

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“ESTUDIO DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO CON
ADITIVO IMPERMEABILIZANTE APLICANDO LA NORMA
NTC 4483”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

BRYANS WILDER JANAMPA VENANCIO

ASESOR

Dr. JAVIER EDUARDO ARRIETA FREYRE

LIMA-PERÚ

2021

AGRADECIMIENTOS

A mi madre Madeleyne Venancio por su constante apoyo en mi formación profesional y personal;

A mi padre Rolando Janampa por ser enseñarme con el ejemplo y dedicación para ser una gran persona;

A mi hermano Ronal Janampa por su ayuda incondicional en todas las etapas de mi vida;

A la Ing. Ana Torre Carrillo por su exigencia en la elaboración de la tesis.

A mis compañeros de la universidad con los cuales creamos una amistad perpetua.

RESUMEN

El aditivo Sika-1 Líquido es un impermeabilizante integral que según el fabricante sirve para reducir la permeabilidad del concreto en construcciones hidráulicas o en cuya demanda sea requerida. Estas construcciones están propensas a la permeabilidad del agua y al paso de agentes agresivos diluidos en ella, provocando diversos cambios en el concreto. Por ello, en la presente investigación se analiza la influencia del aditivo Sika-1 Líquido en la permeabilidad y absorción al agua, así como otras propiedades mecánicas en el concreto endurecido.

Para este estudio se realizaron mezclas de concreto con relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55 usando cemento Portland "Sol" tipo I y agregados de las canteras Huachipa y Unicon. Todos los ensayos se realizaron según los lineamientos de las normas NTP y NTC vigentes. Se obtuvo que, el coeficiente de permeabilidad se reduce en los diseños con aditivo impermeabilizante hasta en un 93.91% frente a sus diseños patrones respectivos. Además, se observó un incremento de la resistencia a la compresión y tracción indirecta de hasta 17.97% y 12.71% respectivamente, asimismo la absorción disminuye hasta un 15.73%. Con base en la investigación realizada bajo un espacio muestral de 96 probetas por cada ensayo realizado en condiciones de laboratorio a concretos con relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, el aditivo "Sika-1 Líquido" mejora las propiedades mecánicas y reduce la permeabilidad y absorción de los diseños de concreto estudiados.

Palabras claves: Permeabilidad, coeficiente de permeabilidad, NTC 4483, aditivo impermeabilizante "Sika-1 Líquido", relación a/c.

ABSTRACT

The Sika-1 Liquid additive is an integral waterproofing agent that, according to the manufacturer, serves to reduce the permeability of concrete in hydraulic constructions or in whose demand it is required. These constructions are prone to the permeability of water and the passage of aggressive agents diluted in it, causing various changes in the concrete. For this reason, this research analyzes the influence of the Sika-1 Liquid additive on water permeability and absorption, as well as other mechanical properties in hardened concrete.

For this study, concrete mixtures with water / cement ratios of 0.45, 0.50 and 0.55 were made using Portland cement "Sol" type I and aggregates from the Huachipa and Unicon quarries. All the tests were carried out according to the guidelines of the current NTP and NTC standards. It was obtained that the permeability coefficient is reduced in designs with waterproofing additive up to 93.91% compared to their respective standard designs. In addition, an increase in the resistance to compression and indirect traction of up to 17.97% and 12.71% respectively was observed, also the absorption decreases up to 15.73%. Based on the research carried out under a sample space of 96 specimens for each test carried out under laboratory conditions on concrete with water / cement ratios of 0.45, 0.50 and 0.55, the additive "Sika-1 Liquid" improves the mechanical properties and reduces the permeability and absorption of the concrete designs studied.

Keywords: Permeability, permeability coefficient, NTC 4483, Sika-1 Liquid waterproofing additive, w/c ratio.

PRÓLOGO

El concreto es un material usado en casi todas las obras de ingeniería civil, por ello, ante la necesidad de mejorar las propiedades del concreto para cumplir con los requerimientos del diseño, sin afectar la economía, surgen los aditivos como solución. En las obras hidráulicas donde se requiere que el concreto sea de baja permeabilidad es necesario emplear aditivos impermeabilizantes, para evitar filtraciones o problemas que surgen debido a este fenómeno. Por tanto, el estudio de este tema es crucial para este tipo de construcciones.

En la actualidad, existe en el mercado un aditivo impermeabilizante llamado “Sika-1 Líquido” que mejora las propiedades del concreto frente al agua.

En la tesis, “ESTUDIO DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE APLICANDO LA NORMA NTC 4483”, se estudia el comportamiento de la permeabilidad del concreto con aditivo “Sika-1 Líquido” a diferentes relaciones a/c y en diferentes edades, por medio de tablas y gráficos para una rápida comprensión. Además, se analiza la resistencia mecánica del concreto para conocer la influencia del aditivo en ella.

El presente trabajo está dirigido a contribuir con el estudio de la permeabilidad del concreto, el cual, es uno de los problemas que afectan a la durabilidad del mismo.

Dr. Javier Eduardo Arrieta Freyre

	Pág.
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
1.1 GENERALIDADES	14
1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 HIPÓTESIS	16
1.4.1 Hipótesis general.....	16
1.5 ANTECEDENTES	17
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	19
2.1 CONCRETO IMPERMEABLE	19
2.2 PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO	20
2.2.1 Permeabilidad	20
2.2.2 Coeficiente de permeabilidad (k)	20
2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO	22
2.3.1 Porosidad del concreto	22
2.3.2 Porosidad de los agregados	24
2.3.3 Relación a/c.....	24
2.3.4 Tiempo de curado.....	25
2.3.5 Colocación del concreto en obra	25
2.4 VENTAJAS DEL CONCRETO IMPERMEABLE	26
2.5 PROBLEMAS DE LA PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO	26
2.5.1 Ataque por sulfatos.....	26

2.5.2	Corrosión por cloruros	27
2.5.3	Fisura por hielo y deshielo	28
2.5.4	Lixiviación del hidróxido de calcio	28
2.5.5	Ataque por ácidos.....	29
2.5.6	Otros	29
2.6	NORMATIVA EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO	29
2.6.1	Norma técnica colombiana 4483	30
2.7	NORMATIVA PARA EL CONTENIDO DE VACIOS DEL CONCRETO ENDURECIDO	33
2.7.1	Norma ASTM C642	33
2.8	COMPONENTES DEL CONCRETO	36
2.8.1	Cemento Portland tipo I	36
2.8.2	Agregados para el concreto.....	38
2.8.3	Aditivos.....	39
2.9	PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	41
2.9.1	Generalidades	41
2.9.2	Asentamiento	42
2.9.3	Peso unitario	43
2.9.4	Resistencia a la compresión axial.....	43
2.9.5	Resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral.....	44
CAPÍTULO III: DISEÑO EXPERIMENTAL.....		45
3.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO ...	45
3.1.1	Cemento.....	45
3.1.2	Agregados	46
3.1.3	Agua.....	49
3.1.4	Aditivo superplastificante	49
3.1.5	Aditivo impermeabilizante	50

3.2	DISEÑO DE MEZCLA	50
3.2.1	Denominación de los diseños	50
3.2.2	Consideraciones del diseño	51
3.2.3	Diseño P (a/c=0.45).....	52
3.2.4	Diseño P (a/c=0.50).....	52
3.2.5	Diseño P (a/c=0.55).....	53
3.2.6	Diseño A (a/c=0.45).....	53
3.2.7	Diseño A (a/c=0.50).....	54
3.2.8	Diseño A (a/c=0.55).....	55
3.3	DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO .	56
3.3.1	Asentamiento	56
3.3.2	Peso unitario	56
3.4	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO	57
3.4.1	Resistencia a la compresión	57
3.4.2	Resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral.....	62
3.4.3	Absorción, densidad seca global y contenido de vacíos	65
	CAPÍTULO IV: ENSAYO DE PERMEABILIDAD	69
4.1	Equipo de permeabilidad	69
4.2	Preparación de la muestra.....	72
4.3	Ensayo de permeabilidad	73
	CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
5.1	AGREGADOS	77
5.2	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	77
5.3	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA.....	80
5.4	ABSORCIÓN	83
5.5	PERMEABILIDAD	85
5.5.1	Descarte de valores atípicos mediante la prueba de Grubbs.....	85

5.6	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	94
	CONCLUSIONES.....	95
	RECOMENDACIONES.....	96
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	ANEXOS	100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Criterios de desempeño para el concreto “impermeable”	20
Tabla 2. Clasificación de la permeabilidad del concreto según la NTC 4483	21
Tabla 3. Cuadro comparativo del estado del arte normativo	30
Tabla 4 Características de la muestra según la norma NTC 4483	31
Tabla 5. Características de la muestra según ASTM C642.....	34
Tabla 6 Requisitos químicos del cemento Portland tipo I.....	36
Tabla 7. Requisitos físicos del cemento Portland tipo I	37
Tabla 8. Normas usadas para los ensayos en concreto.....	42
Tabla 9. Precisión de los resultados del ensayo de compresión del concreto	44
Tabla 10. Propiedades físicas y químicas del cemento SOL tipo I	45
Tabla 11. Normas de ensayos en agregados utilizados.....	46
Tabla 12. Análisis granulométrico de los agregados fino y grueso	47
Tabla 13. Propiedades físicas del agregado fino y grueso.....	48
Tabla 14. Propiedades del aditivo Sika® ViscoCrete® SC-50	49
Tabla 15. Propiedades del aditivo Sika®-1 líquido.....	50
Tabla 16. Denominación y descripción de los diseños de mezcla realizados.....	51
Tabla 17. Valores límite para la composición del concreto.....	51
Tabla 18. Dosificación unitaria del diseño P(a/c=0.45) para 1m ³	52
Tabla 19. Dosificación unitaria del diseño P(a/c=0.50) para 1m ³	53
Tabla 20. Dosificación unitaria del diseño P(a/c=0.55) para 1m ³	53
Tabla 21. Dosificación unitaria del diseño A(a/c=0.45) para 1m ³	54
Tabla 22. Dosificación unitaria del diseño A(a/c=0.50) para 1m ³	54
Tabla 23. Dosificación unitaria del diseño A(a/c=0.55) para 1m ³	55
Tabla 24. Resumen de pesos secos de los diseños de mezcla usados	55
Tabla 25. Asentamiento de cada diseño realizado.....	56
Tabla 26. Peso unitario de cada diseño realizado.....	57
Tabla 27. Resistencia a la compresión del diseño P (a/c=0.45)	58
Tabla 28. Resistencia a la compresión del diseño P (a/c=0.50)	58
Tabla 29. Resistencia a la compresión del diseño P (a/c=0.55)	59
Tabla 30. Resistencia a la compresión del diseño A (a/c=0.45)	60
Tabla 31. Resistencia a la compresión del diseño A (a/c=0.50)	60
Tabla 32. Resistencia a la compresión del diseño A (a/c=0.55)	61

Tabla 33. Resistencia a la tracción indirecta del diseño P (a/c=0.45).....	62
Tabla 34. Resistencia a la tracción indirecta del diseño P (a/c=0.50).....	62
Tabla 35. Resistencia a la tracción indirecta del diseño P (a/c=0.55).....	63
Tabla 36. Resistencia a la tracción indirecta del diseño A (a/c=0.45).....	64
Tabla 37. Resistencia a la tracción indirecta del diseño A (a/c=0.50).....	64
Tabla 38. Resistencia a la tracción indirecta del diseño A (a/c=0.55).....	65
Tabla 39. Datos obtenidos aplicando la norma ASTM C642 en los diseños patrón	66
Tabla 40. Datos obtenidos aplicando la norma ASTM C642 en los diseños con impermeabilizante.....	67
Tabla 41. Absorción de cada diseño realizado.....	68
Tabla 42. Densidad seca global (o bruta) de cada diseño realizado	68
Tabla 43. Contenido de vacíos de cada diseño realizado	68
Tabla 44. Coeficiente de permeabilidad (k) de cada diseño realizado.....	73
Tabla 45. Variación del f'c de los diseños con aditivo respecto a su diseño patrón respectivo	80
Tabla 46. Variación de la tracción indirecta en los diseños con impermeabilizante frente a su diseño patrón respectivo	82
Tabla 47. Variación de la absorción en los diseños con impermeabilizante respecto a su diseño patrón respectivo.....	85
Tabla 48. Valores críticos con un nivel de significancia de 5 %.....	86
Tabla 49. Evaluación mediante la prueba de Grubbs para descartar valores atípicos	87
Tabla 50. Variación porcentual del coeficiente de permeabilidad (k) de los diseños con impermeabilizante frente a su diseño patrón respectivo.....	92

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Clasificación de los poros presentes en el concreto.....	23
Figura 2 Escala de poros en el concreto.....	23
Figura 3 Relación entre el coeficiente de permeabilidad y la relación a/c en pastas de cemento	25
Figura 4 Esquema del equipo de permeabilidad del LEM FIC-UNI	32
Figura 5 Proceso de hidratación del cemento	38
Figura 6 Interacción del agua con el concreto: a) sin aditivo, b) con aditivo	40
Figura 7 Funcionamiento de sólidos finos	41
Figura 8 Granulometría del agregado fino	47
Figura 9 Granulometría del agregado grueso	48
Figura 10 (a) Electrobomba, (b) bomba hidroneumática y (c) presostato.....	69
Figura 11 Manómetro acoplado a la electrobomba	70
Figura 12 Celdas de acero con sus respectivas mangueras y válvulas de escape	71
Figura 13 Tablero eléctrico trifásico	71
Figura 14 Probetas pintadas con epóxico	72
Figura 15 Comparativa de la resistencia a la compresión del diseño A(a/c=0.45) y P(a/c=45)	78
Figura 16 Comparativa de la resistencia a la compresión del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50)	79
Figura 17 Comparativa de la resistencia a la compresión del diseño A(a/c=0.55) y P(a/c=55)	79
Figura 18 Comparativa de la resistencia a tracción indirecta del diseño A(a/c=0.45) y P(a/c=45).....	81
Figura 19 Comparativa de la resistencia a tracción indirecta del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50).....	81
Figura 20 Comparativa de la resistencia a tracción indirecta del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50).....	82
Figura 21 Comparativa de absorción del diseño A(a/c=0.45) y P(a/c=45).....	83
Figura 22 Comparativa de absorción del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50).....	84
Figura 23 Comparativa de absorción del diseño A(a/c=0.55) y P(a/c=55).....	84

Figura 24 Comparativa del coeficiente de permeabilidad (k) del diseño A(a/c=0.45) y P(a/c=0.45) en 4 edades	91
Figura 25 Comparativa del coeficiente de permeabilidad (k) del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50) en 4 edades	91
Figura 26 Comparativa del coeficiente de permeabilidad (k) del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50) en 4 edades	92
Figura 27 Comparativa del coeficiente de permeabilidad (k) vs la relación a/c ..	93

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SIMBOLOS:

mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
m ³	Metro Cúbico
L	Litro
%	Porcentaje
k	Coeficiente de permeabilidad
°C	Grados Celsius
t	Tiempo
“	Pulgada

SIGLAS:

T	Resistencia a la tracción indirecta
f'c	Resistencia a la compresión axial
±	Más o menos
ρ	Densidad del agua
<i>g</i>	Aceleración de la gravedad
<i>P</i>	Presión del agua
<i>A</i>	Área de la sección transversal de una probeta
NTP	Norma técnica peruana
PUS	Peso unitario suelto
PUC	Peso unitario compactado

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El presente trabajo de investigación aborda el tema de permeabilidad al agua del concreto, el cual es un fenómeno que ocurre cuando el agua pasa a través de la matriz del concreto debido a una diferencia de presión existente.

Los problemas principales debido a la alta permeabilidad están relacionados con su durabilidad produciendo corrosión, fisuras por hielo y deshielo, lixiviación del hidróxido de calcio, ataques por ácidos y sulfatos.

Para reducir el problema de la infiltración del agua se analiza su causa principal que es la permeabilidad del concreto, para ello se recurre a los factores que influyen en la permeabilidad como la porosidad, absorción, relación a/c y tiempo de curado. La investigación de la problemática se realizó con el afán de reducir los problemas ocasionados por la alta permeabilidad, los cuales, a largo plazo ocasionan el deterioro del concreto y de los elementos embebidos en él.

Para ello se realizaron diseños de concreto con relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 usando aditivo impermeabilizante "Sika-1 Líquido" para compararlos frente a sus respectivos diseños sin impermeabilizante (Diseños patrón), con el fin de comparar cuantitativamente la mejora en la permeabilidad al agua del concreto usando aditivo impermeabilizante, así como también la resistencia a la compresión, tracción indirecta, absorción y contenido de vacíos.

En el capítulo I se aborda la realidad problemática que existe en la permeabilidad, así como las investigaciones previas que aportan al estudio del tema.

En el capítulo II se trata los conceptos de permeabilidad, unidad de medición de la permeabilidad, factores que influyen en la permeabilidad y ventajas del concreto impermeable.

En el capítulo III se realiza el diseño del concreto y se determina las propiedades básicas del concreto fresco y endurecido.

En el capítulo IV se realiza el ensayo de permeabilidad donde se hallan los coeficientes de permeabilidad (k) de cada diseño y edad realizado.

En el capítulo V se analizan e interpretan los resultados obtenidos, hallando tendencias en el coeficiente de permeabilidad en función de la edad del concreto, así como también la influencia del aditivo impermeabilizante “Sika-1 Líquido” en la resistencia mecánica (compresión axial y tracción indirecta) y la absorción del concreto.

1.2 REALIDAD PROBLEMÁTICA

La costa del Perú se caracteriza por ser un ambiente agresivo al concreto estructural, de entre varios factores destaca la alta humedad, la cual trae consigo agentes químicos que penetran en la matriz de concreto, ocasionando diversas patologías que deterioran al concreto a través del tiempo; este deterioro de las estructuras está asociado, en muchos casos, de forma directa a la permeabilidad del concreto (Urquidi, 2018).

En Lima, el 70.20% de viviendas poseen techos de concreto armado (INEI, 2017), estos están constantemente sometidos a una alta humedad ambiental y lluvias de temporada, por lo que la infiltración del agua es un problema común en estas viviendas degradando los acabados arquitectónicos y a largo plazo debilitando la estructura (Girón y Ramírez, 2016). Además, la infiltración proveniente del suelo también afecta a la estructura provocando la aparición de la eflorescencia en los pisos y paredes, por lo tanto, controlar la permeabilidad del concreto juega un rol importante para evitar el deterioro de la estructura (Jiménez López, 2005).

Lima es una importante zona comercial por lo que las obras portuarias son importantes para el desarrollo económico de la región. La permeabilidad del concreto asociado a estas obras es un problema grave, debido a que la mayoría de las patologías que sufre el concreto son debido a la penetración del agua que contiene agentes agresivos en la matriz del concreto, por lo tanto, disminuir al máximo la permeabilidad influye considerablemente a la durabilidad y calidad del concreto, ya que los agentes agresivos se propagan por lo general a través del agua en función de la velocidad de penetración y el entorno en el que se encuentran (Del Rosal, 2017).

Por lo expuesto en los estudios mencionados, la infiltración del agua en el concreto es un problema importante que afecta a su durabilidad.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la permeabilidad del concreto con aditivo impermeabilizante aplicando la norma NTC 4483.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definir los diseños de concreto con y sin aditivo impermeabilizante para relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55.
- Determinar las propiedades mecánicas y los coeficientes de permeabilidad en los diseños de concreto usando la norma NTC 4483.
- Interpretar los resultados obtenidos.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

El uso de aditivo impermeabilizante en el concreto mejorará su capacidad de resistir el paso del agua a través de la matriz del concreto, provocando una menor permeabilidad al agua. Asimismo, mejorará las propiedades mecánicas del concreto.

1.5 ANTECEDENTES

Benites y Moreno (2018) realizaron un estudio sobre la influencia de 3 aditivos impermeabilizantes en la resistencia a la compresión (a edades de 7, 14 y 28 días) y permeabilidad de concreto aplicando la norma UNE-EN 12390-8. Los aditivos fueron dosificados en un rango de 2 a 4% en peso del material cementante. Los investigadores concluyen que la resistencia a la compresión a los 28 días aumenta hasta un 19.43% y la profundidad de penetración del agua disminuye hasta un 90.91%.

Tacusi (2016) determinó la influencia del aditivo impermeabilizante “Crystal admix” en las propiedades del concreto fresco y endurecido usando cemento Portland tipo I y relaciones a/c de 0.45 y 0.50. El aditivo fue dosificado en el rango de 2 a 3% en peso del material cementante. El investigador concluye que la resistencia a la compresión a 28 días aumenta hasta un 19.66% y 25.58% y la absorción disminuye en 14.60% y 20.07% en los diseños con a/c de 0.45 y 0.50 respectivamente.

Baweja, Hassani, Sirivivatnanon y Vessalas (2017) investigaron la efectividad de los aditivos impermeabilizantes hidrofóbicos superficiales y bloqueadores de poros en la resistencia a la compresión, absorción y permeabilidad. El estudio se realizó en concretos con relaciones a/c de 0.40 y 0.60, además usaron adiciones de cenizas volantes y escoria de altos hornos. Los investigadores concluyeron que la relación a/c y la cantidad de material cementante son las variables que tienen mayor impacto en la permeabilidad, además la influencia de los aditivos impermeabilizantes en la relación a/c de 0.60 es mayor que en a/c de 0.40, por último, la adición del aditivo hidrofóbico superficial (HP) reduce la profundidad de penetración del agua en 45%.

Oquendo (2013) evaluó 4 aditivos impermeabilizantes (S-1, X-130, PA y SL) para determinar la influencia en la resistencia mecánica, absorción y permeabilidad. El investigador concluyó que los aditivos S-1 y X-130 son los que producen menor permeabilidad al agua en edades tempranas (10 días), además el aditivo S-1 es el que produce menor absorción en el concreto. Otro ensayo realizado fue la permeabilidad al ion cloruro, encontrando que las muestras con S-1 y X-130 tienen baja permeabilidad, pero la mezcla patrón correspondiente tuvo un mejor

desempeño frente a la mezcla con aditivos debido a la naturaleza química del propio aditivo.

Gutiérrez y Salazar (2015) determinó la influencia de 2 aditivos impermeabilizantes (Sika WT-100 y Sika WT-200) en la resistencia a la compresión y permeabilidad aplicando la norma EN 12390-8. El estudio fue realizado para concretos con relaciones a/c de 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65 y 0.70. Los investigadores concluyeron que el aditivo Sika WT-100 reduce la permeabilidad hasta un 25% mientras que el aditivo Sika WT-200 logra una reducción de hasta 40%, en cuanto a la resistencia a la compresión determinaron un ligero aumento de 3% respecto a sus diseños sin aditivos.2

En base a las investigaciones mencionadas, se propone determinar la influencia de un aditivo impermeabilizante en la resistencia mecánica, absorción y permeabilidad al agua del concreto a edades de 7, 14, 21 y 28 días.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 CONCRETO IMPERMEABLE

Para definir el concreto impermeable es necesario hacer una aclaración, ya que, hablar de impermeabilidad implica una resistencia de cero absoluto al paso de fluidos a través de su matriz, lo cual, es imposible de lograr, ya que, bajo presiones suficientemente altas el fluido puede pasar a través de él. Así que para efectos prácticos el concreto impermeable se entiende como un concreto cuya permeabilidad es baja (Hermida, 2014).

Según (Safránez, 1971) el concreto impermeable se logra cumpliendo 3 condiciones:

- Usar la mínima cantidad de agua en el diseño para lograr el Slump deseado;
- El concreto debe tener una estructura homogénea sin vacíos;
- Usar bajas relaciones a/c.

Como se observa estas 3 condiciones son necesarias si no se desea hacer uso de aditivos y/o adiciones en el concreto, en caso contrario existen dos procedimientos diferentes para lograr impermeabilizar el concreto:

- Recubrir la superficie del concreto con una capa impermeable;
- Impermeabilizar toda la masa del concreto, es decir, de manera integral (Safránez, 1971).

Para efectos de la presente tesis, se decide abarcar el segundo procedimiento haciendo uso de aditivo impermeabilizante.

(Hermida, 2014) define el concreto impermeable con valores máximos de absorción, penetración de agua y retracción por secado, el cual es un parámetro que limita la formación de fisuras del material (ver Tabla 1).

Tabla 1. Criterios de desempeño para el concreto “impermeable”

Ensayo	Valor	Norma
Absorción capilar (qw)	< 6 g/m ² /h	SIA 262/1 Anexo A
Penetración de agua	< 30 mm	EN 12390 Parte 8
Retracción por secado	< 0.07 % ^a	ASTM C157

Nota. Fuente: Sika Colombia S.A.S. (2014). *Concreto impermeable*. Sika. Medellín: Sika. (p.19).

^a 28 días de secado

2.2 PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO

2.2.1 Permeabilidad

La permeabilidad en el concreto es un fenómeno en el cual un fluido (líquido o gas) pasa al través de su matriz debido a una diferencia de presión (Hermida, 2014).

Para efectos de la presente tesis, al tratar la permeabilidad se entenderá como permeabilidad al agua del concreto.

La permeabilidad en el concreto está íntimamente ligada con su durabilidad, ya que, la penetración del agua a través de él trae consigo agentes agresivos que lo debilitan. Además, en el caso del concreto armado, el ingreso del agua es perjudicial debido a que provoca la corrosión del acero de refuerzo (Wainzstein & Sota, s.f).

La permeabilidad depende de varios factores como el tamaño, distribución y continuidad de los poros en el concreto, relación a/c, edad, eficiencia del curado y compactación (Wainzstein & Sota, s.f).

La forma de cuantificarlo es mediante el coeficiente de permeabilidad.

2.2.2 Coeficiente de permeabilidad (k)

El coeficiente de permeabilidad (k) representa la permeabilidad intrínseca del material frente a un fluido cuando pasa a través de él, debido a que normalmente

este fluido es agua, Darcy lo expresó como se muestra en la Ecuación 1 (Neville, 2001).

$$\frac{dq}{dt} \frac{1}{A} = K \frac{\Delta h}{L} \quad (\text{Darcy}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

K : Coeficiente de permeabilidad (m/s)

$\frac{dq}{dt}$: Caudal del agua (Kg/m³)

$\frac{\Delta h}{L}$: Gradiente hidráulico (unid.)

más adelante se observa como esta ecuación se transforma de tal modo que se adapta para facilitar su cálculo en probetas de concreto.

Aquel concreto que posea un coeficiente de permeabilidad (k) mayor a 10^{-10} m/s es considerado de alta permeabilidad, mientras que, los menores a 10^{-12} m/s son de baja permeabilidad (ver Tabla 2) (NTC 4483, 1998).

Tabla 2. Clasificación de la permeabilidad del concreto según la NTC 4483

Tipo de concreto	Coeficiente de permeabilidad "k" (m/s)
Concreto de baja permeabilidad	$< 10^{-12}$
Concreto de mediana permeabilidad	$[10^{-10} - 10^{-12}]$
Concreto de alta permeabilidad	$> 10^{-10}$

Nota. Fuente: NTC 4483. (1998). *Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua.* Bogotá: ICONTEC. (p. 2)

2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

2.3.1 Porosidad del concreto

Los poros son oquedades de diferentes tamaños que están presentes en las diferentes fases del concreto:

- Poros de gel C-S-H

Son los vacíos presentes en la estructura de la pasta de cemento del orden de 5×10^{-10} a 25×10^{-10} m, por su diminuto tamaño el agua no puede penetrar a través de él, pero los gases como el CO_2 sí, es por ello que se hace uso de gases para medir esa porosidad.

Los poros de gel están ligados a los fenómenos de retracción y fluencia en la pasta (Hermida, 2014).

- Poros capilares

Son pequeños conductos dentro la matriz, la cual, conectan 2 caras externas del concreto. Estos conductos al inicio de la hidratación están conectados entre sí, pero a medida que el concreto gana más edad, los conductos capilares quedan aislados entre sí. Es por ello que se clasifican en 2 grandes grupos: Poros capilares continuos y discontinuos.

En diseños con bajo a/c la porosidad capilar varía entre los 10 nm y 50 nm, por el contrario, para relaciones a/c altas, la porosidad capilar varía entre los 3000 nm y 5000 nm. Estos poros capilares se dividen en micro poros (menores a 50 nm) y macro poros (mayores a 50 nm) (ver Figura 1).

Los micro poros actúan influyendo en la retracción y la fluencia, mientras que los macro poros influyen en la permeabilidad en líquidos y la resistencia mecánica (Hermida, 2014).

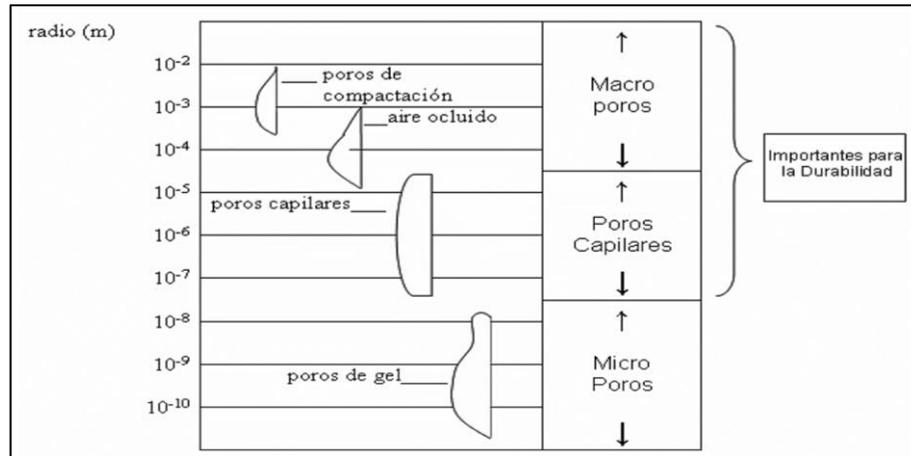


Figura 1 Clasificación de los poros presentes en el concreto

Fuente: Ríos, F. (sf.). *Efectos de la impermeabilidad de hormigones con un alto contenido de finos.*

- Poros debido al aire atrapado

Son los poros ocasionados por una mala compactación a momento del vaciado. Estos poros son los más grandes en el concreto rondando el orden de los 0.1 mm a más, por lo tanto, influyen en gran medida a la penetración de líquidos (permeabilidad) y la resistencia mecánica (Hermida, 2014).

Como síntesis se presenta la Figura 2 en la cual se observa los tamaños de los diferentes poros que se encuentran en el concreto, según (Mindess et. al, 2002) los poros mayores a 10 nm son susceptibles a dejar pasar el agua.

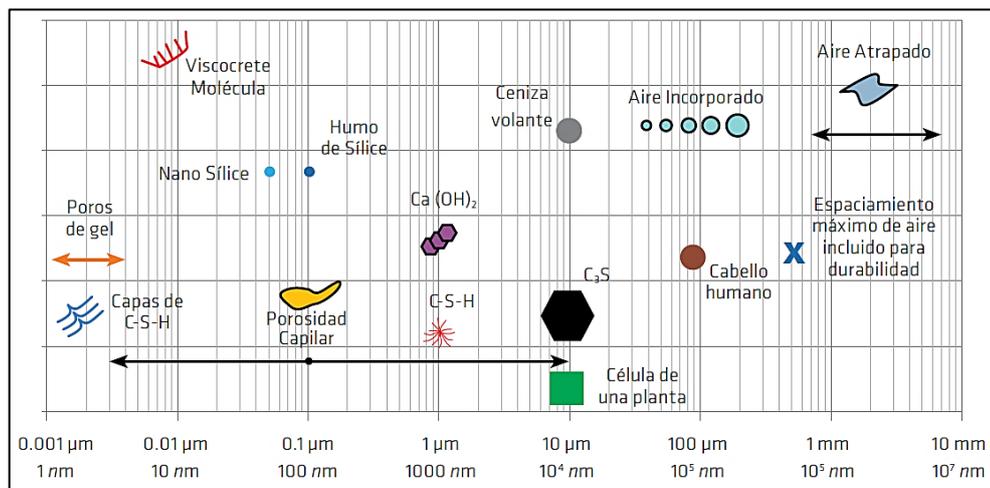


Figura 2 Escala de poros en el concreto

Fuente: Hermida, G. (2014). *Concreto impermeable*. Sika. Medellín: Sika. (p.7)

2.3.2 Porosidad de los agregados

Los agregados ocupan alrededor del 70 % del volumen de concreto, por lo que la propia porosidad del agregado influye en la permeabilidad del concreto. El volumen de poros de un agregado de tipo normal varía entre 1 y 5 % teniendo diámetros variables, pero de mayor orden que los capilares de la pasta (Wainzstein & Sota, s.f).

Según (Vélez, 2010), algunos poros del agregado están inmersos en el concreto, pero hay otros que están expuestos a la superficie, propiciando la penetración de agua y otros agentes agresivos.

2.3.3 Relación a/c

La relación agua/cemento (a/c) es un factor que influye en la permeabilidad del concreto, dado que, mientras más alto sea el contenido de cemento en la pasta, menos permeable será y tendrá menos porosidad (Neville, 2001).

(Blanchet, 2016) concuerda que mientras sea mayor la relación a/c , la permeabilidad también será mayor. Además, en concretos convencionales con a/c menores a 0.4 se logra permeabilidades muy bajas.

(Neville, 2001) encontró una relación gráfica entre la relación a/c y el coeficiente de permeabilidad en pastas de cemento maduras (ver Figura 3), tal y como se observa la tendencia es exponencial a medida que aumenta la relación a/c .

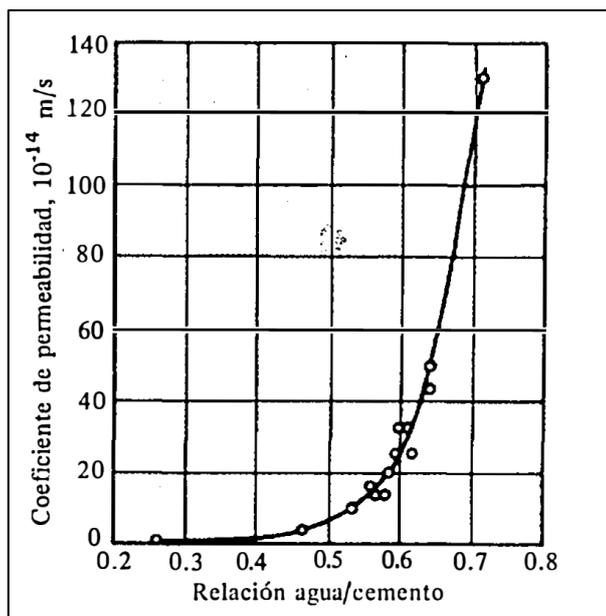


Figura 3 Relación entre el coeficiente de permeabilidad y la relación a/c en pastas de cemento

Fuente: Neville, A. N. (2001). *Tecnología del concreto*. imcyc. (p.343)

2.3.4 Tiempo de curado

El curado es un proceso en la cual se busca que el concreto se desarrolle adecuadamente controlando una humedad y temperatura satisfactorias, esto ayuda a la mejora en la durabilidad y resistencia del concreto (Neville, 2001).

Cuanto mayor sea el tiempo de curado del concreto, menor será su permeabilidad, dado que, el proceso de hidratación continua en el tiempo cerrando poros continuos y disminuyendo el contenido de vacíos. La temperatura de curado también juega un rol importante, ya que a mayor temperatura el concreto ganará resistencias más rápidamente reduciendo el tiempo de curado y por tanto disminuye su permeabilidad (Sánchez de Guzmán, 2001).

2.3.5 Colocación del concreto en obra

El sistema de transporte del concreto para ser colocado en obra influye en la permeabilidad que pueda tener el concreto, ya que si se produce disgregación o heterogeneidad afectaría negativamente a su permeabilidad. Una buena colocación del concreto en obra reduce el tamaño de los huecos o vacíos, por

tanto, se reduce su permeabilidad. Para poder lograr esto se usa vibradores convencionales para aumentar la compacidad del concreto, ya que a mayor grado de compacidad la permeabilidad es menor, debido a que la cantidad de vacíos disminuye (Blanchet, 2016).

2.4 VENTAJAS DEL CONCRETO IMPERMEABLE

Las principales ventajas del concreto impermeable convencional como material de construcción son:

- Es muy resistente a los agentes agresivos del agua y la humedad, por lo que aumenta su durabilidad.
- Permite ahorrar dinero en el empleo de impermeabilizantes externos.
- Retiene poco calor en ambientes cálidos, ya que, este concreto es capaz de permitir el paso del aire. Por lo cual, el vapor puede salir. Esta característica es un punto a favor si se trata específicamente de su uso en la construcción de viviendas, ya que, en épocas cálidas, no se convertirá en una fuente de calor innecesaria.
- Es ideal para climas extremos ya que posee una mayor resistencia al congelamiento y deshielo (Blanchet, 2016).

2.5 PROBLEMAS DE LA PERMEABILIDAD EN EL CONCRETO

La penetración del agua en el concreto está directamente relacionada con la durabilidad, debido a que con el agua se infiltra sustancias perjudiciales para el concreto que la debilitan a corto y largo plazo (Hermida, 2014).

2.5.1 Ataque por sulfatos

Los sulfatos cuando están diluidos en agua reaccionan con la pasta de cemento hidratada generando nuevos sólidos (etringita) que a largo plazo fisuran el concreto (Hermida, 2014).

El concreto que esté expuesto a suelos con sulfatos y aguas freáticas será atacado y sufrirá una desintegración severa que aparte de la etringita puede ser causada por el crecimiento de los cristales de sulfato dentro de la estructura del concreto, este aumento de volumen se encuentra en el orden del 250 % (The theglass concrete company, 2016).

Las principales fuentes de sulfatos nocivas para el concreto son:

- Suelos con alto contenido de yeso mineral, sulfato cálcico;
- Aguas contaminadas con residuos industriales;
- Agua marina con una concentración de 0.004 de sulfato de sodio (Vélez, 2010).

2.5.2 Corrosión por cloruros

El acero de refuerzo es esencial para dar resistencias de tracción al concreto estructural. El problema surge cuando el acero entra en contacto con agentes agresivos como la humedad del ambiente, la cual, trae consigo cloruros, oxidándose y provocando un aumento en su volumen del fisurando el concreto en el proceso (NRMCA, 2008).

Los cloruros presentes en la hidratación del cemento no son solubles al agua, por tanto, no hay peligro de corrosión por parte de ellos, pero otros estudios han encontrado que estos cloruros pueden romper su enlace en la hidratación y afectar al acero (Vélez, 2010).

Por ello, la norma peruana de concreto armado establece un valor máximo permitido de iones cloruro en concreto armado de 0.15 % en peso del cemento (E.060, 2009).

El ataque por cloruros varía dependiendo de 3 factores principales: El nivel la evaporación del lugar, la precipitación pluvial y la proximidad a los ríos (Vélez, 2010).

2.5.3 Fisura por hielo y deshielo

Un ciclo de hielo – deshielo es un fenómeno en el cual el agua contenida en los poros del concreto endurecido sufre congelamiento y descongelamiento debido a climas extremos. Este fenómeno termina afectado tanto a la pasta como a los agregados de forma conjunta (Páez Moreno, Leal Moreno, & Restrepo Burgos, 2009).

En estos climas, el problema surge cuando el agua ingresa a la red capilar del concreto y producto de la congelación aumenta su volumen, induciendo esfuerzos internos de tensión a la masa del concreto, originando micro fisuras al interior del concreto, lo cual, propicia un mayor ingreso de agua (Hermida, 2014).

La mayoría de agregados tienen poros de mayor diámetro que la pasta de cemento endurecida, por lo que el agua infiltrada en sus poros genera una presión hidráulica interna cuando entra en estado de congelación, provocando la falla en la estructura de concreto (Neville, 2001).

2.5.4 Lixiviación del hidróxido de calcio

La lixiviación es un proceso en el cual el agua diluye uno más componentes solubles de un sólido. En caso del concreto basado en cemento Portland, contiene hasta 30% de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el cual es soluble al agua, por tanto, la penetración del agua a través del concreto removerá gradualmente el hidróxido de calcio aumentando progresivamente su porosidad (The theerglass concrete company, 2016).

En concretos con alta relación a/c, la lixiviación es un problema grave, ya que, puede remover la suficiente cantidad de ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) como para reducir su resistencia mecánica. Es por ello que se recomienda el uso de aditivos y/o adiciones que reduzcan la permeabilidad (IMCYC, sf.).

2.5.5 Ataque por ácidos

Dado que la pasta de cemento Portland en el concreto es un material calcáreo, es muy susceptible al ataque de ácidos, por lo que es necesario evitar que entren en contacto impermeabilizándolo. Estos ácidos pueden provenir de:

- Corrientes de agua montañosas, que son ligeramente ácidas debido a que contienen dióxido de carbono disuelto;
- Ácidos orgánicos producto de la industria de procesamiento como fermentadoras, destilerías de caña de azúcar o pulpa de madera;
- Aguas negras (residuales) que puedan contener ácido sulfúrico (Sánchez de Guzmán, 2001).

Cuando el interior del concreto entra en contacto con los ácidos debido a su infiltración por los poros y fisuras, reacciona con el hidróxido de calcio hidratado deteriorándolo.

2.5.6 Otros

La alta permeabilidad ocasiona pérdida de agua en presas, diques, depósitos. Además, puede ocasionar daños en fábricas donde se requiere un ambiente seco para que la maquinaria presente funcione correctamente, como por ejemplo almacén de una fábrica de cemento (Alonso, 2014).

2.6 NORMATIVA EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO

En el Perú no existe una norma técnica que establezca un procedimiento de medición para cuantificar la permeabilidad al agua del concreto (Bustamante Romero, 2017).

Por ello, es necesario recurrir a normas internacionales (ver Tabla 3) que detallan el método para determinar la permeabilidad del concreto.

Tabla 3. Cuadro comparativo del estado del arte normativo

Norma	Título	Origen	Método de medición
UNE EN 12390-8	Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión	Europa	Profundidad de penetración
NTC 4483	Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Métodos de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua	Colombia	Profundidad de penetración y flujo contante
IRAM 1554	Hormigón de cemento Pórtland. Método de determinación de la penetración de agua a presión en el hormigón endurecido	Argentina	Profundidad de penetración
DIN 1048	Testing concrete - Testing of hardened concrete (specimens prepared in mould)	Alemania	Profundidad de penetración
CRD-C 163	Test method for wáter permeability of concrete using triaxial cell	EE. UU	Celda triaxial típica para pruebas de permeabilidad
NCh2262	Hormigón y mortero - Determinación de la permeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión	Chile	Profundidad de penetración

Nota. Recopilación de normas internacionales. Fuente: Adaptación propia.

En el ANEXO III se compara con más profundidad las normas mostradas en la Tabla 3. Para efectos de la presente tesis, se usará la norma colombiana NTC 4483 para obtener el coeficiente de permeabilidad (k).

2.6.1 Norma técnica colombiana 4483

Esta norma a diferencia de las demás normas internacionales, tiene por objeto determinar el coeficiente de permeabilidad (k) en el concreto endurecido en vez de solo determinar la profundidad de penetración del agua. Para ello dispone de una serie de requisitos y características que deben presentar las muestras que serán ensayadas (ver Tabla 4). El equipo necesario, según la norma, puede ser

cualquiera que pueda ejercer una presión de agua de 0.5 MPa de forma constante sobre la muestra (NTC 4483, 1998).

Por tanto, en la presente tesis se usó el equipo del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM-UNI), la cual cumple con los requisitos que menciona la norma NTC 4483 (ver Figura 4).

Tabla 4 Características de la muestra según la norma NTC 4483

Características	Valor
Forma	Probetas cilíndricas
Diámetro o lado	≥ 100 mm
Altura	≥ 100 mm
Cantidad	≥ 3
Otros	<ul style="list-style-type: none">- Se debe retirar por medios mecánicos, la capa superficial de cemento y/o mortero de ambas caras.- Antes de colocar la muestra en el equipo, se debe cubrir la superficie lateral con pintura epóxica para garantizar un flujo unidireccional estable.- Se puede usar agua del grifo.

Nota. Fuente: Adaptado de ICONTEC. (1998). *Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua*. Bogotá: ICONTEC. (p.4)

En cuanto al procedimiento del ensayo, la norma propone 2 métodos:

- *Flujo constante*: Usado para concretos de alta permeabilidad.
- *Profundidad de penetración*: Usado para concretos de baja permeabilidad.

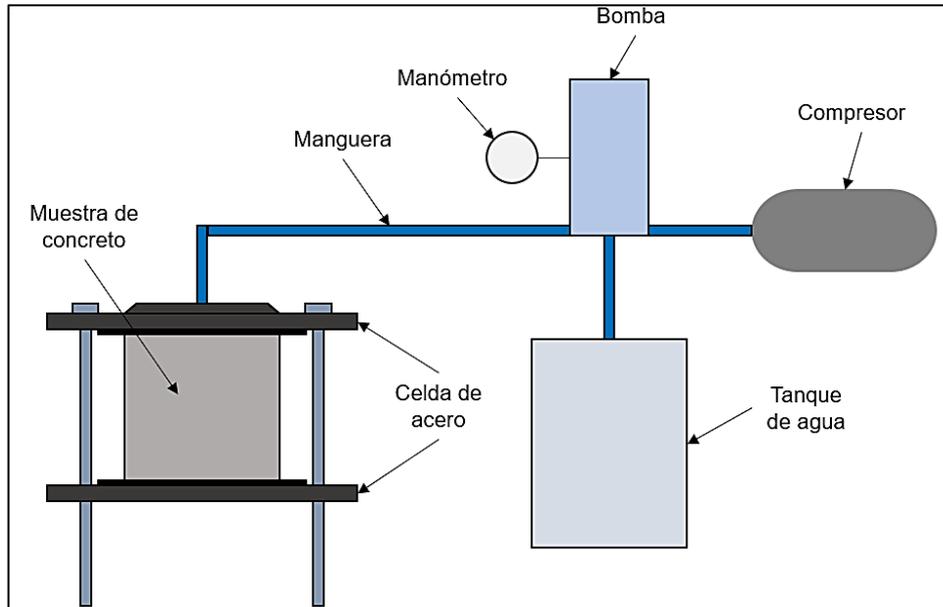


Figura 4 Esquema del equipo de permeabilidad del LEM FIC-UNI

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de permeabilidad por flujo constante

Para este ensayo, se coloca la muestra en el equipo y se aplica agua en la dirección del sentido del vaciado a una presión de 0.5 MPa durante 4 días, sobre una cara horizontal. Una vez que se establece un flujo constante a través de la muestra, se mide el caudal que pasa a través y se aplica la Ecuación 2 para hallar el coeficiente de permeabilidad (NTC 4483, 1998).

$$K = \frac{\rho L g Q}{PA} \quad (\text{NTC 4483,1998}) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

K : Coeficiente de permeabilidad (m/s)

ρ : Densidad del agua (Kg/m³)

L : Longitud de la muestra (m)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

Q : Caudal del agua (m³/s)

P : Presión del agua (N/m²)

A : Área transversal de la muestra (m²)

Ensayo de permeabilidad por profundidad de penetración

Este ensayo se aplica siempre y cuando no se haya observado un flujo luego de ensayar por flujo constante. Se debe retirar la muestra del equipo y se parte perpendicularmente a la cara ensayada para medir la profundidad promedio de penetración del agua. Se aplica la Ecuación 3 para hallar el coeficiente de permeabilidad (NTC 4483, 1998).

$$K = \frac{D^2 v}{2Th} \quad (\text{NTC 4483,1998}) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

K : Coeficiente de permeabilidad (m/s)

D : Profundidad de penetración del agua (m)

v : Contenido de vacíos determinada mediante la norma ASTM C642

T : Tiempo para penetrar la profundidad D (s)

h : Presión del agua (m)

2.7 NORMATIVA PARA EL CONTENIDO DE VACIOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

2.7.1 Norma ASTM C642

Esta norma tiene por objeto determinar el porcentaje de contenido de vacíos en el concreto endurecido, así como también otros parámetros como la densidad y la absorción del agua (ASTM C642, 2013).

Según la norma ASTM C642 las muestras que se usen en el ensayo deben de cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 5.

Tabla 5. Características de la muestra según ASTM C642

Requisitos	Valor
Forma	Cualquier forma o tamaño
Volumen	$\geq 350 \text{ cm}^3$
Peso	$\geq 800 \text{ g}$
Origen	Pueden ser porciones de probetas o diamantinas
Apariencia	Debe estar libre de grietas, fisuras o bordes rotos
Otro	Cada muestra de un mismo diseño debe ser ensayada por separado

Nota. Fuente: Adaptado de ASTM C642. (2013). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. ASTM International.

Para este ensayo se determinan 4 valores (A, B, C y D), los cuales la norma los describe como:

Masa seca al horno (A)

Las muestras se secan en un horno a $110 \pm 5 \text{ °C}$ por un tiempo no menor a 24 h hasta que la variación de masa medida entre 2 tiempos distintos sea menor a 0.5% del menor valor medido. Se considera el ultimo valor medido como “A” (ASTM C642, 2013).

Masa saturada después de la inmersión en agua (B)

Después de determinar “A”, las muestras se sumergen en agua a 21 °C por un tiempo no menor a 48 h hasta que la variación de masa superficialmente seca medida entre 2 tiempos distintos sea menor a 0.5% del mayor valor medido. Se considera el ultimo valor medido como “B” (ASTM C642, 2013).

Masa saturada después de la ebullición en agua (C)

Después de determinar “B”, se sumerge completamente en agua y se hierve por 5 h, luego se deja enfriar en su propia agua por más de 14 h, se pesa secándolo superficialmente y se anota ese valor como “C” (ASTM C642, 2013).

Masa sumergida aparente (D)

Después de determinar “C”, se determina el peso sumergido, el cual, se anota como el valor de “D” (ASTM C642, 2013).

Luego de determinar los 4 valores requeridos, se procede a usar las ecuaciones Ecuación 4, Ecuación 5 y Ecuación 6 para calcular el valor de la absorción, densidad seca global y contenido de vacíos respectivamente.

$$\text{Absorción} = \frac{(B - A)}{A} * 100 \quad (\text{ASTM C642, 2013}) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Densidad seca global} = \frac{A}{(C - D)} * \rho \quad (\text{ASTM C642, 2013}) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\text{Contenido de vacíos} = \frac{(C - A)}{(C - D)} * 100 \quad (\text{ASTM C642, 2013}) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

A: Masa seca en horno (g)

B: Masa saturada después de la inmersión en agua (g)

C: Masa saturada después de la ebullición en agua (g)

D: Masa sumergida aparente (g)

2.8 COMPONENTES DEL CONCRETO

2.8.1 Cemento Portland tipo I

El cemento Portland tipo I es un cemento de “uso general que no requiere de propiedades especiales de cualquier otro tipo” (NTP 334.009, 2016, pág. 5), se usa en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos como los sulfatos presentes en el suelo. Este tipo de cemento está normado por la ASTM C150M – 18 y NTP 334.009.

Además, es la que se usará en la presente investigación, cumpliendo con los requisitos químicos y físicos indicados en las Tabla 6 y Tabla 7 respectivamente (NTP 334.009, 2016).

Tabla 6 *Requisitos químicos del cemento Portland tipo I*

Requisitos	Tipo I
Óxido de aluminio, (Al ₂ O ₃), máx, %	-
Óxido férrico, (Fe ₂ O ₃), máx, %	-
Óxido de magnesio, (MgO), máx, %	6.0
Trióxido de azufre, (SO ₃), máx, %	
- Cuando (C3A) es 8% o menos	3.0
- Cuando (C3A) es más del 8%	3.5
Pérdida por ignición, máx, %	
- Cuando la caliza no es un ingrediente	3.0
- Cuando la caliza es un ingrediente	3.5
Residuo insoluble, máx, %	1.5

Nota. Fuente: Adaptado de NTP 334.009. (2016). *CEMENTOS. Cemento Portland. Requisitos.* Lima: INACAL. (p.12).

Tabla 7. Requisitos físicos del cemento Portland tipo I

Requisitos	Tipo I
Contenido de aire del mortero, %	
- Máx	12.0
- Mín	-
Ensayo de permeabilidad al aire	
- Mín	260.0
- Máx	-
Expansión en autoclave, máx, %	0.80
Resistencia a la compresión (MPa) no menor que:	
- 1 día	-
- 3 días	12.0
- 7 días	19.0
- 28 días	-
Tiempo de fraguado no menor de:	45
Tiempo de fraguado no mayor de:	37.5

Nota. Fuente: Adaptado de NTP 334.009. (2016). *CEMENTOS. Cemento Portland. Requisitos.* Lima: INACAL. (p.14).

Hidratación del cemento Portland

El proceso de hidratación del cemento se resume en las siguientes etapas:

- El polvo de cemento al entrar en contacto con el agua inicia una reacción química (fraguado) desde la superficie hacia el centro de cada uno de los granos que constituyen el cemento.
- Minutos después se forma un coloide (sol) alrededor de cada grano.
- Las áreas coloidales crecen y se funden en una matriz dentro de la cual quedan partículas de cemento y agua libre.
- La matriz va endureciéndose gradualmente y en pocas horas se convierte en un gel con inclusiones de cemento sin reaccionar, agua libre poros y cristales (ver *Figura 5*) (Grases, Porrero, Ramos, & Velazco, 2009).

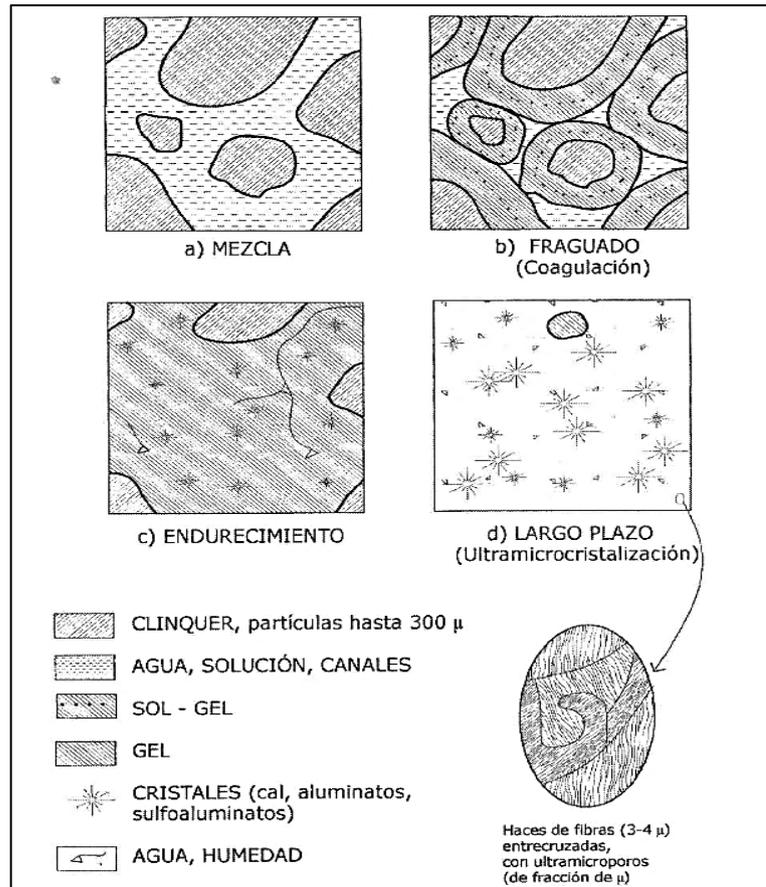


Figura 5 Proceso de hidratación del cemento

Fuente: Grases, J., Porrero, J., Ramos, C., & Velazco, G. J. (2009). Manual del concreto estructural (Tercera ed.). (M. Á. Álvarez, Ed.) Caracas, Venezuela. (p.95).

2.8.2 Agregados para el concreto

También llamados “áridos”, son un conjunto de partículas, de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados de la norma NTP 400.037:2014.

Ocupa aproximadamente las $\frac{3}{4}$ partes en volumen del concreto, por lo que es de suma importancia usar agregados de una buena calidad. Una elección deficiente de agregados puede afectar la resistencia mecánica y durabilidad del concreto (Neville, 2001).

Los agregados son más económicos que el cemento, razón por la cual se debe usar más de este material, ya que además da mayor estabilidad volumétrica a la mezcla (Sánchez de Guzmán, 2001).

2.8.3 Aditivos

Aditivo es aquella sustancia que aporta propiedades especiales al concreto fresco o endurecido mejorando así las características de durabilidad, trabajabilidad o resistencia de una mezcla dada de concreto (NRMCA, 2008).

El aditivo mejora o varia las siguientes características del concreto:

- Aumenta la trabajabilidad, sin modificar el contenido del agua;
- Retardar o acelerar el tiempo de fraguado inicial;
- Acelerar el desarrollo de la resistencia en la primera edad;
- Modificar la velocidad de producción de calor de hidratación;
- Reducir la exudación y sangrado;
- Incrementar la durabilidad o resistencia en condiciones severas de exposición;
- Reducir la permeabilidad a los líquidos;
- Disminuir la segregación;
- Reducir la contracción;
- Incrementar la adherencia de concreto nuevo y viejo;
- Mejorar la resistencia del concreto con el refuerzo (Tacusi Huancachoque, 2016).

Aditivo impermeabilizante

Es una categoría de aditivos que solo esta individualizada nominalmente pues en realidad se clasifica como reductor de agua, las cuales reducen la relación agua/cemento para disminuir la permeabilidad. Su uso está orientado a obra hidráulicas donde se necesita la estanqueidad de las estructuras. Los agentes impermeabilizantes disminuyen los vacíos capilares logrando de esta forma reducir la velocidad a la cual se transmite agua a presión a través del concreto. Cabe recalcar que no existe el aditivo que pueda garantizar la impermeabilidad total del concreto, lo único que logra el aditivo es disminuir la permeabilidad (Oquendo, 2013).

Los materiales impermeabilizantes pueden presentarse en distintos estados de agregación, algunos de ellos en polvo; también es posible encontrar aditivos

líquidos. Los aditivos impermeabilizantes pueden dividirse por sus propiedades físicas y químicas como:

- Repelentes del agua. - Son a partir de estereatos, los cuales actúan creando una superficie hidrofóbica en la superficie del concreto, modificando el ángulo de mojado formado por el fluido y la superficie en contacto (ver *Figura 6*) (Ramachandran, 1995).

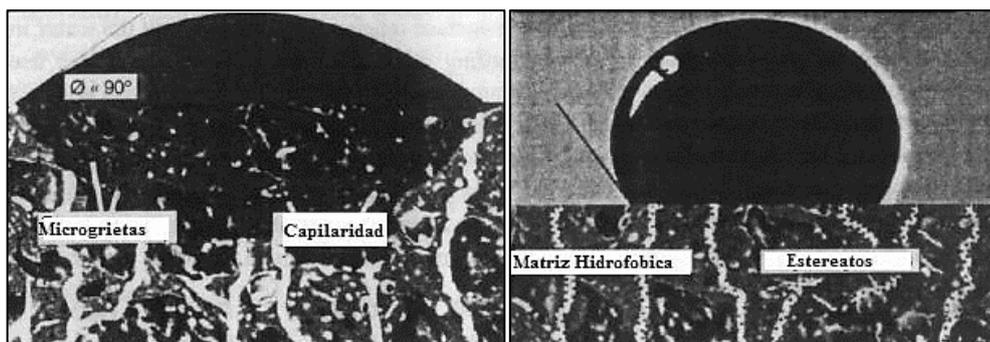


Figura 6 Interacción del agua con el concreto: a) sin aditivo, b) con aditivo
Fuente: Ramachandran, V. S. (1995). Concrete admixtures handbook properties, science, and technology. New Jersey: np. (p.988)

- Sólidos finos inertes y sólidos finos reactivos. - El mecanismo para la impermeabilización consiste en crear una barrera en los poros capilares disminuyendo así, la tasa de ingreso de fluidos en la matriz de concreto. Los sólidos finos pueden dividirse en inertes como la bentonita, cuya dosificación no modifique en gran medida el consumo de agua por su adición en el concreto. Los sólidos finos reactivos están compuestos por silicatos, cenizas volantes y puzolanas que reaccionan con los productos de hidratación del cemento de Portland bloqueando los capilares del concreto (ver *Figura 7*) (Ramachandran, 1995).

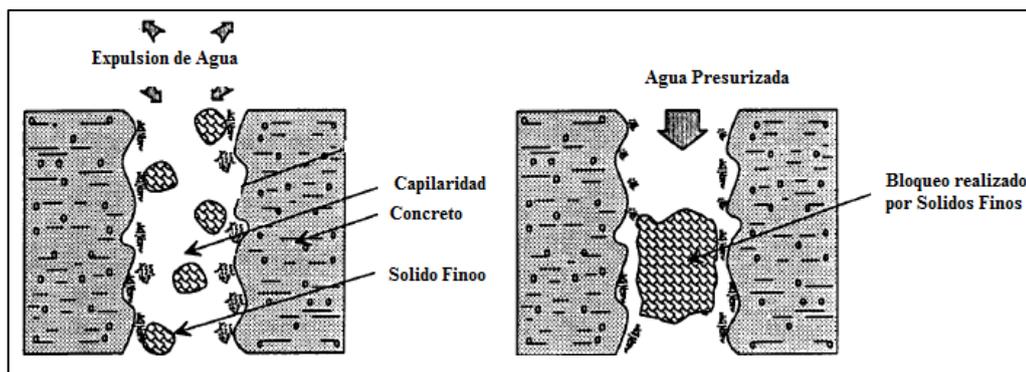


Figura 7 Funcionamiento de sólidos finos

Fuente: Ramachandran, V. S. (1995). Concrete admixtures handbook properties, science, and technology. New Jersey: np. (p.989)

2.9 PROPIEDADES DEL CONCRETO

2.9.1 Generalidades

El concreto en estado fresco es aquel que se obtiene después del mezclado para su realización, este deberá tener una adecuada consistencia, cohesividad y trabajabilidad que permita una buena colocación en los encofrados. Por ello es importante medir sus propiedades que sirven como indicio de su calidad. Las propiedades más importantes son: Asentamiento, fluidez, cohesividad, peso unitario, exudación, contenido de aire y tiempo de fragua (Tacusi Huancachoque, 2016).

Las propiedades que se determinaron para los alcances de la presente tesis fueron el asentamiento y el peso unitario.

En caso del concreto endurecido, el cual, se le considera después de que haya fraguado endureciéndose y ganando resistencia. Las propiedades más importantes son: Compresión, tracción indirecta, propiedades elásticas, permeabilidad, resistencia al desgaste, absorción y cavitación (Tacusi Huancachoque, 2016).

Las propiedades que se determinaron para los alcances de la presente tesis fueron la compresión, tracción indirecta, densidad, absorción, contenido de vacíos y permeabilidad.

En la Tabla 8 se presenta las normas usadas para determinar las propiedades estudiadas.

Tabla 8. Normas usadas para los ensayos en concreto

Ensayo	Norma	Título
Asentamiento	NTP 339.035	Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland
Peso unitario	NTP 339.046	Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto
Resistencia a la compresión	NTP 339.034	Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas
Resistencia a la tracción indirecta	NTP 339.084	Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica
Densidad, absorción y contenido de vacíos	ASTM C642	Método de ensayo. Determinación de la densidad, la absorción del agua y los vacíos en el concreto endurecido
Permeabilidad	NTC 4483	Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua

Nota. Recopilaciones de normas NTP, ASTM y NTC. Fuente: Adaptación propia.

2.9.2 Asentamiento

Este ensayo mide la consistencia o fluidez del concreto fresco cuyo tamaño máximo nominal de agregado grueso es de 1 ½". La medición del asentamiento está relacionada con la manejabilidad, es decir, la facilidad para colocar y consolidar el concreto en el encofrado (Sánchez de Guzmán, 2001).

La norma técnica peruana indica que el método de ensayo solo aplica para concretos plásticos, es decir, los concretos no plásticos y no cohesivos no pueden ser medidos mediante el cono de Abrams (NTP 339.035, 2015).

2.9.3 Peso unitario

El ensayo de peso unitario se emplea para calcular el rendimiento volumétrico producido por los componentes que lo conforman (agregados, aditivos, agua y cemento), también se usa para conocer el contenido de cemento por metro cúbico. En resumen, el peso unitario es el peso de concreto que se requiere para llenar un molde de volumen definido (Sánchez de Guzmán, 2001).

Según la norma (NTP 339.046, 2019), el peso unitario se puede obtener mediante consolidación por varillado o por vibración, pero para efectos de la presente tesis se usará el procedimiento por varillado.

2.9.4 Resistencia a la compresión axial

La resistencia a la compresión es la propiedad más importante del concreto endurecido debido a que determina el diseño del proyecto estructural (Tacusi Huancachoque, 2016).

Depende de factores como el contenido de cemento, relación agua/cemento, contenido de aire, influencia de los agregados, tamaño máximo nominal, fraguado, edad y temperatura (Sánchez de Guzmán, 2001).

La norma (NTP 339.034, 2015), establece en sus lineamientos la forma de calcular la resistencia a la compresión ($f'c$) mediante la Ecuación 7, además indica la precisión que deben tener los resultados para ser aceptados (ver Tabla 9).

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (\text{NTP 339.034, 2015}) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$f'c$: Resistencia a la compresión (Kg/cm²)

P : Carga máxima (Kg)

A : Área de la sección normal de la probeta (cm²)

Tabla 9. Precisión de los resultados del ensayo de compresión del concreto

Tamaño y condiciones de la probeta	Coeficiente de variación (%)	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 cilindros (%)	3 cilindros (%)
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
- Condiciones de laboratorio	2.4	6.6	7.8
- Condiciones de obra	2.9	8.0	9.5
Cilindros de 100 mm x 200 mm			
- Condiciones de laboratorio	3.2	9.0	10.6

Nota. Fuente: NTP 339.034. (2015). CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Lima: INACAL. (p.18).

2.9.5 Resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral

El ensayo de tracción directa es sumamente difícil de medir, ya que, existe mucha incertidumbre sobre la influencia de los esfuerzos inducidos por elementos que sujetan la probeta, por ello en respuesta a este problema surge el método de tracción indirecta, el cual consiste en cargar a compresión una probeta de forma horizontal (acostada). La resistencia obtenida es aproximadamente un 15% mayor que la determinada por el ensayo de tracción directa (Sánchez de Guzmán, 2001).

La norma (NTP 339.084, 2017) establece en sus lineamientos la forma de calcular la resistencia a la tracción (T) mediante la *Ecuación 8*.

$$T = \frac{2P}{\pi L d} \quad (\text{NTP 339.084, 2017}) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

T: Resistencia a la tracción indirecta (Kg/cm²)

P: Carga máxima (Kg)

L: Altura promedio de la probeta (cm²)

d: Diámetro promedio de la probeta (cm)

CAPÍTULO III: DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

3.1.1 Cemento

En la presente tesis se ha empleado cemento Portland tipo I de la marca “SOL”, cuyas propiedades físicas y químicas, según el fabricante, se muestran en la Tabla 10. No obstante, se realizó el ensayo de densidad del cemento siguiendo los lineamientos de la norma NTP 339.005, hallándose el valor de 3.092 g/cm³, por tanto, se usará este valor para los cálculos de diseño posteriores.

Tabla 10. Propiedades físicas y químicas del cemento SOL tipo I

Parámetro	Unidad	Cemento Sol Tipo I	Requisitos 334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	cm ² /g	3361	Máximo 2600
Densidad	g/ml	3.12	No específica
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	296	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	357	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	427	No específica
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO ₃	%	3.08	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.25	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.68	Máximo 1.5
C ₂ S	%	13.15	No específica
C ₃ S	%	53.60	No específica
C ₃ A	%	9.66	No específica
C ₄ AF	%	9.34	No específica

Nota. Fuente: Adaptado de UNACEM (2017). Cemento SOL. UNACEM. (p.2)

3.1.2 Agregados

El agregado fino utilizado proviene de la cantera “Huachipa” y agregado grueso de la cantera “Unicon”.

Los ensayos en agregados se realizaron en base a las normas NTP indicadas en la Tabla 11.

Se obtuvo el análisis granulométrico de los agregados (ver la Tabla 12), además de la curva granulométrica del agregado fino (ver Figura 8) y grueso (ver Figura 9), así como también sus propiedades físicas presentadas en la Tabla 13.

Tabla 11. Normas de ensayos en agregados utilizados

Norma	Título
NTP 339.185	Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado
NTP 400.012	Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
NTP 400.017	Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso unitario”) y los vacíos en agregados.
NTP 400.018	Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados.
NTP 400.021	Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.
NTP 400.022	Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.
NTP 400.024	Método de ensayo normalizado para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto.
NTP 400.037	Agregados para concreto. Requisitos.

Nota. Recopilación de normas técnicas peruanas. Fuente: Adaptación propia.

Tabla 12. Análisis granulométrico de los agregados fino y grueso

Tamiz		Agregado grueso			Agregado fino		
Pulg.	mm.	%Ret.	%Acum.	%Pasa	%Ret.	%Acum.	%Pasa
1"	25	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19	0.8	0.8	99.2	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.5	30.7	31.5	68.5	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.5	25.0	56.4	43.6	0.0	0.0	100.0
N°4	4.75	42.0	98.5	1.5	2.3	2.3	97.7
N°8	2.36	0.0	98.5	1.5	15.4	17.7	82.4
N°16	1.18	0.0	98.5	1.5	22.7	40.4	59.6
N°30	0.59	0.0	98.5	1.5	24.7	65.1	34.9
N°50	0.3	0.0	98.5	1.5	21.9	87.0	13.1
N°100	0.15	0.0	98.5	1.5	9.7	96.6	3.4
Fondo	0	1.5	100.0	0.0	3.4	100.0	0.0

Nota. Fuente: Elaboración propia

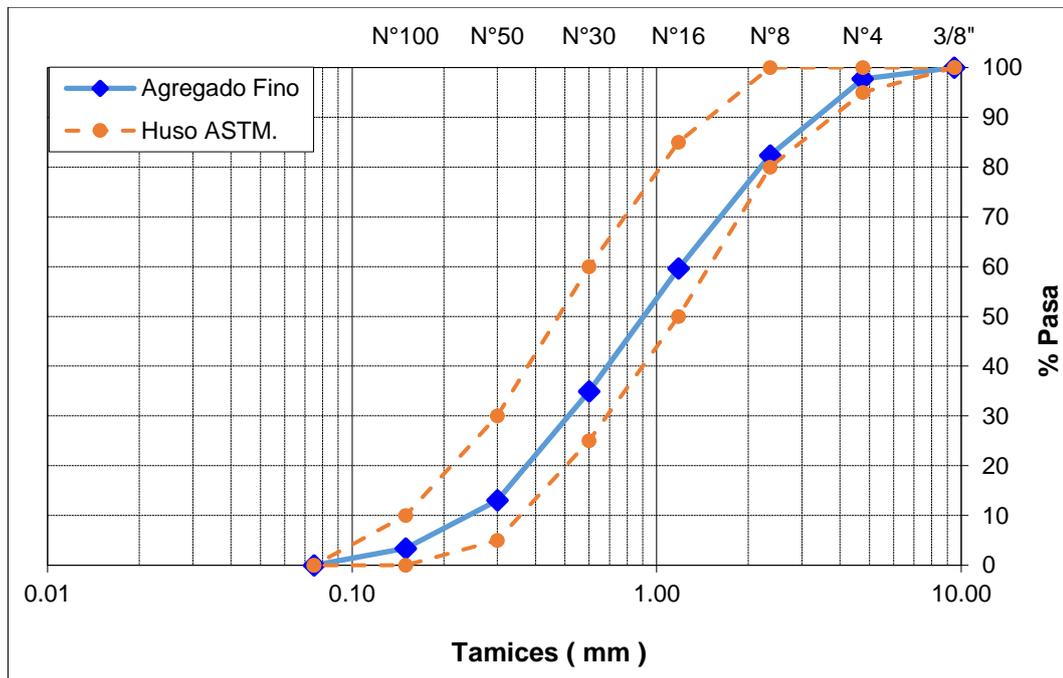


Figura 8 Granulometría del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

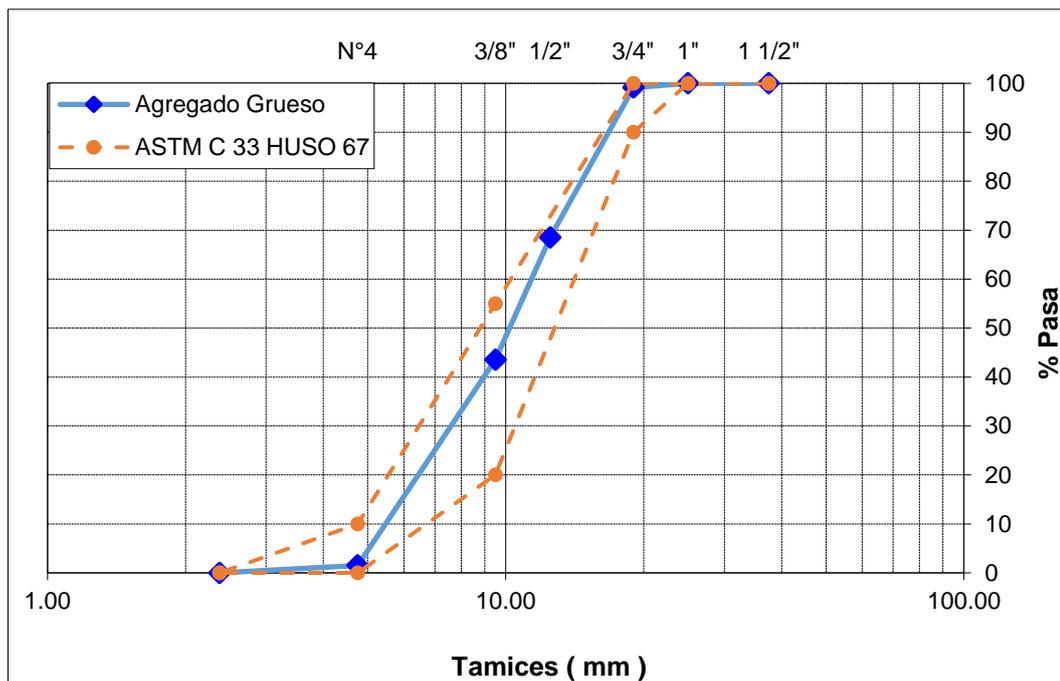


Figura 9 Granulometría del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Propiedades físicas del agregado fino y grueso

Propiedades físicas	Piedra (Cantera UNICON)	Arena (Cantera Huachipa)
Módulo de finura	6.48	3.09
Tamaño máximo nominal (pulg.)	1/2	N° 4
Huso	67	ASTM C33
Peso específico (g/cm ³)	2.66	2.60
Absorción (%)	1.49	1.34
Porcentaje de finos que pasan la malla N°200 (%)	0.86	4.7
Impurezas orgánicas (Patrón Gardner)	-	1
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1480	1352
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1640	1580

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Agua

El agua utilizada en todos los ensayos realizados proviene de la red de agua potable UNI. Para todos los diseños y cálculos realizados se consideró un peso específico de 1 gr/cm³.

3.1.4 Aditivo superplastificante

Para todos los diseños de mezcla realizados, se utilizó el aditivo superplastificante ViscoCrete SC-50 de la marca “Sika”, el cual, según el fabricante: “Basa su accionar en una combinación de efectos: eléctricos, adsorción y repulsión estérica” (Sika Perú S.A., 2019, pág. 1).

Las características más resaltantes del aditivo son:

- Reduce el agua en un alto rango.
- Sinergia con el uso de otros aditivos Sika.
- Retiene la trabajabilidad sin afectar las resistencias iniciales.
- Es usado en la producción de concretos de alto desempeño,

Y la dosificación recomendada por el fabricante es de 0.5% a 1.8% del peso del material cementante (Sika Perú S.A., 2019).

Las propiedades físicas del aditivo se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Propiedades del aditivo Sika® ViscoCrete® SC-50

Propiedades	Valor
Aspecto	Suspensión líquida ligeramente cremosa
Color	Gris oscuro
Densidad	1.10 ± 0.01 kg/L
Tiempo de vida	1 año ^a
Dosificación	Para dosificaciones típicas: 0.5 a 1.8% del peso del material cementante

Nota. Fuente: Adaptado de Sika Perú S.A. (2019). *Sika® ViscoCrete® SC-50*. Lurín: Sika. (p.2)

^a En envase sellado y bajo techo.

3.1.5 Aditivo impermeabilizante

Para los diseños de mezcla con impermeabilizante, se utilizó el aditivo impermeabilizante Sika® - 1 líquido, que en términos del fabricante: “Obstruye los poros y capilares del concreto o mortero mediante gel incorporado” (Sika Perú S.A., 2015, pág. 1).

Las propiedades físicas del aditivo se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. *Propiedades del aditivo Sika®-1 líquido*

Propiedades	Valor
Aspecto	Suspensión líquida ligeramente cremosa
Color	Amarillo tenue
Densidad	0.95 ± 0.03 kg/L
Tiempo de vida	2 años ^a
Dosis	Mortero 1 de aditivo x 10 de agua
	Concreto 42 cm ³ de aditivo x kg de cemento

Nota. Fuente: Adaptado de Sika Perú S.A. (2015). *Sika®-1 líquido*. Lurín: Sika (p.1-3)

^a En envase sellado, bajo techo y en lugar fresco.

3.2 DISEÑO DE MEZCLA

3.2.1 Denominación de los diseños

Para la presente tesis se realizó los diseños de mezcla con 3 relaciones a/c: 0.45, 0.50 y 0.55, con y sin aditivo impermeabilizante. En total se realizó 6 diseños de mezcla cuyas denominaciones propuestas para la presente investigación se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Denominación y descripción de los diseños de mezcla realizados

Denominación	Descripción
P (a/c=0.45)	Mezcla sin aditivo impermeabilizante (Patrón) y relación a/c = 0.45
P (a/c=0.50)	Mezcla sin aditivo impermeabilizante (Patrón) y relación a/c = 0.50
P (a/c=0.55)	Mezcla sin aditivo impermeabilizante (Patrón) y relación a/c = 0.55
A (a/c=0.45)	Mezcla con aditivo impermeabilizante y relación a/c = 0.45
A (a/c=0.50)	Mezcla con aditivo impermeabilizante y relación a/c = 0.50
A (a/c=0.55)	Mezcla con aditivo impermeabilizante y relación a/c = 0.55

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Consideraciones del diseño

Para realizar los diseños de mezcla se utilizó el método de Bolomey, además con el fin de evaluar la permeabilidad en función de la relación agua/cemento se propuso mantener fija la cantidad de cemento en todos los diseños, ya que, la variación de la cantidad de cemento además de otros factores, también influye en la permeabilidad.

Se realizaron 6 diseños de concreto con relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 con y sin aditivo impermeabilizante "Sika-1 Líquido" respetando las cantidades mínimas de cemento que indica la norma EN-206-1 (ver Tabla 17).

Tabla 17. Valores límite para la composición del concreto

Relación a/c	f'c mínimo (MPa)	Contenido mínimo de cemento (Kg)
0.40	35	360
0.45	35	360
0.50	30	320
0.55	30	300
0.60	25	280

Nota. Fuente: Adaptado de EN-206-1. (2008). *Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity*. CEN. (p.65)

La dosificación de aditivo impermeabilizante usada para todos los diseños con aditivo propuestos es de 3.99% en peso de cemento tal y como recomienda el fabricante

Con el fin de lograr que el concreto tenga una consistencia plástica, se propuso obtener un asentamiento de 3" a 4".

3.2.3 Diseño P ($a/c=0.45$)

La dosificación del diseño "P ($a/c= 0.45$)" para 1m^3 de concreto se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18. Dosificación unitaria del diseño P($a/c=0.45$) para 1m^3

Componentes	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m^3)	Proporción unitaria seca	Peso húmedo (Kg)	Proporción unitaria húmeda
Cemento	390.00	0.126	1.00	390.00	1.00
Agua	175.50	0.176	0.45	175.98	0.45
Arena (49.07%)	852.26	0.327	2.19	870.19	2.23
Piedra (50.93%)	902.37	0.340	2.31	908.82	2.33
Aire (2.5%)	0	0.025	0	0	0
ViscoCrete SC-50	6.90	0.006	0.02	6.90	0.02

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Diseño P ($a/c=0.50$)

La dosificación del diseño "P ($a/c= 0.50$)" para 1m^3 de concreto se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19. Dosificación unitaria del diseño P(a/c=0.50) para 1m³

Componentes	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m ³)	Proporción unitaria seca	Peso húmedo (Kg)	Proporción unitaria húmeda
Cemento	390.00	0.126	1.00	390.00	1.00
Agua	195.00	0.195	0.50	195.47	0.50
Arena (49.07%)	828.66	0.318	2.12	846.09	2.17
Piedra (50.93%)	877.38	0.330	2.25	883.66	2.27
Aire (2.5%)	0	0.025	0	0	0
ViscoCrete SC-50	5.77	0.005	0.01	5.77	0.01

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Diseño P (a/c=0.55)

La dosificación del diseño “P (a/c= 0.55)” para 1m³ de concreto se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. Dosificación unitaria del diseño P(a/c=0.55) para 1m³

Componentes	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m ³)	Proporción unitaria seca	Peso húmedo (Kg)	Proporción unitaria húmeda
Cemento	390.00	0.126	1.00	390.00	1.00
Agua	214.50	0.215	0.55	214.96	0.55
Arena (49.07%)	804.79	0.309	2.06	821.72	2.11
Piedra (50.93%)	851.92	0.321	2.18	858.02	2.20
Aire (2.5%)	0	0.025	0	0	0
ViscoCrete SC-50	4.95	0.005	0.01	4.95	0.01

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Diseño A (a/c=0.45)

La dosificación del diseño “A (a/c= 0.45)” para 1m³ de concreto se presenta en la Tabla 21.

Tabla 21. Dosificación unitaria del diseño A(a/c=0.45) para 1m³

Componentes	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m ³)	Proporción unitaria seca	Peso húmedo (Kg)	Proporción unitaria húmeda
Cemento	390.00	0.126	1.00	390.00	1.00
Agua	159.12	0.159	0.41	157.04	0.40
Arena (49.07%)	852.23	0.327	2.19	870.33	2.23
Piedra (50.93%)	902.22	0.340	2.31	911.06	2.34
Aire (2.5%)	0	0.025	0	0	0
Sika®1 - Líquido	15.56	0.016	0.04	15.56	0.04
ViscoCrete SC-50	6.98	0.006	0.02	6.98	0.02

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Diseño A (a/c=0.50)

La dosificación del diseño “A (a/c= 0.50)” para 1m³ de concreto se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22. Dosificación unitaria del diseño A(a/c=0.50) para 1m³

Componentes	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m ³)	Proporción unitaria seca	Peso húmedo (Kg)	Proporción unitaria húmeda
Cemento	390.00	0.126	1.00	390.00	1.00
Agua	178.62	0.179	0.46	176.60	0.45
Arena (49.07%)	828.53	0.318	2.12	846.13	2.17
Piedra (50.93%)	877.24	0.330	2.25	885.83	2.27
Aire (2.5%)	0	0.025	0	0	0
Sika®1 - Líquido	15.56	0.016	0.04	15.56	0.04
ViscoCrete SC-50	5.89	0.005	0.02	5.89	0.02

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.2.8 Diseño A ($a/c=0.55$)

La dosificación del diseño “A ($a/c= 0.55$)” para 1m^3 de concreto se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23. Dosificación unitaria del diseño A($a/c=0.55$) para 1m^3

Componentes	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m^3)	Proporción unitaria seca	Peso húmedo (Kg)	Proporción unitaria húmeda
Cemento	390.00	0.126	1.00	390.00	1.00
Agua	198.12	0.198	0.51	196.16	0.50
Arena (49.07%)	804.68	0.309	2.06	821.77	2.11
Piedra (50.93%)	851.85	0.321	2.18	860.19	2.21
Aire (2.5%)	0	0.025	0	0	0
Sika®1 - Líquido	15.56	0.016	0.04	15.56	0.04
ViscoCrete SC-50	5.03	0.005	0.01	5.03	0.01

Nota. Fuente: Elaboración propia

Se presenta a modo de resumen los pesos secos en la Tabla 24.

Tabla 24. Resumen de pesos secos de los diseños de mezcla usados

Materiales	Peso seco (Kg)					
	P($a/c=0.45$)	P($a/c=0.50$)	P($a/c=0.55$)	A($a/c=0.45$)	A($a/c=0.50$)	A($a/c=0.55$)
Cemento	390.00	390.00	390.00	390.00	390.00	390.00
Agua	175.50	195.00	214.50	159.12	178.62	198.12
Arena (49.07%)	852.26	828.66	804.79	852.23	828.53	804.68
Piedra (50.93%)	902.37	877.38	851.92	902.22	877.24	851.85
Aire (2.5%)	0	0	0	0	0	0
Sika®1 - Líquido	0	0	0	15.56	15.56	15.56
ViscoCrete SC-50	6.90	5.77	4.95	6.98	5.89	5.03

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.3 DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

La elaboración del concreto se realizó en las instalaciones del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Manuel Gonzales de la Cotera” siguiendo los lineamientos indicados en la norma NTP 339.183.

Las propiedades del concreto fresco que se determinaron son: asentamiento y peso unitario.

3.3.1 Asentamiento

Se realizó el ensayo de asentamiento para los 6 diseños propuestos siguiendo los lineamientos de la norma NTP 339.035. Obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 25.

Tabla 25. Asentamiento de cada diseño realizado

Diseño	Asentamiento (Pulg.)
P (a/c=0.45)	3 ³ / ₄
P (a/c=0.50)	3 ³ / ₄
P (a/c=0.55)	3 ¹ / ₂
A (a/c=0.45)	3 ³ / ₄
A (a/c=0.50)	3 ¹ / ₄
A (a/c=0.55)	3 ¹ / ₂

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Peso unitario

Se realizó el ensayo de peso unitario en concreto fresco para los 6 diseños propuestos siguiendo los lineamientos de la norma NTP 339.046. Obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 26.

Tabla 26. Peso unitario de cada diseño realizado

Diseño	Peso del recipiente (Kg)	Peso del recipiente + mezcla (Kg)	Peso de la mezcla (Kg)	Volumen del recipiente (pie ³)	Peso unitario (Kg/m ³)
P (a/c=0.45)	5.05	26.91	21.86	1/3	2316
P (a/c=0.50)	4.82	26.47	21.65	1/3	2294
P (a/c=0.55)	5.05	26.49	21.44	1/3	2271
A (a/c=0.45)	5.05	26.93	21.88	1/3	2318
A (a/c=0.50)	5.05	26.73	21.68	1/3	2297
A (a/c=0.55)	4.82	25.98	21.16	1/3	2242

Nota. Fuente: Elaboración propia

3.4 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

Se determinaron las propiedades de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción simple por compresión diametral, cantidad de vacíos y permeabilidad al agua.

3.4.1 Resistencia a la compresión

Con el fin de conocer la influencia del aditivo impermeabilizante en la resistencia a la compresión del concreto, se ensayaron 96 probetas de 10 x 20 cm repartidas en edades de 7, 14, 21 y 28 días siguiendo los lineamientos de la norma NTP 339.034. Se obtuvieron los valores mostrados en las Tablas 27, 28, 29, 30, 31 y 32. Aplicando la *Ecuación 7* se obtuvo los valores de f'_c para cada dato. Adicionalmente se eliminó el f'_c más disperso de cada edad para poder cumplir con el rango y el coeficiente de variación máximo mostrado en la Tabla 9.

Tabla 27. Resistencia a la compresión del diseño P ($a/c=0.45$)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
P ($a/c=0.45$)	7	10.085	79.88	30220	378.31	376
P ($a/c=0.45$)	7	10.110	80.28	30343	377.98	
P ($a/c=0.45$)	7	10.195	81.63	32701	400.59 ^a	
P ($a/c=0.45$)	7	10.110	80.28	29850	371.84	420
P ($a/c=0.45$)	14	10.045	79.25	33395	421.40	
P ($a/c=0.45$)	14	10.110	80.28	32947	410.42 ^a	
P ($a/c=0.45$)	14	10.045	79.25	33619	424.22	443
P ($a/c=0.45$)	14	10.085	79.88	33202	415.64	
P ($a/c=0.45$)	21	10.385	84.70	37471	442.38	
P ($a/c=0.45$)	21	10.140	80.75	35392	438.27	474
P ($a/c=0.45$)	21	10.100	80.12	35928	448.44	
P ($a/c=0.45$)	21	10.070	79.64	36554	458.97 ^a	
P ($a/c=0.45$)	28	10.020	78.85	38859	492.80 ^a	474
P ($a/c=0.45$)	28	10.130	80.60	38775	481.11	
P ($a/c=0.45$)	28	9.995	78.46	37095	472.78	
P ($a/c=0.45$)	28	10.155	80.99	37942	468.46	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

^a Dato con más dispersión.

Tabla 28. Resistencia a la compresión del diseño P ($a/c=0.50$)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
P ($a/c=0.50$)	7	10.055	79.41	24163	304.30 ^a	298
P ($a/c=0.50$)	7	10.065	79.56	23612	296.77	
P ($a/c=0.50$)	7	9.980	78.23	23063	294.83	
P ($a/c=0.50$)	7	10.275	82.92	25003	301.54	346
P ($a/c=0.50$)	14	10.075	79.72	27603	346.24	
P ($a/c=0.50$)	14	10.095	80.04	26747	334.17	
P ($a/c=0.50$)	14	10.170	81.23	28928	356.11	354
P ($a/c=0.50$)	14	10.055	79.41	29676	373.72 ^a	
P ($a/c=0.50$)	21	10.320	83.65	30125	360.15	

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
P (a/c=0.50)	21	10.025	78.93	29555	374.43 ^a	
P (a/c=0.50)	21	10.055	79.41	27675	348.52	
P (a/c=0.50)	21	10.305	83.40	29385	352.32	
P (a/c=0.50)	28	10.215	81.95	30178	368.23 ^a	
P (a/c=0.50)	28	10.280	83.00	31014	373.66	376
P (a/c=0.50)	28	10.350	84.13	31876	378.87	
P (a/c=0.50)	28	10.180	81.39	30450	374.11	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

^a Dato con más dispersión.

Tabla 29. Resistencia a la compresión del diseño P (a/c=0.55)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
P (a/c=0.55)	7	9.930	77.44	19807	255.76	
P (a/c=0.55)	7	10.065	79.56	20169	253.49	256
P (a/c=0.55)	7	10.025	78.93	20515	259.90	
P (a/c=0.55)	7	9.995	78.46	19356	246.69 ^a	
P (a/c=0.55)	14	10.160	81.07	22879	282.20	
P (a/c=0.55)	14	10.030	79.01	21966	278.01 ^a	287
P (a/c=0.55)	14	10.065	79.56	22943	288.36	
P (a/c=0.55)	14	10.040	79.17	23004	290.57	
P (a/c=0.55)	21	10.310	83.48	25903	310.27	
P (a/c=0.55)	21	10.100	80.12	26554	331.43 ^a	314
P (a/c=0.55)	21	10.275	82.92	26779	322.95	
P (a/c=0.55)	21	10.290	83.16	25691	308.93	
P (a/c=0.55)	28	10.035	79.09	25880	327.22	
P (a/c=0.55)	28	10.075	79.72	25431	318.99 ^a	325
P (a/c=0.55)	28	10.130	80.60	26028	322.95	
P (a/c=0.55)	28	10.145	80.83	26268	324.96	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

^a Dato con más dispersión.

Tabla 30. Resistencia a la compresión del diseño A ($a/c=0.45$)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
A ($a/c=0.45$)	7	10.120	80.44	34565	429.72	
A ($a/c=0.45$)	7	10.320	83.65	32170	384.59 ^a	418
A ($a/c=0.45$)	7	10.295	83.24	34118	409.87	
A ($a/c=0.45$)	7	10.315	83.57	34602	414.07	
A ($a/c=0.45$)	14	10.165	81.15	39837	490.89	
A ($a/c=0.45$)	14	10.020	78.85	38402	487.00 ^a	492
A ($a/c=0.45$)	14	10.155	80.99	39974	493.55	
A ($a/c=0.45$)	14	10.070	79.64	39204	492.25	
A ($a/c=0.45$)	21	10.005	78.62	36417	463.21 ^a	
A ($a/c=0.45$)	21	10.055	79.41	39687	499.80	507
A ($a/c=0.45$)	21	10.030	79.01	40429	511.68	
A ($a/c=0.45$)	21	10.050	79.33	40303	508.06	
A ($a/c=0.45$)	28	10.035	79.09	42902	542.44	
A ($a/c=0.45$)	28	10.015	78.78	43672	554.38	546
A ($a/c=0.45$)	28	10.070	79.64	43058	540.64	
A ($a/c=0.45$)	28	10.315	83.57	44169	528.55 ^a	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

^a Dato con más dispersión.

Tabla 31. Resistencia a la compresión del diseño A ($a/c=0.50$)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
A ($a/c=0.50$)	7	10.060	79.49	28065	353.08	
A ($a/c=0.50$)	7	10.120	80.44	26963	335.21	344
A ($a/c=0.50$)	7	10.155	80.99	27877	344.19	
A ($a/c=0.50$)	7	10.200	81.71	26614	325.70 ^a	
A ($a/c=0.50$)	14	10.260	82.68	30993	374.87	
A ($a/c=0.50$)	14	10.055	79.41	30299	381.57 ^a	368
A ($a/c=0.50$)	14	10.195	81.63	29658	363.31	
A ($a/c=0.50$)	14	10.170	81.23	29709	365.73	
A ($a/c=0.50$)	21	10.005	78.62	32362	411.63	402

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
A (a/c=0.50)	21	10.120	80.44	30411	378.08 ^a	
A (a/c=0.50)	21	10.035	79.09	32015	404.79	
A (a/c=0.50)	21	10.160	81.07	31671	390.65	
A (a/c=0.50)	28	10.055	79.41	34264	431.50	
A (a/c=0.50)	28	10.080	79.80	34281	429.58	430
A (a/c=0.50)	28	10.045	79.25	34630	436.98 ^a	
A (a/c=0.50)	28	10.035	79.09	33902	428.65	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

^a Dato con más dispersión.

Tabla 32. Resistencia a la compresión del diseño A (a/c=0.55)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Área (cm ²)	Carga (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
A (a/c=0.55)	7	9.915	77.21	23645	306.24	
A (a/c=0.55)	7	9.920	77.29	23392	302.66	302
A (a/c=0.55)	7	10.215	81.95	23152	282.50	
A (a/c=0.55)	7	10.100	80.12	23718	296.04	
A (a/c=0.55)	14	10.205	81.79	27110	331.45	
A (a/c=0.55)	14	10.120	80.44	26073	324.15	320
A (a/c=0.55)	14	10.190	81.55	25892	317.49	
A (a/c=0.55)	14	10.080	79.80	25367	317.88	
A (a/c=0.55)	21	10.115	80.36	27428	341.33	
A (a/c=0.55)	21	10.080	79.80	27205	340.91	338
A (a/c=0.55)	21	10.135	80.67	26878	333.17	
A (a/c=0.55)	21	10.105	80.20	26460	329.93	
A (a/c=0.55)	28	10.080	79.80	29280	366.91	
A (a/c=0.55)	28	10.325	83.73	29456	351.81	365
A (a/c=0.55)	28	10.080	79.80	29609	371.03	
A (a/c=0.55)	28	10.200	81.71	29087	355.97	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

^a Dato con más dispersión.

3.4.2 Resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral

Para conocer la influencia del aditivo impermeabilizante en la tracción del concreto, se ensayaron en total 72 probetas de 15 x 30 cm repartidas en edades de 7, 14, 21 y 28 días siguiendo los lineamientos de la norma NTP 339.084.

A partir de los datos obtenidos se aplicó la Ecuación 8 para calcular valores de tracción indirecta (T) para cada uno. Los resultados se muestran en las Tablas 33, 34, 35, 36, 37 y 38.

Tabla 33. Resistencia a la tracción indirecta del diseño P (a/c=0.45)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga (Kg)	T (Kg/cm ²)	T promedio (Kg/cm ²)
P (a/c=0.45)	7	15.080	30.985	22867	31.16	
P (a/c=0.45)	7	15.145	32.400	23304	30.23	31.1
P (a/c=0.45)	7	15.100	30.585	23230	32.02	
P (a/c=0.45)	14	15.105	30.175	23732	33.15	
P (a/c=0.45)	14	15.190	30.620	24946	34.14	33.1
P (a/c=0.45)	14	15.095	30.565	23121	31.90	
P (a/c=0.45)	21	15.220	31.195	27842	37.33	
P (a/c=0.45)	21	15.200	31.965	27698	36.29	36.7
P (a/c=0.45)	21	15.085	30.605	26437	36.45	
P (a/c=0.45)	28	15.225	30.945	29661	40.08	
P (a/c=0.45)	28	15.240	30.685	28814	39.23	39.5
P (a/c=0.45)	28	15.085	30.590	28316	39.06	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Resistencia a la tracción indirecta del diseño P (a/c=0.50)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga (Kg)	T (Kg/cm ²)	T promedio (Kg/cm ²)
P (a/c=0.50)	7	15.430	34.150	19054	23.02	
P (a/c=0.50)	7	15.325	34.695	21353	25.57	25.6
P (a/c=0.50)	7	15.120	30.585	20431	28.13	

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga (Kg)	T (Kg/cm ²)	T promedio (Kg/cm ²)
P (a/c=0.50)	14	15.225	30.350	19841	27.34	
P (a/c=0.50)	14	15.260	30.630	20633	28.10	27.3
P (a/c=0.50)	14	15.145	30.655	19374	26.57	
P (a/c=0.50)	21	15.265	32.800	22619	28.76	
P (a/c=0.50)	21	15.300	33.785	22042	27.15	28.7
P (a/c=0.50)	21	15.085	30.555	21765	30.06	
P (a/c=0.50)	28	15.220	30.525	21751	29.80	
P (a/c=0.50)	28	15.205	30.780	23312	31.71	30.7
P (a/c=0.50)	28	15.060	30.635	22112	30.51	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Resistencia a la tracción indirecta del diseño P (a/c=0.55)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga (Kg)	T (Kg/cm ²)	T promedio (Kg/cm ²)
P (a/c=0.55)	7	15.165	30.545	16782	23.06	
P (a/c=0.55)	7	15.260	30.800	15228	20.63	21.9
P (a/c=0.55)	7	15.095	30.595	15863	21.87	
P (a/c=0.55)	14	15.200	30.905	17216	23.33	
P (a/c=0.55)	14	15.310	30.650	18153	24.63	24.6
P (a/c=0.55)	14	15.085	30.615	18743	25.84	
P (a/c=0.55)	21	15.160	32.865	19832	25.34	
P (a/c=0.55)	21	15.255	30.815	20327	27.53	26.9
P (a/c=0.55)	21	15.080	30.600	20142	27.79	
P (a/c=0.55)	28	15.195	30.725	21124	28.80	
P (a/c=0.55)	28	15.235	30.880	20941	28.34	28.5
P (a/c=0.55)	28	15.095	30.580	20624	28.44	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Resistencia a la tracción indirecta del diseño A ($a/c=0.45$)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga (Kg)	T (Kg/cm ²)	T promedio (Kg/cm ²)
A ($a/c=0.45$)	7	15.235	31.085	23981	32.24	
A ($a/c=0.45$)	7	15.245	32.690	23163	29.59	31.8
A ($a/c=0.45$)	7	15.110	30.580	24413	33.64	
A ($a/c=0.45$)	14	15.590	30.820	25781	34.16	
A ($a/c=0.45$)	14	15.435	31.625	26236	34.22	34.6
A ($a/c=0.45$)	14	15.110	30.615	25653	35.30	
A ($a/c=0.45$)	21	15.555	30.510	27742	37.21	
A ($a/c=0.45$)	21	15.375	30.280	26812	36.66	37.2
A ($a/c=0.45$)	21	15.085	30.575	27348	37.75	
A ($a/c=0.45$)	28	15.460	31.860	29762	38.47	
A ($a/c=0.45$)	28	15.240	30.500	28653	39.24	39.8
A ($a/c=0.45$)	28	15.105	30.590	30241	41.67	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Resistencia a la tracción indirecta del diseño A ($a/c=0.50$)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga (Kg)	T (Kg/cm ²)	T promedio (Kg/cm ²)
A ($a/c=0.50$)	7	15.200	33.005	19535	24.79	
A ($a/c=0.50$)	7	15.415	32.950	19897	24.94	25.9
A ($a/c=0.50$)	7	15.125	30.590	20408	28.08	
A ($a/c=0.50$)	14	15.075	30.600	19928	27.50	
A ($a/c=0.50$)	14	15.105	30.505	20710	28.61	28.5
A ($a/c=0.50$)	14	15.105	30.610	21353	29.40	
A ($a/c=0.50$)	21	15.215	30.075	23063	32.09	
A ($a/c=0.50$)	21	15.230	30.815	22655	30.73	30.9
A ($a/c=0.50$)	21	15.080	30.605	21710	29.95	
A ($a/c=0.50$)	28	15.690	30.595	24779	32.86	
A ($a/c=0.50$)	28	15.250	30.345	22580	31.06	32.1
A ($a/c=0.50$)	28	15.105	30.600	23429	32.27	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Resistencia a la tracción indirecta del diseño A ($a/c=0.55$)

Diseño	Edad	Diámetro promedio (cm)	Altura promedio (cm)	Carga (Kg)	T (Kg/cm ²)	T promedio (Kg/cm ²)
A ($a/c=0.55$)	7	15.525	32.010	18664	23.91	
A ($a/c=0.55$)	7	15.585	31.055	19290	25.37	24.6
A ($a/c=0.55$)	7	15.135	30.635	17923	24.61	
A ($a/c=0.55$)	14	15.145	31.050	20138	27.26	
A ($a/c=0.55$)	14	15.740	31.685	19560	24.97	26.8
A ($a/c=0.55$)	14	15.105	30.585	20442	28.17	
A ($a/c=0.55$)	21	15.230	30.520	20252	27.74	
A ($a/c=0.55$)	21	15.160	30.350	21227	29.37	28.1
A ($a/c=0.55$)	21	15.145	30.620	19797	27.18	
A ($a/c=0.55$)	28	15.645	30.765	22337	29.54	
A ($a/c=0.55$)	28	15.715	30.550	23474	31.13	30.4
A ($a/c=0.55$)	28	15.080	30.605	22048	30.41	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Absorción, densidad seca global y contenido de vacíos

Se ensayaron un total de 48 probetas de 10 x 20 cm repartidas en edades de 7, 14, 21 y 28 días siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C642. Estas probetas fueron cortadas a una altura de 8 cm de tal forma que sigan cumpliendo con las características mínimas mostradas en la *Tabla 5*. Se obtuvieron los datos mostrados en las Tablas 39 y 40.

Para calcular la absorción, densidad seca global y contenido de vacíos se aplicó las ecuaciones 4, 5 y 6 respectivamente, obteniéndose los valores mostrados en las Tablas 41, 42 y 43.

Tabla 39. Datos obtenidos aplicando la norma ASTM C642 en los diseños patrón

Diseño	Edad	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)
P (a/c=0.45)	7	1305.9	1390.4	1391.4	809.5
P (a/c=0.45)	7	1316	1406.1	1407.2	814.9
P (a/c=0.45)	14	1403.2	1482.7	1485.4	850.2
P (a/c=0.45)	14	1415.5	1500.5	1503.1	858.1
P (a/c=0.45)	21	1401.1	1474.6	1475.8	858.8
P (a/c=0.45)	21	1414.4	1487.8	1489.1	866.5
P (a/c=0.45)	28	1398	1467.7	1470	856.8
P (a/c=0.45)	28	1332.3	1400.2	1401.9	816
P (a/c=0.50)	7	1455.5	1555.7	1558.1	894.2
P (a/c=0.50)	7	1464.5	1571.2	1573.8	901
P (a/c=0.50)	14	1369.8	1454	1455.3	840
P (a/c=0.50)	14	1444.9	1530.3	1535	888.1
P (a/c=0.50)	21	1389.7	1469	1475	847.7
P (a/c=0.50)	21	1464.4	1549	1555	891.6
P (a/c=0.50)	28	1497.2	1574	1575.4	919.3
P (a/c=0.50)	28	1453.6	1529.7	1531.3	883.9
P (a/c=0.55)	7	1355.3	1469.6	1471.5	835
P (a/c=0.55)	7	1504.2	1618.2	1620.1	936.3
P (a/c=0.55)	14	1415	1508.2	1511	846.9
P (a/c=0.55)	14	1488.7	1585.9	1588.6	891.7
P (a/c=0.55)	21	1361.2	1445.2	1451.4	825.3
P (a/c=0.55)	21	1437.5	1524.5	1529.1	875.8
P (a/c=0.55)	28	1371.5	1450.5	1452.1	837.7
P (a/c=0.55)	28	1382.7	1462.6	1464.2	846.5

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Datos obtenidos aplicando la norma ASTM C642 en los diseños con impermeabilizante

Diseño	Edad	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)
A (a/c=0.45)	7	1336.3	1427.2	1434	783.6
A (a/c=0.45)	7	1338	1418.2	1423.8	781.2
A (a/c=0.45)	14	1369.9	1433.1	1439.6	825.6
A (a/c=0.45)	14	1321	1402.2	1405.5	804.8
A (a/c=0.45)	21	1390.2	1465.6	1468.2	840.9
A (a/c=0.45)	21	1437.9	1508.2	1512	865.3
A (a/c=0.45)	28	1335	1408.7	1413.5	803.7
A (a/c=0.45)	28	1340.9	1399.1	1403	804.3
A (a/c=0.50)	7	1367.8	1461.2	1464.8	843.5
A (a/c=0.50)	7	1456.2	1554.4	1557.3	896.2
A (a/c=0.50)	14	1355.1	1437.5	1440.8	823.4
A (a/c=0.50)	14	1464.8	1539.2	1543.8	884.9
A (a/c=0.50)	21	1398.5	1467.3	1470.5	841.7
A (a/c=0.50)	21	1491.6	1574.9	1577.2	903.9
A (a/c=0.50)	28	1257.5	1320.7	1324.9	715.7
A (a/c=0.50)	28	1265.2	1328.6	1333.2	724
A (a/c=0.55)	7	1279.2	1367.4	1370.6	754.2
A (a/c=0.55)	7	1304.8	1390.9	1394.5	766.7
A (a/c=0.55)	14	1330.4	1406.8	1417.1	760.6
A (a/c=0.55)	14	1291	1375.9	1383.7	734.7
A (a/c=0.55)	21	1319.1	1390	1392.3	786.5
A (a/c=0.55)	21	1288.8	1360.7	1363	768.3
A (a/c=0.55)	28	1320.5	1389.6	1392.2	782.6
A (a/c=0.55)	28	1327	1395.5	1398	783.8

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Absorción de cada diseño realizado

Diseño	Absorción (%)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
P (a/c=0.45)	6.66	5.84	5.22	5.04
P (a/c=0.50)	7.08	6.03	5.74	5.18
P (a/c=0.55)	8.01	6.56	6.11	5.77
A (a/c=0.45)	6.40	5.38	5.16	4.93
A (a/c=0.50)	6.79	5.58	5.25	5.02
A (a/c=0.55)	6.75	6.16	5.48	5.20

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Densidad seca global (o bruta) de cada diseño realizado

Diseño	Densidad seca global (o bruta) (g/cm ³)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
P (a/c=0.45)	2.23	2.20	2.27	2.28
P (a/c=0.50)	2.18	2.23	2.21	2.26
P (a/c=0.55)	2.16	2.13	2.19	2.24
A (a/c=0.45)	2.07	2.22	2.22	2.21
A (a/c=0.50)	2.20	2.21	2.22	2.07
A (a/c=0.55)	2.08	2.01	2.17	2.16

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Contenido de vacíos de cada diseño realizado

Diseño	Contenido de vacíos (%)			
	7 días	14 días	21 días	28 días
P (a/c=0.45)	15.05	13.26	12.05	11.81
P (a/c=0.50)	15.85	13.91	13.63	11.96
P (a/c=0.55)	17.60	14.40	14.21	13.16
A (a/c=0.45)	14.19	12.71	11.95	11.62
A (a/c=0.50)	15.45	12.94	12.08	11.11
A (a/c=0.55)	14.56	13.74	12.28	11.66

Nota. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: ENSAYO DE PERMEABILIDAD

4.1 Equipo de permeabilidad

El equipo de permeabilidad del Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzales de la Cotera cumple con las especificaciones de la norma NTC 4483 por lo que será usado en la presente tesis.

Consta de 1 electrobomba marca “CRI” modelo MVS-010/11 trifásica de 3.0 HP de potencia, acoplada a una bomba hidroneumática marca “E-Wave” modelo PEB-24LX con capacidad de 25 L, además cuenta con un presostato marca “Danfoss” modelo RT116, el cual permite regular la presión del agua (ver Figura 10); y un manómetro marca “Winters” serie PFQ con capacidad de registrar una presión máxima de 21 bares (ver Figura 11).

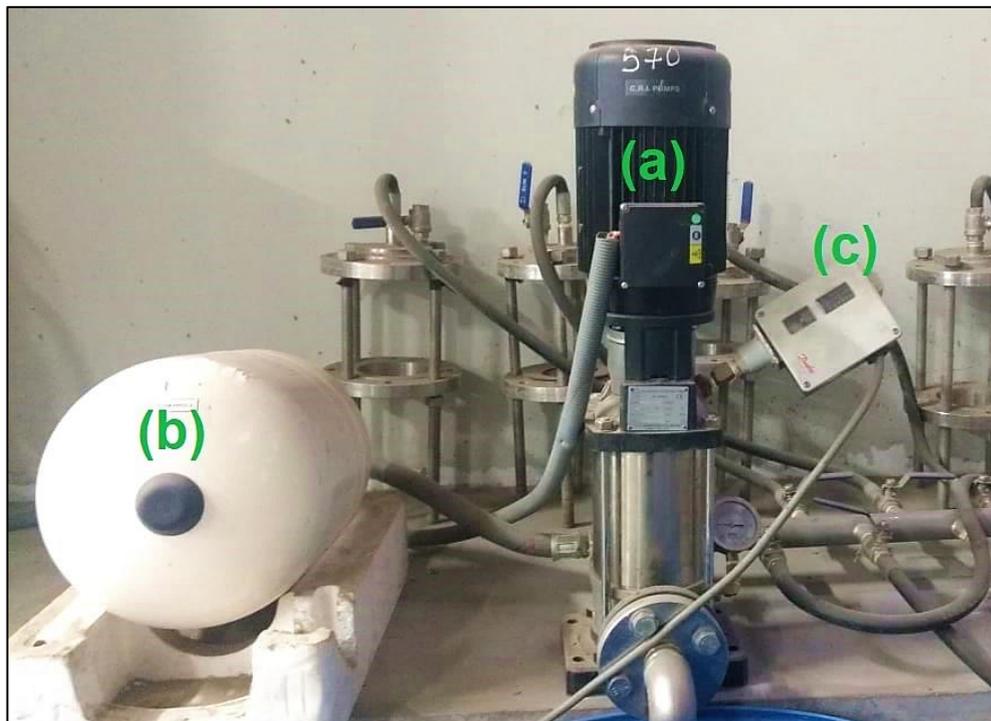


Figura 10 (a) Electrobomba, (b) bomba hidroneumática y (c) presostato

Fuente: Elaboración propia



Figura 11 Manómetro acoplado a la electrobomba

Fuente: Elaboración propia

El equipo cuenta con 12 celdas las cuales son provistas de agua a presión por medio de un manifold de 1 ¼" con sus respectivas mangueras, las cuales son capaces de soportar una presión máxima de 300 psi.

Cada celda consta de 2 bridas de acero inoxidable las cuales son atravesadas por 4 tuercas espárragos para asegurar la sujeción de las muestras, además la brida superior cuenta con una válvula de escape de aire para eliminar las burbujas acumuladas en el espacio que hay entre la brida y la muestra que será ensayada (ver *Figura 12*).

Todo está controlado por medio un tablero eléctrico de arranque automático y alimentación trifásica (ver *Figura 13*).



Figura 12 Celdas de acero con sus respectivas mangueras y válvulas de escape

Fuente: Elaboración propia



Figura 13 Tablero eléctrico trifásico

Fuente: Elaboración propia

4.2 Preparación de la muestra

Las muestras luego de ser curadas a la edad que corresponda, fueron secadas en un horno a 80 ± 5 °C por 24 h para eliminar el agua contenida en su interior, luego se desbastó la cara superior de la muestra con ayuda de un cepillo metálico y lijas acopladas a una amoladora, con el fin de tomar datos más confiables debido a que la permeabilidad en la cara exterior es diferente al interior de la matriz.

Finalmente se pinta la cara lateral de la muestra con pintura epóxica para asegurar el flujo unidireccional del agua dentro de la misma, también se pinta un anillo en la cara superior de la muestra para evitar la filtración del agua cuando se acople al equipo (ver *Figura 14*).



Figura 14 *Probetas pintadas con epóxico*

Fuente: Elaboración propia

4.3 Ensayo de permeabilidad

Se realizó el ensayo de permeabilidad a un total de 96 probetas de 15 x 15 cm siguiendo los lineamientos indicados en la norma técnica colombiana NTC 4483. Posteriormente cada muestra fue procesada mediante fotografías tomadas a escala para determinar la profundidad media de penetración del agua.

Utilizando los resultados de contenido de vacíos de la Tabla 43 y aplicando la Ecuación 3, se obtiene el coeficiente de permeabilidad (k) (ver Tabla 44).

Tabla 44. Coeficiente de permeabilidad (k) de cada diseño realizado

N°	Diseño	Edad (días)	Área de penetración del agua (cm ²)	Diámetro promedio (cm)	Profundidad media de penetración del agua (cm)	Coeficiente de permeabilidad (k)
1	P(a/c=0.45)	7	126.68	15.015	8.44	3.10E-11
2	P(a/c=0.45)	7	121.13	15.035	8.06	2.83E-11
3	P(a/c=0.45)	7	108.61	15.070	7.21	2.26E-11
4	P(a/c=0.45)	7	123.47	15.085	8.18	2.92E-11
5	P(a/c=0.45)	14	86.37	15.035	5.74	1.27E-11
6	P(a/c=0.45)	14	78.55	15.095	5.20	1.04E-11
7	P(a/c=0.45)	14	82.59	15.095	5.47	1.15E-11
8	P(a/c=0.45)	14	93.35	15.110	6.18	1.46E-11
9	P(a/c=0.45)	21	61.59	15.085	4.08	5.81E-12
10	P(a/c=0.45)	21	72.26	15.075	4.79	8.01E-12
11	P(a/c=0.45)	21	78.14	15.085	5.18	9.36E-12
12	P(a/c=0.45)	21	67.18	15.110	4.45	6.89E-12
13	P(a/c=0.45)	28	50.14	15.040	3.33	3.80E-12
14	P(a/c=0.45)	28	64.31	15.045	4.27	6.24E-12
15	P(a/c=0.45)	28	68.48	15.055	4.55	7.07E-12
16	P(a/c=0.45)	28	55.23	15.100	3.66	4.57E-12
17	P(a/c=0.50)	7	149.59	15.105	9.90	4.50E-11
18	P(a/c=0.50)	7	136.18	15.040	9.05	3.76E-11

N°	Diseño	Edad (días)	Área de penetración del agua (cm ²)	Diámetro promedio (cm)	Profundidad media de penetración del agua (cm)	Coefficiente de permeabilidad (k)
19	P(a/c=0.50)	7	142.63	15.070	9.46	4.11E-11
20	P(a/c=0.50)	7	152.17	15.060	10.10	4.68E-11
21	P(a/c=0.50)	14	111.54	15.125	7.37	2.19E-11
22	P(a/c=0.50)	14	131.43	15.055	8.73	3.07E-11
23	P(a/c=0.50)	14	110.25	15.125	7.29	2.14E-11
24	P(a/c=0.50)	14	111.60	15.120	7.38	2.19E-11
25	P(a/c=0.50)	21	90.23	15.135	5.96	1.40E-11
26	P(a/c=0.50)	21	93.60	15.090	6.20	1.52E-11
27	P(a/c=0.50)	21	85.19	15.130	5.63	1.25E-11
28	P(a/c=0.50)	21	87.62	15.070	5.81	1.33E-11
29	P(a/c=0.50)	28	79.23	15.060	5.26	9.58E-12
30	P(a/c=0.50)	28	88.42	15.090	5.86	1.19E-11
31	P(a/c=0.50)	28	82.26	15.120	5.44	1.02E-11
32	P(a/c=0.50)	28	90.48	15.140	5.98	1.24E-11
33	P(a/c=0.55)	7	170.42	15.055	11.32	6.53E-11
34	P(a/c=0.55)	7	179.60	15.040	11.94	7.26E-11
35	P(a/c=0.55)	7	168.86	15.080	11.20	6.39E-11
36	P(a/c=0.55)	7	182.84	15.130	12.08	7.44E-11
37	P(a/c=0.55)	14	145.69	15.060	9.67	3.90E-11
38	P(a/c=0.55)	14	146.62	15.135	9.69	3.91E-11
39	P(a/c=0.55)	14	143.79	15.125	9.51	3.76E-11
40	P(a/c=0.55)	14	172.50	15.110	11.42	5.43E-11
41	P(a/c=0.55)	21	110.59	15.025	7.36	2.23E-11
42	P(a/c=0.55)	21	119.11	15.100	7.89	2.56E-11
43	P(a/c=0.55)	21	112.04	15.080	7.43	2.27E-11
44	P(a/c=0.55)	21	117.72	15.075	7.81	2.51E-11
45	P(a/c=0.55)	28	99.32	15.060	6.59	1.66E-11
46	P(a/c=0.55)	28	108.35	15.025	7.21	1.98E-11

N°	Diseño	Edad (días)	Área de penetración del agua (cm ²)	Diámetro promedio (cm)	Profundidad media de penetración del agua (cm)	Coefficiente de permeabilidad (k)
47	P(a/c=0.55)	28	103.44	15.085	6.86	1.79E-11
48	P(a/c=0.55)	28	107.48	15.085	7.12	1.93E-11
49	A(a/c=0.45)	7	55.73	15.095	3.69	5.60E-12
50	A(a/c=0.45)	7	62.50	15.115	4.13	7.02E-12
51	A(a/c=0.45)	7	63.87	15.070	4.24	7.37E-12
52	A(a/c=0.45)	7	57.70	15.085	3.82	6.01E-12
53	A(a/c=0.45)	14	37.38	15.040	2.49	2.27E-12
54	A(a/c=0.45)	14	41.68	15.075	2.76	2.81E-12
55	A(a/c=0.45)	14	43.39	15.045	2.88	3.06E-12
56	A(a/c=0.45)	14	38.22	15.115	2.53	2.35E-12
57	A(a/c=0.45)	21	26.60	15.085	1.76	1.07E-12
58	A(a/c=0.45)	21	29.65	15.030	1.97	1.35E-12
59	A(a/c=0.45)	21	28.22	15.030	1.88	1.22E-12
60	A(a/c=0.45)	21	45.53	15.110	3.01	3.14E-12
61	A(a/c=0.45)	28	13.16	15.110	0.87	2.55E-13
62	A(a/c=0.45)	28	14.97	15.080	0.99	3.31E-13
63	A(a/c=0.45)	28	14.23	15.110	0.94	2.98E-13
64	A(a/c=0.45)	28	17.19	15.100	1.14	4.36E-13
65	A(a/c=0.50)	7	65.69	15.125	4.34	8.43E-12
66	A(a/c=0.50)	7	72.27	15.075	4.79	1.03E-11
67	A(a/c=0.50)	7	70.26	15.080	4.66	9.71E-12
68	A(a/c=0.50)	7	67.58	15.070	4.48	8.99E-12
69	A(a/c=0.50)	14	60.13	15.055	3.99	5.97E-12
70	A(a/c=0.50)	14	57.26	15.080	3.80	5.40E-12
71	A(a/c=0.50)	14	52.27	15.085	3.47	4.49E-12
72	A(a/c=0.50)	14	55.80	15.025	3.71	5.16E-12
73	A(a/c=0.50)	21	33.48	15.065	2.22	1.73E-12
74	A(a/c=0.50)	21	39.26	15.065	2.61	2.37E-12

N°	Diseño	Edad (días)	Área de penetración del agua (cm ²)	Diámetro promedio (cm)	Profundidad media de penetración del agua (cm)	Coefficiente de permeabilidad (k)
75	A(a/c=0.50)	21	35.17	15.115	2.33	1.89E-12
76	A(a/c=0.50)	21	36.60	15.125	2.42	2.05E-12
77	A(a/c=0.50)	28	33.56	15.075	2.23	1.59E-12
78	A(a/c=0.50)	28	25.35	15.130	1.68	9.03E-13
79	A(a/c=0.50)	28	29.56	15.095	1.96	1.23E-12
80	A(a/c=0.50)	28	31.28	15.110	2.07	1.38E-12
81	A(a/c=0.55)	7	85.45	15.120	5.65	1.35E-11
82	A(a/c=0.55)	7	94.28	15.080	6.25	1.65E-11
83	A(a/c=0.55)	7	92.53	15.105	6.13	1.58E-11
84	A(a/c=0.55)	7	87.49	15.050	5.81	1.42E-11
85	A(a/c=0.55)	14	66.49	15.065	4.41	7.75E-12
86	A(a/c=0.55)	14	75.55	15.120	5.00	9.93E-12
87	A(a/c=0.55)	14	70.66	15.065	4.69	8.75E-12
88	A(a/c=0.55)	14	68.52	15.080	4.54	8.21E-12
89	A(a/c=0.55)	21	58.11	15.100	3.85	5.26E-12
90	A(a/c=0.55)	21	58.31	15.100	3.86	5.30E-12
91	A(a/c=0.55)	21	57.62	15.050	3.83	5.21E-12
92	A(a/c=0.55)	21	65.25	15.110	4.32	6.63E-12
93	A(a/c=0.55)	28	52.51	15.060	3.49	4.10E-12
94	A(a/c=0.55)	28	54.46	15.070	3.61	4.41E-12
95	A(a/c=0.55)	28	45.33	15.060	3.01	3.06E-12
96	A(a/c=0.55)	28	47.42	15.045	3.15	3.35E-12

Nota. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 AGREGADOS

Los resultados obtenidos del agregado fino obtenido de la cantera “Huachipa” cumple con los requisitos mínimos establecidos por la norma NTP 400.037.

- El porcentaje de finos que pasa la malla N°200 es 4.7 %, el cual es menor al 5 % que establece la norma.
- La curva granulométrica se encuentra dentro del huso que establece la norma.
- El ensayo de impurezas orgánicas arroja el número 1 de color en el patrón Gardner, lo cual indica que es aceptable para la elaboración del concreto.
- El módulo de finura es 3.09, el cual cumple con el rango de 2.3 a 3.1 establecido por la norma.

Los resultados obtenidos del agregado grueso obtenido de la cantera “Unicon” cumple con los requisitos mínimos establecidos por la norma NTP 400.037.

- El porcentaje de finos que pasa la malla N°200 es 0.86 %, el cual es menor al 1 % que establece la norma.
- El tamaño máximo nominal es 3/4” y la curva granulométrica se encuentra dentro del huso 67, el cual es uno de los 15 husos que la norma recomienda para la elaboración del concreto.

5.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

A partir de los resultados conseguidos en las Tablas 27, 28, 29, 30, 31 y 32, se obtiene las Figuras 15, 16 y 17 donde se aprecia que los diseños con aditivo impermeabilizante tienen una mejora de la resistencia a la compresión frente a sus diseños patrones respectivos.

En la Tabla 45 se cuantifica porcentualmente la variación del $f'c$ observándose mejoras de hasta 17.97 %, a partir de esto se puede deducir que el uso de

aditivo impermeabilizante “Sika-1 líquido” mejora la resistencia a la compresión para los diseños y condiciones utilizados.

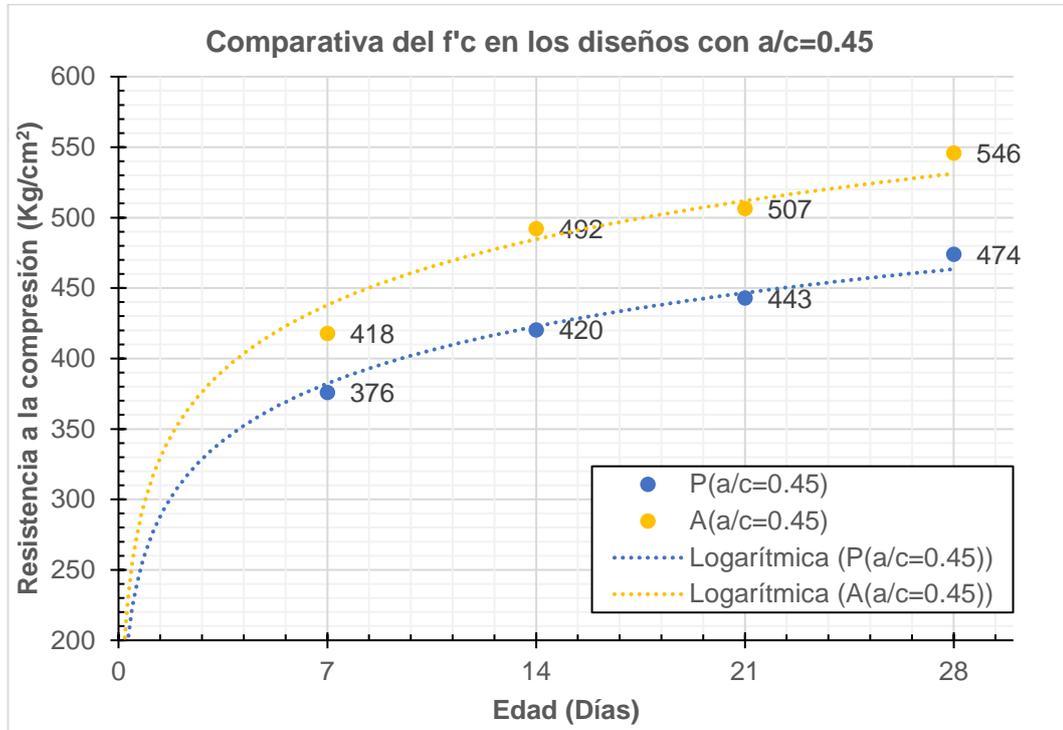


Figura 15 Comparativa de la resistencia a la compresión del diseño A(a/c=0.45) y P(a/c=45)

Fuente: Elaboración propia

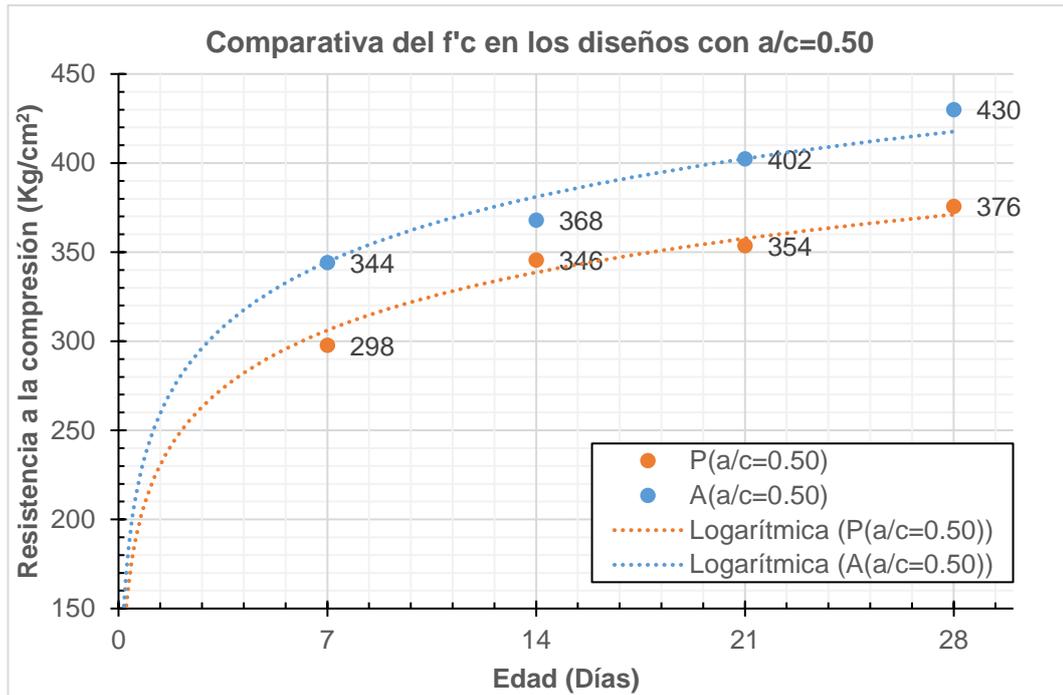


Figura 16 Comparativa de la resistencia a la compresión del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50)

Fuente: Elaboración propia.

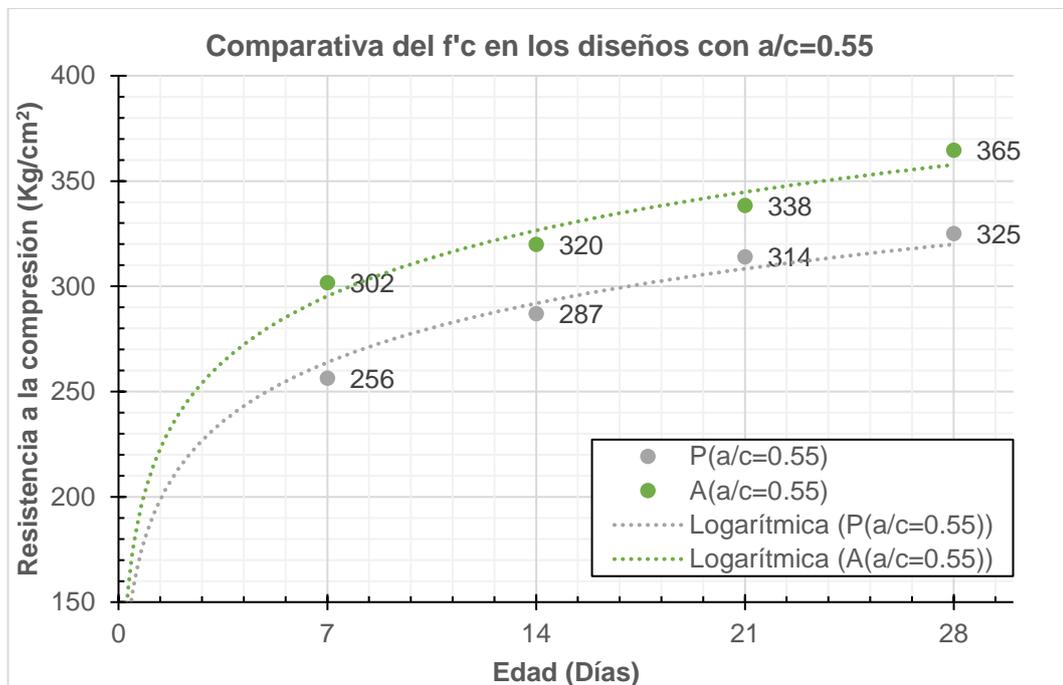


Figura 17 Comparativa de la resistencia a la compresión del diseño A(a/c=0.55) y P(a/c=55)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Variación del $f'c$ de los diseños con aditivo respecto a su diseño patrón respectivo

Diseño	Edad (Días)	$f'c$ (Kg/cm ²)	$f'c$ Patrón (Kg/cm ²)	Variación (%)	Observación
A(a/c=0.45)	7	418	376	111.17	Incrementa
A(a/c=0.45)	14	492	420	117.14	Incrementa
A(a/c=0.45)	21	507	443	114.45	Incrementa
A(a/c=0.45)	28	546	474	115.19	Incrementa
A(a/c=0.50)	7	344	298	115.44	Incrementa
A(a/c=0.50)	14	368	346	106.36	Incrementa
A(a/c=0.50)	21	402	354	113.56	Incrementa
A(a/c=0.50)	28	430	376	114.36	Incrementa
A(a/c=0.55)	7	302	256	117.97	Incrementa
A(a/c=0.55)	14	320	287	111.50	Incrementa
A(a/c=0.55)	21	338	314	107.64	Incrementa
A(a/c=0.55)	28	365	325	112.31	Incrementa

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

A partir de los resultados conseguidos en las Tablas 33, 34, 35, 36, 37 y 38, se obtiene las Figuras 18, 29 y 20 donde se aprecia que los diseños con aditivo impermeabilizante tienen una mejora de la resistencia a la tracción indirecta frente a sus diseños patrones respectivos.

En la Tabla 46 se cuantifica porcentualmente la variación del T observándose mejoras de hasta 12.71 %, a partir de esto se puede deducir que el uso de aditivo impermeabilizante “Sika-1 Líquido” mejora ligeramente la resistencia a la tracción indirecta para los diseños y condiciones utilizadas.

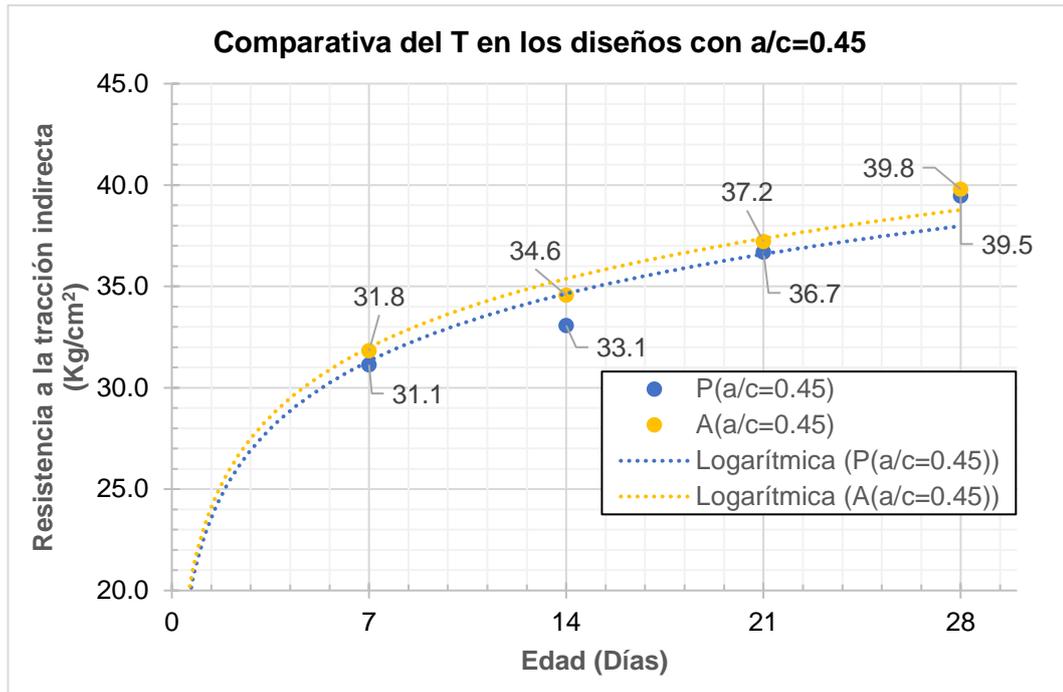


Figura 18 Comparativa de la resistencia a tracción indirecta del diseño A(a/c=0.45) y P(a/c=45)

Fuente: Elaboración propia

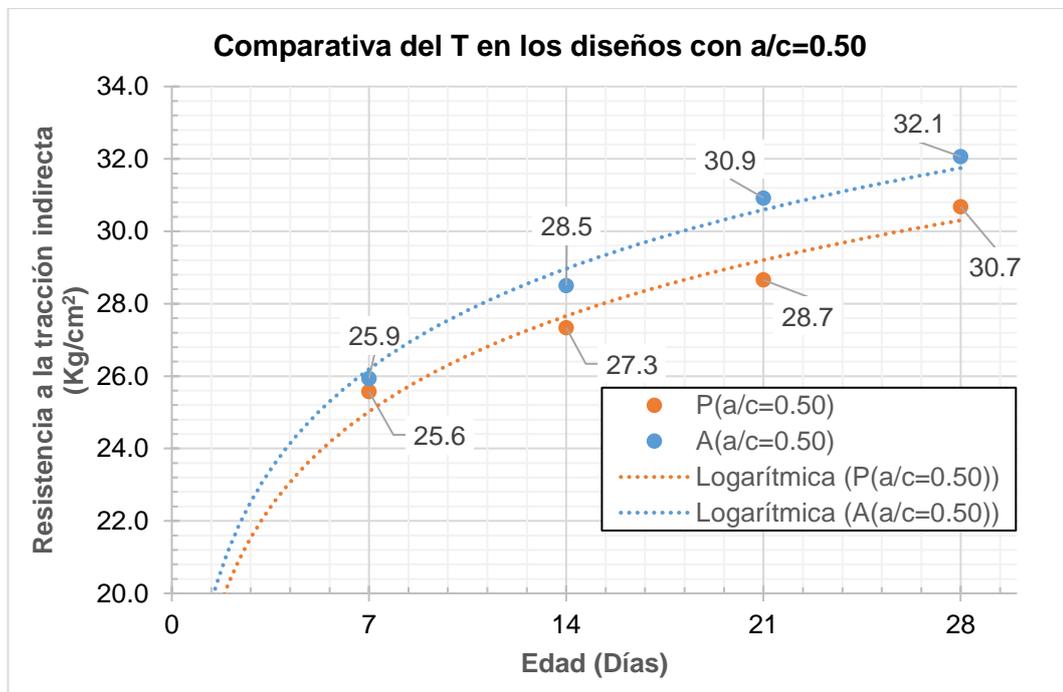


Figura 19 Comparativa de la resistencia a tracción indirecta del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50)

Fuente: Elaboración propia

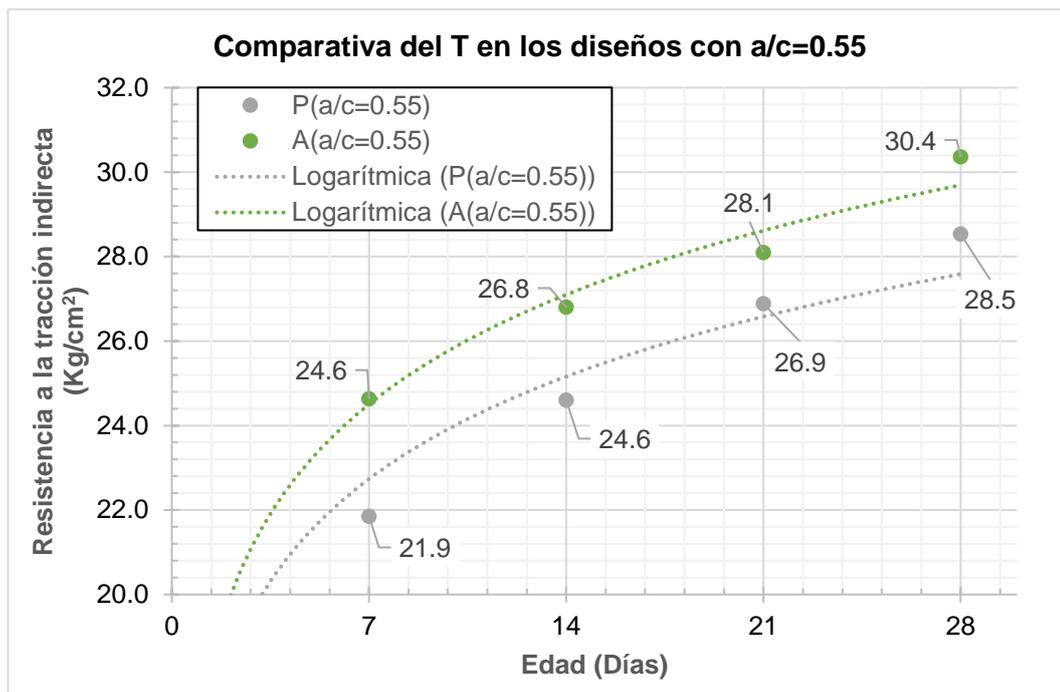


Figura 20 Comparativa de la resistencia a tracción indirecta del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Variación de la tracción indirecta en los diseños con impermeabilizante frente a su diseño patrón respectivo

Diseño	Edad (Días)	T (Kg/cm²)	T Patrón (Kg/cm²)	Variación (%)	Observación
A(a/c=0.45)	7	31.8	31.1	102.20	Incrementa
A(a/c=0.45)	14	34.6	33.1	104.52	Incrementa
A(a/c=0.45)	21	37.2	36.7	101.41	Incrementa
A(a/c=0.45)	28	39.8	39.5	100.85	Incrementa
A(a/c=0.50)	7	25.9	25.6	101.43	Incrementa
A(a/c=0.50)	14	28.5	27.3	104.28	Incrementa
A(a/c=0.50)	21	30.9	28.7	107.91	Incrementa
A(a/c=0.50)	28	32.1	30.7	104.53	Incrementa
A(a/c=0.55)	7	24.6	21.9	112.71	Incrementa
A(a/c=0.55)	14	26.8	24.6	108.95	Incrementa
A(a/c=0.55)	21	28.1	26.9	104.50	Incrementa
A(a/c=0.55)	28	30.4	28.5	106.42	Incrementa

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.4 ABSORCIÓN

A partir de los 48 resultados obtenidos en la Tabla 41, se obtiene las Figuras 21, 22 y 23 donde se aprecia que la absorción del agua disminuye mediante una tendencia potencial conforme aumenta la edad del concreto. Además, los diseños con aditivo impermeabilizante tienen una menor absorción frente a sus diseños patrones respectivos.

En la Tabla 47 se cuantifica porcentualmente la variación de la absorción observándose mejoras (disminución) de hasta 15.73%, a partir de esto se puede deducir que el uso de aditivo impermeabilizante “Sika-1 líquido” disminuye la absorción en los diseños y condiciones utilizados.

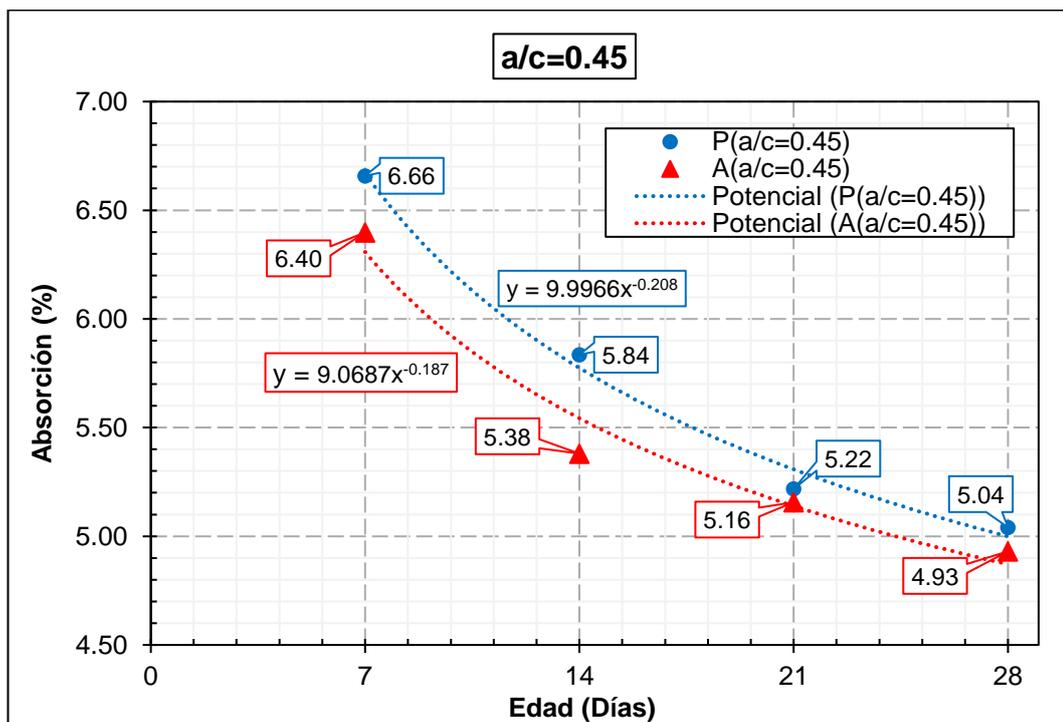


Figura 21 Comparativa de absorción del diseño A(a/c=0.45) y P(a/c=45)

Fuente: Elaboración propia

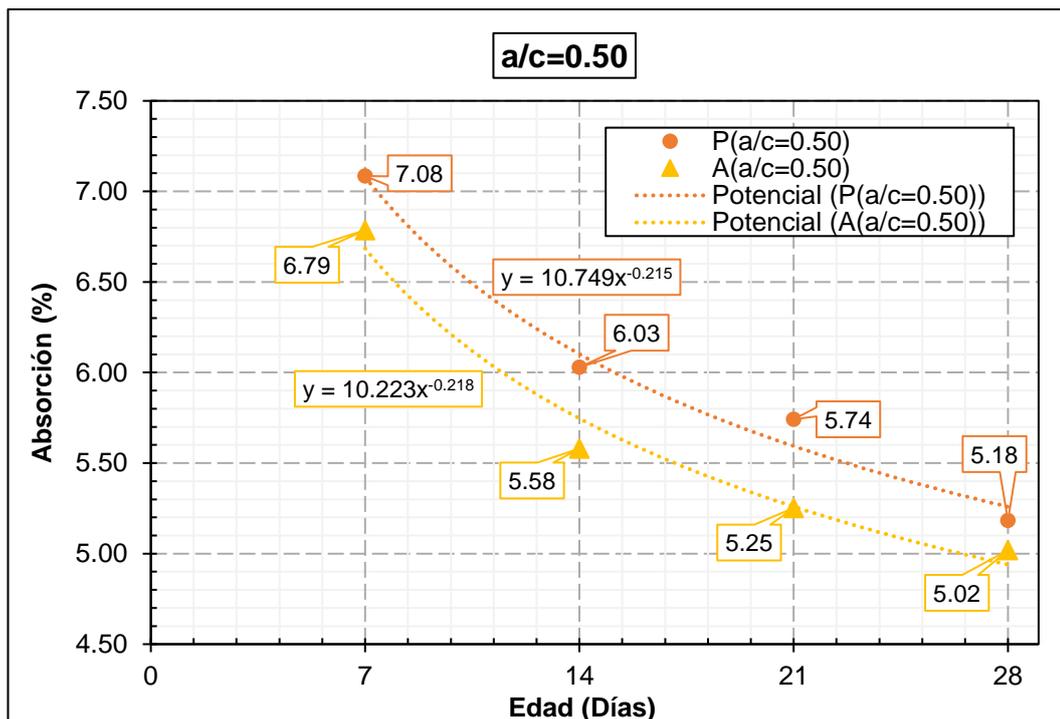


Figura 22 Comparativa de absorción del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50)

Fuente: Elaboración propia

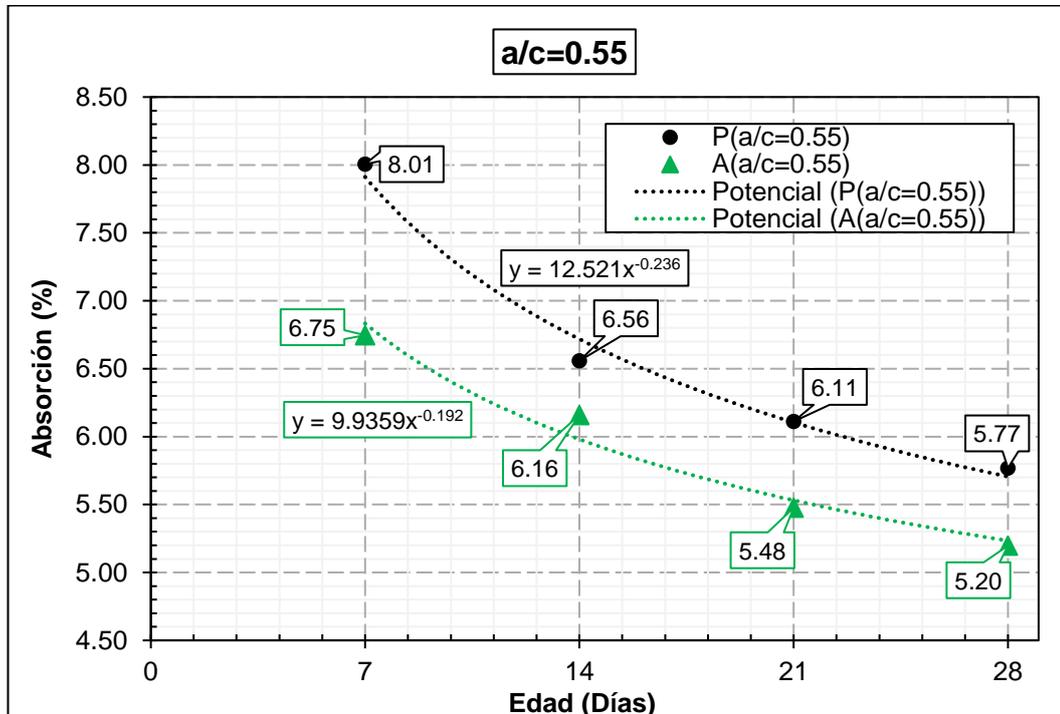


Figura 23 Comparativa de absorción del diseño A(a/c=0.55) y P(a/c=55)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Variación de la absorción en los diseños con impermeabilizante respecto a su diseño patrón respectivo

Diseño	Edad (Días)	Absorción (%)	Absorción Patrón (%)	Variación (%)	Observación
A(a/c=0.45)	7	6.40	6.66	96.09	Disminuye en 3.91%
A(a/c=0.45)	14	5.38	5.84	92.20	Disminuye en 7.80%
A(a/c=0.45)	21	5.16	5.22	98.83	Disminuye en 1.17%
A(a/c=0.45)	28	4.93	5.04	97.81	Disminuye en 2.19%
A(a/c=0.50)	7	6.79	7.08	95.78	Disminuye en 4.22%
A(a/c=0.50)	14	5.58	6.03	92.56	Disminuye en 7.44%
A(a/c=0.50)	21	5.25	5.74	91.47	Disminuye en 8.53%
A(a/c=0.50)	28	5.02	5.18	96.84	Disminuye en 3.16%
A(a/c=0.55)	7	6.75	8.01	84.27	Disminuye en 15.73%
A(a/c=0.55)	14	6.16	6.56	93.92	Disminuye en 6.08%
A(a/c=0.55)	21	5.48	6.11	89.61	Disminuye en 10.39%
A(a/c=0.55)	28	5.20	5.77	90.09	Disminuye en 9.91%

Nota. Fuente: Elaboración propia

5.5 PERMEABILIDAD

A partir de los 96 resultados obtenidos en la Tabla 44, se procede a evaluar cada coeficiente de permeabilidad (k) mediante la prueba de Grubbs para identificar valores atípicos que afecten los resultados.

5.5.1 Descarte de valores atípicos mediante la prueba de Grubbs

La prueba de Grubbs es una de las dos pruebas estadísticas que se usa con mayor frecuencia para la identificación de datos atípicos o inconsistentes, es importante señalar que esta prueba solo sirve para identificar un único valor atípico en un grupo de datos (Murphy & Lau, 2008).

La prueba de Grubbs consiste en comparar el valor crítico calculado " $T_{calculado}$ " (ver Ecuación 9) con el valor crítico teórico " $T_{teórico}$ " obtenido de tablas con un nivel de significancia de 5 % (ver Tabla 48).

$$T_{\text{calculado}} = \frac{|X_0 - \bar{X}|}{s} \quad (\text{Grubbs}) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$T_{\text{calculado}}$: Valor crítico calculado

X_0 : Dato atípico sospechoso

\bar{X} : Media aritmética del grupo de datos

s : Desviación estándar del grupo de datos

Tabla 48. Valores críticos con un nivel de significancia de 5 %

Tamaño de muestra	Valor crítico
3	1.155
4	1.481
5	1.715
6	1.887
7	2.020
8	2.126
9	2.215
10	2.290

Nota. Fuente: Vic Bennett and Toby Lewis, Outliers in Statistical Data, 1984, 2da edición

Al comparar los valores críticos calculados y teóricos pueden suceder estos 2 casos:

- Si el $T_{\text{calculado}} > T_{\text{teórico}}$, entonces X_0 es un dato atípico.
- Si el $T_{\text{calculado}} \leq T_{\text{teórico}}$, entonces X_0 no es un dato atípico.

Aplicando la prueba de Grubbs a los resultados obtenidos se logró identificar los valores atípicos, luego se procedió a calcular los valores promedios del coeficiente de permeabilidad (k) corregidos (ver Tabla 49).

Tabla 49. Evaluación mediante la prueba de Grubbs para descartar valores atípicos

N°	Diseño	Edad (días)	k	$T_{calculado}$	$T_{teórico}$	Resultado	Coficiente de permeabilidad promedio (k) corregido
1	P(a/c=0.45)	7	3.10E-11	0.895	1.481	Confiable	2.78E-11
2	P(a/c=0.45)	7	2.83E-11	0.139	1.481	Confiable	
3	P(a/c=0.45)	7	2.26E-11	1.424	1.481	Confiable	
4	P(a/c=0.45)	7	2.92E-11	0.390	1.481	Confiable	
5	P(a/c=0.45)	14	1.27E-11	0.201	1.481	Confiable	1.23E-11
6	P(a/c=0.45)	14	1.04E-11	1.047	1.481	Confiable	
7	P(a/c=0.45)	14	1.15E-11	0.445	1.481	Confiable	
8	P(a/c=0.45)	14	1.46E-11	1.291	1.481	Confiable	
9	P(a/c=0.45)	21	5.81E-12	1.123	1.481	Confiable	7.52E-12
10	P(a/c=0.45)	21	8.01E-12	0.325	1.481	Confiable	
11	P(a/c=0.45)	21	9.36E-12	1.210	1.481	Confiable	
12	P(a/c=0.45)	21	6.89E-12	0.412	1.481	Confiable	
13	P(a/c=0.45)	28	3.80E-12	1.082	1.481	Confiable	5.42E-12
14	P(a/c=0.45)	28	6.24E-12	0.548	1.481	Confiable	
15	P(a/c=0.45)	28	7.07E-12	1.099	1.481	Confiable	
16	P(a/c=0.45)	28	4.57E-12	0.566	1.481	Confiable	
17	P(a/c=0.50)	7	4.50E-11	0.573	1.481	Confiable	4.26E-11
18	P(a/c=0.50)	7	3.76E-11	1.220	1.481	Confiable	
19	P(a/c=0.50)	7	4.11E-11	0.374	1.481	Confiable	
20	P(a/c=0.50)	7	4.68E-11	1.021	1.481	Confiable	
21	P(a/c=0.50)	14	2.19E-11	0.465	1.481	Confiable	2.17E-11
22	P(a/c=0.50)	14	3.07E-11	1.498	1.481	Atípico	
23	P(a/c=0.50)	14	2.14E-11	0.577	1.481	Confiable	
24	P(a/c=0.50)	14	2.19E-11	0.456	1.481	Confiable	
25	P(a/c=0.50)	21	1.40E-11	0.231	1.481	Confiable	1.38E-11
26	P(a/c=0.50)	21	1.52E-11	1.255	1.481	Confiable	
27	P(a/c=0.50)	21	1.25E-11	1.110	1.481	Confiable	
28	P(a/c=0.50)	21	1.33E-11	0.376	1.481	Confiable	
29	P(a/c=0.50)	28	9.58E-12	1.090	1.481	Confiable	1.10E-11
30	P(a/c=0.50)	28	1.19E-11	0.657	1.481	Confiable	

N°	Diseño	Edad (días)	k	$T_{calculado}$	$T_{teórico}$	Resultado	Coficiente de permeabilidad promedio (k) corregido
31	P(a/c=0.50)	28	1.02E-11	0.586	1.481	Confiable	
32	P(a/c=0.50)	28	1.24E-11	1.019	1.481	Confiable	
33	P(a/c=0.55)	7	6.53E-11	0.719	1.481	Confiable	
34	P(a/c=0.55)	7	7.26E-11	0.686	1.481	Confiable	6.90E-11
35	P(a/c=0.55)	7	6.39E-11	0.986	1.481	Confiable	
36	P(a/c=0.55)	7	7.44E-11	1.020	1.481	Confiable	
37	P(a/c=0.55)	14	3.90E-11	0.446	1.481	Confiable	
38	P(a/c=0.55)	14	3.91E-11	0.433	1.481	Confiable	3.86E-11
39	P(a/c=0.55)	14	3.76E-11	0.616	1.481	Confiable	
40	P(a/c=0.55)	14	5.43E-11	1.495	1.481	Atípico	
41	P(a/c=0.55)	21	2.23E-11	0.981	1.481	Confiable	
42	P(a/c=0.55)	21	2.56E-11	1.008	1.481	Confiable	2.39E-11
43	P(a/c=0.55)	21	2.27E-11	0.728	1.481	Confiable	
44	P(a/c=0.55)	21	2.51E-11	0.701	1.481	Confiable	
45	P(a/c=0.55)	28	1.66E-11	1.253	1.481	Confiable	
46	P(a/c=0.55)	28	1.98E-11	0.956	1.481	Confiable	1.84E-11
47	P(a/c=0.55)	28	1.79E-11	0.337	1.481	Confiable	
48	P(a/c=0.55)	28	1.93E-11	0.635	1.481	Confiable	
49	A(a/c=0.45)	7	5.60E-12	1.081	1.481	Confiable	
50	A(a/c=0.45)	7	7.02E-12	0.623	1.481	Confiable	6.50E-12
51	A(a/c=0.45)	7	7.37E-12	1.047	1.481	Confiable	
52	A(a/c=0.45)	7	6.01E-12	0.589	1.481	Confiable	
53	A(a/c=0.45)	14	2.27E-12	0.937	1.481	Confiable	
54	A(a/c=0.45)	14	2.81E-12	0.501	1.481	Confiable	2.62E-12
55	A(a/c=0.45)	14	3.06E-12	1.160	1.481	Confiable	
56	A(a/c=0.45)	14	2.35E-12	0.724	1.481	Confiable	
57	A(a/c=0.45)	21	1.07E-12	0.639	1.481	Confiable	
58	A(a/c=0.45)	21	1.35E-12	0.360	1.481	Confiable	1.21E-12
59	A(a/c=0.45)	21	1.22E-12	0.491	1.481	Confiable	
60	A(a/c=0.45)	21	3.14E-12	1.490	1.481	Atípico	
61	A(a/c=0.45)	28	2.55E-13	0.974	1.481	Confiable	3.30E-13

N°	Diseño	Edad (días)	k	$T_{calculado}$	$T_{teórico}$	Resultado	Coficiente de permeabilidad promedio (k) corregido
62	A(a/c=0.45)	28	3.31E-13	0.016	1.481	Confiable	
63	A(a/c=0.45)	28	2.98E-13	0.414	1.481	Confiable	
64	A(a/c=0.45)	28	4.36E-13	1.371	1.481	Confiable	
65	A(a/c=0.50)	7	8.43E-12	1.138	1.481	Confiable	
66	A(a/c=0.50)	7	1.03E-11	1.146	1.481	Confiable	9.35E-12
67	A(a/c=0.50)	7	9.71E-12	0.439	1.481	Confiable	
68	A(a/c=0.50)	7	8.99E-12	0.447	1.481	Confiable	
69	A(a/c=0.50)	14	5.97E-12	1.170	1.481	Confiable	
70	A(a/c=0.50)	14	5.40E-12	0.230	1.481	Confiable	5.26E-12
71	A(a/c=0.50)	14	4.49E-12	1.247	1.481	Confiable	
72	A(a/c=0.50)	14	5.16E-12	0.153	1.481	Confiable	
73	A(a/c=0.50)	21	1.73E-12	1.028	1.481	Confiable	
74	A(a/c=0.50)	21	2.37E-12	1.320	1.481	Confiable	2.01E-12
75	A(a/c=0.50)	21	1.89E-12	0.426	1.481	Confiable	
76	A(a/c=0.50)	21	2.05E-12	0.134	1.481	Confiable	
77	A(a/c=0.50)	28	1.59E-12	1.092	1.481	Confiable	
78	A(a/c=0.50)	28	9.03E-13	1.290	1.481	Confiable	1.28E-12
79	A(a/c=0.50)	28	1.23E-12	0.151	1.481	Confiable	
80	A(a/c=0.50)	28	1.38E-12	0.349	1.481	Confiable	
81	A(a/c=0.55)	7	1.35E-11	1.108	1.481	Confiable	
82	A(a/c=0.55)	7	1.65E-11	1.063	1.481	Confiable	1.50E-11
83	A(a/c=0.55)	7	1.58E-11	0.589	1.481	Confiable	
84	A(a/c=0.55)	7	1.42E-11	0.544	1.481	Confiable	
85	A(a/c=0.55)	14	7.75E-12	0.970	1.481	Confiable	
86	A(a/c=0.55)	14	9.93E-12	1.350	1.481	Confiable	8.66E-12
87	A(a/c=0.55)	14	8.75E-12	0.096	1.481	Confiable	
88	A(a/c=0.55)	14	8.21E-12	0.476	1.481	Confiable	
89	A(a/c=0.55)	21	5.26E-12	0.491	1.481	Confiable	
90	A(a/c=0.55)	21	5.30E-12	0.438	1.481	Confiable	5.26E-12
91	A(a/c=0.55)	21	5.21E-12	0.569	1.481	Confiable	
92	A(a/c=0.55)	21	6.63E-12	1.498	1.481	Atípico	

N°	Diseño	Edad (días)	k	$T_{calculado}$	$T_{teórico}$	Resultado	Coefficiente de permeabilidad promedio (k) corregido
93	A(a/c=0.55)	28	4.10E-12	0.591	1.481	Confiable	3.73E-12
94	A(a/c=0.55)	28	4.41E-12	1.074	1.481	Confiable	
95	A(a/c=0.55)	28	3.06E-12	1.067	1.481	Confiable	
96	A(a/c=0.55)	28	3.35E-12	0.599	1.481	Confiable	

Nota. Fuente: Elaboración propia

En las Figuras 24, 25 y 26 se compara el coeficiente de permeabilidad (k) de cada diseño con impermeabilizante frente a su respectivo diseño patrón, donde se aprecia que los diseños con aditivo impermeabilizante tienen una mejora sustancial de la permeabilidad frente a sus respectivos diseños patrones, además el coeficiente de permeabilidad (k) disminuye mediante una tendencia potencial conforme aumenta la edad del concreto.

En la Tabla 50 se cuantifica la variación porcentual del coeficiente de permeabilidad (k), observándose mejoras (disminución) de hasta 93.91%, a partir de esto se puede deducir que el uso de aditivo impermeabilizante "Sika-1 líquido" mejora impermeabilidad del concreto en los diseños y condiciones utilizados.

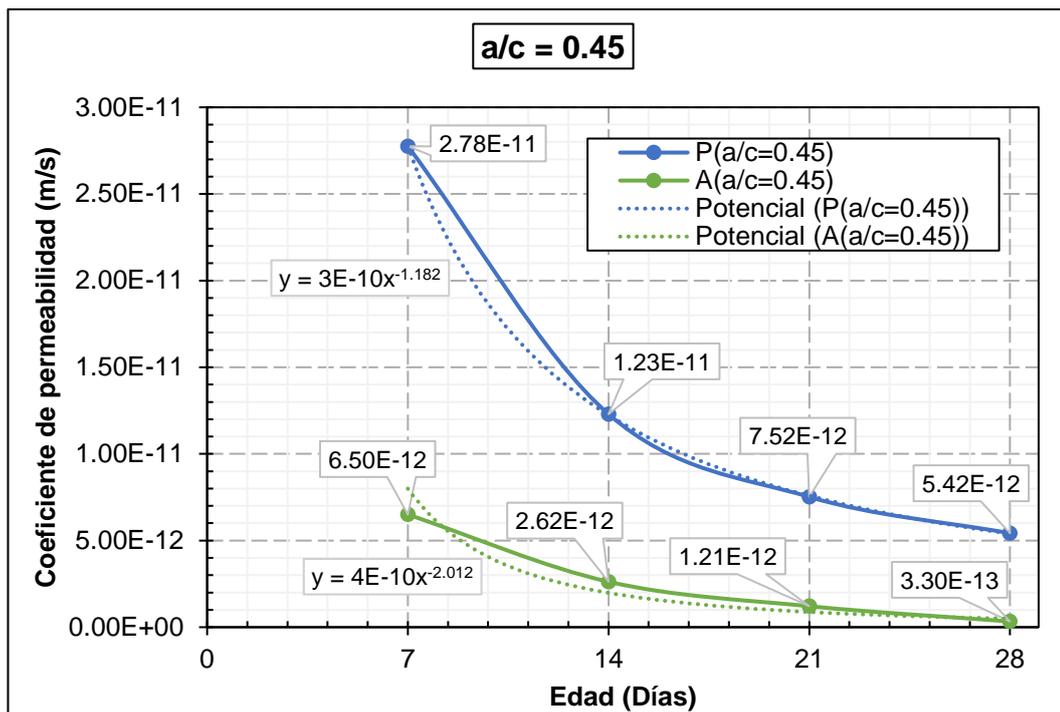


Figura 24 Comparativa del coeficiente de permeabilidad (k) del diseño A(a/c=0.45) y P(a/c=0.45) en 4 edades

Fuente: Elaboración propia

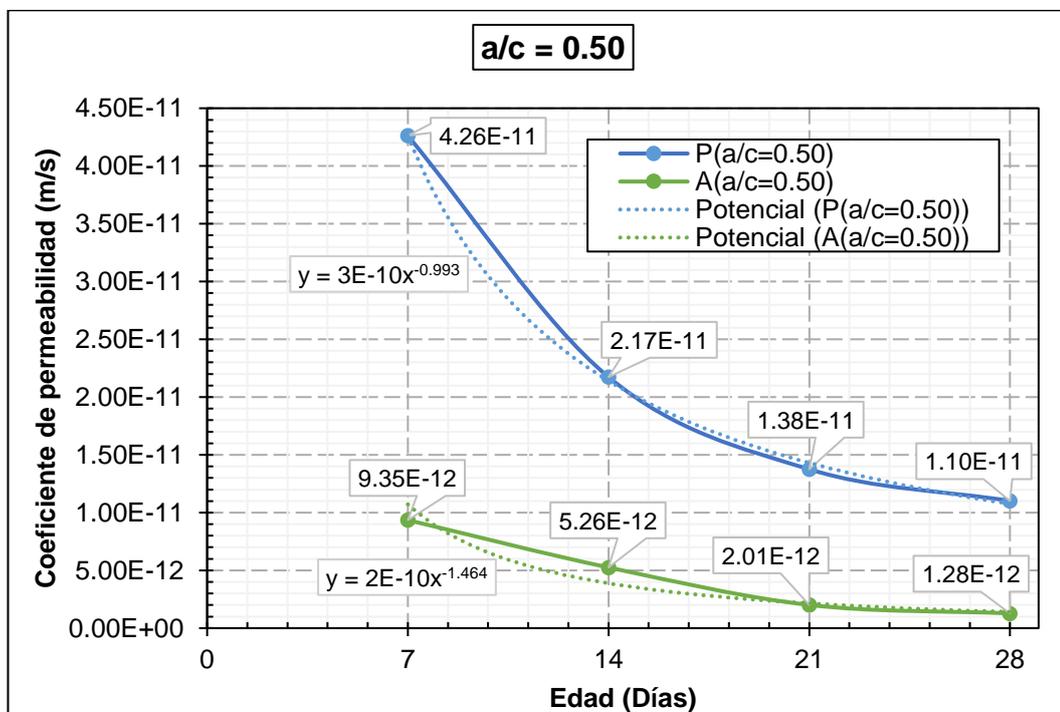


Figura 25 Comparativa del coeficiente de permeabilidad (k) del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=0.50) en 4 edades

Fuente: Elaboración propia

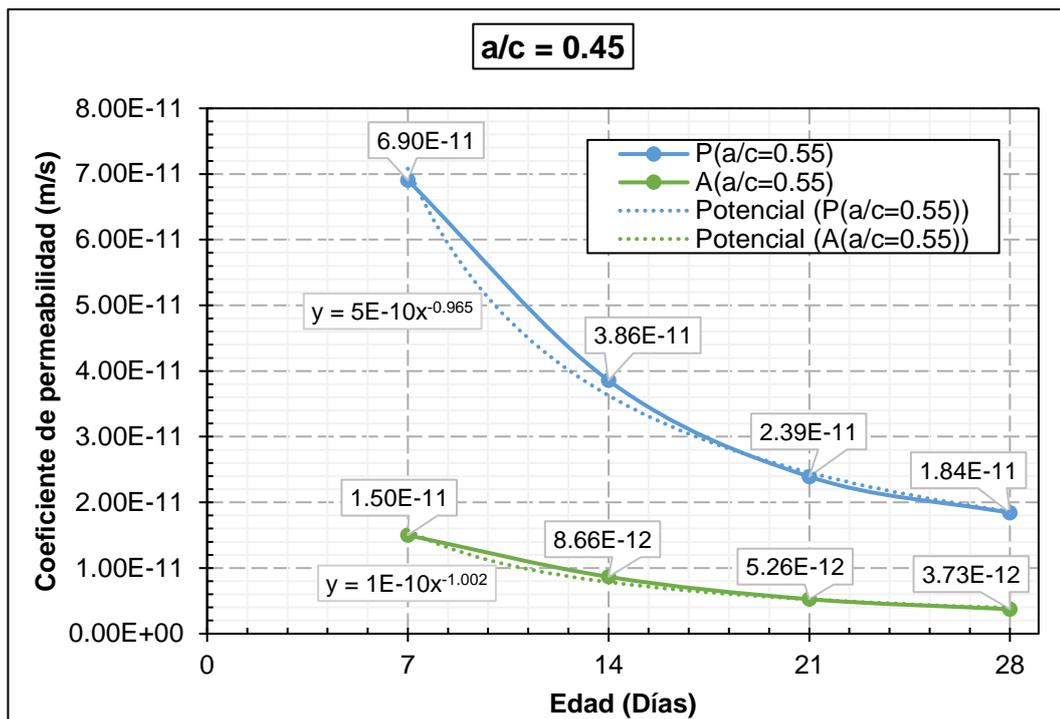


Figura 26 Comparativa del coeficiente de permeabilidad (k) del diseño A(a/c=0.50) y P(a/c=50) en 4 edades

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Variación porcentual del coeficiente de permeabilidad (k) de los diseños con impermeabilizante frente a su diseño patrón respectivo

Diseño	Edad (Días)	K (m/s)	K Patrón (m/s)	Variación (%)	Observación
A(a/c=0.45)	7	6.50E-12	2.78E-11	23.41	Disminuye en 76.59%
A(a/c=0.45)	14	2.62E-12	1.23E-11	21.33	Disminuye en 78.67%
A(a/c=0.45)	21	1.21E-12	7.52E-12	16.13	Disminuye en 83.87%
A(a/c=0.45)	28	3.30E-13	5.42E-12	6.09	Disminuye en 93.91%
A(a/c=0.50)	7	9.35E-12	4.26E-11	21.94	Disminuye en 78.06%
A(a/c=0.50)	14	5.26E-12	2.17E-11	24.18	Disminuye en 75.82%
A(a/c=0.50)	21	2.01E-12	1.38E-11	14.62	Disminuye en 85.38%
A(a/c=0.50)	28	1.28E-12	1.10E-11	11.59	Disminuye en 88.41%
A(a/c=0.55)	7	1.50E-11	6.90E-11	21.71	Disminuye en 78.29%
A(a/c=0.55)	14	8.66E-12	3.86E-11	22.45	Disminuye en 77.55%
A(a/c=0.55)	21	5.26E-12	2.39E-11	21.98	Disminuye en 78.02%
A(a/c=0.55)	28	3.73E-12	1.84E-11	20.27	Disminuye en 79.73%

Nota. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 27 se muestra como varia el coeficiente de permeabilidad (k) en función de la relación a/c, nótese que en todos los casos el coeficiente de permeabilidad (k) aumenta mientras se utilice relaciones a/c mayores, lo cual concuerda con la teoría abordada en el capítulo II.

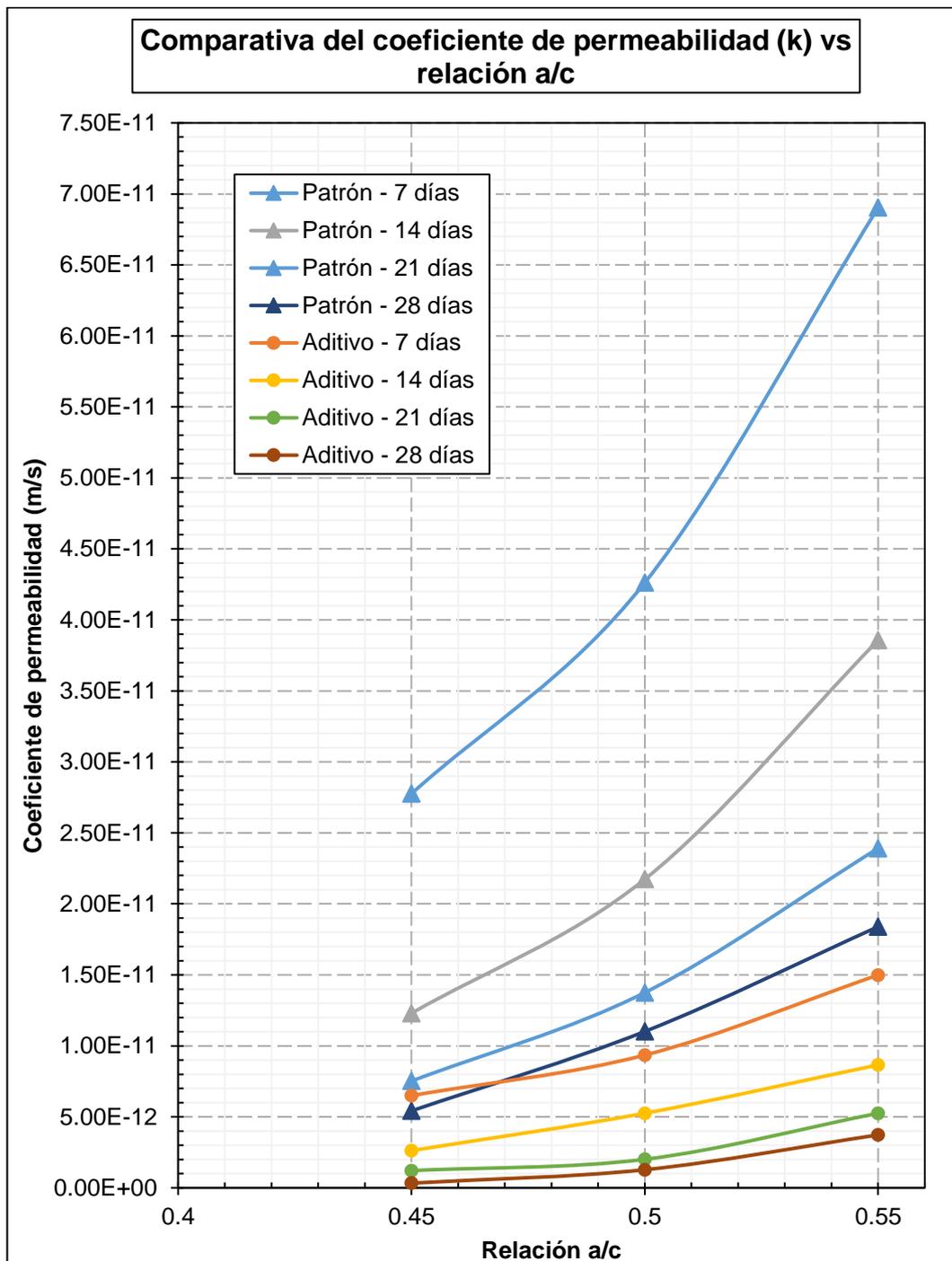


Figura 27 Comparativa del coeficiente de permeabilidad (k) vs la relación a/c

Fuente: Elaboración propia

5.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos en las 3 relaciones a/c realizadas (0.45, 0.50, 0.55), se observa una reducción de la permeabilidad en todas las edades estudiadas (7, 14, 21 y 28 días), estas reducciones alcanzan un coeficiente de permeabilidad de hasta un 94% menor frente a sus diseños patrones respectivos. Esta tendencia de reducción también se observa en otras investigaciones donde se logra reducciones de 90% en concretos con el mismo rango de relaciones a/c (Baweja, Hassani, Sirivivatnanon, & Vessalas, 2017).

Por otra parte, la resistencia a la compresión axial aumenta hasta un 18% en las muestras de los diseños de concreto realizados. Esta tendencia de mejora también se observa en otras investigaciones donde se logra aumentos de hasta 19.66% (Tacusi Huancachoque, 2016) y 24% (Benites & Moreno, 2018) en concretos con aditivos impermeabilizante para relaciones a/c de 0.45 y 0.50.

Tacusi (2016) en su investigación "*Estudio del concreto con aditivo impermeabilizante y cemento portland tipo I*" identificó una reducción de la absorción del 14.60% y 20.07% en los diseños con a/c de 0.45 y 0.50 respectivamente. Mientras que en la presente investigación también se identificó una disminución en esta propiedad del concreto, logrando reducciones de hasta disminuye en 15.73%, por lo cual hay una compatibilidad en las tendencias encontradas.

Bustamante (2017) en su investigación "*Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en el Perú*" ensayó muestras de concreto con relaciones a/c de 0.50 obteniendo un contenido de vacíos de 13.70%, mientras que en la presente investigación se obtuvo un contenido de vacíos de 11.96% para la misma relación a/c a los 28 días de edad, esto significa que se tiene una ligera disminución del contenido de vacíos frente a la investigación de Bustamante, esto se traduce en que las muestras de concreto ensayadas en la presente tesis son más compactas, es decir, tiene menor cantidad de oquedades en los cuales puede alojarse el agua.

Como se puede observar, los resultados obtenidos poseen las mismas tendencias que los obtenidos en otras investigaciones, lo cual, demuestra la validez de los mismos.

CONCLUSIONES

Las siguientes conclusiones son obtenidas en base a la investigación realizada bajo un espacio muestral de 96 probetas para cada ensayo realizado en condiciones de laboratorio con relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55.

- Se cumplieron los objetivos propuestos.
- La hipótesis se cumplió de manera satisfactoria, dado que los coeficientes de permeabilidad (k) disminuyeron hasta un 94% al usarse el aditivo impermeabilizante.
- A medida que la profundidad media de penetración del agua es menor, el coeficiente de permeabilidad es menor.
- El coeficiente de permeabilidad (k) aumenta a medida que la relación a/c se incrementa, es decir, se vuelve más permeable.
- La absorción en los diseños con aditivo impermeabilizante "Sika-1 Líquido" disminuyen hasta un 15.73% frente a sus diseños patrones respectivos, debido a que el gel incorporado del aditivo sella los poros reduciendo el paso del agua a través de ellos.
- El contenido de vacíos en los diseños con aditivo impermeabilizante disminuye hasta un 17%, esto se debe a la reducción del tamaño de los poros provocando por el aditivo.
- La resistencia a la compresión en todos los diseños con aditivo impermeabilizante es mayor a sus diseños patrones respectivos, para la relación a/c de 0.45 es hasta 17.14% mayor, para a/c de 0.50 es hasta 15.44% mayor y para a/c de 0.55 es hasta 17.97% mayor, esto se debe a que el concreto se hidrata mejor en edades tempranas producto de la acción del gel incorporado.
- La resistencia a la tracción indirecta en los diseños con aditivo impermeabilizante "Sika-1 Líquido" es mayor a sus respectivos diseños patrones, en las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 mejoran hasta un 4.52%, 7.91% y 12.71% respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Ensayar a edades mayores con el fin de conocer en que instante el coeficiente de permeabilidad se estabiliza, es decir se vuelve asintótico en el tiempo.
- Probar realizar el mismo estudio con diferentes tipos de cemento y relaciones a/c mayores a 0.55 para determinar la influencia de estos en la permeabilidad.
- Durante la fase de preparación de la muestra para ser ensayada en el equipo de permeabilidad, asegurarse de recubrir bien la cara lateral con epóxico para asegurar el flujo unidireccional del agua durante el ensayo y evitar obtener datos erróneos.
- Si se va a realizar ensayos de permeabilidad a edades menores, se debe usar presiones menores de 0.5 Mpa debido a que las altas presiones pueden producir micro fisuras en la matriz del concreto alterando los resultados del ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 211.1. (2009). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*. ACI.
- Aguirre Cabrera, D. A. (2007). *Uso de aditivos para el concreto*. Universidad Albert Einstein, San Salvador.
- Alonso, A. (2014). Impermeabilización del hormigón. *Informes de la construcción*, XXIX(288), 69-86.
- ASTM C642. (2013). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. ASTM International.
- Baweja, D., Hassani, M., Sirivivatnanon, V., & Vessalas, K. (Noviembre-Diciembre de 2017). Influence of permeability-reducing admixtures on water penetration in concrete. *ACI Materials Journal*, 114(6), 911-923. doi:10.14359/51701002
- Benites, P., & Moreno, M. (2018). *Influencia de los aditivos Sika WT-100, Sika 1 líquido y Sika 1 en polvo en la resistencia a la compresión y permeabilidad del concreto, Trujillo, 2018*. Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Blanchet, M. (2016). *La impermeabilidad en el hormigón*. HORPAS.
- Bustamante Romero, I. G. (2017). *Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en el Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Ceballos Arana, M. A. (Agosto de 2016). El concreto, material fundamental para la infraestructura. *Construcción y tecnología en concreto*, 24-25.
- Del Rosal, J. A. (Marzo de 2017). Durabilidad y patología del concreto. *Construcción y tecnología en concreto*, 6(12), 14-21.
- E.060. (2009). *Concreto armado*. Lima: Sencico.
- EN-206-1. (2008). *Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity*. CEN.
- Grases, J., Porrero, J., Ramos, C., & Velazco, G. J. (2009). *Manual del concreto estructural* (Tercera ed.). (M. Á. Álvarez, Ed.) Caracas, Venezuela.
- Gutiérrez de Lopéz, L. (2013). *El concreto y otros materiales para la construcción* (Segunda ed.). Manizales, Colombia.
- Gutierrez, J., & Salazar, J. (2015). *Evaluación de la permeabilidad en diseños de concreto con el uso de aditivos Sika WT-100 y Sika WT-200 en obras hidráulicas de Lima Metropolitana*. Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Hermida, G. (2014). *Concreto impermeable*. Sika. Medellín: Sika.

- IMCYC. (sf.). *Usando aditivos para mejorar la resistencia química del concreto*. IMCYC.
- INN. (1997). *Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de la impermeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión*. Santiago: INN.
- Murphy, T., & Lau, A. T. (2008). *Manejo de valores atípicos*. ASTM. Obtenido de https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/datapoints_spnd08.htm
- Neville, A. N. (2001). *Tecnología del concreto*. imcyc.
- NRMCA. (2008). *CIP 15 - Aditivos químicos para el concreto*. Silver Spring: NRMCA.
- NRMCA. (2008). *CIP 25 - Corrosión del acero en el concreto*. Silver Spring: NRMCA.
- NTC 4483. (1998). *Ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua*. Bogotá: ICONTEC.
- NTP 334.009. (2016). *CEMENTOS. Cemento Portland. Requisitos*. Lima: INACAL.
- NTP 339.034. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima: INACAL.
- NTP 339.035. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. Lima: INACAL.
- NTP 339.046. (2019). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto*. Lima: INACAL.
- NTP 339.084. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. Lima: INACAL.
- Oquendo, E. (2013). *Evaluación y selección de aditivos impermeabilizantes para concreto con resistencia de 450 kgf/cm²*. Tesis de pregrado, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.
- Páez Moreno, D. F., Leal Moreno, V. E., & Restrepo Burgos, M. (Julio de 2009). *Influencia de los ciclos hielo-deshielo en la resistencia del concreto (Caso Tunja)*. *Ingenierías Universidad de Medellín*, VIII(15), 95-110.
- Ramachandran, V. S. (1995). *Concrete admixtures handbook properties, science, and technology*. New Jersey: np.
- Rivera L, G. A. (2013). *Concreto simple*. Universidad del Cauca.

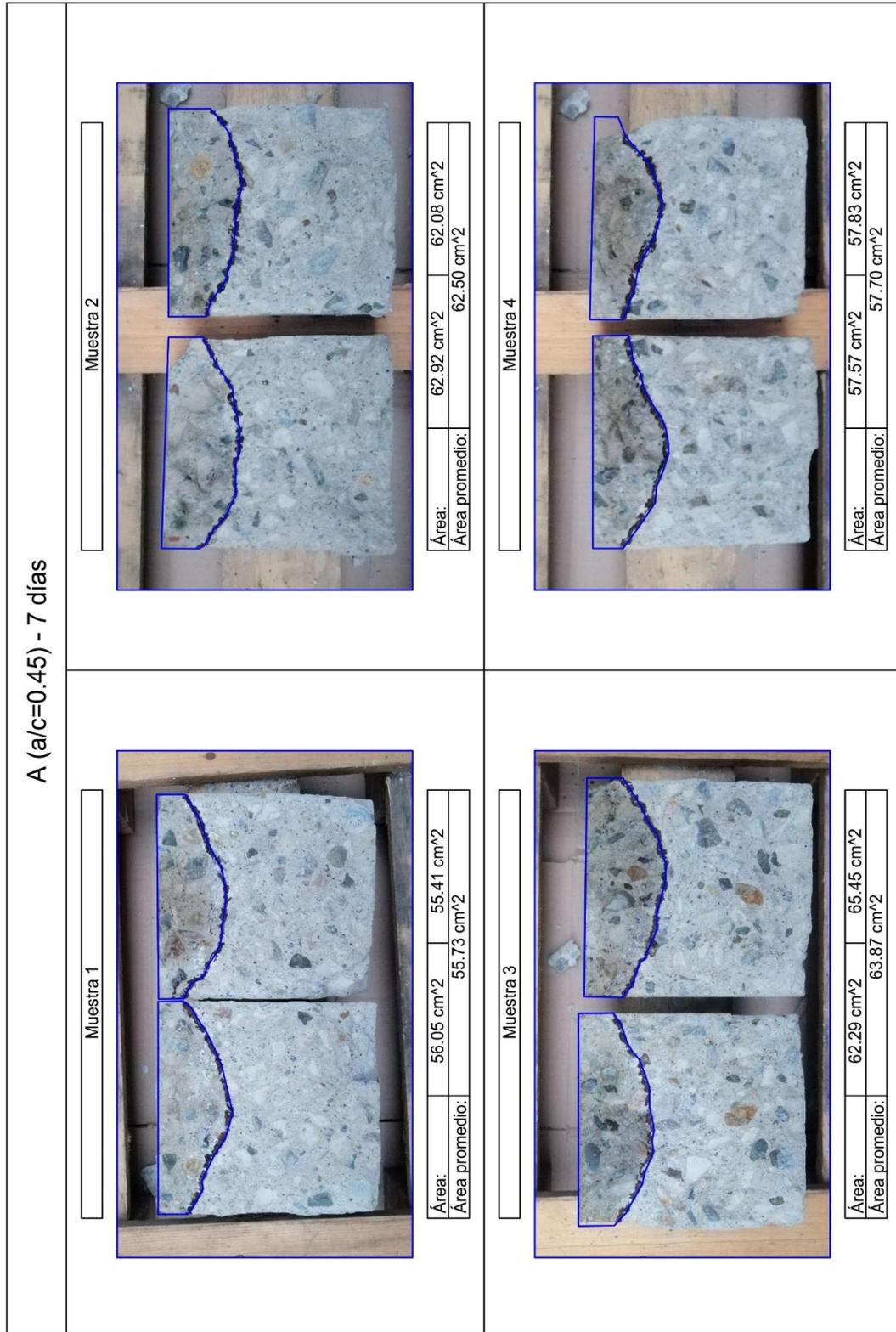
- Safránez, C. (Septiembre de 1971). Consideraciones sobre el hormigón impermeable y el aspecto de su garantía. *Informes de la construcción*, XXIV(233), 51-58. doi:10.3989/ic.1971.v24.i233
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar Editores.
- Sika Perú S.A. (2015). *Sika®-1 Líquido*. Lurín: Sika.
- Sika Perú S.A. (2019). *Sika® ViscoCrete® SC-50*. Lurín: Sika.
- Tacusi Huancachoque, M. (2016). *Estudio del concreto con aditivo impermeabilizante y cemento Portland tipo I*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Rimac.
- The therglass concrete company. (2016). *Mejora de las resistencias químicas del hormigón*. Badajoz: Ibercal.
- Vélez, L. M. (2010). Permeabilidad y porosidad en el concreto. *Tecno Lógicas*, 169-187.
- Wainzstein, M., & Sota, J. D. (s.f). *Permeabilidad de hormigones*.

ANEXOS

ANEXO I:

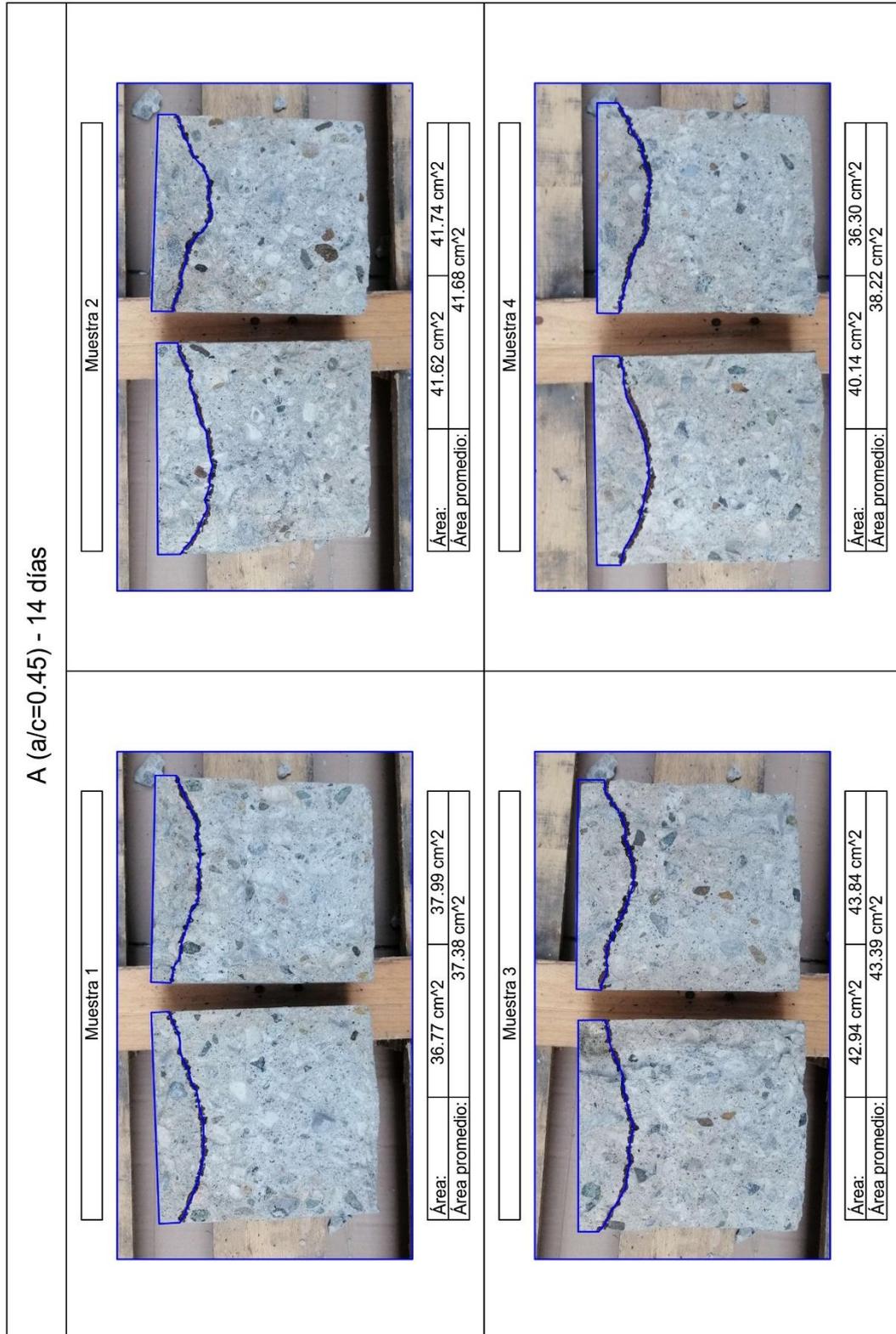
RESULTADOS DEL ENSAYO

DE PERMEABILIDAD



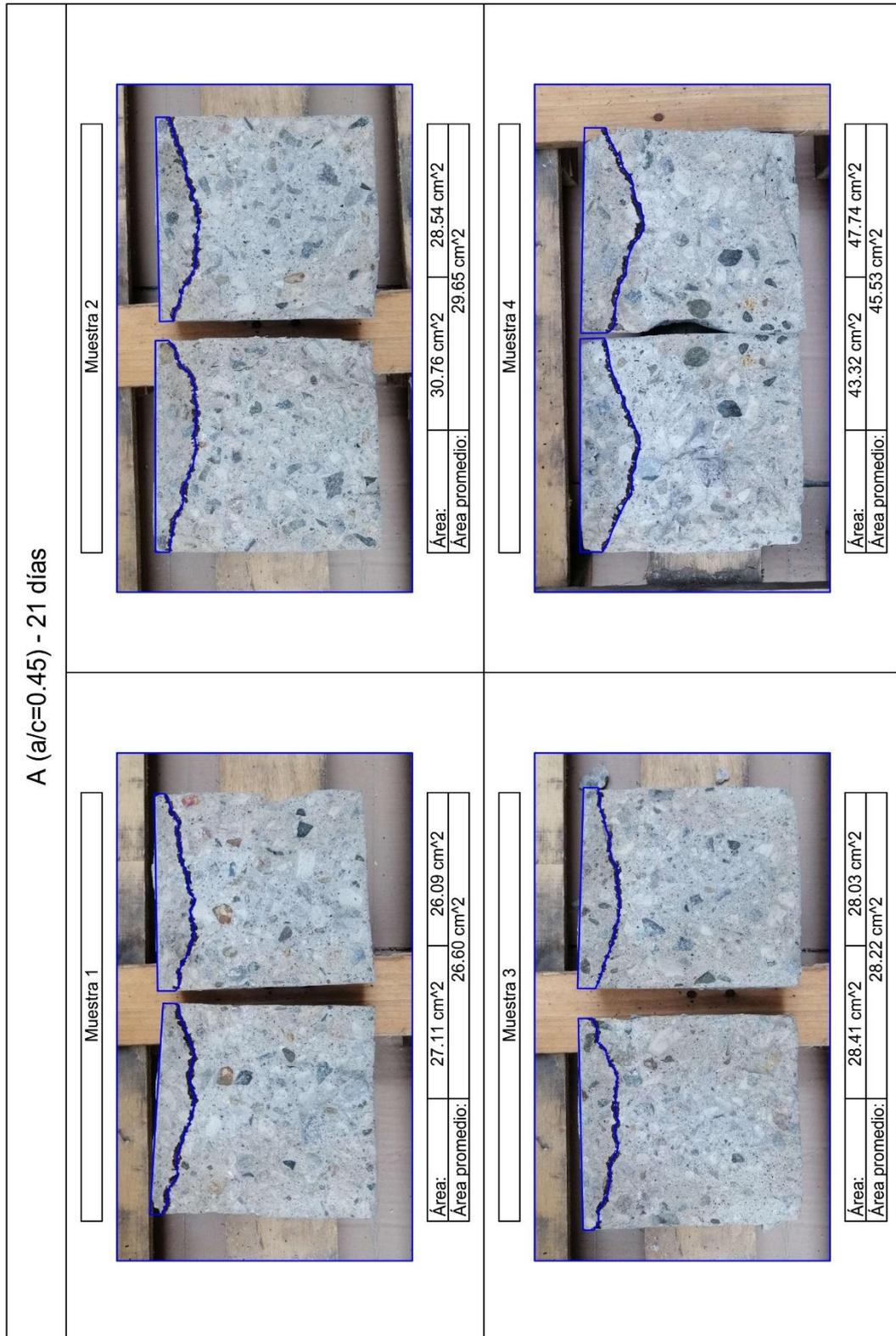
ANEXO 1. 1.- Área de penetración del agua en el diseño A(a/c=0.45) con 7 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



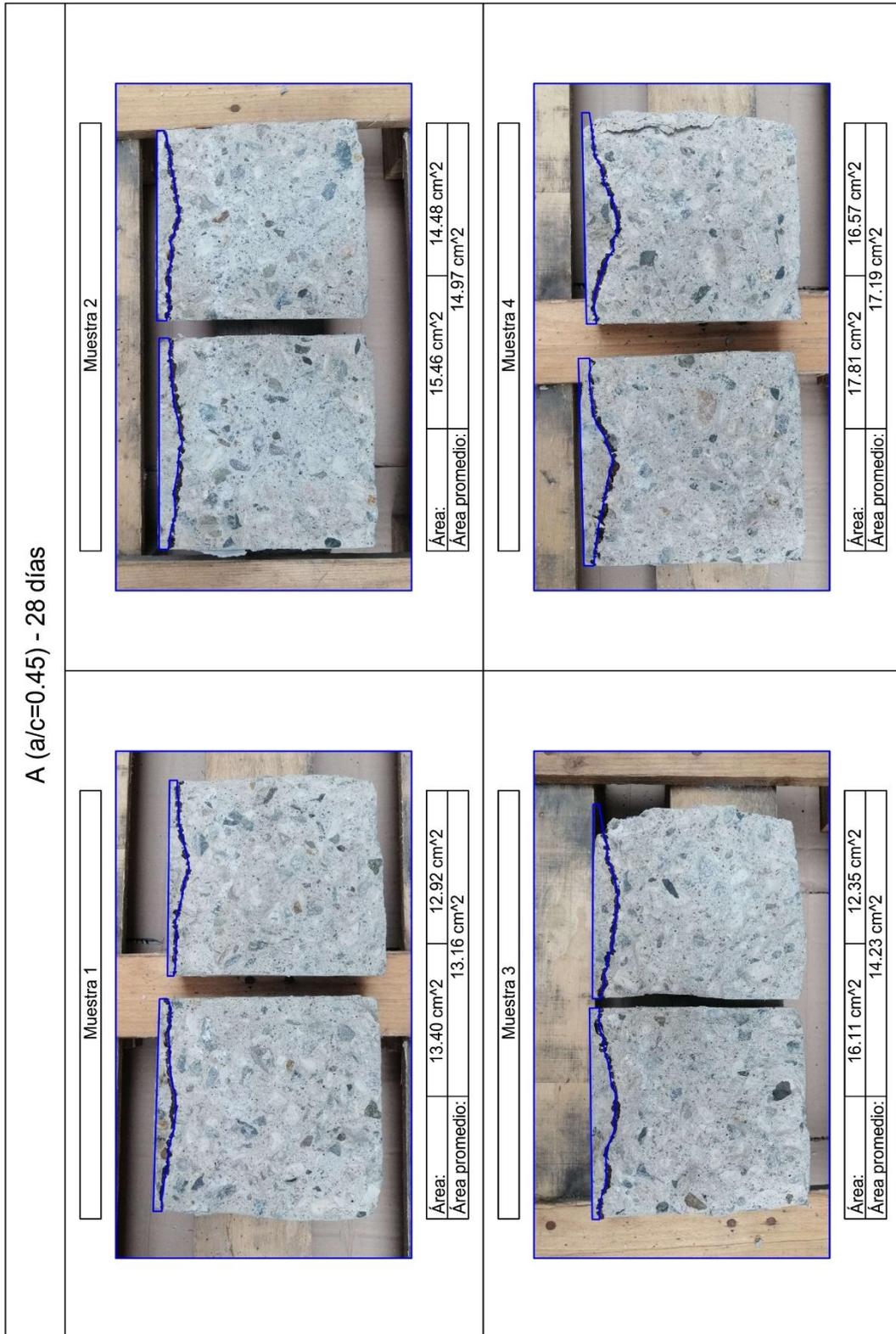
ANEXO 1. 2.- Área de penetración del agua en el diseño A(a/c=0.45) con 14 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



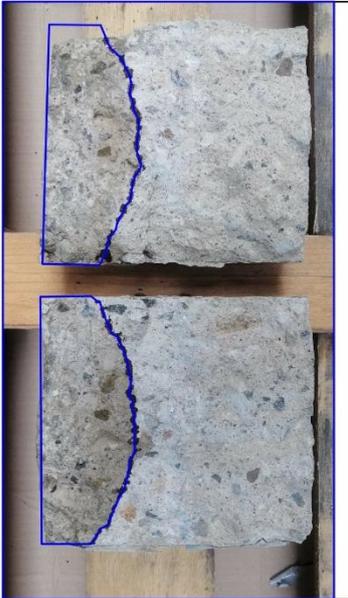
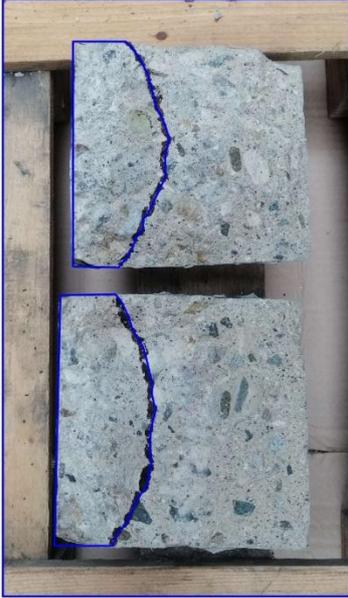
ANEXO 1. 3.- Área de penetración del agua en el diseño A($a/c=0.45$) con 21 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



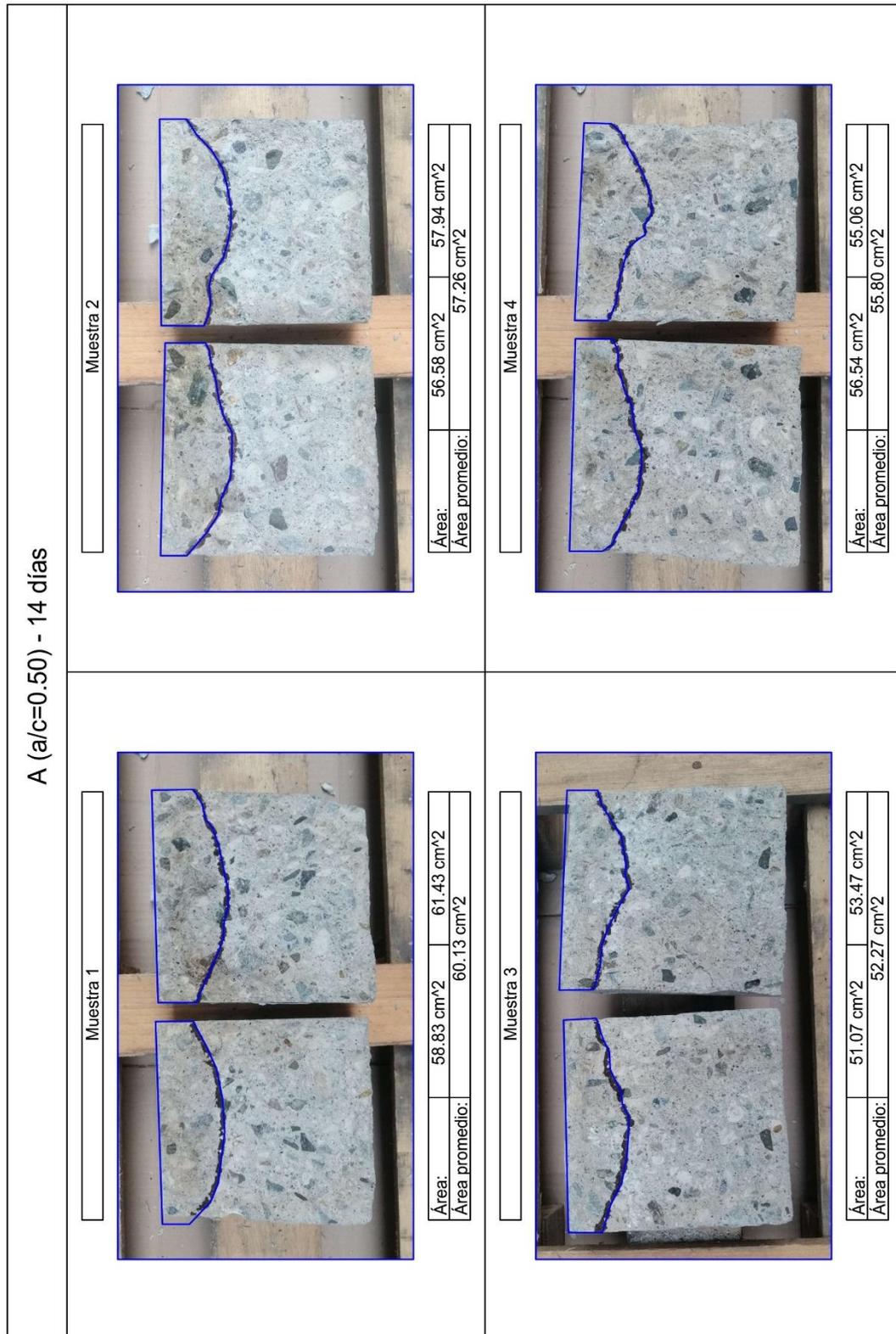
ANEXO 1. 4.- Área de penetración del agua en el diseño A(a/c=0.45) con 28 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

A ($a/c=0.50$) - 7 días	
<p>Muestra 1</p>  <p>Área: 67.82 cm² 63.56 cm² Área promedio: 65.69 cm²</p>	<p>Muestra 2</p>  <p>Área: 71.90 cm² 72.64 cm² Área promedio: 72.27 cm²</p>
<p>Muestra 3</p>  <p>Área: 69.91 cm² 70.61 cm² Área promedio: 70.26 cm²</p>	<p>Muestra 4</p>  <p>Área: 64.76 cm² 70.40 cm² Área promedio: 67.58 cm²</p>

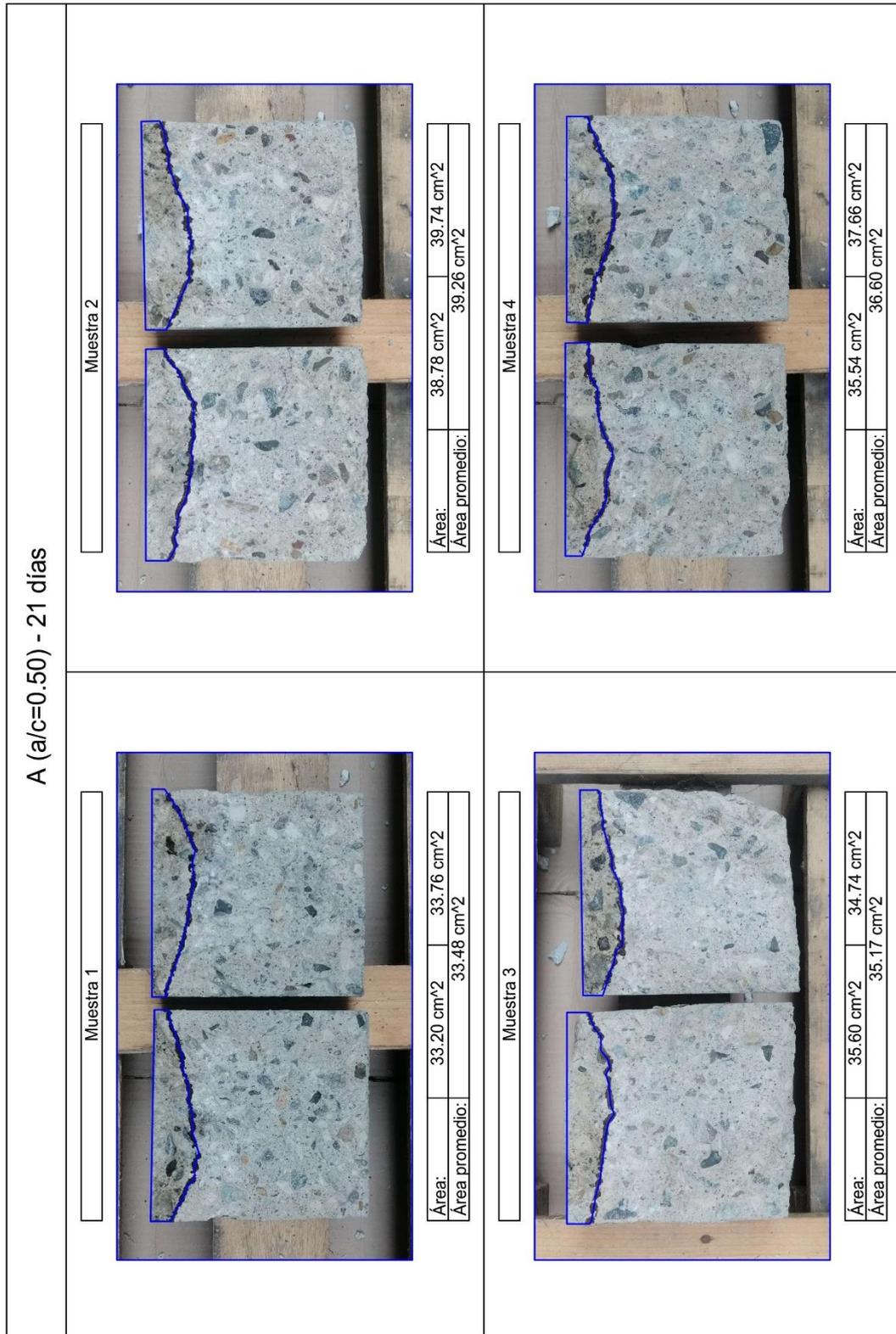
ANEXO 1. 5.- Área de penetración del agua en el diseño A($a/c=0.50$) con 7 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



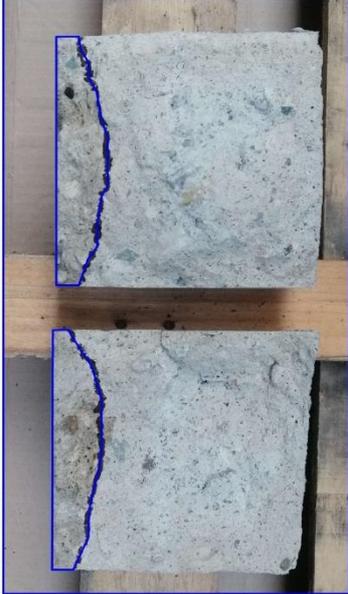
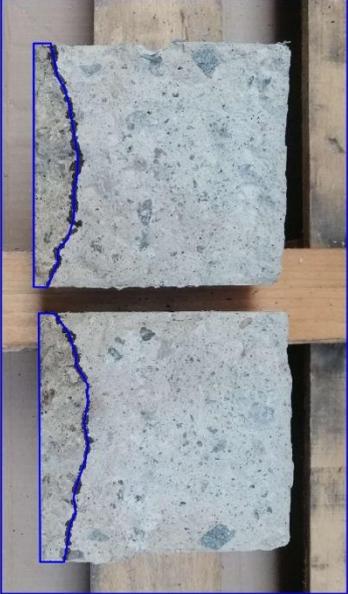
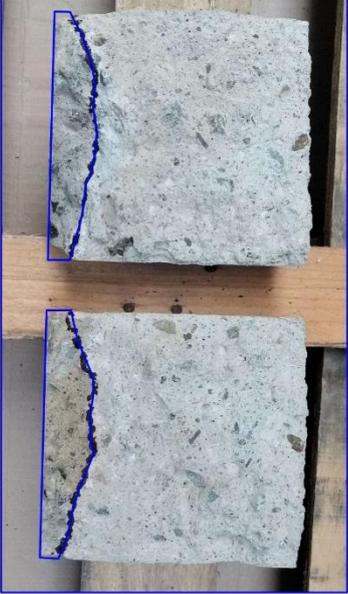
ANEXO 1. 6.- Área de penetración del agua en el diseño A($a/c=0.50$) con 14 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



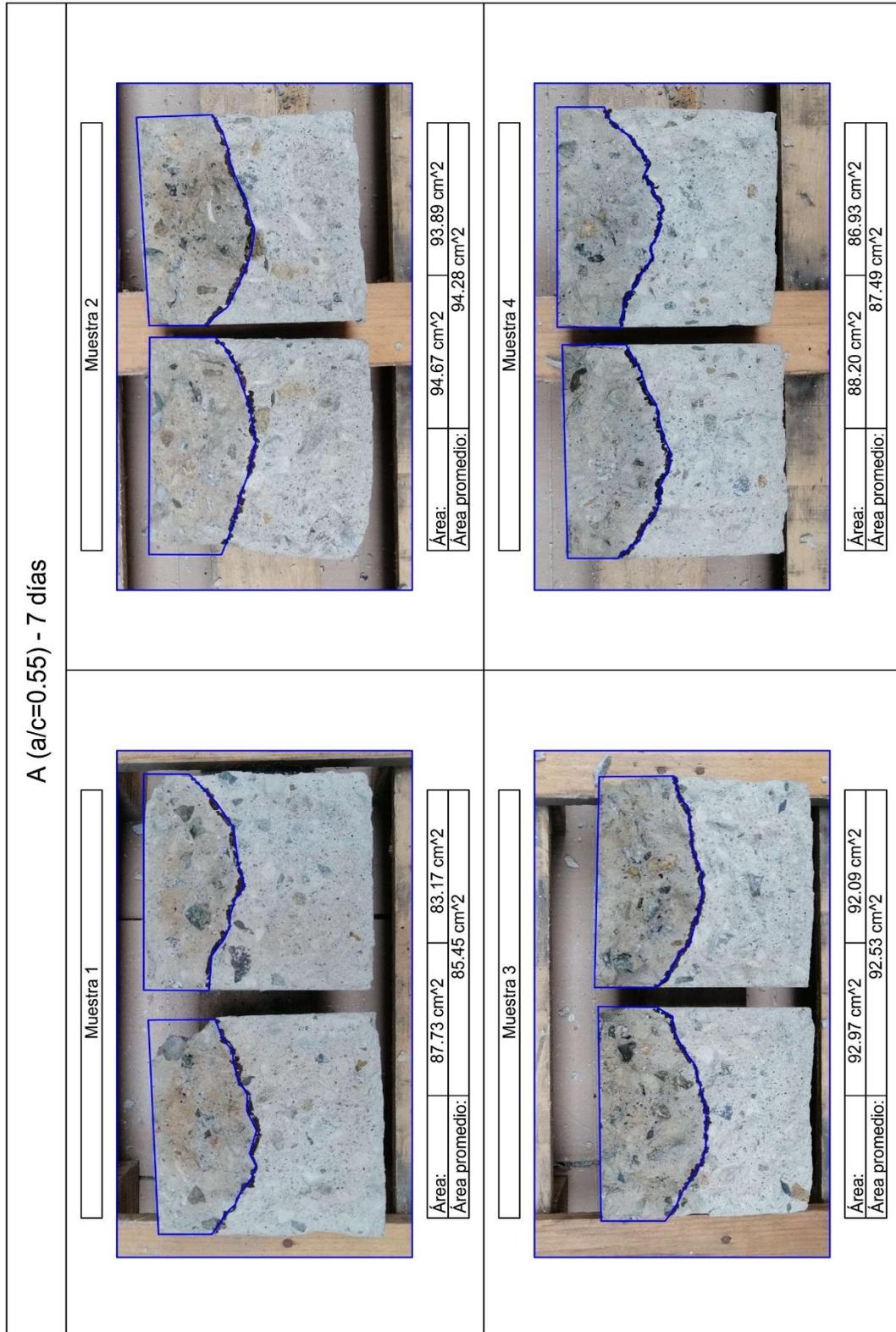
ANEXO 1. 7.- Área de penetración del agua en el diseño A($a/c=0.50$) con 21 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

A ($a/c=0.50$) - 28 días													
<p>Muestra 1</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>32.64 cm²</td> <td>34.49 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">33.56 cm²</td> </tr> </table>	Área:	32.64 cm ²	34.49 cm ²	Área promedio:	33.56 cm ²		<p>Muestra 2</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>27.18 cm²</td> <td>23.52 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">25.35 cm²</td> </tr> </table>	Área:	27.18 cm ²	23.52 cm ²	Área promedio:	25.35 cm ²	
Área:	32.64 cm ²	34.49 cm ²											
Área promedio:	33.56 cm ²												
Área:	27.18 cm ²	23.52 cm ²											
Área promedio:	25.35 cm ²												
<p>Muestra 3</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>31.31 cm²</td> <td>27.81 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">29.56 cm²</td> </tr> </table>	Área:	31.31 cm ²	27.81 cm ²	Área promedio:	29.56 cm ²		<p>Muestra 4</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>32.99 cm²</td> <td>29.57 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">31.28 cm²</td> </tr> </table>	Área:	32.99 cm ²	29.57 cm ²	Área promedio:	31.28 cm ²	
Área:	31.31 cm ²	27.81 cm ²											
Área promedio:	29.56 cm ²												
Área:	32.99 cm ²	29.57 cm ²											
Área promedio:	31.28 cm ²												

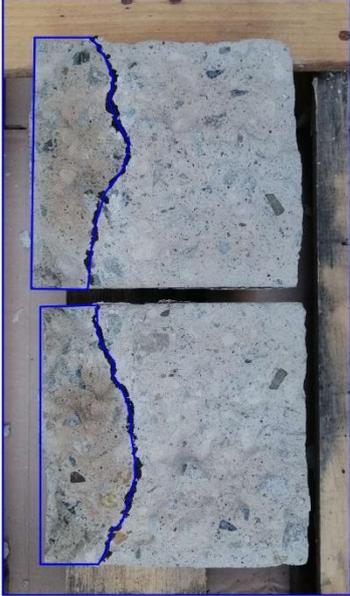
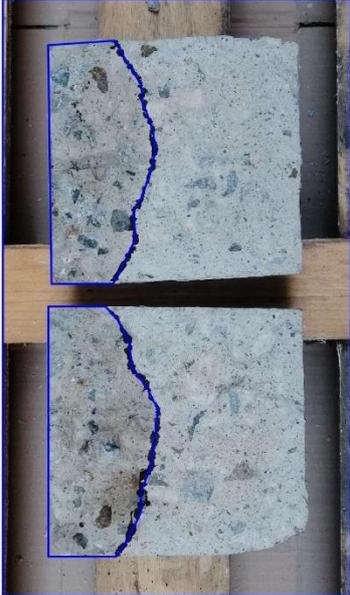
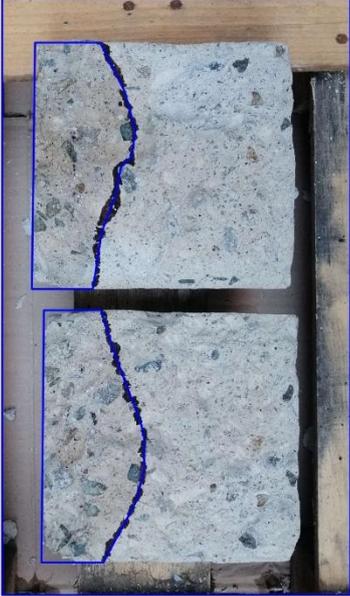
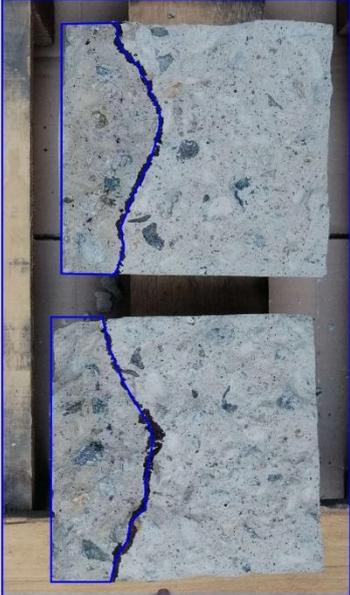
ANEXO 1. 8.- Área de penetración del agua en el diseño A($a/c=0.50$) con 28 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



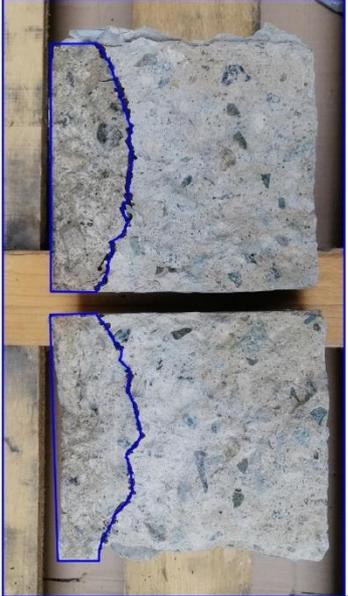
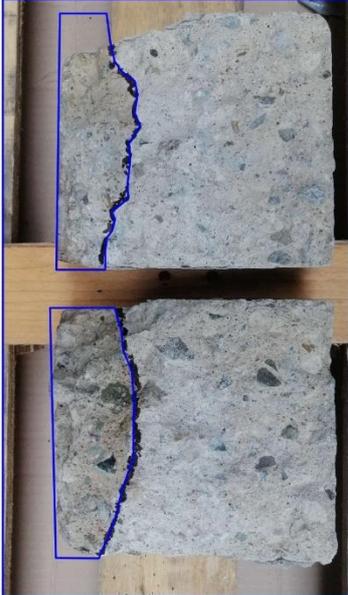
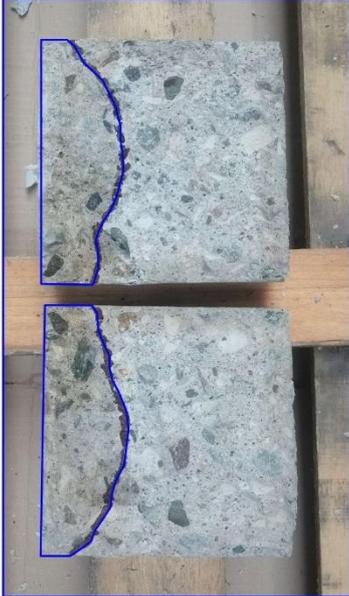
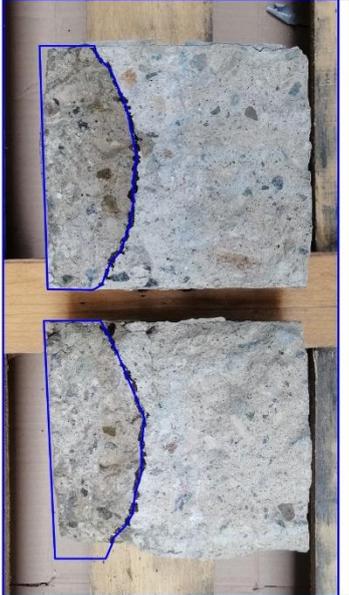
ANEXO 1. 9.- Área de penetración del agua en el diseño A(a/c=0.55) con 7 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

A ($a/c=0.55$) - 14 días													
<p>Muestra 1</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>69.54 cm²</td> <td>63.44 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">66.49 cm²</td> </tr> </table>	Área:	69.54 cm ²	63.44 cm ²	Área promedio:	66.49 cm ²		<p>Muestra 2</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>77.98 cm²</td> <td>73.12 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">75.55 cm²</td> </tr> </table>	Área:	77.98 cm ²	73.12 cm ²	Área promedio:	75.55 cm ²	
Área:	69.54 cm ²	63.44 cm ²											
Área promedio:	66.49 cm ²												
Área:	77.98 cm ²	73.12 cm ²											
Área promedio:	75.55 cm ²												
<p>Muestra 3</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>72.84 cm²</td> <td>68.48 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">70.66 cm²</td> </tr> </table>	Área:	72.84 cm ²	68.48 cm ²	Área promedio:	70.66 cm ²		<p>Muestra 4</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>72.07 cm²</td> <td>64.97 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">68.52 cm²</td> </tr> </table>	Área:	72.07 cm ²	64.97 cm ²	Área promedio:	68.52 cm ²	
Área:	72.84 cm ²	68.48 cm ²											
Área promedio:	70.66 cm ²												
Área:	72.07 cm ²	64.97 cm ²											
Área promedio:	68.52 cm ²												

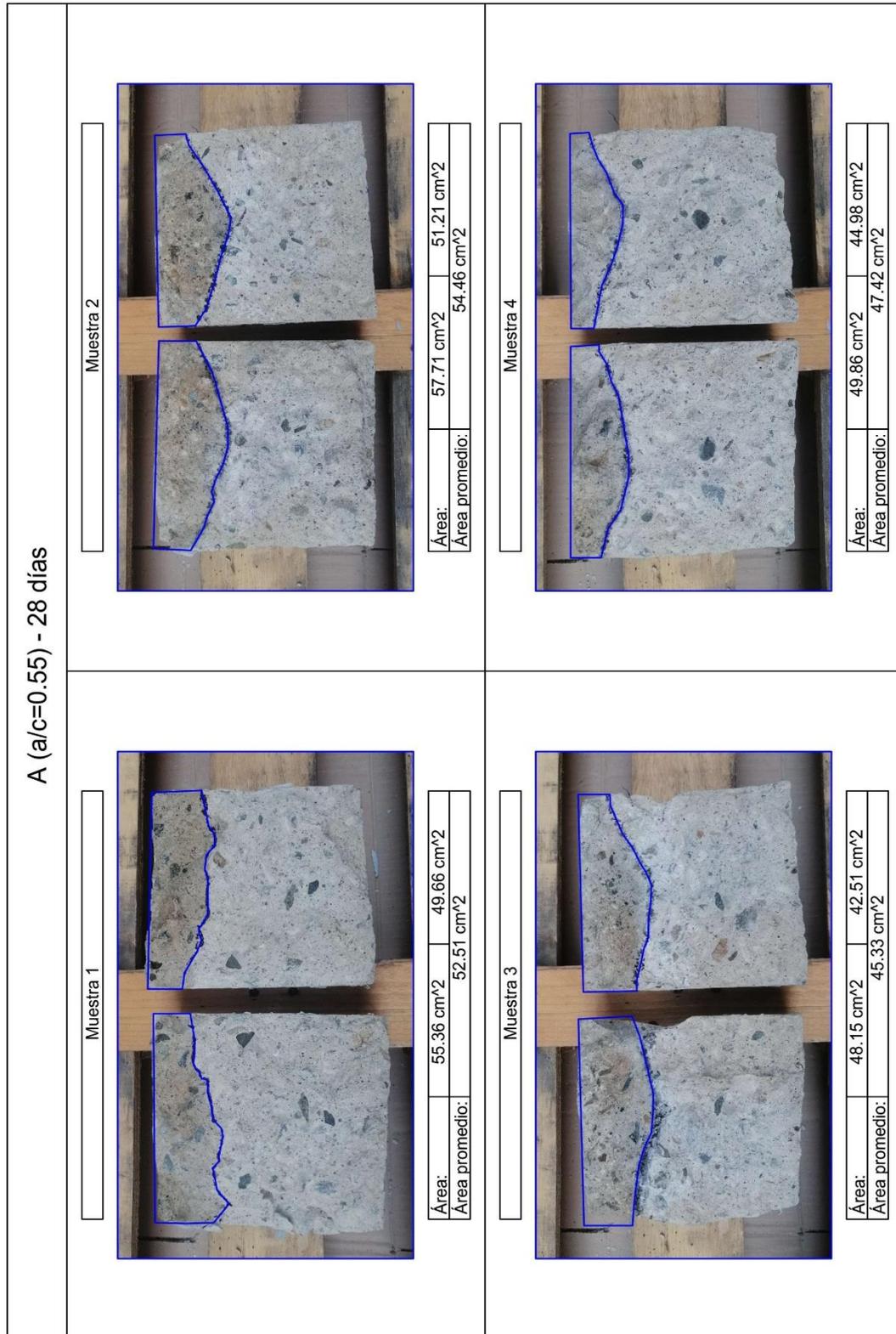
ANEXO 1. 10.- Área de penetración del agua en el diseño A($a/c=0.55$) con 14 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

A ($a/c=0.55$) - 21 días													
<p>Muestra 1</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>57.94 cm²</td> <td>58.28 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">58.11 cm²</td> </tr> </table>	Área:	57.94 cm ²	58.28 cm ²	Área promedio:	58.11 cm ²		<p>Muestra 2</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>60.98 cm²</td> <td>55.64 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">58.31 cm²</td> </tr> </table>	Área:	60.98 cm ²	55.64 cm ²	Área promedio:	58.31 cm ²	
Área:	57.94 cm ²	58.28 cm ²											
Área promedio:	58.11 cm ²												
Área:	60.98 cm ²	55.64 cm ²											
Área promedio:	58.31 cm ²												
<p>Muestra 3</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>58.17 cm²</td> <td>57.07 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">57.62 cm²</td> </tr> </table>	Área:	58.17 cm ²	57.07 cm ²	Área promedio:	57.62 cm ²		<p>Muestra 4</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>64.62 cm²</td> <td>65.88 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">65.25 cm²</td> </tr> </table>	Área:	64.62 cm ²	65.88 cm ²	Área promedio:	65.25 cm ²	
Área:	58.17 cm ²	57.07 cm ²											
Área promedio:	57.62 cm ²												
Área:	64.62 cm ²	65.88 cm ²											
Área promedio:	65.25 cm ²												

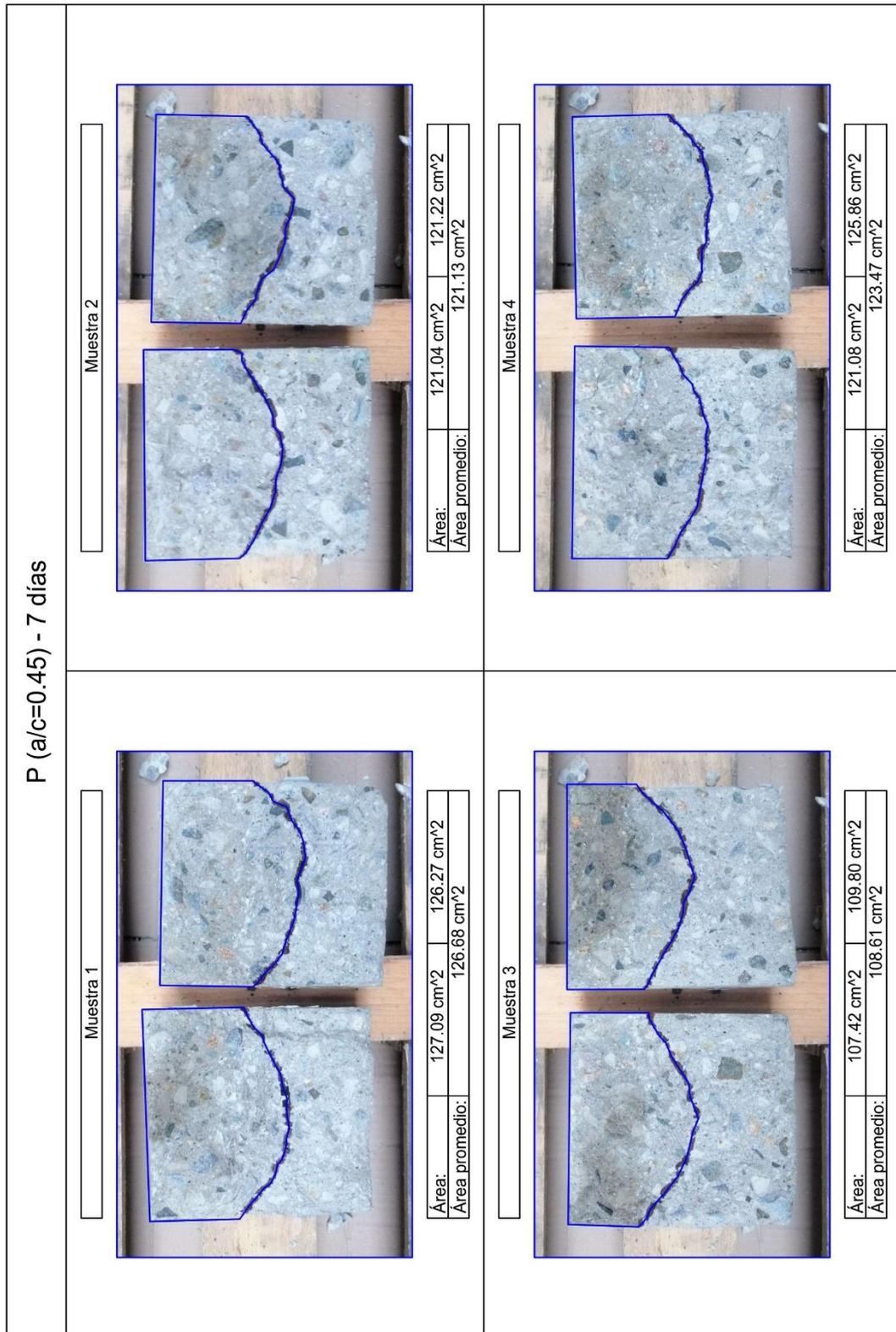
ANEXO 1. 11.- Área de penetración del agua en el diseño A($a/c=0.55$) con 21 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



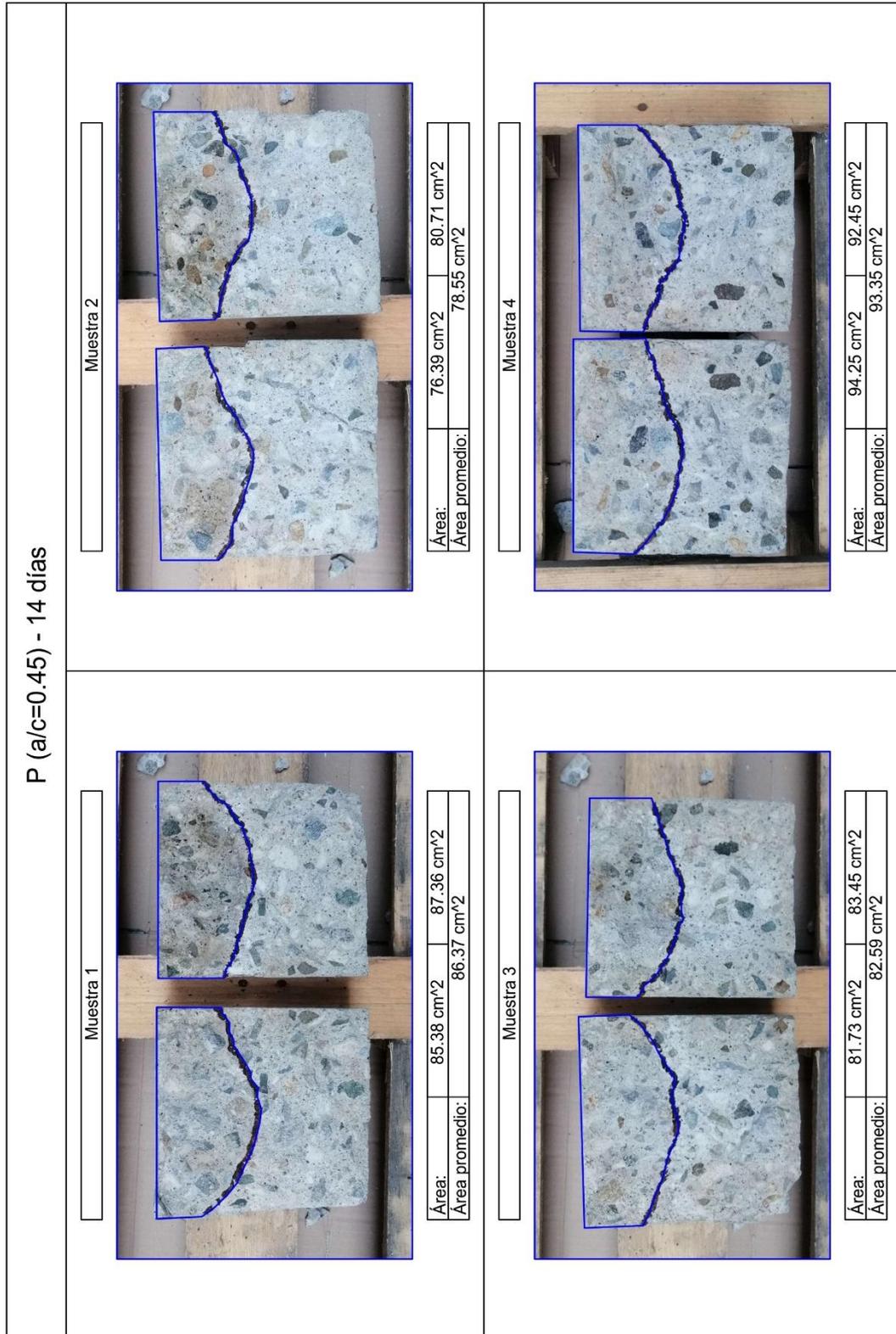
ANEXO 1. 12.- Área de penetración del agua en el diseño A(a/c=0.55) con 28 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



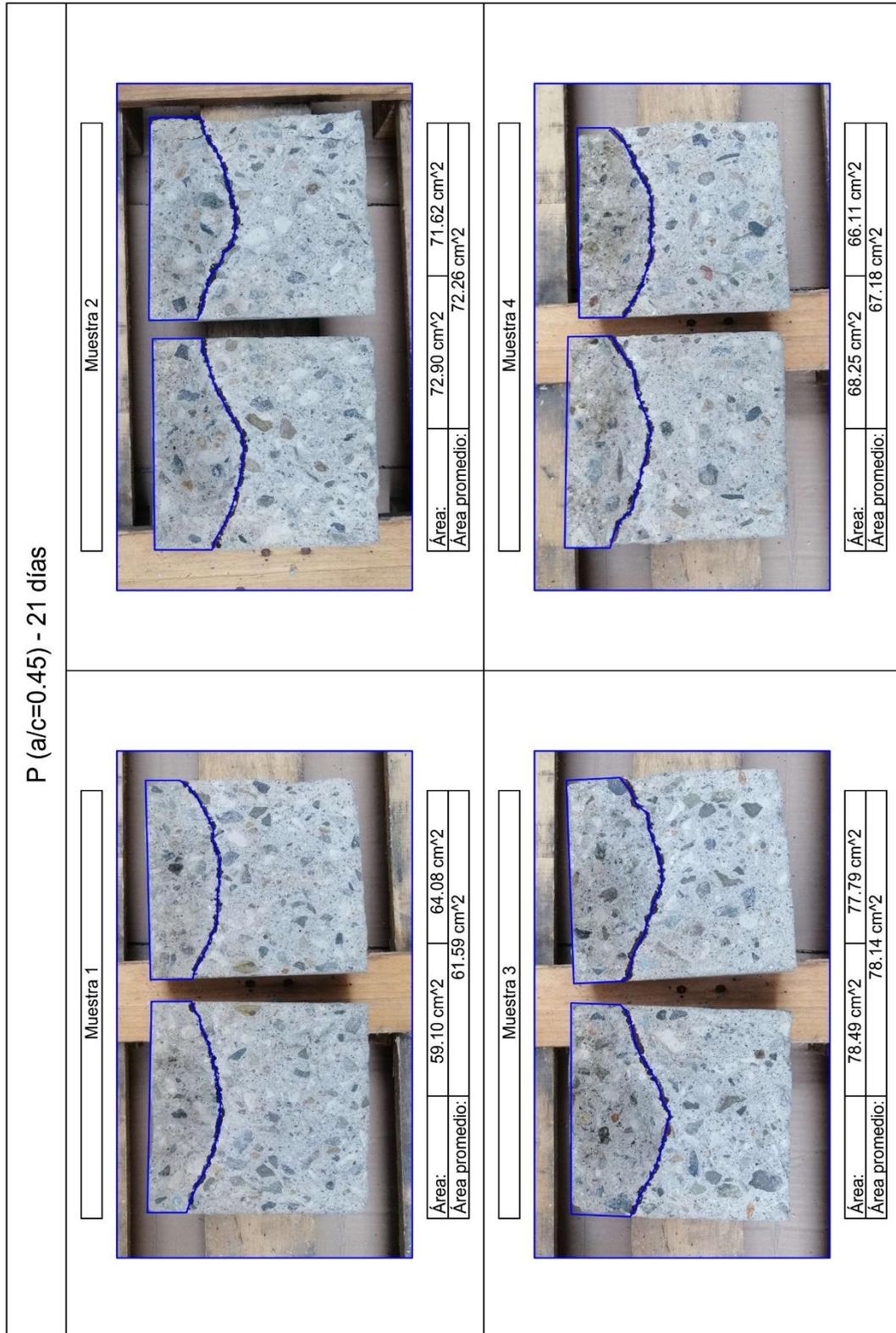
ANEXO 1. 13.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.45) con 7 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



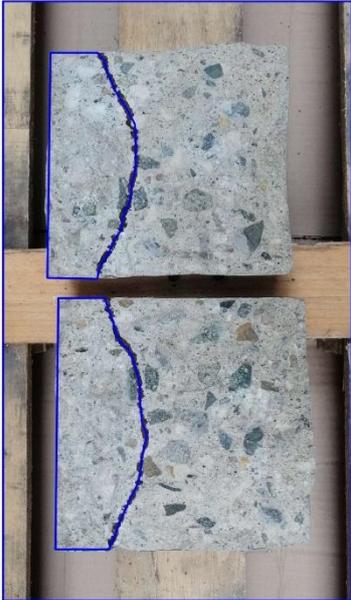
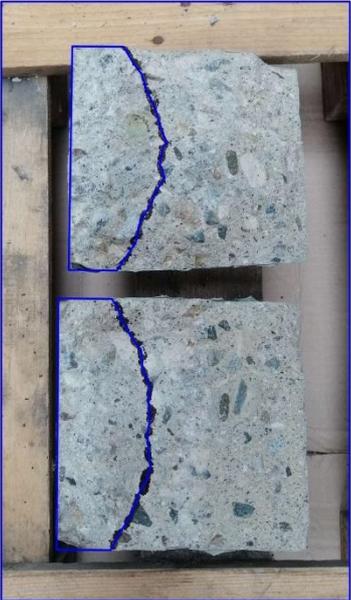
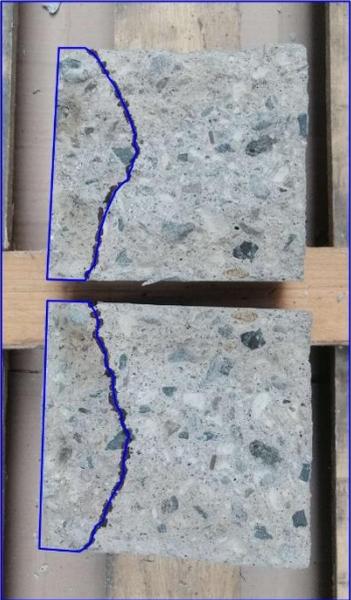
ANEXO 1. 14.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.45) con 14 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



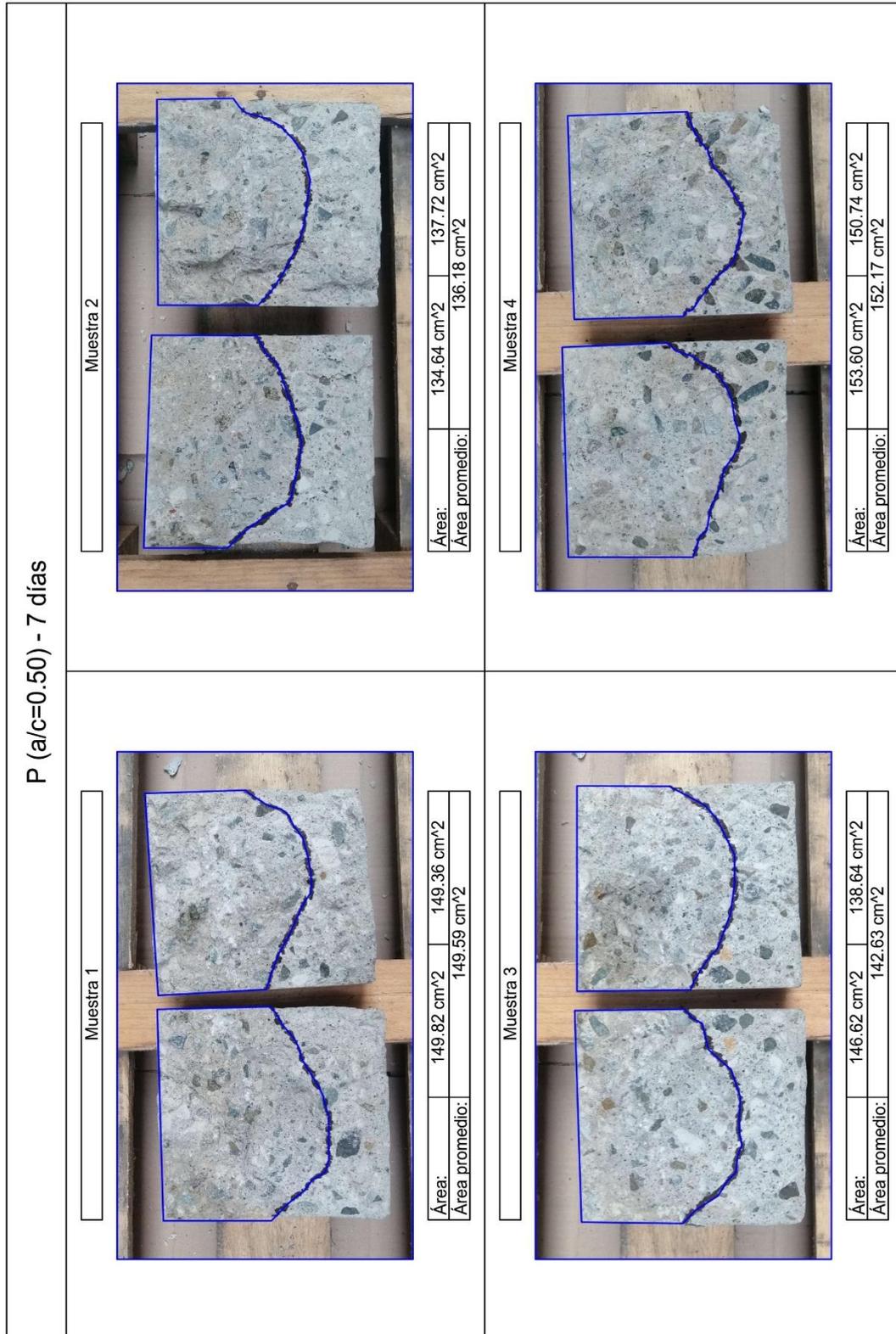
ANEXO 1. 15.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.45) con 21 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

P (a/c=0.45) - 28 días													
<p>Muestra 1</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>50.86 cm²</td> <td>49.42 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">50.14 cm²</td> </tr> </table>	Área:	50.86 cm ²	49.42 cm ²	Área promedio:	50.14 cm ²		<p>Muestra 2</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>62.87 cm²</td> <td>65.75 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">64.31 cm²</td> </tr> </table>	Área:	62.87 cm ²	65.75 cm ²	Área promedio:	64.31 cm ²	
Área:	50.86 cm ²	49.42 cm ²											
Área promedio:	50.14 cm ²												
Área:	62.87 cm ²	65.75 cm ²											
Área promedio:	64.31 cm ²												
<p>Muestra 3</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>68.90 cm²</td> <td>68.06 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">68.48 cm²</td> </tr> </table>	Área:	68.90 cm ²	68.06 cm ²	Área promedio:	68.48 cm ²		<p>Muestra 4</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>56.65 cm²</td> <td>53.81 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">55.23 cm²</td> </tr> </table>	Área:	56.65 cm ²	53.81 cm ²	Área promedio:	55.23 cm ²	
Área:	68.90 cm ²	68.06 cm ²											
Área promedio:	68.48 cm ²												
Área:	56.65 cm ²	53.81 cm ²											
Área promedio:	55.23 cm ²												

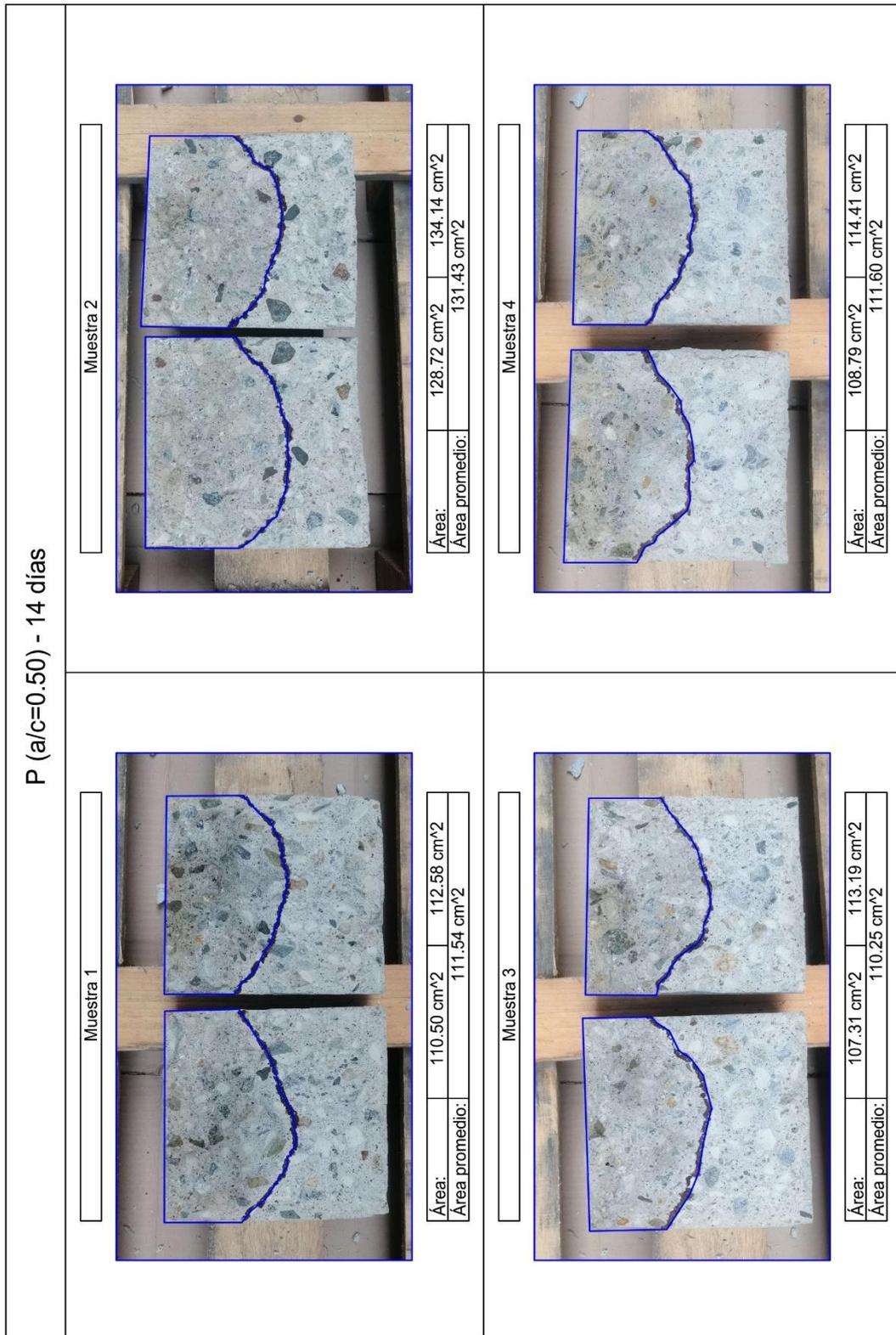
ANEXO 1. 16.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.45) con 28 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



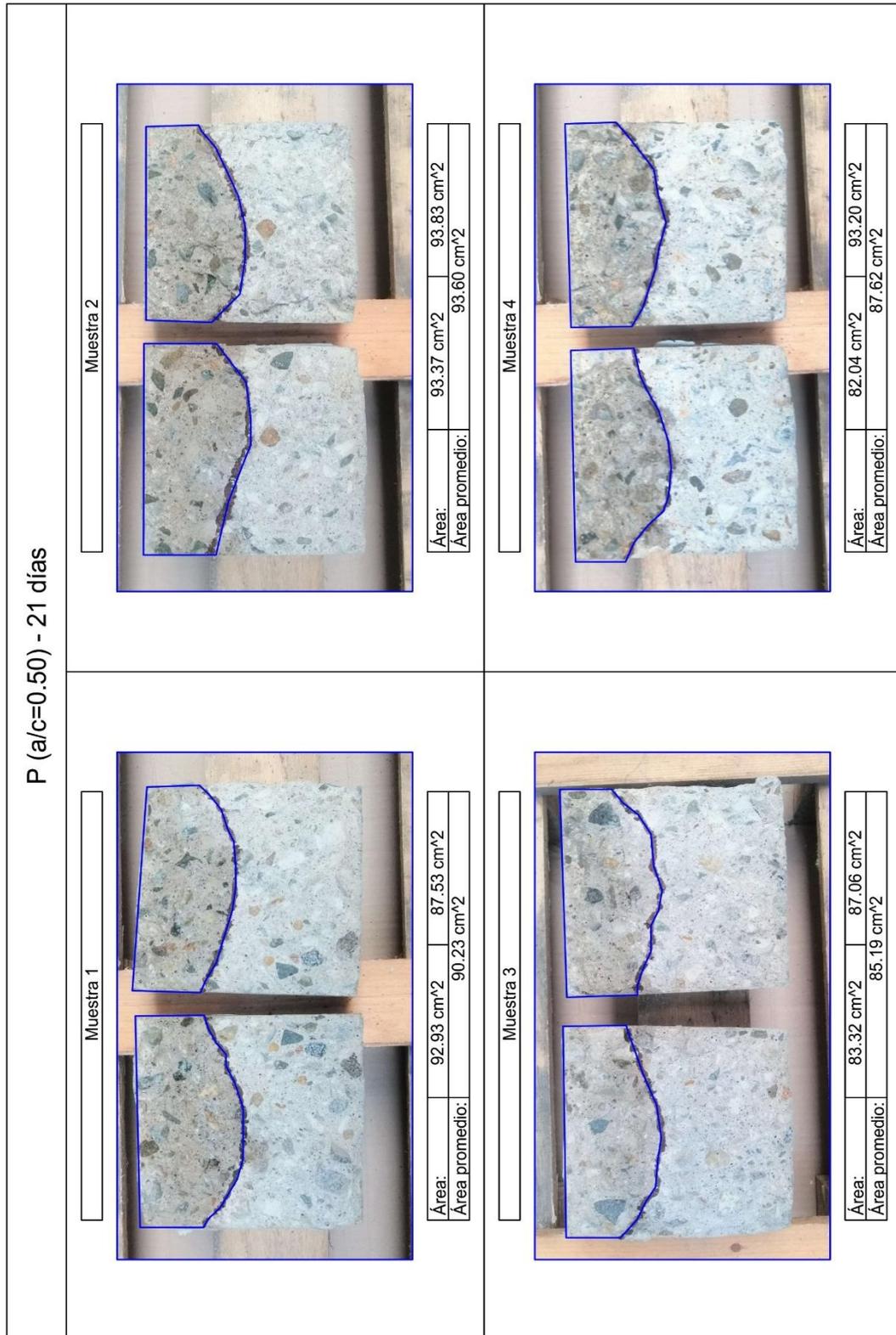
ANEXO 1. 17.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.50) con 7 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



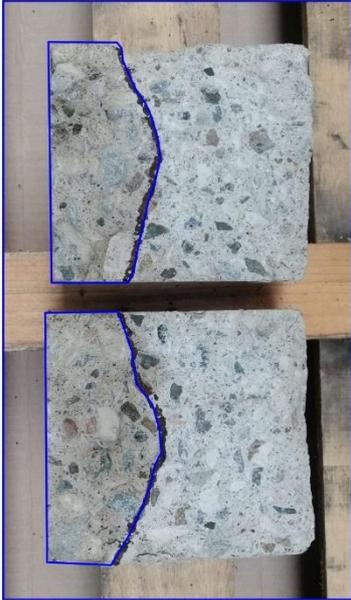
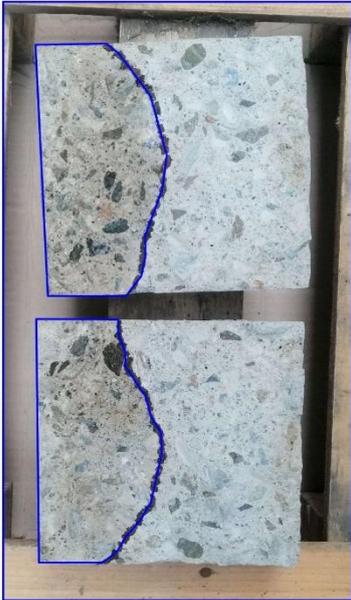
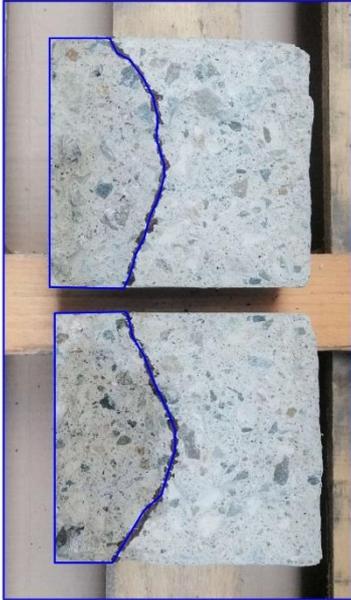
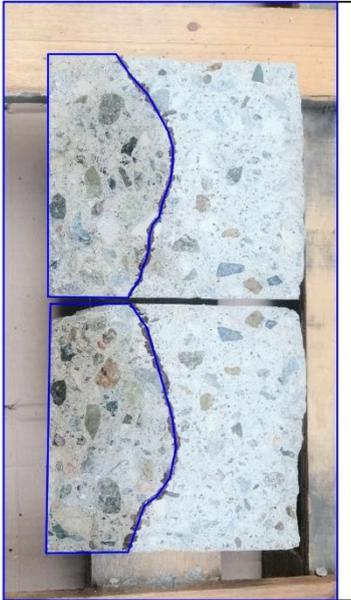
ANEXO 1. 18.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.50) con 14 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



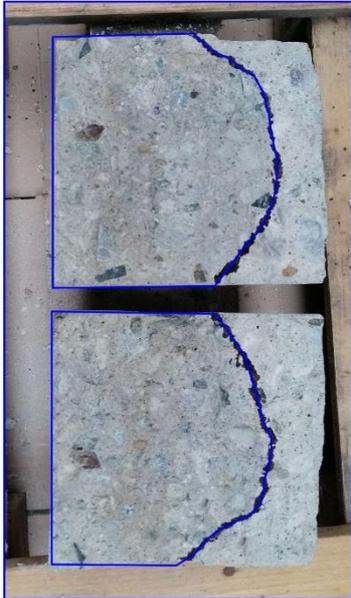
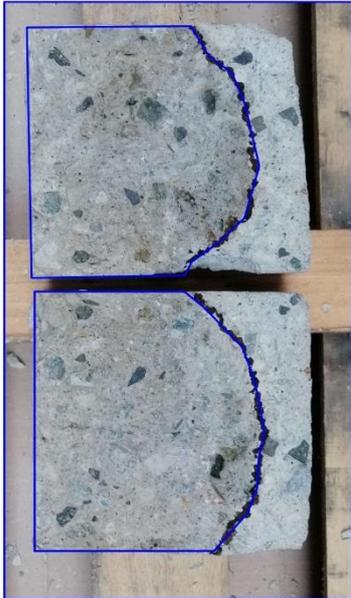
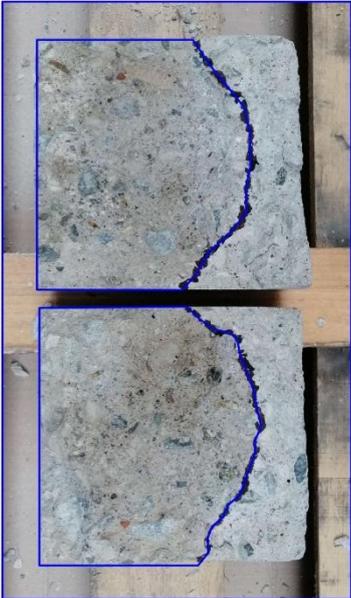
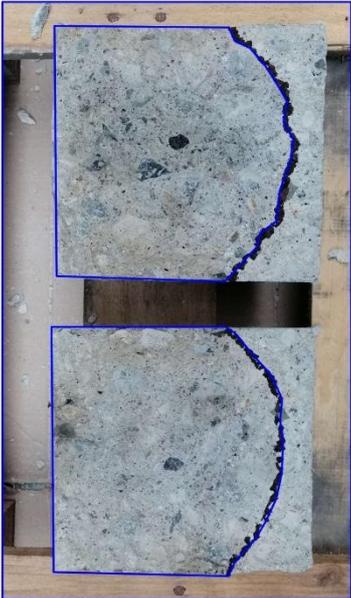
ANEXO 1. 19.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.50) con 21 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

P (a/c=0.50) - 28 días													
<p>Muestra 1</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>81.56 cm²</td> <td>76.90 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">79.23 cm²</td> </tr> </table>	Área:	81.56 cm ²	76.90 cm ²	Área promedio:	79.23 cm ²		<p>Muestra 2</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>87.15 cm²</td> <td>89.69 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">88.42 cm²</td> </tr> </table>	Área:	87.15 cm ²	89.69 cm ²	Área promedio:	88.42 cm ²	
Área:	81.56 cm ²	76.90 cm ²											
Área promedio:	79.23 cm ²												
Área:	87.15 cm ²	89.69 cm ²											
Área promedio:	88.42 cm ²												
<p>Muestra 3</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>81.74 cm²</td> <td>82.78 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">82.26 cm²</td> </tr> </table>	Área:	81.74 cm ²	82.78 cm ²	Área promedio:	82.26 cm ²		<p>Muestra 4</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>91.73 cm²</td> <td>89.23 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">90.48 cm²</td> </tr> </table>	Área:	91.73 cm ²	89.23 cm ²	Área promedio:	90.48 cm ²	
Área:	81.74 cm ²	82.78 cm ²											
Área promedio:	82.26 cm ²												
Área:	91.73 cm ²	89.23 cm ²											
Área promedio:	90.48 cm ²												

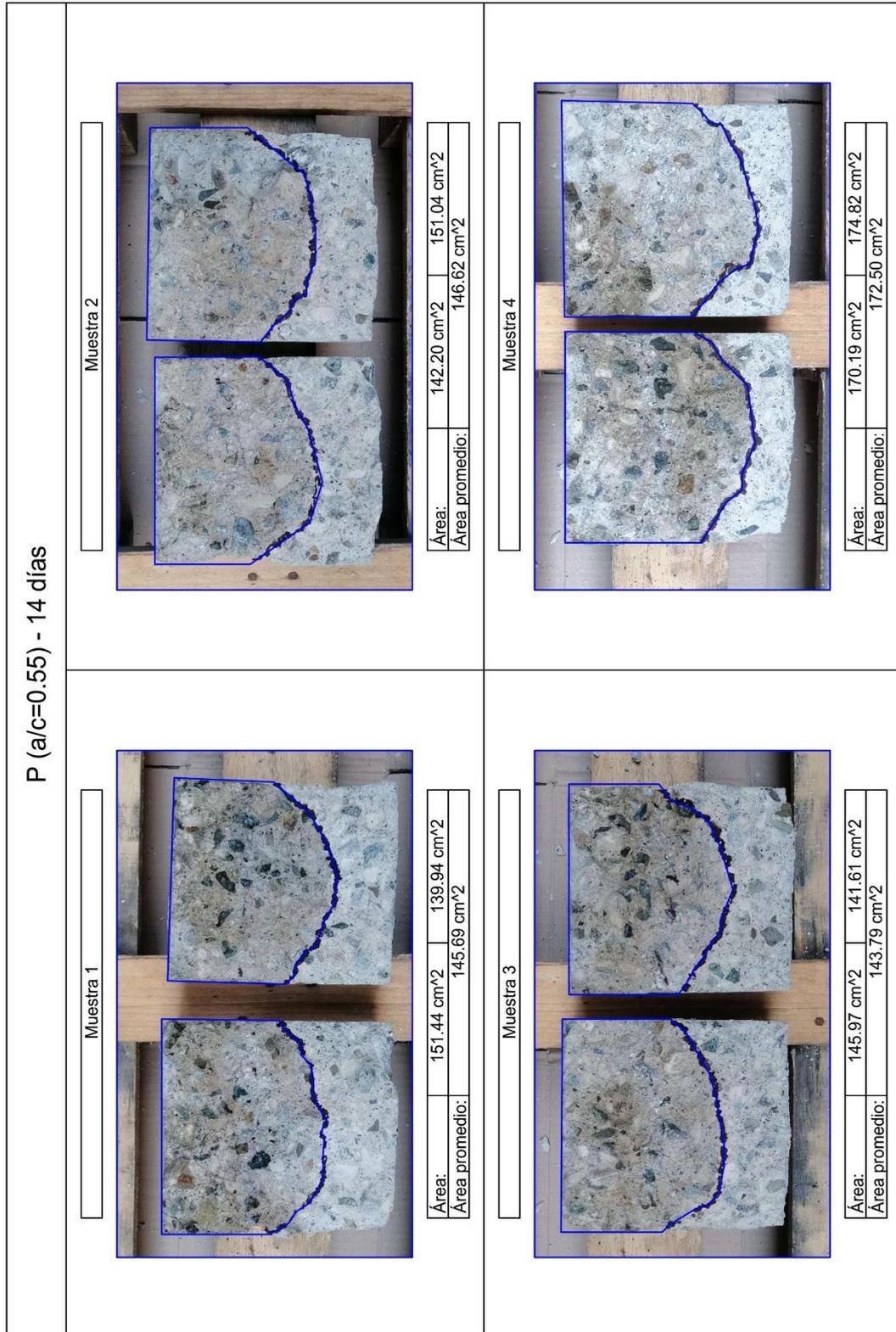
ANEXO 1. 20.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.50) con 28 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

P (a/c=0.55) - 7 días													
<p>Muestra 1</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>167.19 cm²</td> <td>173.65 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">170.42 cm²</td> </tr> </table>	Área:	167.19 cm ²	173.65 cm ²	Área promedio:	170.42 cm ²		<p>Muestra 2</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>183.11 cm²</td> <td>176.09 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">179.60 cm²</td> </tr> </table>	Área:	183.11 cm ²	176.09 cm ²	Área promedio:	179.60 cm ²	
Área:	167.19 cm ²	173.65 cm ²											
Área promedio:	170.42 cm ²												
Área:	183.11 cm ²	176.09 cm ²											
Área promedio:	179.60 cm ²												
<p>Muestra 3</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>173.24 cm²</td> <td>164.48 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">168.86 cm²</td> </tr> </table>	Área:	173.24 cm ²	164.48 cm ²	Área promedio:	168.86 cm ²		<p>Muestra 4</p>  <table border="1"> <tr> <td>Área:</td> <td>180.73 cm²</td> <td>184.95 cm²</td> </tr> <tr> <td>Área promedio:</td> <td colspan="2">182.84 cm²</td> </tr> </table>	Área:	180.73 cm ²	184.95 cm ²	Área promedio:	182.84 cm ²	
Área:	173.24 cm ²	164.48 cm ²											
Área promedio:	168.86 cm ²												
Área:	180.73 cm ²	184.95 cm ²											
Área promedio:	182.84 cm ²												

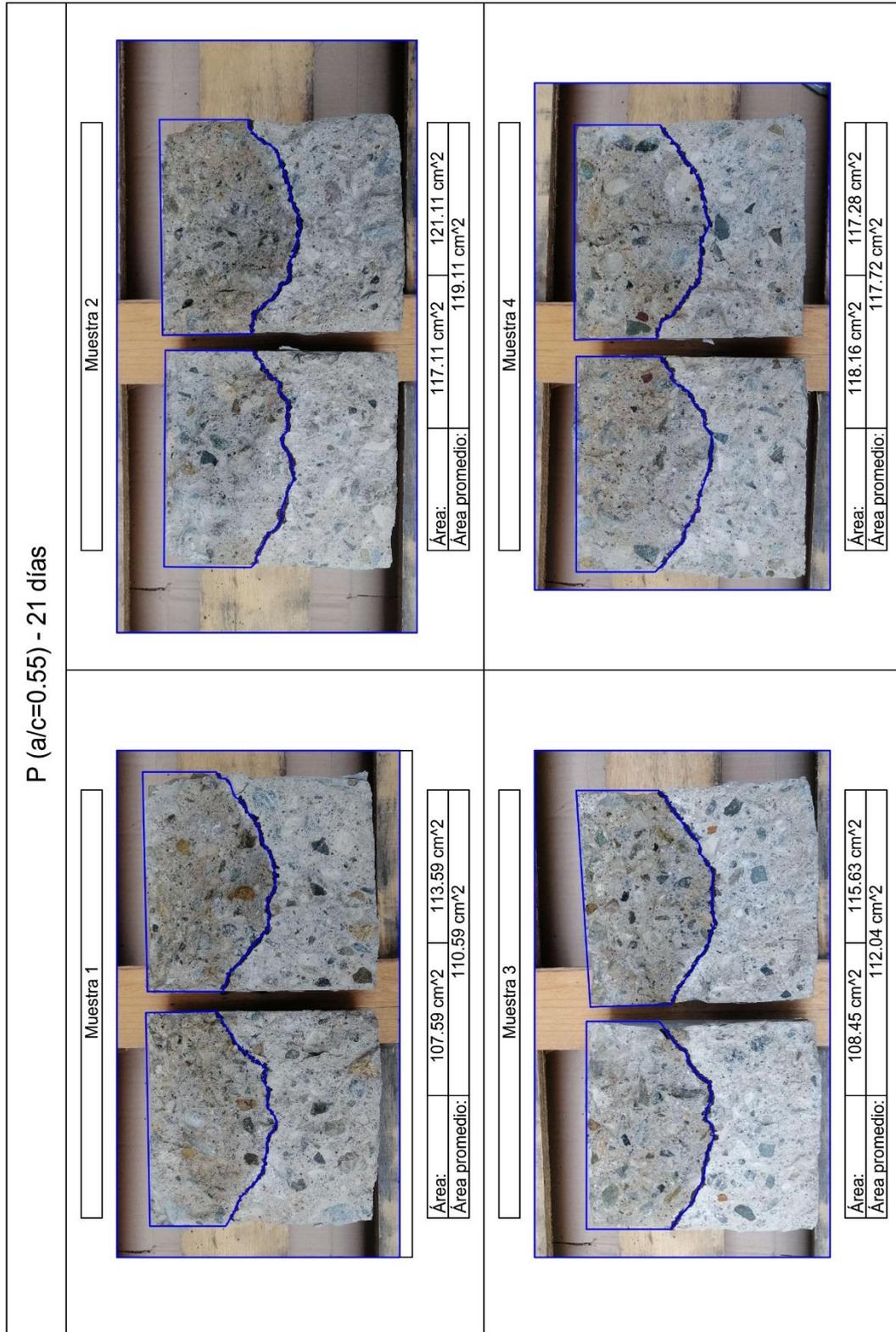
ANEXO 1. 21.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.55) con 7 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



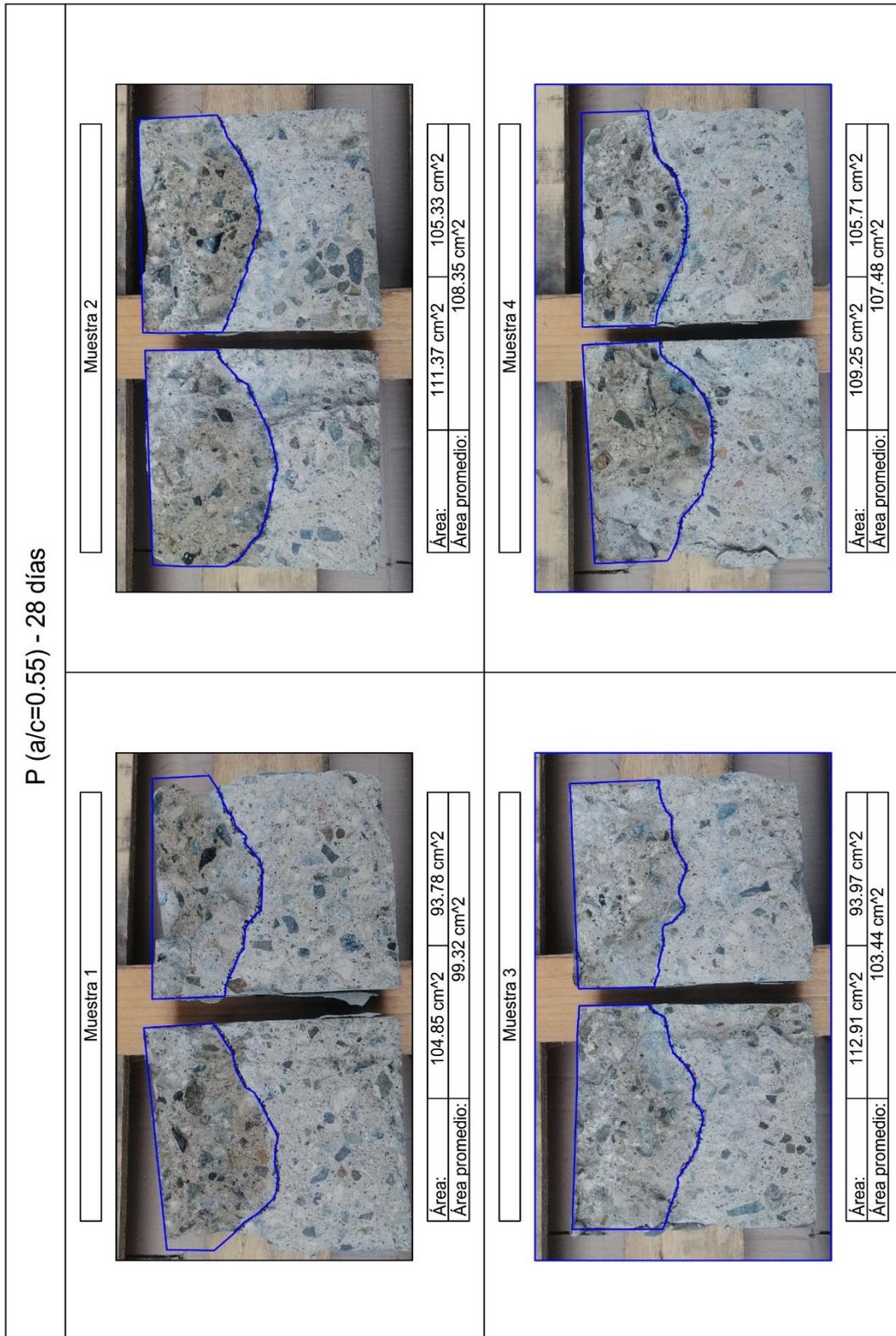
ANEXO 1. 22.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.55) con 14 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 1. 23.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.55) con 21 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 1. 24.- Área de penetración del agua en el diseño P(a/c=0.55) con 28 días de edad.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO II:

PANEL FOTOGRAFÍCO DE LOS

ENSAYOS REALIZADOS



ANEXO 2. 1.- Proceso del ensayo de densidad del cemento "Sol" Portland tipo I en el frasco de Le Chatelier.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 2.- Peso de la fiola con agua y arena para el ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 3.- Proceso del ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 4.- Comparación colorimétrica con el patrón Gardner para el ensayo de impurezas orgánicas.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 5.- Aplicación de desmoldante en el molde de probeta de 10x20 cm.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 6.- Mezclado y vaciado de la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 7.- Proceso del ensayo de asentamiento "Slump" del concreto.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 8.- Resultado del ensayo de asentamiento "Slump" del concreto, 3 ½".

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 9.- Enrasado de la mezcla en el recipiente de $1/3 \text{ pie}^3$ para el ensayo de peso unitario del concreto fresco.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 10.- Probetas elaboradas de 2 tandas de concreto fresco.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 11.- Curado de probetas en la poza de curado saturada con Cal.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 12.- Colocación de probetas de 15x30 cm en la poza de curado saturada con Cal.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 13.- Medición de una probeta de 15x30 cm para el ensayo de tracción indirecta.

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 14.- Aplicación de carga para el ensayo de tracción indirecta en la máquina "Proeti".

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. 15.- Probeta luego del ensayo de tracción indirecta.

Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil
LABORATORIO N° 1 DE ENSAYO DE MATERIALES "ING. MANUEL GONZÁLES DE LA COTERA"

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por
ABET
Engineering
Technology
Accreditation
Commission

CONSTANCIA

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

El Sr. **BRYANS WILDER JANAMPA VENANCIO**, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, solicitó al Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales permiso para la realización de ensayos, Permeabilidad, Densidad de cemento, Granulometría, Peso unitario suelto y compactado, Impurezas Orgánicas, Contenido de Humedad, Vaciado de concreto, en el marco de la Investigación **"ESTUDIO DE LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE APLICANDO LA NORMAL NTC 4483"**

Se le brindo las facilidades del caso para la realización de dichos ensayos a partir de la fecha del 11 de Julio del 2019 hasta el 11 de Octubre del 2019.

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

Lima, 08 de Enero del 2020



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

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

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

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



ANEXO 2. 16.- Constancia de ensayos realizados en el LEM-UNI para la elaboración de la presente tesis.

Fuente: Elaboración propia

ANEXO III: CUADRO COMPARATIVO DEL ESTADO DEL ARTE NORMATIVO DE LA PERMEABILIDAD

Norma	Origen/ País y método de medición	Equipo	Muestra/ Espécimen	Consideraciones	Descripción del ensayo
UNE EN 12390-8:2009	Europa Profundidad de penetración	Puede ser cualquiera que pueda aplicar agua a presión constante en la zona de ensayo y permita visualizar la presión que se aplica de forma continua. Es preferible que el equipo permita visualizar todas las caras de la probeta.	Probetas cúbicas, prismáticas o cilíndricas con un lado o diámetro no menor de 150 mm y ninguna otra dimensión menor a 100 mm.	Se debe de curar las muestras con agua a 20 ± 2 °C y una HR ≥ 95 %. Desbastar la cara a ensayar con un cepillo de púas metálicas.	Colocar en el equipo y aplicar agua a una presión de (500 ± 50) kPa durante (72 ± 2) horas. Durante el ensayo anotar presenta fuga de agua en las caras no expuestas a la presión de agua para reconsiderar su validez. Retirar la muestra del equipo y ponerla boca abajo, luego partirla en 2 mitades perpendiculares a la cara ensayada, luego medir y marcar el frente de penetración del agua en mm.
NTC 4483:1998	Colombia Profundidad de penetración y flujo constante	Puede ser cualquiera que pueda aplicar agua a presión constante en la zona de ensayo y permita visualizar la presión que se aplica de forma continua.	Probetas con un diámetro mínimo de 100 mm y una altura mínima de 100 mm. La prueba se debe de realizar por lo menos en 3 especímenes.	Se puede usar muestras moldeadas en laboratorio o en obra. La superficie lateral de las probetas se debe recubrir con una capa de pintura epóxica para garantizar un flujo unidireccional estable.	Permeabilidad por flujo constante Aplicar agua a una presión de 0.5 MPa durante 4 días hasta que haya flujo en la cara opuesta de la muestra y sea constante; luego medir el volumen de agua que pasa a través de la muestra a través del tiempo. Profundidad de penetración Aplicar agua a una presión de 0.5MPa durante 4 días, luego partir la muestra de forma perpendicular a la cara ensayada y se mide la profundidad promedio de penetración.

ANEXO 3. 1.- Cuadro comparativo del estado del arte normativo de la permeabilidad.

Fuente: Elaboración propia.

Norma	Origen/ País y método de medición	Equipo	Muestra/ Espécimen	Consideraciones	Descripción del ensayo
DIN 1048:1991	Alemania Profundidad de penetración	Cualquier equipo que pueda aplicar agua a presión en la zona de ensayo y permita visualizar la presión que se aplica de forma continua. El tamaño del anillo de aplicación será de 100 mm para muestras de hasta 200 mm de lado; y será de 150 mm para muestras de lados entre 200 y 300 mm.	Para TM de agregado < 32mm: Losas de 200 mm x 200 mm x 120 mm, cubos de 200 mm de lado o losa circular de 150 mm de diámetro y una altura mínima de 4 veces el tamaño máximo del agregado. Para TM de agregado > 32mm: Losas de 300 mm x 300 mm x 120 mm, cubos de 300 mm de lado o losa circular de 300 mm de diámetro y 120 mm de altura Mínimo 28 y máximo 35 días de edad.	Las muestras se deben curar con agua a una temperatura de 15-22 °C. Si durante el ensayo, el agua llega a penetrar al otro lado de la probeta, se termina el ensayo y esta se rechaza. La prueba se debe de realizar por lo menos en 3 especímenes.	Las muestras deben ser desbastadas con un cepillo de púas metálicas y curadas. Se coloca la muestra en el equipo y se aplica agua a una presión constante de 0.5 N/mm ² en la dirección del vaciado del molde por un periodo de 3 días. Se verifica que las demás caras no tengan presencia de agua y se procede a retirar la muestra del equipo. Se deja reposar de 5 a 10 minutos para luego romperlo en 2 mitades perpendiculares a la cara de ensayo. Se mide la máxima profundidad de penetración.
CRD-C 163-92:1992	EE. UU. Triaxial	Celda triaxial típica para pruebas de permeabilidad.	Pueden ser testigos diamantinas o probetas cilíndricas hechas y curadas en laboratorio. La altura de la muestra no debe ser mayor que 3 veces el TM del agregado o la mitad del diámetro de la muestra.	La muestra debe estar saturada con agua desionizada durante un mínimo de 72 horas. Las caras superior e inferior de la muestra deben ser lo suficientemente planas (el eje perpendicular a los planos no debe inclinarse más de 0.5°).	Colocar la muestra en la celda triaxial y aplicar una presión de confinamiento no mayor que la mitad de la resistencia a compresión no confinada estimada. Registrar periódicamente la presión de manejo y confinamiento; realizar los ajustes para mantenerlo dentro del ±5% de los niveles predeterminados. El ensayo finaliza cuando el volumen del líquido efuyente sea constante en el tiempo. La duración del ensayo depende de la permeabilidad de la muestra, puede durar desde unos pocos minutos hasta horas.

ANEXO 3.2.- Cuadro comparativo del estado del arte normativo de la permeabilidad (Continuación).

Fuente: Elaboración propia.

Norma	Origen/ País y método de medición	Equipo	Muestra/ Espécimen	Consideraciones	Descripción del ensayo
NCh2262.Of 97	Chile Profundidad de penetración	Cualquier equipo que pueda aplicar agua a presión en la zona de ensayo y permita visualizar la presión que se aplica de forma continua. El equipo debe permitir visualizar todas las caras de la probeta. Barras de carga de sección semicircular con diámetro de 19 mm.	Probetas moldeadas Probetas cúbicas, prismáticas o cilíndricas con su menor dimensión mayor o igual a 3 veces el TM del agregado. Diámetro = {150,200,300} mm h/d ≥ 0.5 h ≥ 100 mm Mínimo 28 días de edad. Testigos Diámetro mínimo de 150 mm h/d ≥ 0.5	Esta norma se usa para determinar la impermeabilidad al agua de morteros y hormigones. Las muestras se deben curar a una temperatura de 20 ± 3 °C. La prueba se debe de realizar por lo menos en 3 muestras. El desbastado de las probetas debe ser con un cepillo de púas metálicas.	A los 10 ± 3 días de edad, las probetas moldeadas deben ser desbastadas y pintadas con pintura epoxica en las caras laterales, luego de 3 horas se devuelven a la zona de curado. Cuando las probetas tengan 28 días de edad, se procede a colocarlo en el equipo de ensayo y aplicar agua a presión de la siguiente manera: 0.1 MPa en las primeras 48 horas 0.3 MPa en las siguientes 24 horas 0.7 MPa en las siguientes 24 horas Retirar la probeta del equipo y se rompe en 2 mitades de forma perpendicular a la cara ensayada, luego se mide y marca la profundidad máxima de penetración.

ANEXO 3.3.- Cuadro comparativo del estado del arte normativo de la permeabilidad (Continuación).

Fuente: Elaboración propia.