.38	1839.92	1884.09	2099.21	19.57
70%AE	10.24	13.32	1622.63	1788.81	1838.69	2069.83	21.61
Promedio	8.92	11.53	1693.58	1844.27	1888.36	2102.92	19.48